

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRAULICO DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE LA GOTA FRIA EN VALLEDUPAR-
CESAR**



L Aidys Yaneth Pumarejo Cáceres

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL & SANITARIA
VALLEDUPAR – CESAR**

2020

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRAULICO DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE LA GOTA FRIA EN VALLEDUPAR-
CESAR**

LAIDYS YANETH PUMAREJO CACERES

YIM JAMES RODRIGUEZ DÍAZ

Msc. INGENIERIA AMBIENTAL

DIRECTOR

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL & SANITARIA

VALLEDUPAR – CESAR

2020

Nota de Aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del Jurado

Firma del jurado

Dedicatoria

El presente trabajo es dedicado a DIOS por brindarme la sabiduría y la paciencia para afrontar los momentos de dificultad, a mis padres CASTULO PUMAREJO MINDIOLA y MARILYS CACERES MONTAÑO que me brindaron el apoyo y la confianza para seguir adelante y poder alcanzar este gran logro.

jueves, 29 de octubre de 2020

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a DIOS por permitirme culminar con éxitos esta etapa tan importante de mi vida, por fortalecer mi corazón en los momentos de dificultad y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo este proceso, a mis padres CASTULO PUMAREJO MINIDIOLA y MARILYS CACERES MONTAÑO, por hacer de mí una mejor persona, por enseñarme que todo esfuerzo al final trae su recompensa, siempre serán mi inspiración para alcanzar mis metas. A ustedes dos que son mi pilar les agradezco porque de la mano de DIOS y de ustedes tengo la vida y me enseñaron que “En esos momentos donde los sueños se encuentran llenos de obstáculos, lo mejor es ser pacientes y perseverar para poder alcanzarlos”. A mis queridos hermanos CHRISTIAN PUMAREJO, AURELIO PUMAREJO y MAROLIN PUMAREJO gracias por su amor, confianza y apoyo incondicional.

Agradecerle a mi asesor de tesis ING. YESID AROCA y a mi profesor y director de tesis ING. YIM JAMES RODRIGUEZ por su confianza y colaboración en todo el proceso de formulación y desarrollo de esta tesis, brindando tanto parte de su tiempo como el conocimiento para que este logro llegue felizmente a ser culminado.

A la empresa de servicios públicos EMDUPAR S.A. E.S.P. por brindarme la oportunidad de realizar las prácticas en las instalaciones de su empresa y las facilidades prestadas para el desarrollo del presente trabajo investigativo.

De igual manera mi más sincero agradecimiento a mis compañeros y amigos de estudio quienes me acompañaron en la trayectoria de aprendizaje y conocimientos, a mi amigo PAUL ARIAS KLEMENT, por hacer parte de este proyecto y apoyarme en el desarrollo del mismo.

A todas y cada una de esas personas que de alguna u otra forma apoyaron este proceso y aportaron lo necesario para hacer realidad este sueño.

.
A ustedes gracias.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	20
1. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA	22
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	23
2. JUSTIFICACIÓN	25
3. OBJETIVOS	26
3.1. OBJETIVO GENERAL	26
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	26
4. MARCO REFERENCIAL.....	27
4.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	27
4.2. MARCO TEÓRICO.....	29
4.2.1. Tratamiento de Agua Potable.....	29
4.2.1.1. Procesos Unitarios en el Tratamiento de Agua	30
4.2.1.1.1. Transferencia de Sólidos.....	30
4.2.1.1.2. Transferencia de Iones.....	32
4.2.1.1.3. Transferencia de Gases	33
4.2.1.1.4. Transferencia Molecular	33
4.2.1.1.5. Otros procesos	34
4.2.1.2. Tipos de Sistemas de Potabilización.....	34
4.2.1.2.1. Plantas de filtración rápida	34
4.2.1.2.2. Plantas de filtración directa	35
4.2.1.2.3. Plantas de filtración lenta	35
4.2.1.2.4. Clasificación según su Tecnología	35

4.2.1.3.	Unidades de Tratamiento	36
4.2.1.3.1.	Coagulación	36
4.2.1.3.2.	Mezcla Rápida.....	36
4.2.1.3.3.	Floculación	36
4.2.1.3.4.	Sedimentación	37
4.2.1.3.5.	Filtración.....	37
4.2.2.	Análisis de Flujo en PTAP	38
4.2.2.1.	Ensayo de trazadores	38
4.2.2.1.1.	Modelo Simplificado de Wolf-resnick y Curva de Tendencia del Trazador	39
4.3.	MARCO CONCEPTUAL	42
4.4.	MARCO CONTEXTUAL.....	44
4.4.1.	Contexto General	44
4.4.2.	Contexto Específico	46
4.4.2.1.	Fuente de Abastecimiento.....	46
4.4.2.2.	Sistema de Tratamiento de Agua Potable.....	46
4.2.2.2.1.	Planta de Tratamiento La Gota Fría.....	48
4.5.	MARCO LEGAL	49
4.6.	MARCO INSTITUCIONAL.....	52
4.6.1.	Información Primaria	52
4.6.1.1.	Misión.....	52
4.6.1.2.	Visión	52
4.6.2.	Política Integral de Gestión	53
5.	MARCO METODOLÓGICO	54

5.1.	LÍNEA Y SUB LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.....	54
5.2.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	54
5.3.	NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	54
5.4.	POBLACIÓN DE ESTUDIO	55
5.5.	MUESTRA POBLACIONAL	55
5.6.	DESARROLLO METODOLÓGICO	55
5.6.1.	Fase 1: Identificar las condiciones operativas de los diferentes procesos y unidades que componen la Planta de Tratamiento de Agua Potable La Gota Fría de la ciudad de Valledupar	55
5.6.2.	Fase 2: Evaluar las Condiciones Hidráulicas de las Unidades de Tratamiento de Agua Potable de la Planta La Gota Fría de la ciudad de Valledupar	56
5.6.3.	Fase 3: Calcular la demanda requerida del Sistema de Tratamiento y Abastecimiento de Agua Potable acorde al crecimiento poblacional proyectado de los habitantes de la ciudad de Valledupar	57
5.6.4.	Fase 4: Plantear Alternativas de acuerdo a las condiciones hidráulicas, capacidad instalada y área disponible, que permitan el mejoramiento continuo de la operación futura de la planta de tratamiento de agua potable “La Gota Fría”.....	58
6.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	60
6.1.	IDENTIFICAR LAS CONDICIONES OPERATIVAS DE LOS DIFERENTES PROCESOS Y UNIDADES QUE COMPONEN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE LA GOTA FRÍA DE LA CIUDAD DE VALLEDUPAR. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN PRIMARIA Y SECUNDARIA	60
6.1.1.	Recolección de información primaria y secundaria	60
6.1.2.	Reconocimiento de los Procesos Unitarios de la Planta La Gota Fría	65

6.1.2.1.	Descripción General PTAP La Gota Fría	65
6.1.2.1.1.	Captación	65
6.1.2.1.2.	Aducción	66
6.1.2.1.3.	Sistema de desarenación	68
6.1.2.1.4.	Planta de Tratamiento “La Gota Fría”	68
6.1.2.1.4.1.	Sistema de Dosificación	68
6.1.2.1.4.2.	Mezcla Rápida	69
6.1.2.1.4.3.	Canal de admisión a floculadores	71
6.1.2.1.4.4.	Floculadores	72
6.1.2.1.4.5.	Sedimentadores	73
6.1.2.1.4.6.	Filtros	76
6.2.	EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES HIDRÁULICAS DE LAS UNIDADES DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA PLANTA LA GOTA FRÍA DE LA CIUDAD DE VALLEDUPAR	78
6.2.1.	Análisis de Flujo mediante Ensayo de Trazadores	78
6.2.1.1.	Selección del Trazador	79
6.2.1.2.	Determinación de los factores muestrales	79
6.2.1.3.	Cálculo de la Cantidad de Trazador	80
6.2.1.4.	Aplicación del Trazador	82
6.2.1.5.	Captura de Muestras: Efluente mezcla rápida	83
6.2.1.6.	Captura de Muestras - Canal de admisión: Afluente Floculadores	85
6.2.1.7.	Captura de Muestras - Floculadores: Afluente Sedimentadores	89
6.2.1.8.	Captura de Muestras –Sedimentadores: Efluente Sedimentadores...	89
6.2.1.9.	Medición de Conductividad	90
6.2.1.10.	Tabulación y comportamiento preliminares	92

6.2.1.11.	Determinación de los factores que inciden en los periodos de retención	93
6.2.1.11.1.	Mezcla Rápida	93
6.2.1.11.2.	Floculadores	94
6.2.1.11.2.1.	Condiciones y Fracciones de los Flujos (Floculadores)	94
6.2.1.11.2.2.	Eficiencia volumétrica (Floculadores)	98
6.2.1.11.2.3.	Volumen de Espacios Muertos – VEM (Floculadores).....	99
6.2.1.11.2.4.	Análisis de los factores (floculadores).....	100
6.2.1.11.3.	Sedimentadores.....	101
6.2.1.11.3.1.	Condiciones y Fracciones de los Flujos (Sedimentadores).....	101
6.2.1.11.3.2.	Eficiencia volumétrica (Sedimentadores).....	104
6.2.1.11.3.3.	Volumen de Espacios Muertos – VEM (Sedimentadores)	105
6.2.1.11.3.4.	Inferencias de los Factores (Sedimentadores).....	105
6.2.2.	Análisis Hidráulico para el caudal de diseño y operación de las Unidades de Tratamiento.....	106
6.2.2.1.	Revisión Hidráulica en Mezcla Rápida	106
6.2.2.1.1.	Mediciones de campo en mezcla rápida	106
6.2.2.1.2.	Parámetros Teóricos Mezcla Rápida (Q = 600 L/s)	106
6.2.2.1.3.	Evaluación Hidráulica Mezcla Rápida (Q = 940 L/s)	109
6.2.2.1.4.	Síntesis Caudal de Diseño y Operativo Mezcla Rápida	111
6.2.2.2.	Revisión Hidráulica en Floculadores	112
6.2.2.2.1.	Mediciones de campo en Floculadores	112
6.2.2.2.2.	Parámetros Teóricos Floculadores (Q = 600 L/s).....	112
6.2.2.2.3.	Evaluación Hidráulica Floculadores (Q = 940 L/s)	121
6.2.2.2.4.	Síntesis Caudal de Diseño y Operativo Floculador	123

6.2.2.2.5.	Revisión Box Couvert (Transición Floculador – Sedimentador)	124
6.2.2.3.	Revisión Hidráulica en Sedimentadores.....	126
6.2.2.3.1.	Mediciones en Sedimentadores	126
6.2.2.3.2.	Parámetros Teóricos Sedimentadores (Q = 600 L/s)	126
6.2.2.3.3.	Evaluación Hidráulica Sedimentadores (Q = 940 L/s)	134
6.2.2.3.4.	Síntesis Caudal de Diseño y Operativo Sedimentador.....	136
6.2.2.4.	Revisión Hidráulica en Filtros	137
6.2.2.4.1.	Mediciones en Filtros	137
6.2.2.4.2.	Parámetros Teóricos Filtros (Q = 600 L/s)	138
6.2.2.4.2.1.	Características de la unidad.....	138
6.2.2.4.3.	Evaluación Hidráulica Filtros (Q = 940 L/s)	139
6.2.2.4.4.	Síntesis Caudal de Diseño y Operativo.....	140
6.3.	CALCULAR LA DEMANDA REQUERIDA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO Y ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE ACORDE AL CRECIMIENTO POBLACIONAL PROYECTADO DE LOS HABITANTES DE LA CIUDAD DE VALLEDUPAR.....	141
6.3.1.	Proyección Poblacional.....	141
6.3.1.1.	Periodo de Diseño.....	141
6.3.1.2.	Proyección Poblacional.....	141
6.3.1.2.1.	Información de los censos ciudad de Valledupar	141
6.3.1.2.2.	Cálculo de la Población de Estudio.....	143
6.3.1.2.2.1.	Proyección método aritmético.....	143
6.3.1.2.2.2.	Proyección método geométrico.....	144
6.3.1.2.2.3.	Proyección método exponencial	145
6.3.1.2.3.	Tasas de Crecimiento Poblacional.....	145

6.3.1.2.4.	Población Proyectada	147
6.3.2.	Estimación de la Demanda Requerida	148
6.3.2.1.	Dotación Neta	148
6.3.2.2.	Pérdidas de Agua.....	148
6.3.2.2.1.	IANC Actual.....	149
6.3.2.3.	Dotación Bruta	151
6.3.2.4.	Caudales Medios.....	152
6.3.2.4.1.	Demanda media residencial.....	152
6.3.2.4.2.	Demanda Media Otros Usos	153
6.3.2.4.3.	Demanda Media Diaria.....	153
6.3.2.5.	Caudales Máximos.....	154
6.3.2.5.1.	Demanda Máxima Diaria.....	154
6.3.2.5.2.	Demanda Máxima Horaria	155
6.3.2.6.	Caudales de Diseño	157
6.3.2.6.1.	Caudal de Captación.....	157
6.3.2.6.2.	Caudales de Aducción, Desarenador, PTAP y conducción.....	157
6.3.2.6.2.1.	Caudal de Conducción Tanque – Red de Distribución y Red de Distribución	158
6.3.2.7.	Volúmenes Tanque de Almacenamiento.....	158
6.3.2.7.1.	Capacidad Volumétrica de Regulación de Cabecera.....	158
6.3.2.7.2.	Capacidad Volumétrica Contra Incendios	158
6.3.2.7.3.	Capacidad Volumétrica del Tanque	159
6.3.2.7.4.	Déficit del Almacenamiento.....	160
6.4.	PLANTEAR ALTERNATIVAS DE ACUERDO A LAS CONDICIONES HIDRÁULICAS, CAPACIDAD INSTALADA Y ÁREA DISPONIBLE, QUE	

PERMITAN EL MEJORAMIENTO CONTINUO DE LA OPERACIÓN FUTURA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE “LA GOTA FRÍA”.	161
6.4.1. Planteamiento de Alternativa	161
6.4.1.1. Área disponible para posible ampliación	162
6.4.1.2. Condiciones Hidráulicas de las Unidades de Tratamiento	169
6.4.1.2.1. Unidades Proyectadas de Mezcla Rápida.....	170
6.4.1.2.2. Unidades Proyectadas de Floculación	173
6.4.1.2.2.1. Gradientes de Velocidad en el canal de agua floculada y estructura de repartición de agua floculada al Sedimentador	183
6.4.1.2.2.2. Box Coulever distribuidor de Agua Floculada - Canal de agua floculada (interconexión Floculador y Sedimentador)	183
6.4.1.2.3. Unidades Proyectadas de Sedimentación.....	184
6.4.1.2.3.1. Zona de Entrada	185
6.4.1.2.4. Unidades Proyectadas de Filtración.....	191
6.4.1.3. Condiciones Finales Acorde a Población y Área.....	191
7. CONCLUSIONES.....	194
8. RECOMENDACIONES	197
BIBLIOGRAFÍA	199
ANEXOS	203

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Criterios relativos para el análisis de flujo y factores determinantes del tiempo de retención	40
Tabla 2. Características Generales PTAP La Gota Fría	48
Tabla 3. Normativa asociada al proyecto	49
Tabla 4. Bitácora de Información	60
Tabla 5. Volumen de las Unidades de Tratamiento	80
Tabla 6. Concentraciones medidas en efluente de mezcla rápida.....	84
Tabla 7. Concentraciones medidas en afluentes de floculadores	85
Tabla 8. Concentraciones de acceso a floculadores menos concentración inicial.	86
Tabla 9. Caudales por cada floculador	88
Tabla 10. Concentraciones medidas en afluente de sedimentadores.....	89
Tabla 11. Concentraciones medidas en afluente de filtros	90
Tabla 12. Datos de entrada - perfil Creager.....	106
Tabla 13. Parámetros teóricos Perfil Creager	107
Tabla 14. Datos de entrada - Floculadores.....	112
Tabla 15. Parámetros Teóricos Floculadores	113
Tabla 16. Tiempo de Retención y Caudal para cada Floculador de la PTAP La Gota Fría	122
Tabla 17. Gradiente de Velocidad Promedio de los Floculadores. Caudal 940l/s	122
Tabla 18. Datos de entrada - Sedimentadores	126
Tabla 19. Parámetros Teóricos Sedimentadores.....	130
Tabla 20. Tiempo de retención, carga superficial y velocidad crítica de sedimentación de los decantadores.....	135
Tabla 21. Datos de entrada - Filtros.....	137
Tabla 22. Medidas directas en la unidad de filtro.....	137
Tabla 23. Registro de Población – ciudad de Valledupar	142
Tabla 24. Proyecciones de población DANE – ciudad de Valledupar.....	142

Tabla 25. Ratas de crecimiento de acuerdo a proyección DANE 2018-2023	143
Tabla 26. Tasas de crecimiento acorde a los métodos de estimación poblacional	146
Tabla 27. Población Proyectada	147
Tabla 28. Proyección de Caudales Medios y Diarios	156
Tabla 29. Caudales unitarios y número de unidades de la PTAP La Gota Fría ...	162
Tabla 30. Condiciones Finales para la alternativa de caudal proyectado de 830 L/S	168
Tabla 31. Área útil requerida para la alternativa formulada	169
Tabla 32. Datos de Entrada – Perfil Creager para caudal proyectado.....	170
Tabla 33. Parámetros Teóricos de Mezcla Rápida para caudal proyectado	171
Tabla 34. Observaciones de los parámetros hidráulicos relevantes – Mezcla Rápida	172
Tabla 35. Datos de Entrada – Floculadores para caudal proyectado	173
Tabla 36. Parámetros Teóricos de Floculadores para caudal proyectado	175
Tabla 37. Observaciones de los parámetros hidráulicos relevantes – Mezcla Rápida	180
Tabla 38. Datos de Entrada – Sedimentadores para caudal proyectado	184
Tabla 39. Parámetros Teóricos de Sedimentadores para caudal proyectado	187
Tabla 40. Observaciones de los parámetros hidráulicos relevantes – Mezcla Rápida	189
Tabla 41. Condiciones finales proyectadas de población y área disponible	192
Tabla 42. Documentación y evidencias Anexas.....	203

LISTA DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1. Volumen de agua que ingresa a cada floculador por segundo.....	88
Gráfico 2. Concentraciones máximas por cada floculador	92
Gráfico 3. Concentraciones máximas por cada sedimentador	93
Gráfico 4. Condiciones de Flujo – Floculador 1	94
Gráfico 5. Fracciones Volumétricas – Floculador 1.....	94
Gráfico 6. Condiciones de Flujo – Floculador 2	95
Gráfico 7. Fracciones Volumétricas – Floculador 2.....	95
Gráfico 8. Condiciones de Flujo – Floculador 3	95
Gráfico 9. Fracciones Volumétricas – Floculador 3.....	95
Gráfico 10. Condiciones de Flujo – Floculador 4	96
Gráfico 11. Fracciones Volumétricas – Floculador 4.....	96
Gráfico 12. Condiciones de Flujo – Floculador 5	96
Gráfico 13. Fracciones Volumétricas – Floculador 5.....	96
Gráfico 14. Condiciones de Flujo – Floculador 6	97
Gráfico 15. Fracciones Volumétricas – Floculador 6.....	97
Gráfico 16. Condiciones de Flujo – Floculador 7	97
Gráfico 17. Fracciones Volumétricas – Floculador 7.....	97
Gráfico 18. Condiciones de Flujo – Floculador 8	98
Gráfico 19. Fracciones Volumétricas – Floculador 8.....	98
Gráfico 20. Eficiencia Volumétrica de los Floculadores	99
Gráfico 21. Volumen de Espacios Muertos en los Floculadores	100
Gráfico 22. Condición de Flujo y Fracciones Volumétricas (Sedimentador 1)	101
Gráfico 23. Condición de Flujo y Fracciones Volumétricas (Sedimentador 2)	101
Gráfico 24. Condición de Flujo y Fracciones Volumétricas (Sedimentador 3)	102
Gráfico 25. Condición de Flujo y Fracciones Volumétricas (Sedimentador 4)	102
Gráfico 26. Condición de Flujo y Fracciones Volumétricas (Sedimentador 5)	103
Gráfico 27. Condición de Flujo y Fracciones Volumétricas (Sedimentador 6)	103

Gráfico 28. Condición de Flujo y Fracciones Volumétricas (Sedimentador 7)	104
Gráfico 29. Condición de Flujo y Fracciones Volumétricas (Sedimentador 8)	104
Gráfico 30. Eficiencia Volumétrica de los Sedimentadores.....	105
Gráfico 31. Comparación Gradiente de Velocidad – Mezcla Rápida (Q. Diseño y Operativo)	111
Gráfico 32. Comparación de Gradientes de Velocidad – Floculadores (Q. Diseño y operativo).....	123
Gráfico 33. Comparación de Tiempos de Retención – Floculadores (Q. Diseño y operativo).....	123
Gráfico 34. Comparación de Carga Superficial – Sedimentadores (Q. Diseño y Operativo)	136
Gráfico 35. Comparación de Tiempo de Retención – Sedimentadores (Q. Diseño y Operativo)	137
Gráfico 36. Tasas de filtración (Q. Diseño y operativo).....	140
Gráfico 37. Comportamiento del Crecimiento Poblacional a 25 años	148
Gráfico 38. Volumen de Agua Producida – Año 2019.....	149
Gráfico 39. Volumen de Agua Facturada – Año 2019.....	149
Gráfico 40. Volumen de Agua No Contabilizada – Año 2019	150
Gráfico 41. % de Pérdidas de Agua en el Sistema – Año 2019.....	150
Gráfico 42. Comportamiento de las Pérdidas Técnicas Máximas del Sistema y Dotación Bruta	152
Gráfico 43. Comportamiento de las demandas medias de agua acorde a su uso	154
Gráfico 44. Comportamiento de las demandas máximas de agua.....	156
Gráfico 45. Capacidades Volumétricas - Tanque de Almacenamiento	159
Gráfico 46. Comportamiento del Déficit de Volumen del Tanque	161

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Canal de aproximación para la captación	65
Figura 2. Muro de control del flujo de captación	66
Figura 3. Esquema del canal de aducción	67
Figura 4. Sistema de pre tratamiento.....	68
Figura 5. Dosificador de Coagulante.....	69
Figura 6. Condiciones inseguras en unidad de Mezcla Rápida	70
Figura 7. Condiciones del canal de admisión a floculador	71
Figura 8. Condiciones de las unidades de sedimentación	75
Figura 9. Placas desechadas y paneles de colmena de reemplazo	75
Figura 10. Flujograma del procedimiento de análisis de flujo mediante ensayo de trazadores	78
Figura 11. Lugares donde se hizo la toma de muestra de agua	79
Figura 12. Canaletas secundarias en los filtros	139
Figura 13. Canaleta principal de lavado en los filtros.....	139

LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1. Curva de tendencia de concentración del trazador en el efluente del reactor.....	39
Ilustración 2. Localización de la ciudad de Valledupar.....	45
Ilustración 3. Sistema de acueducto de la ciudad de Valledupar.....	47
Ilustración 4. Plantas de Tratamiento de Agua Potable del municipio de Valledupar	47
Ilustración 5. PTAP La Gota Fría	49
Ilustración 6. Logotipo de EMDUPAR S.A. E.S.P	52
Ilustración 7. Infraestructura Existente del sistema de tratamiento de agua potable de la ciudad de Valledupar perteneciente a la empresa EMDUPAR S.A. E.S.P.	163
Ilustración 8. Áreas Disponibles para posible expansión	164
Ilustración 9. Medidas contiguas a la PTAP La Gota Fría.....	166
Ilustración 10. Medidas de una unidad de floculación.....	167
Ilustración 11. Representación gráfica de la Alternativa Formulada	169

INTRODUCCIÓN

Uno de los desafíos más constantes con el que se enfrenta el hombre en la actualidad, es el manejo apropiado del recurso hídrico, considerando que su adecuada gestión contribuye a una sostenibilidad ambiental, social y económica. Dentro de este contexto el presente trabajo investigativo abarca la temática en cuanto a la necesidad de disponer de un sistema de abastecimiento de agua apropiado, es decir con suministro continuo, de calidad y que pueda abarcar las necesidades de la población, buscando una mejora continua y sobre todo haciendo buen uso del recurso hídrico, para evitar pérdidas y gastos innecesarios que se puedan presentar, obteniendo un sistema que pueda subsistir, y que este en la capacidad de abastecer las necesidades de la población a futuro.

El presente trabajo investigativo está definido en la planta “La gota fría”, la cual hace parte del sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Valledupar, y en la que se pudo establecer que dicha planta opera sobre lo máximo de su capacidad, generando que sus unidades trabajen sobrecargadas y con ello una disminución en la calidad del agua potabilizada que se suministra, infiriendo que no será capaz de abastecer las necesidades de la población futura, por lo cual se busca plantear un sistema que este en la capacidad de atender los requerimientos expuestos.

La investigación planteada se realizó en base a visitas de campo en las cuales se obtuvo información que represento una guía para la planificación de las actividades posteriores, entre las cuales se priorizan los análisis hidráulicos aplicados en las unidades de tratamiento de la planta “La Gota Fría”, y el planteamiento de alternativas dirigidos a la resolución de fenómenos físicos y sociales enmarcados dentro de su contexto, y que pertenecen a los tipos de investigación descriptiva y explicativa.

El interés de esta investigación fue dar a conocer el funcionamiento hidráulico de las unidades de la planta de tratamiento de agua potable “La Gota Fría” con el fin de servir como soporte al planteamiento de alternativas dirigidas al déficit de la capacidad instalada del sistema de tratamiento acorde al crecimiento poblacional a futuro, y con ello plantear bases que sirvan como herramientas para la toma de decisiones que busquen garantizar la continuidad, calidad y mejora continua del sistema de agua potable de la ciudad de Valledupar.

Para la ejecución de este proyecto se desarrollaron 4 fases constituidas de la siguiente manera: La primera fase consta de identificar los componentes que caracterizan la planta de tratamiento de agua potable la gota fría, estableciendo las condiciones actuales de operación. La segunda fase consiste en la evaluación de las condiciones hidráulicas de las unidades de tratamiento a través del análisis de flujo y factores que determinan los periodos de retención y análisis del caudal operativo y de diseño. La tercera fase hace referencia al cálculo de la demanda requerida del sistema de tratamiento de agua potable acorde al crecimiento poblacional proyectado de la ciudad de Valledupar y en la cuarta y última se realizó el planteamiento de alternativas en la planta gota fría de acuerdo al déficit de la capacidad instalada.

Al finalizar el documento se exponen conclusiones y recomendaciones de acuerdo a las fases formuladas, esto con el fin de integrar soluciones para el mejoramiento continuo de cada proceso, contribuyendo a la garantía y continuidad del servicio a nivel general.

1. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

La seguridad hídrica y el saneamiento básico dependen de la disponibilidad y el manejo integral del recurso hídrico, pero a medida crece la población mayor es el requerimiento de esta. 844 millones de personas a nivel mundial carecen incluso de un servicio básico de suministro de agua potable, cifra que incluye a 159 millones de personas que dependen de aguas superficiales (OMS, 2019).

A esto se pueden relacionar los inconvenientes que surgen por la capacidad de la tecnología instalada, pues a medida avanzan los estudios en el componente del tratamiento de las aguas surgen requerimientos para la optimización de las unidades, relacionados al mantenimiento hidráulico y estructural de las mismas.

El costo elevado asociado a la manutención de los sistemas de tratamiento no es asumido por las autoridades competentes, conllevando a que las unidades se vuelvan obsoletas y disminuyan considerablemente su eficiencia operativa, problemática que se extiende afectando la continuidad de la prestación del servicio, aumentando el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA) y el Índice de Aguas No Contabilizadas (IANC), siendo éste último representativo de las pérdidas de agua; finalmente no se dan las garantías de los estándares de calidad y seguridad hídrica estipulados en el Decreto 1575 de 2007 y la Resolución 2115 de 2007.

De acuerdo al Informe de Diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Agua Potable de la Ciudad de Valledupar, incluidas en el Contrato 033 – Formulación del Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado de la Ciudad de Valledupar, realizado por el consorcio Plan Maestro de Valledupar (2014), la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) Gota Fría tenía una capacidad máxima de 640 L/s condicionada por las unidades de floculación y sin embargo operaba con un caudal de aproximadamente 840 L/s, debido al requerimiento productivo del sistema de tratamiento.

Esto generaba grandes pérdidas de agua en el canal de admisión (desbordamiento) a los floculadores, así como bajos tiempos de retención en esta misma unidad de tratamiento. Con el diagnóstico del Plan Maestro se concluyó que era necesario disminuir los caudales de operación para evitar la re suspensión del floc y por ende sobre carga en los filtros, que se traduce en carreras de filtración bajas, lavados constantes y aumento de las pérdidas de agua en la misma PTAP (Consortio Plan Maestro Valledupar, 2014).

Otro aspecto relevante es la proyección de Poblaciones y Demandas para la ciudad de Valledupar, incluidas también en el Plan Maestro, donde se evidencia la necesidad de ampliación de las plantas a partir del año 2024, recomendando aumentar la capacidad de los sistemas de tratamiento a una tasa de 630 L/s extras, para poder operar con el estimado de 2369 L/s (Consortio Plan Maestro Valledupar, 2014).

Para diciembre del año 2016 las Plantas de Tratamiento de Agua Potable operaban con un caudal de 2300 L/s, igual al de su capacidad instalada (SUPERSERVICIOS, 2017) y en la actualidad trabajan con una tasa de flujo similar que es mayor al caudal de diseño.

Por consiguiente, se optó por realizar un estudio del comportamiento hidráulico de la PTAP Gota Fría, aprovechando que esta posee características técnicas, operativas y estructurales que permiten formular una solución a la ampliación de la capacidad instalada, para poder para cumplir a cabalidad con los requisitos estipulados por la legislación en cuanto a la calidad del agua y también con los parámetros de diseño consignados en la Resolución 0330 de 2017.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Teniendo en cuenta lo expuesto en el planteamiento del problema, se formula la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son los criterios hidráulicos a

considerar que permitan el mejoramiento continuo de la planta de tratamiento de agua potable “La Gota Fría” del municipio de Valledupar?

2. JUSTIFICACIÓN

La potabilización del agua es fundamental, da garantías para la seguridad alimentaria y el desarrollo socio económico de una comunidad, garantizar un servicio eficiente y continuo, con agua apta para el consumo humano, es uno de los principales objetivos de la Empresa Prestadora de Servicio Público de Valledupar EMDUPAR S.A. E.S.P.

Se tiene que tener en cuenta de que por más que se construyan infraestructuras para satisfacer las necesidades de la población, las principales obras en las que se tiene que pensar y las que tienen que sobresalir son aquellas que se relacionan con el aprovechamiento de los recursos naturales del medio ambiente y buscar mejorar sus aspectos básicos (Fandiño & Camargo, 2013).

Por consiguiente, identificar los aspectos, criterios y características que permitan la mejora en los sistemas de tratamiento, contribuiría de manera significativa a la planificación futura para mantenimientos y aumento de la capacidad instalada de la PTAP Gota Fría, asegurando el crecimiento en la calidad de vida y por ende a generar un pensamiento basado en el riesgo para el uso racionalizado de nuestros recursos hídricos que otorgaría el bienestar institucional, ya que se evita, o se minimiza posibles pérdidas desde el punto de su tratamiento, además de lograr que sean estructuras acordes con los requerimientos asociados.

La importancia del presente estudio se basa en la obtención de una información técnica e hidráulica actualizada de la PTAP Gota Fría, que para EMDUPAR S.A. E.S.P. sirve de apoyo y soporte para toma de decisiones, debido a que esta Empresa de Servicios Públicos viene realizando una importante labor operativa e institucional, en aras de mejorar los índices de satisfacción del cliente.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Estudiar el comportamiento hidráulico de la Planta de Tratamiento de Agua Potable La Gota Fría en Valledupar – Cesar.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar las condiciones operativas de los diferentes procesos y unidades que componen la Planta de Tratamiento de Agua Potable La Gota Fría de la ciudad de Valledupar.

Evaluar las Condiciones Hidráulicas de las Unidades de Tratamiento de Agua Potable de la Planta La Gota Fría de la ciudad de Valledupar.

Calcular la demanda requerida del Sistema de Tratamiento y Abastecimiento de Agua Potable acorde al crecimiento poblacional proyectado de los habitantes de la ciudad de Valledupar.

Plantear alternativas de acuerdo a las condiciones hidráulicas, capacidad instalada y área disponible, que permitan el mejoramiento continuo de la operación futura de la planta de tratamiento de agua potable “La Gota Fría”.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

A nivel regional y local, se han logrado plasmar diferentes estudios que sirven de soporte, para diagnósticos basados en revisión hidráulica, aumento de capacidad instalada y recomendaciones operativas para el buen funcionamiento de las plantas de agua potable. Las siguientes son acordes a la presente investigación:

Díaz (2017), realizó un trabajo de investigación en el cual su objetivo principal era la Evaluación y Optimización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del municipio de Tena en el departamento de Cundinamarca, logrando obtener un diagnóstico técnico e hidráulico del estado de la PTAP, evaluando las características del afluente y efluente, y de acuerdo a los resultados obtenidos, elaboraron 3 alternativas de optimización, en el diseño de la unidad de floculación, el porcentaje de pérdidas técnicas y una modificación difusor del cloro, concluyendo así que dichas alternativas cumplen con el objetivo de su proyecto, en mejorar la calidad de vida de los habitantes del municipio de Tena.

Quiñones & Rojas (2017), en su tesis Diseño del Plan de Optimización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la vereda el Tobal, Subachoque, obtuvieron a partir de una metodología basada principalmente en un análisis de las proyecciones de caudales, condiciones hidráulicas, aspectos críticos y análisis económico, en el cual determinaron un sobredimensionamiento de la planta y los principales cambios que allí requería, para finalmente diseñar el plan de optimización junto con un análisis económico, que fue presentado a las autoridades de dicha vereda para su posterior aplicación.

Cruz & Sánchez (2017), presentaron una investigación denominada diagnóstico y optimización de la planta de tratamiento de agua potable en el municipio de miraflores – Boyacá, llevada a cabo mediante una evaluación cualitativa y

cuantitativa, en el cual una vez analizadas el estado actual de las estructuras, se identificaron problemas y falencias, por el cual se analizó la optimización de la estructura, teniendo en cuenta la población proyectada y el caudal a tratar, en el cual se dimensiono los componentes de la estructura y se plantea un diseño convencional y la construcción de nuevos elementos tecnológicos con el fin de lograr una mayor eficiencia y un funcionamiento apropiado de los sistemas.

López & Jiménez (2016) El proyecto planteado por los autores, establece el diagnóstico del Acueducto Regional Su cuneta, basados en las normas técnicas de calidad del agua potable, obteniendo información acerca de la demanda poblacional y los aspectos técnicos operacionales del sistema de potabilización, como apoyo a la PTAP y como producto del análisis de los procesos y funciones, elaboraron un Manual de operación y mantenimiento con el fin de facilitar el desarrollo y correcto funcionamiento de la misma. Además, se realizaron recomendaciones entre las cuales están, mantenimiento exhaustivo a la planta, capacitaciones al personal, pruebas constantes y correspondientes análisis de los datos con mayor cuidado entre otros.

López & Cabrera (2014). Los autores presentan una propuesta de optimización del sistema de tratamiento de agua potable del batallón de Ingenieros General Manuel Alberto Murillo Gonzales de Valledupar, con el fin de garantizar el eficiente suministro de agua potable, elaborando así mismo recomendaciones para su correcto funcionamiento, entre las que están, implementación de un plan de ahorro y uso eficiente de agua, mantenimientos preventivos y recomendaciones adicionales de diseño como solución al conjunto de problemas que afronta actualmente dicha planta.

Fandiño & Camargo (2013), mediante un Diagnóstico, realizado a la Planta de Agua Potable en el municipio de Purificación en el Departamento del Tolima, 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.

Díaz, Peraza & Tavera (2010), Los autores presentan una Evaluación Hidráulica de la Planta de Tratamiento de Agua Potable “La Gota Fría”, mostrando como resultado un análisis detallado del funcionamiento del comportamiento hidráulico de cada una de las unidades que la componen, de su eficiencia y de la forma en que está siendo operada, controlada, mantenida y administrada, teniendo como fin obtener una herramienta importante para el personal que tiene la responsabilidad de operar la planta para facilitar la identificación de defectos de cualquier tipo que puedan afectar la eficiencia y dar recomendaciones que representen las solución parcial o inmediata.

4.2. MARCO TEÓRICO

4.2.1. Tratamiento de Agua Potable

El tratamiento de aguas se conoce como la forma más antigua que el ser humano ha conseguido para eliminar los residuos y mejorar la calidad en cuanto a olor, color, sabor y apariencia (Salamanca, 2016)

En la actualidad, las técnicas de uso general para el tratamiento de aguas de abastecimiento para consumo humano se complementan con procesos físicos, químicos o biológicos (Salamanca, 2016).

Los procesos de tratamientos físicos son los que no generan sustancias nuevas, sino que concentran los contaminantes al evaporar el agua o filtran los sólidos de tamaño considerable. Los más comunes son (Salamanca, 2016):

- Filtración
- Adsorción
- Aireación
- Floculación
- Clarificación o sedimentación

Los procesos de tratamientos químicos son en los cuales resultan nuevas sustancias. Los más comunes son (Salamanca, 2016):

- Coagulación
- Desinfección
- Ablandamiento
- Oxidación

Los procesos de tratamientos biológicos usan organismos vivos para provocar cambios químicos (Salamanca, 2016):

- Digestión aerobia
- Digestión anaerobia

Esta clasificación se basa en su naturaleza funcional, desde el grado operativo se consideran como procesos unitarios, puesto que son combinaciones de los métodos y técnicas de tratamientos en unidades con un orden determinado y especializado.

4.2.1.1. Procesos Unitarios en el Tratamiento de Agua

El Centro Panamericano de Ingeniería y Ciencias del Ambiente y la Organización Panamericana para la Salud, CEPIS/OPS (2004), considera los siguientes procesos de transferencia para el tratamiento de agua para consumo humano:

4.2.1.1.1. Transferencia de Sólidos

Integran los siguientes procesos (CEPIS/OPS, 2004):

- Cribado o cernido

Consiste en hacer pasar el agua a través de rejas o tamices, los cuales retienen los sólidos de tamaño mayor a la separación de las barras, como ramas, palos y toda clase de residuos sólidos. También está considerado en esta clasificación el micro cernido, que consiste básicamente en triturar las algas reduciendo su tamaño para que puedan ser removidas mediante sedimentación.

- Sedimentación

Consiste en promover condiciones de reposo en el agua, para remover, mediante la fuerza gravitacional, las partículas en suspensión más densas. Este proceso se realiza en los desarenadores, presedimentadores, sedimentadores y decantadores; en estos últimos, con el auxilio de la coagulación.

- Flotación

El objetivo de este proceso es promover condiciones de reposo, para que los sólidos cuya densidad es menor que la del agua asciendan a la superficie de la unidad de donde son retirados por desnatado. Para mejorar la eficiencia del proceso, se emplean agentes de flotación.

Mediante este proceso se remueven especialmente grasas, aceites, turbiedad y color. Los agentes de flotación empleados son sustancias espumantes y microburbujas de aire.

- Filtración

Consiste en hacer pasar el agua a través de un medio poroso, normalmente de arena, en el cual actúan una serie de mecanismos de remoción cuya eficiencia depende de las características de la suspensión (agua más partículas) y del medio poroso.

Este proceso se utiliza como único tratamiento cuando las aguas son muy claras o como proceso final de pulimento en el caso de aguas turbias.

Los medios porosos utilizados además de la arena (que es el más común) son la antracita, el granate, la magnetita, el carbón activado, la cáscara de arroz, la cáscara de coco quemada y molida y también el pelo de coco en el caso de los filtros rápidos. En los filtros lentos lo más efectivo es usar exclusivamente arena; no es recomendable el uso de materiales putrescibles.

4.2.1.1.2. Transferencia de Iones

Integran los siguientes procesos (CEPIS/OPS, 2004):

- Coagulación química

La coagulación química consiste en adicionar al agua una sustancia que tiene propiedades coagulantes, la cual transfiere sus iones a la sustancia que se desea remover, lo que neutraliza la carga eléctrica de los coloides para favorecer la formación de flóculos de mayor tamaño y peso.

Los coagulantes más efectivos son las sales trivalentes de aluminio y fierro. Las condiciones de pH y alcalinidad del agua influyen en la eficiencia de la coagulación. Este proceso se utiliza principalmente para remover la turbiedad y el color.

- Precipitación química

La precipitación química consiste en adicionar al agua una sustancia química soluble cuyos iones reaccionan con los de la sustancia que se desea remover, formando un precipitado. Tal es el caso de la remoción de hierro y de dureza carbonatada (ablandamiento), mediante la adición de cal.

- Intercambio iónico

Como su nombre lo indica, este proceso consiste en un intercambio de iones entre la sustancia que desea remover y un medio sólido a través del cual se hace pasar el flujo de agua. Este es el caso del ablandamiento del agua mediante resinas, en el cual se realiza un intercambio de iones de calcio y magnesio por iones de sodio, al pasar el agua a través de un medio poroso constituido por zeolitas de sodio. Cuando

la resina se satura de iones de calcio y magnesio, se regenera introduciéndola en un recipiente con una solución saturada de sal.

- Absorción

La absorción consiste en la remoción de iones y moléculas presentes en la solución, concentrándolos en la superficie de un medio adsorbente, mediante la acción de las fuerzas de interfaz. Este proceso se aplica en la remoción de olores y sabores, mediante la aplicación de carbón activado en polvo.

4.2.1.1.3. Transferencia de Gases

Integran los siguientes procesos (CEPIS/OPS, 2004):

- Aireación

La aireación se efectúa mediante caídas de agua en escaleras, cascadas, chorros y también aplicando el gas a la masa de agua mediante aspersion o burbujeo.

Se usa en la remoción de hierro y manganeso, así como también de anhídrido carbónico, ácido sulfhídrico y sustancias volátiles, para controlar la corrosión y olores.

- Desinfección

Consiste en la aplicación principalmente de gas cloro y ozono al agua tratada.

- Recarbonatación

Consiste en la aplicación de anhídrido carbónico para bajar el pH del agua, normalmente después del ablandamiento.

4.2.1.1.4. Transferencia Molecular

En el proceso de purificación natural del agua. Las bacterias saprofitas degradan la materia orgánica y transforman sustancias complejas en material celular vivo o en sustancias más simples y estables, incluidas los gases de descomposición.

También los organismos fotosintéticos convierten sustancias inorgánicas simples en material celular, utilizando la luz solar y el anhídrido carbónico producto de la actividad de las bacterias y, a la vez, generan el oxígeno necesario para la supervivencia de los microorganismos aeróbicos presentes en el agua.

Este tipo de transferencia se lleva a cabo en la filtración, en la cual los mecanismos de remoción más eficientes se deben a la actividad de los microorganismos.

4.2.1.1.5. Otros procesos

Como lo son (CEPIS/OPS, 2004):

- Estabilización de solutos

La estabilización de solutos consiste en transformar un soluto objetable en una forma inocua, sin llegar a su remoción. Son ejemplos de este proceso la transformación del anhídrido carbónico contenido en el agua en bicarbonato soluble mediante la adición de cal o el pasar el agua a través de lechos de mármol. También se puede citar la transformación de ácido sulfhídrico en sulfato.

- Desalinización

Proceso mediante el cual se remueve el exceso de cloruros en el agua, transformando las aguas salobres en dulces. Este proceso se puede realizar mediante destilación, ósmosis inversa, etcétera.

4.2.1.2. Tipos de Sistemas de Potabilización

De acuerdo a la CEPIS/OPS (2004) se pueden clasificar, de acuerdo con la tecnología usada en el proyecto para el cual se destinará. Hay plantas de filtración rápida, en las cuales encontramos las de filtración rápida y las de filtración directa; y hay plantas de filtración lenta.

4.2.1.2.1. Plantas de filtración rápida

Normalmente están integrada por los procesos de coagulación, decantación, filtración y desinfección, y se caracterizan por (CEPIS/OPS, 2004):

- Sus filtros operan con velocidad altas, entre 80 y 300 m³/m²-día.
- La consecuencia de la velocidad conduce a que se colmaten los filtros en un lapso de 40 a 50 horas.
- En situaciones de colmatación se aplica el retro lavado o lavado ascensional durante 5 a 15 minutos.
- De acuerdo con la calidad del agua a tratar se clasifican en dos: filtración rápida completa y filtración directa.

4.2.1.2.2. Plantas de filtración directa

Es una alternativa de la filtración rápida, constituidos por los procesos de mezcla rápida (constituyente de la coagulación) y la filtración. Solo es apropiada para aguas claras (CEPIS/OPS, 2004).

4.2.1.2.3. Plantas de filtración lenta

Operan con tasas que varían entre 0,10 y 0,30 m/hr (100 veces menor a la filtración rápida). (CEPIS/OPS, 2004).

4.2.1.2.4. Clasificación según su Tecnología

Las plantas también pueden ser clasificadas por su tecnología, en Latinoamérica son común encontrar las siguientes (CEPIS/OPS, 2004):

- Sistemas de tecnología convencional clásica o antigua.
- Sistemas convencionales de alta tasa o de tecnología CEPIS/OPS.
- Sistemas de tecnología patentada, normalmente importada de los países desarrollados.

La tecnología CEPIS/OPS es líder debido a que, en comparación con la tecnología convencional clásica, requieren menos área y volumen para realizar los mismos procesos unitarios y a menor costo de tiempo y dinero. Respecto a la tecnología patentada, la tecnología CEPIS/OPS opera de manera hidráulica sin uso de energía eléctrica (CEPIS/OPS, 2004).

4.2.1.3. Unidades de Tratamiento

4.2.1.3.1. Coagulación

La remoción de las partículas coloidales está relacionada estrictamente con una adecuada coagulación, pues de ella depende la eficiencia de las siguientes etapas: floculación, sedimentación y filtración (CEPIS/OPS, 2004).

La coagulación está fundamentalmente en función de las características del agua y de las partículas presentes, las mismas que definen el valor de los parámetros conocidos como pH, alcalinidad, color verdadero, turbiedad, temperatura, movilidad electroforética, fuerza iónica, sólidos totales disueltos, tamaño y distribución de tamaños de las partículas en estado coloidal y en suspensión, etcétera (CEPIS/OPS, 2004).

4.2.1.3.2. Mezcla Rápida

Se denomina mezcla rápida a las condiciones de intensidad de agitación y tiempo de retención que debe reunir la masa de agua en el momento en que se dosifica el coagulante, con la finalidad de que las reacciones de coagulación se den en las condiciones óptimas correspondientes al mecanismo de coagulación predominante. La dosificación se realiza en la unidad de mezcla rápida; por lo tanto, estas condiciones son las que idealmente debe reunir esta unidad para optimizar el proceso (CEPIS/OPS, 2004).

4.2.1.3.3. Floculación

La floculación se analiza como un proceso causado por la colisión entre partículas. En ella intervienen, en forma secuencial, tres mecanismos de transporte (CEPIS/OPS, 2004):

- Floculación pericinética o browniana. Se debe a la energía térmica del fluido.
- Floculación ortocinética o gradiente de velocidad. Se produce en la masa del fluido en movimiento.

- Sedimentación diferencial. Se debe a las partículas grandes, que, al precipitarse, colisionan con las más pequeñas, que van descendiendo lentamente, y ambas se aglomeran.

Al dispersarse el coagulante en la masa de agua y desestabilizarse las partículas, se precisa de la floculación pericinetica para que las partículas coloidales de tamaño menor de un micrómetro empiecen a aglutinarse. El movimiento browniano actúa dentro de este rango de tamaño de partículas y forma el microfloculo inicial. Recién cuando este alcanza el tamaño de un micrómetro empieza a actuar la floculación ortocinetica, promoviendo un desarrollo mayor del microfloculo (CEPIS/OPS, 2004).

4.2.1.3.4. Sedimentación

La sedimentación es, en esencia, un fenómeno netamente físico y constituye uno de los procesos utilizados en el tratamiento del agua para conseguir su clarificación. Está relacionada exclusivamente con las propiedades de caída de las partículas en el agua. Cuando se produce sedimentación de una suspensión de partículas, el resultado final será siempre un fluido clarificado y una suspensión más concentrada. A menudo se utilizan para designar la sedimentación los términos de clarificación y espesamiento. Se habla de clarificación cuando hay un especial interés en el fluido clarificado, y de espesamiento cuando el interés está puesto en la suspensión concentrada (CEPIS/OPS, 2004).

4.2.1.3.5. Filtración

Los filtros son las unidades más complejas de una planta de tratamiento de agua. Su correcta concepción depende de la interrelación que exista entre las características de la suspensión afluente y los rasgos del medio filtrante, para que predominen los mecanismos de filtración apropiados que darán como resultado la máxima eficiencia posible. El trabajo experimental mediante un filtro piloto es la forma más segura de seleccionar las características de la unidad y los parámetros de diseño para una suspensión determinada (CEPIS/OPS, 2004).

4.2.2. Análisis de Flujo en PTAP

Muchas plantas de tratamiento de agua no tienen la eficiencia esperada por deficiencias hidráulicas que ocasionan determinadas características de flujo en la unidad y que afectan los periodos de retención del agua en los reactores. Estas situaciones tienen su origen en las deficiencias de diseño o en prácticas inadecuadas de operación de las unidades (CEPIS/OPS, 2004).

Las metodologías recomendadas por el CEPIS/OPS, para determinar las características del flujo en las unidades son: el modelo simplificado de Wolf-Resnick y el análisis de curva de tendencia del trazador.

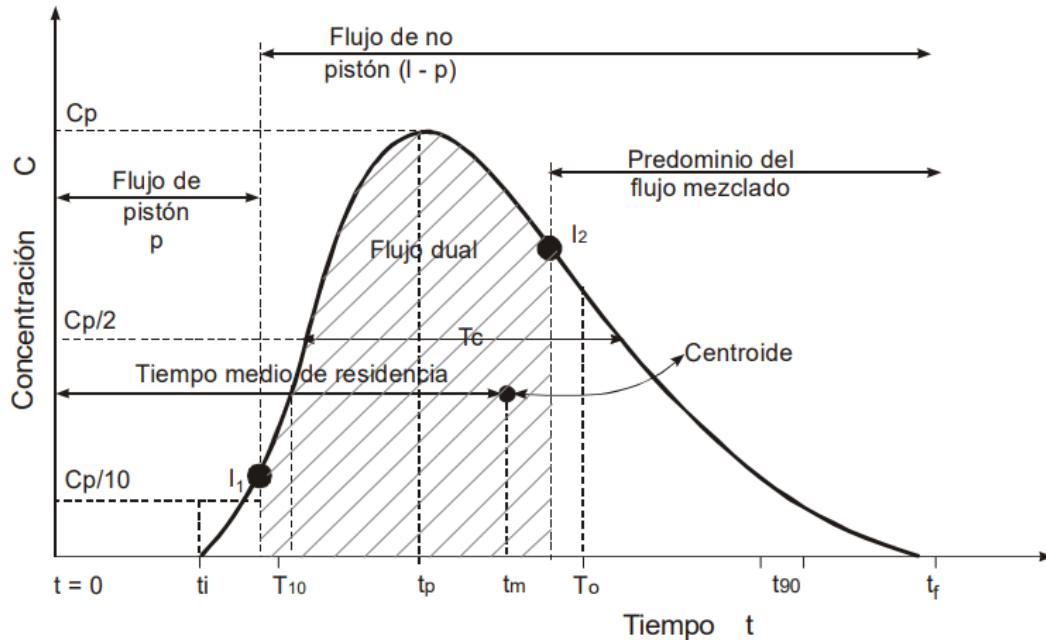
4.2.2.1. Ensayo de trazadores

En plantas de tratamiento su uso ha sido limitado, pero muy útil para determinar la distribución del flujo en unidades paralelas y evaluar las condiciones hidráulicas. En la actualidad estos ensayos se utilizan principalmente para determinar los tiempos reales de retención y sus principales características concomitantes: tipos de flujo, espacios muertos y cortocircuitos hidráulicos en unidades de tratamiento como mezcladores rápidos, floculadores, sedimentadores, así como en modelos de reactores en etapa de diseño para conocer su comportamiento hidráulico y deficiencias en forma previa a su construcción, lo cual es de enorme utilidad práctica. También tienen aplicación los ensayos de trazadores para la medición de caudal (CEPIS/OPS, 2004).

Un ensayo de trazadores consiste en agregar la sustancia trazador en el afluente del tanque o reactor que se quiere analizar, con una concentración conocida y determinando a la salida la forma como dicha concentración se distribuye a través del tiempo (CEPIS/OPS, 2004).

4.2.2.1.1. Modelo Simplificado de Wolf-resnick y Curva de Tendencia del Trazador

Ha sido práctica común establecer la eficiencia hidráulica de un reactor analizando la tendencia de la curva de concentración del trazador y relacionar sus diferentes parámetros con condiciones de flujo (CEPIS/OPS, 2004).



*Ilustración 1. Curva de tendencia de concentración del trazador en el efluente del reactor
Fuente: CEPIS/OPS, 2005*

Al aplicar trazadores a un reactor y analizar las muestras de agua tomadas a la salida, se obtiene una serie de valores de concentración que aumentan con el tiempo hasta llegar a un máximo y luego disminuyen progresivamente, lo que origina una curva como la anterior (CEPIS/OPS, 2004).

A partir de la aplicación de este método se pueden obtener los siguientes parámetros (CEPIS/OPS, 2004):

- t_i : Tiempo inicial desde que se aplica el trazador hasta que aparece en el efluente.
- t_{10} : Tiempo correspondiente al paso del 10% de la cantidad total del trazador.

- tp : Tiempo modal, correspondiente a la presentación de la máxima concentración.
- tm : Tiempo mediano, correspondiente al paso del 50% de la cantidad del trazador.
- to : Tiempo medio de retención o tiempo teórico de retención.
- t₉₀ : Tiempo correspondiente al paso del 90% de la cantidad total del trazador.
- tf : Tiempo que transcurre hasta que atraviesa la totalidad del trazador al reactor.
- Co : Concentración inicial.
- Cp : Concentración máxima a la salida.

Estos criterios se pueden relacionar como se distingue a continuación (CEPIS/OPS, 2004):

Tabla 1. Criterios relativos para el análisis de flujo y factores determinantes del tiempo de retención

Criterios / Indicador	Descripción
$\frac{t_i}{t_o}$	Mide los cortocircuitos grandes. Es igual a 1 para flujo de pistón y a 0 para el flujo mezclado. Si el valor de la relación es (< 0,3), puede significar que existe paso directo del trazador entre la entrada y la salida (cortocircuito hidráulico).
$\frac{t_m}{t_o}$	Si la relación es menor que la unidad, existen cortocircuitos hidráulicos. Si es mayor, hay errores experimentales o existen zonas donde el trazador ha quedado retenido por un cierto tiempo (espacios muertos), para luego salir lentamente, con lo que la rama descendente de la curva presenta una forma

Criterios / Indicador	Descripción
	alargada, que desplaza el centroide del área y aumenta el valor de t_m , haciendo $t_m > t_o$.
$\frac{t_p}{t_o}$	Indica la relación de flujo de pistón y flujo mezclado. Cuando es igual a 1, existe únicamente flujo de pistón, y cuando es 0, existe flujo mezclado. Cuando la relación t_p/t_o se aproxima a 1 y $t_i/t_o > 0,5$, se puede concluir que existe predominio de flujo de pistón, y cuando se aproxima a 0, existe predominio de flujo mezclado.
$\frac{t_c}{t_o}$	Está relacionado en general con la difusión debida a corrientes de inercia (turbulencia). Es igual al cociente $(\Delta t_o/t_o)$ (razón de tiempo de inyección) para el flujo estable ideal y aproximadamente del orden de 0,7 para flujo mezclado.
$\frac{t_b}{t_o}$	Está relacionado con las características de inercia turbulentas y de recirculación grande. Es igual al cociente $\Delta t_o/t_o$ (razón de tiempo de inyección) para el flujo estable ideal y del orden de 2,3 para flujo mezclado ideal.
$e = \frac{(t_f - t_p) - t_p - t_i}{t_o}$	Expresa la excentricidad de la curva y, por lo tanto, es función de la recirculación. Es igual a (0) para flujo de pistón y mayor de 2,3 para flujo mezclado ideal.

El segmento comprendido entre el 10% y el 90% es el más regular y por eso Morrill sugirió que la relación entre uno y otro se tomara como índice de dispersión. Así

Índice de morril:

Este autor encontró que al acumular los datos sobre cantidad de trazador que pasa, expresado en

Criterios / Indicador	Descripción
$\text{Indice de Morril} = \frac{t_{90}}{t_{10}}$	porcentajes y dibujados en papel que tenga escala de probabilidades en las abscisas y escala logarítmica en las ordenadas para diferentes tiempos, se obtenía aproximadamente una línea recta

Fuente: CEPIS/OPS, 2004.

4.3. MARCO CONCEPTUAL

Agua Potable: Agua que, por reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos, en las condiciones señaladas en el Decreto 475 de 1998, puede ser consumida por la población humana sin producir efectos adversos a la salud (MinDesarrollo, 2000).

Ampliación: se denomina ampliación de un sistema al conjunto de acciones y obras requeridas para aumentar su capacidad de una misma área de cobertura (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017)

Capacidad Hidráulica: Caudal que puede manejar un componente o una estructura hidráulica conservando sus condiciones normales de operación (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

Carga Superficial: Caudal o masa de un parámetro por unidad de área y por unidad de tiempo, que se emplea para dimensionar un proceso de tratamiento (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

Dotación bruta: Es la cantidad de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante considerado para su cálculo el porcentaje de pérdidas técnicas que ocurran en el sistema de acueducto. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

Dotación: Cantidad de agua asignada a una población o a un habitante para su consumo en cierto tiempo, expresada en términos de litro por habitante por día o dimensiones equivalentes. (MinDesarrollo, 2000)

Dotación neta: Cantidad de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante sin considerar las pérdidas técnicas que ocurran en el sistema de acueducto. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017)

Eficiencia de tratamiento o remoción: Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración en el afluente, para un proceso o planta de tratamiento y un parámetro específico; normalmente se expresa en porcentajes. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017)

Efluente: Flujo proveniente de un sistema hidráulico. (MinDesarrollo, 2000)

Floculador: Estructura diseñada para crear condiciones adecuadas para aglomerar las partículas desestabilizadas en la coagulación y obtener flóculos grandes y pesados que decanten con rapidez y que sean resistentes a los esfuerzos cortantes que se generan en el lecho filtrante (NPT 020-2010, 2010).

Filtración: Proceso mediante el cual se remueven las partículas suspendidas y coloidales del agua al hacerlas pasar a través de un medio poroso (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

Lecho de filtración: medio constituido por material granular poroso por el cual se hace percolar el flujo (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

Modelo Hidráulico: Formulación idealizada que representa la respuesta de un sistema hidráulico a estímulos externos (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

Optimización: conjunto de acciones encaminadas a mejorar la capacidad, eficiencia y eficacia de la infraestructura componente del sistema de acueducto, alcantarillado y/o aseo, mediante su intervención parcial o total (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

Parámetros de diseño: Criterios preestablecidos con los que se diseñan y construyen cada uno de los equipos de la planta de tratamiento. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2000)

Periodo de diseño: Tiempo para el cual se diseña un sistema o los componentes de éste, en el cual su(s) capacidad(es) permite(n) atender la demanda proyectada para este tiempo. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2000)

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 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017)

Riesgo: potenciales consecuencias económicas, sociales o ambientales que se pueden generar como resultado de los daños o la pérdida de función de un sistema (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

Vida útil: tiempo estimado para la duración de un equipo o componente de un sistema sin que sea necesaria la sustitución del mismo; en este tiempo solo se requieren labores de mantenimiento para su adecuado funcionamiento (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

4.4. MARCO CONTEXTUAL

4.4.1. Contexto General

Valledupar es la capital del Departamento del Cesar, cuenta con 204 barrios, 15 asentamientos, 25 corregimientos y 102 veredas, con una extensión de 4.192 kilómetros cuadrados (km²) (el 18% de la extensión del departamento) de los cuales el 40% corresponden a área de protección forestal según la Ley 2^a de 1959. El perímetro urbano abarca 50.5 km² y está dividido en seis comunas (Gobierno Municipal de Valledupar, 2016).

Este municipio posee límites geográficos de gran relevancia, su posición es estratégica pues está en el enclave del valle de upar y valle del cesar, entre la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía del Perijá, al margen de los ríos Cesar y Guatapurí, en la Costa Caribe colombiana (Alcaldía Municipal de Valledupar, 2018).

Su territorio es llano y basculado hacia el sureste mediante una leve pendiente. La ciudad se encuentra a una altitud que oscila entre los 220 m al norte y 150 m a sur, siendo la altitud media de 168 m. Además de las enormes estructuras montañosas que la rodean (Pico Bolívar 5.775 m) sobresalen en inmediaciones de la ciudad dos cerros, al nororiente el "Cicolac" con 330 m.s.n.m. y el de "la Popa" con 310 m.s.n.m. (Alcaldía Municipal de Valledupar, 2018).



Ilustración 2. Localización de la ciudad de Valledupar

Fuente: Extraído de Internet.

Valledupar tuvo en 2015 una población total de 453.215 de habitantes concentrados principalmente en la cabecera municipal (el 40% del departamento). Tan sólo el 15% de la población vive en las zonas rurales y corregimentales. No obstante, esta proporción parece destinada a disminuir con el tiempo. La población crece a una tasa de 2.2% anual, pero se proyecta que este crecimiento tienda a disminuir a 2%, de acuerdo a los modelos y proyecciones demográficas del Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE). (Gobierno Municipal de Valledupar, 2016)

4.4.2. Contexto Específico

4.4.2.1. Fuente de Abastecimiento

El río Guatapurí es un río de la Costa Caribe de Colombia, al norte del país, ubicado en el Departamento del Cesar. Nace en la laguna Curigua, en la Sierra Nevada de Santa Marta, a 4.400 metros sobre el nivel del mar. A lo largo de su curso recibe entre otros ríos, Donachui, Curiba, Los Mangos y Mamanqueca. En un descenso de 85 km, su pendiente media es de 20%. Sus aguas son vertidas al río Cesar cerca de la ciudad de Valledupar (ECOFORREST-CORPOCESAR, 1995).

El río Guatapurí en su cuenca media es una corriente de carácter torrencial; se encuentra acorazado por bloques heterométricos de diferente composición, pero predominantemente de rocas ígneas. Alimenta de agua al sistema de acueducto de la ciudad de Valledupar (ECOFORREST-CORPOCESAR, 1995)

4.4.2.2. Sistema de Tratamiento de Agua Potable

Valledupar cuenta con un suministro de agua que recibe tratamiento por las Plantas La Huaricha, con capacidad máxima de 1800 litros por segundo y La Gota Fría, con capacidad máxima de 800 litros por segundo y están integradas por los siguientes procesos de tratamiento:

- Coagulación
- Mezcla Rápida
- Flocculación
- Sedimentación
- Filtración
- Desinfección

En la siguiente ilustración se presenta el esquema general del sistema de acueducto de la ciudad de Valledupar, que integra como corazón los sistemas de tratamiento del agua proveniente del río Guatapurí y abastecida en cinco distritos.

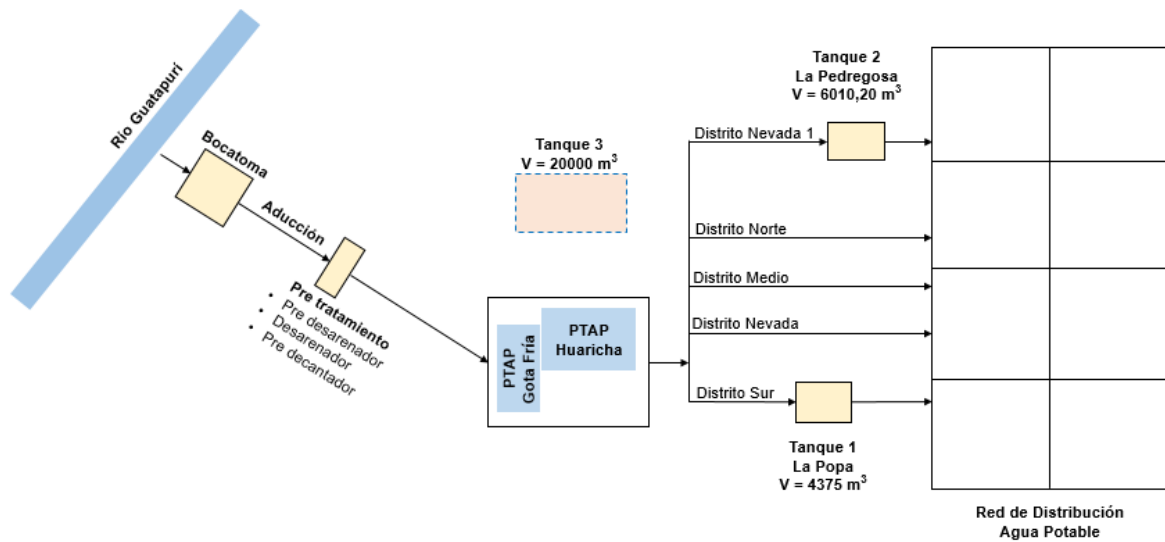


Ilustración 3. Sistema de acueducto de la ciudad de Valledupar
Fuente: Autora, 2020 (tomado de SUPERSERVICIOS, 2017)

En la siguiente imagen satelital se observa cómo se encuentra distribuidas las plantas desde una vista superior.



Ilustración 4. Plantas de Tratamiento de Agua Potable del municipio de Valledupar
Fuente: Tomado de Google Maps, 2020

4.2.2.2.1. Planta de Tratamiento La Gota Fría

En la siguiente tabla se presentan las características generales de la Planta de Tratamiento de Agua Potable “La Gota Fría”.

Tabla 2. Características Generales PTAP La Gota Fría

Parámetros	Descripción
Caudal de Diseño	600 L/s
Caudal promedio de Operación	900 L/s
Porcentaje de Abastecimiento	30%
Área (valor aproximado)	1516 m ²
Mezcla rápida	Vertedero rectangular
Nº de Flocladores	8 unidades tipo Alabama
Nº de Sedimentadores	8 unidades de alta tasa
Nº de Filtros	6 unidades de filtración rápida de lavado, mutua y lecho mixto y arena y antracita.

Fuente: Autora, 2020 (tomado de EMDUPAR S.A. E.S.P.)

En la siguiente representación gráfica se puede observar la PTAP La Gota Fría, con sus unidades de tratamiento.

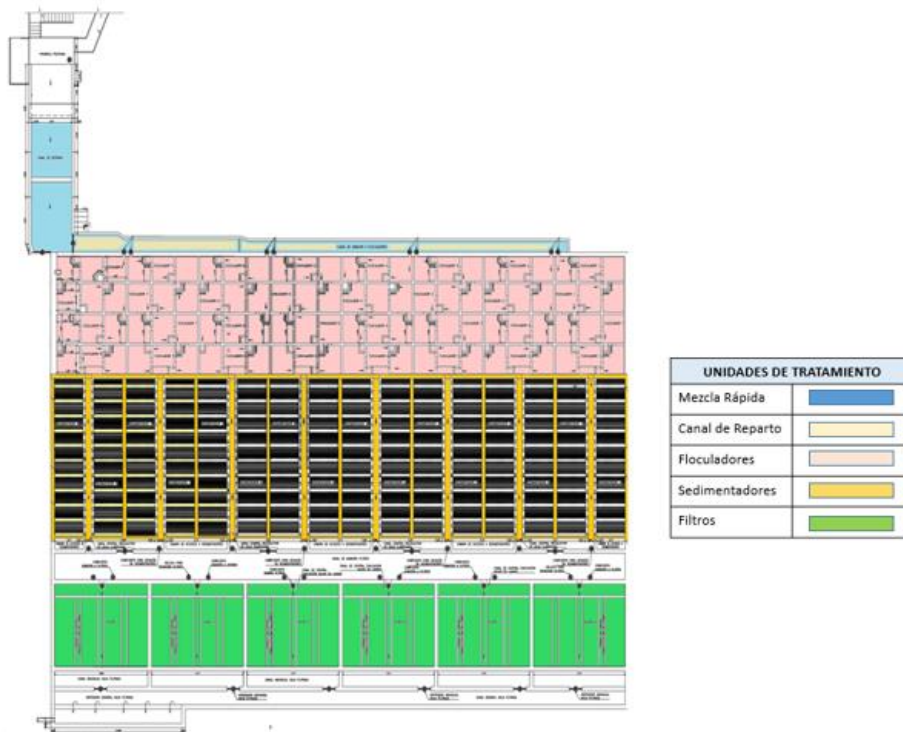


Ilustración 5. PTAP La Gota Fría

Fuente: Autora, 2020 (Tomado de Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado, 2014)

4.5. MARCO LEGAL

Tabla 3. Normativa asociada al proyecto

Normativa	Descripción
Constitución Política de 1991	<p>Artículo 78: La ley regulará el control de calidad de bienes y servicios ofrecidos y prestados a la comunidad, así como la información que debe suministrarse al público en su comercialización. Serán responsables, de acuerdo con la ley, quienes en la producción y en la comercialización de bienes y servicios, atenten contra la salud, la seguridad y el adecuado aprovisionamiento a consumidores y usuarios. El Estado garantizará la participación de las organizaciones de consumidores y usuarios en el estudio de las disposiciones que les conciernen. Para gozar de este derecho las organizaciones deben ser representativas y observar procedimientos democráticos internos.</p>
	<p>Artículo 79: Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente,</p>

Normativa	Descripción
	<p>conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.</p> <p>Artículo 80: El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas.</p> <p>Artículo 82: Es deber del Estado velar por la protección de la integridad del espacio público y por su destinación al uso común, el cual prevalece sobre el interés particular. Las entidades públicas participarán en la plusvalía que genere su acción urbanística y regularán la utilización del suelo y del espacio aéreo urbano en defensa del interés común.</p> <p>Artículo 365: Los servicios públicos son inherentes a la finalidad social del Estado. Es deber del Estado asegurar su prestación eficiente a todos los habitantes del territorio nacional. Los servicios públicos estarán sometidos al régimen jurídico que fije la ley, podrán ser prestados por el Estado, directa o indirectamente, por comunidades organizadas, o por particulares. En todo caso, el Estado mantendrá la regulación, el control y la vigilancia de dichos servicios. Si por razones de soberanía o de interés social, el Estado, mediante ley aprobada por la mayoría de los miembros de una y otra cámara, por iniciativa del Gobierno decide reservarse determinadas actividades estratégicas o servicios públicos, deberá indemnizar previa y plenamente a las personas que en virtud de dicha ley, queden privadas del ejercicio de una actividad lícita.</p> <p>Artículo 366: El bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida de la población son finalidades sociales del Estado. Será objetivo fundamental de su actividad la solución de las necesidades insatisfechas de salud, de educación, de saneamiento ambiental y de agua potable. Para tales efectos, en los planes y presupuestos de la Nación y de las entidades territoriales, el gasto público social tendrá prioridad sobre cualquier otra asignación.</p> <p>Artículo 367: La ley fijará las competencias y responsabilidades relativas a la prestación de los servicios públicos domiciliarios,</p>

Normativa	Descripción
Ley 99 de 1993	<p>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. Los servicios públicos domiciliarios se prestarán directamente por cada municipio cuando las características técnicas y económicas del servicio y las conveniencias generales lo permitan y aconsejen, y los departamentos cumplirán funciones de apoyo y coordinación. La ley determinará las entidades competentes para fijar las tarifas.</p> <p>Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.</p>
Ley 09 de 1979	Por el cual se dicta el Código Sanitario Nacional.
Ley 142 de 1994	Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.
Decreto 2811 de 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
Decreto 1575 de 2007	Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.
Decreto 1076 de 2015	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.
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.
Resolución 0330 de 2017	La Resolución 0330 de 2017 expedida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio “Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009”.La Resolución reglamenta los requisitos técnicos que se deben cumplir en las etapas de diseño

Normativa	Descripción
	construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura relacionada con los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo. (ACODAL, 2017)

Fuente: Elaborado por Autora a partir de MINAMBIENTE, 2020

4.6. MARCO INSTITUCIONAL

4.6.1. Información Primaria

Nombre de la Entidad: EMDUPAR S.A. – E.S.P.

Razón social: EMPRESA DE SERVICIOS PÚBLICOS DE VALLEDUPAR

Tipo de Sociedad: Sociedad Anónima

Servicios prestados: Acueducto y Alcantarillado

Zona Urbana Atendida: Valledupar



Ilustración 6. Logotipo de EMDUPAR S.A. E.S.P

Fuente: EMDUPAR S.A. E.S.P.

4.6.1.1. Misión

Prestar servicios de acueducto y alcantarillado con productos y servicios de calidad, contribuyendo a la sostenibilidad Ambiental, Económica y social.

4.6.1.2. 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.

4.6.2. 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.

- 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.

5. MARCO METODOLÓGICO

5.1. LÍNEA Y SUB LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

La línea de investigación en la cual se sustenta la presente tesis, es el que ostenta el Programa de Ingeniería Ambiental & Sanitaria de la Universidad Popular del Cesar, denominada: *Sostenibilidad y Gestión Ambiental* (Programa IAyS, 2019).

Así mismo, se apoya en la sub línea de investigación dependiente de la línea antes mencionada, la cual se denomina: *Gestión Integral del Recurso Hídrico*; soportada en la línea terciaria *Tratamiento de Agua Potable* (Programa IAyS, 2019).

5.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación es descriptiva porque “la meta de la investigadora consiste en describir fenómenos, situaciones, contextos y sucesos; esto es, detallar cómo son y se manifiestan” (Sampieri, Fernández C., Baptista L., & Collado., 2014); información que será recopilada para la aplicación de métodos y técnicas en las unidades de tratamiento de agua potable de la planta La Gota Fría. Así como también es una investigación explicativa, pues con esta se pretende ir “más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales” (Sampieri, Fernández C., Baptista L., & Collado., 2014); resultados que se obtendrán de la aplicación de métodos y técnicas en las unidades de tratamiento de agua potable de la planta La Gota Fría.

5.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo a Hernández M., (2012), los Niveles de Investigación, asociados a la dimensión o alcance del tipo de investigación corresponden al nivel perceptual (por ser una investigación de tipo descriptiva) y al nivel comprensivo (por ser una investigación de tipo explicativa), ya que los objetivos planteados poseen una relación complementaria entre ellos, obedeciendo el carácter holístico en los estudios investigativos y experimentales.

5.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO

Corresponde al Complejo de Sistema de Tratamiento de Agua Potable de la ciudad de Valledupar, integrado desde la bocatoma, pasando por captación, pretratamientos, unidades de tratamiento, desinfección, tanques, distritos de distribución y red de distribución, para suministro a los habitantes del municipio de Valledupar.

Se resalta la existencia de dos Plantas de Tratamiento de Agua Potable: La Huaricha y La Gota Fría, integrada por las unidades: mezcla rápida, canal de coagulación, floculadores, sedimentadores y filtros.

5.5. MUESTRA POBLACIONAL

Corresponde a las unidades de tratamiento (mezcla rápida, canal de coagulación, floculadores, sedimentadores y filtros) de la Planta de Tratamiento de Agua Potable “La Gota Fría”, las cuales serán sometidas a ensayos mediante métodos y técnicas para conocer algunas características hidráulicas que puedan ayudar a redefinir un diseño que sea acorde a la capacidad de demanda futura de la población de la ciudad de Valledupar.

5.6. DESARROLLO METODOLÓGICO

5.6.1. Fase 1: Identificar las condiciones operativas de los diferentes procesos y unidades que componen la Planta de Tratamiento de Agua Potable La Gota Fría de la ciudad de Valledupar

Actividad 1.1. Recolección de información primaria y secundaria

Descripción: Se obtuvo información relacionada a través de planos, documentos bibliográficos y otros soportes documentales que fueron suministrados por la empresa de servicios públicos de Valledupar, EMDUPAR S.A. E.S.P., que representó una guía para la planificación de las actividades posteriores. Se resalta la obtención de indicadores que pueden ser base de comparación y de discusión.

Actividad 1.2. Reconocimiento de los Procesos Unitarios de la Planta La Gota Fría

Descripción: se realizó visitas de inspección y reconocimiento de campo para caracterizar las condiciones operativas que presentan las unidades de tratamiento de la planta en referencia. A partir de la información obtenida se establecieron las condiciones actuales de operación para tener claridad de los procesos de tratamiento, así como los criterios a evaluar de acuerdo al fundamento teórico y normatividad vigente.

5.6.2. Fase 2: Evaluar las Condiciones Hidráulicas de las Unidades de Tratamiento de Agua Potable de la Planta La Gota Fría de la ciudad de Valledupar

Actividad 2.1. Análisis de flujo mediante ensayo de Trazadores

Descripción: Se aplicó el modelo de Wolf-Resnick y Curva de Tendencia, empleando como trazador el Cloruro de Sodio (NaCl) con base a los lineamientos de Análisis de Flujo y Factores que determinan los periodos de retención del Manual III, Tomo 2 del CEPIS/OPS.

Con esta actividad se obtuvo indicadores importantes como lo son:

- ✓ Caudales por unidad de tratamiento
- ✓ Tiempo de Retención Hidráulico
- ✓ Tiempo Inicial de concentración
- ✓ Tiempo pico de concentración
- ✓ Tiempo al 10% de la concentración
- ✓ Tiempo al 50% de la concentración
- ✓ Tiempo al 90% de la concentración
- ✓ Tiempo final de concentración

Que permitieron conocer la predominancia y comportamiento del flujo en cada unidad.

Actividad 2.2. Análisis Hidráulico para el caudal de diseño y operación de las Unidades de Tratamiento

Descripción: se realizó el dimensionamiento de las unidades de tratamiento en base a mediciones de campo y nivelación topográfica. Posteriormente y en base al caudal de diseño y caudal de operación actual se verificaron y compararon indicadores hidráulicos con la resolución 0330 de 2017 y con el Título C: Sistemas de Potabilización, Sección II – Manuales: “Prácticas de buena ingeniería” del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS)¹.

5.6.3. Fase 3: Calcular la demanda requerida del Sistema de Tratamiento y Abastecimiento de Agua Potable acorde al crecimiento poblacional proyectado de los habitantes de la ciudad de Valledupar

Actividad 3.1. Proyección Poblacional

Descripción: Se realizó acorde a la población actual de Valledupar con base a datos obtenidos del DANE (2019) y el Título B: Sistemas de acueducto, Sección II – Manuales: “Prácticas de buena ingeniería” del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), con el fin de establecer la población al horizonte de diseño expuesto en la resolución 0330 de 2017.

- ✓ Proyección poblacional (Método aritmético, geométrico y exponencial)
- ✓ Cálculo de la tasa de crecimiento de la población

¹ Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO C. Sistemas de Potabilización / Vargas Liévano, Armando (Ed.). Bogotá, D.C. Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2010 [disponible en internet: <http://www.minvivienda.gov.co/lists/reglamentoaguasaneamiento/allitems.aspx>]. Recuperado el día 17 de julio de 2020.

Actividad 3.2. Estimación de la Demanda Requerida

Descripción: Se realizó acorde a la población proyectada de Valledupar de la actividad anterior, basados en la resolución 0330 del 2017 y con el Título B: Sistemas de acueducto, Sección II – Manuales: “Prácticas de buena ingeniería” del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS)², con el fin de establecer la dotación y demanda que se requieren.

- ✓ Determinación de la dotación neta
- ✓ Asignación de Pérdidas
- ✓ Determinación de la dotación bruta
- ✓ Estimación de la demanda diaria
- ✓ Determinación del Caudal máximo diario
- ✓ Estimación del Coeficiente de consumo máximo diario, k1.
- ✓ Determinación del Caudal máximo horario
- ✓ Estimación del Coeficiente de consumo máximo horario, k2.
- ✓ Estimación de los Caudales de diseño del sistema de tratamiento
- ✓ Estimación de capacidad volumétrica del tanque

5.6.4. Fase 4: Plantear Alternativas de acuerdo a las condiciones hidráulicas, capacidad instalada y área disponible, que permitan el mejoramiento continuo de la operación futura de la planta de tratamiento de agua potable “La Gota Fría”.

Actividad 4.1. Planteamiento de Alternativa

Descripción: Con los resultados obtenidos en actividades preliminares se plantea la mejor alternativa para aumentar la capacidad instalada de la PTAP La Gota Fría acorde a la proyección de población y área disponible con la que cuenta el sistema

² Ibíd.

de tratamiento y abastecimiento de agua potable de la empresa EMDUPAR S.A.
E.S.P. para la ciudad de Valledupar.

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

6.1. IDENTIFICAR LAS CONDICIONES OPERATIVAS DE LOS DIFERENTES PROCESOS Y UNIDADES QUE COMPONEN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE LA GOTA FRÍA DE LA CIUDAD DE VALLEDUPAR. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN PRIMARIA Y SECUNDARIA

6.1.1. Recolección de información primaria y secundaria

Se realizó búsqueda de documentación relevante del sistema de tratamiento de agua potable de Valledupar, así como planos y cálculos de diseño, manuales de operación y mantenimiento, informes técnicos y operativos, entre otros. La empresa EMDUPAR S.A. E.S.P., facilitó documentos relevantes para la investigación, descritas a continuación:

Tabla 4. Bitácora de Información

Título	Año	Descripción
Informe de Diagnóstico plantas de tratamiento de agua potable ciudad de Valledupar	2014	<p>Concluyen que la ciudad de Valledupar requiere una capacidad de 2369 L/s en el tratamiento de potabilización para el horizonte de diseño proyectado (año 2043). La capacidad actual de tratamiento para garantizar un buen funcionamiento en las plantas es de 1840 L/s. Por lo tanto, habría un déficit de 529 L/s (EMDUPAR S.A. E.S.P., 2014).</p> <p>Debido a las altas pérdidas técnicas presentadas en la red de distribución, que son del orden del 70%, actualmente la ciudad necesitaría una capacidad de tratamiento de aproximadamente de 3300 L/s para una población de 426.765 hab, siendo este caudal demasiado alto para una población de menos de quinientos mil habitantes. De ahí que es de suma importancia, comenzar con un programa de control de pérdidas y optimización de las redes y tanques de</p>

Título	Año	Descripción
		<p>almacenamiento, antes de pensar en una ampliación de la capacidad hidráulica de las plantas existentes. -(EMDUPAR S.A. E.S.P., 2014).</p> <p>Una vez se logre controlar o bajar los índices de pérdidas a valores más aceptables, se debe proyectar un módulo adicional de tratamiento de 530 L/s a partir del año 2029, para suplir la demanda futura. (EMDUPAR S.A. E.S.P., 2014).</p> <p>La PTAP Gota Fría tiene una capacidad máxima de 640 L/s condicionada por las unidades de floculación. Actualmente dicha planta está siendo operada con un caudal de aproximadamente 840 L/s, lo cual genera desbordamiento de agua constante en el canal de admisión a floculadores, bajos tiempos de retención en floculadores y sobrecarga en los filtros. (EMDUPAR S.A. E.S.P., 2014).</p> <p>En las dos plantas de tratamiento, es necesario disminuir el caudal de operación para evitar re suspensión del floc y por ende la sobrecarga en los filtros. Mientras eso no se logre, las plantas seguirán teniendo problemas de sobrecarga en los filtros, lo cual se traduce en carreras de filtración bajas, lavados constantes, desbordamiento de agua y aumento de las pérdidas de agua dentro de la planta. (EMDUPAR S.A. E.S.P., 2014).</p> <p>Las estructuras de las dos plantas presentan fisuras y fugas, por lo que se requiere hacer el mantenimiento de impermeabilización y verificación estructural respectiva. (EMDUPAR S.A. E.S.P., 2014).</p> <p>Las bajas carreras de filtración de 12 horas para temporada seca y hasta de 4 horas en temporada de lluvias, genera un impacto significativo en la producción de agua, debido a que gran parte del agua se debería destinar para la red de distribución, está siendo usada para el lavado de los filtros. (EMDUPAR S.A. E.S.P., 2014).</p>

Título	Año	Descripción
Informe de Alternativas Planta de Tratamiento de Agua Potable ciudad de Valledupar	2014	<p>En las dos plantas es necesario el cambio de lechos filtrantes y del falso fondo en todos los filtros, así como mantenimiento y cambio de compuertas. (EMDUPAR S.A. E.S.P., 2014).</p> <p>La ciudad cuenta con un índice de pérdidas superior al 70%, situación que debe ser optimizada antes de realizar la ampliación de la capacidad de tratamiento del sistema de potabilización. Luego de esta optimización se prevé el requerimiento de la ampliación del sistema a partir del año 2024 (EMDUPAR S.A. E.S.P., 2014).</p> <p>Como única alternativa de solución para alcanzar la capacidad requerida al horizonte de diseño se proyecta un nuevo módulo de tratamiento convencional con capacidad de 630 L/s (EMDUPAR S.A. E.S.P., 2014).</p>
Manual de operación y mantenimiento del sistema de suministro y tratamiento de agua potable EMDUPAR S.A. E.S.P.	2015	<p>En este documento se encuentran una serie de recomendaciones e indicadores físicos del funcionamiento de las unidades de tratamiento, aclarando las actividades a realizar para la evaluación de la operatividad y el requerimiento de mantenimiento.</p> <p>A continuación, se presenta unidad a unidad de tratamiento las consideraciones para tener en cuenta:</p> <p>Mezcla Rápida: Verificación para evitar la entrada de materiales o cuerpos extraños y Medición y control del caudal en forma continua (EMDUPAR S.A. E.S.P., 2015).</p> <p>Floculadores: Verificar para evitar la entrada de materiales o cuerpos extraños, control al tiempo de contacto en la unidad, este debe ser suficiente para permitir que los flóculos alcancen el tamaño y peso adecuado, lo cual es función de la dosis, el gradiente de velocidad y el tiempo que se mantenga la agitación en</p>

Título	Año	Descripción
Evaluación Integral de Prestadores Empresa de Servicios Públicos de Valledupar - EMDUPAR S.A. E.S.P.	2017	<p>concordancia con la prueba de jarras, Control al nivel del agua en las cámaras de floculación y evacuación periódica y oportuna de lodos (EMDUPAR S.A. E.S.P., 2015).</p>
		<p>Sedimentadores: Verificar para evitar la entrada de materiales o cuerpos extraños, control a la agitación de la masa de agua, la cual no debe ser ni muy lenta que favorezca la sedimentación, ni muy rápida que provoque el rompimiento de los flóculos ya formados, control al nivel del agua en las cámaras de sedimentación y Evacuación periódica y oportuna de lodos (EMDUPAR S.A. E.S.P., 2015).</p>
		<p>Filtros: Verificar para evitar la entrada de materiales o cuerpos extraños, Control de turbulencias indebidas y agitación de la arena en el llenado del filtro (EMDUPAR S.A. E.S.P., 2015).</p>
		<p>Los siguientes criterios fueron obtenidos mediante levantamiento de información de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios SUPERSERVICIOS, del sistema de tratamiento y potabilización del agua:</p> <p>En todo el sistema únicamente se cuenta con macromedidor a la entrada de las dos plantas de tratamiento (La Huaricha y La Gota Fría), y en una de las 6 conducciones de salida del tanque de cloración (SUPERSERVICIOS, 2017).</p> <p>El prestador cuenta con un programa de suministro de 24 horas diarias. Sin embargo, EMDUPAR S.A E.S.P reporta que cuando se presentan suspensiones en la PTAP por altas turbiedades del río Guatapurí, se ve afectada toda la red (SUPERSERVICIOS, 2017).</p> <p>Según lo reportado por el prestador, para 2016 se tuvo un IANC estimado en 60%. En el momento de la visita no se contaba con un plan de gestión de</p>

Título	Año	Descripción
Plan Estratégico 2018-2019 "EMDUPAR Avanza en la Prestación de Servicios Públicos"	2019	pérdidas, y según se informó en la empresa en visita se estaba trabajando en él (SUPERSERVICIOS, 2017).
		Durante la visita se evidenció que no se cuenta con un proceso de disposición de los lodos resultantes del proceso de potabilización del agua, así como tampoco se cuenta con un permiso para su vertimiento. Por lo anterior, se identificó un presunto incumplimiento del Artículo 119 de la Resolución 1096 del 2000 (SUPERSERVICIOS, 2017).
		El Índice de Agua No Contabilizada (IANC) para EMDUPAR S.A E.S.P se estimó en 59.6% para la vigencia 2015, y en 58.4% para la vigencia 2016 a partir de la información suministrada por el prestador durante la visita de inspección. Se debe notar que estos valores representan un presunto incumplimiento de lo estipulado en la Resolución CRA 151 de 2001, en donde se establece que el valor máximo para este indicador es del 30% (SUPERSERVICIOS, 2017)
		EMDUPAR S.A E.S.P, en el momento de la visita de inspección, no contaba con un plan de gestión de pérdidas de agua (SUPERSERVICIOS, 2017).
Se presentan los indicadores y metas de Gestión Técnica Operativa, en la cual se resalta el proyecto estratégico "Mantener la calidad del recurso hídrico", siendo un proyecto específico la optimización de los filtros, indicando que solo el 40% de los filtros se encuentran en condiciones óptimas y como meta se presenta cumplir y llevar a un 100% la optimización (EMDUPAR S.A. E.S.P., 2018).		

Fuente: Autora, 2020

6.1.2. Reconocimiento de los Procesos Unitarios de la Planta La Gota Fría

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 La Gota Fría.

6.1.2.1. Descripción General PTAP La Gota Fría

Es una planta de Filtración Rápida Completa con sedimentación de Alta Tasa, el tratamiento está dada por los procesos de captación, aducción, desarenador, mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración y desinfección (EMDUPAR S.A. E.S.P., 2014).

El sistema de captación, aducción y desarenación (éste último abarcando tres componentes: un pre-desarenador, un desarenador y un pre-decantador) es realizado para el suministro de las dos PTAP existentes (EMDUPAR S.A. E.S.P., 2014).

6.1.2.1.1. Captación

El sistema de captación consiste en un dique de derivación de tipo lateral, ubicada en las riberas del Río Guatapurí, que permite que un porcentaje del caudal del río fluya hacia la PTAP del sistema de acueducto para ser tratada. Ésta se encuentra ubicada a 2 kilómetros de la planta de tratamiento (EMDUPAR S.A. E.S.P., 2014).

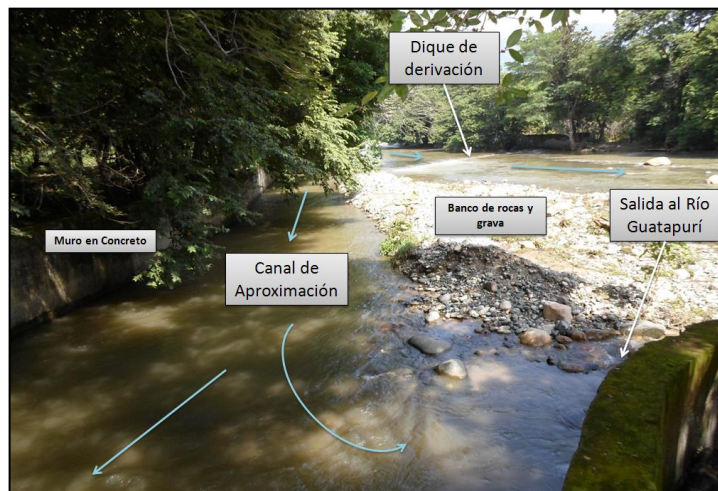


Figura 1. Canal de aproximación para la captación

Fuente: EMDUPAR S.A. E.S.P., 2014

Una vez es derivada el agua, esta fluye por un canal de fondo natural que la conduce hasta un muro de control de flujo, este canal en su margen derecha se encuentra construido en concreto, formando un muro de contención contra la ladera natural con una altura media de 2.22 m. Por otro lado, en su margen izquierda se tiene un banco de rocas y grava de área, que permite la canalización del agua hasta la bifurcación donde se encuentra el muro de control de flujo y un pequeño canal de muros en concreto que permite la salida del agua excedente nuevamente hacia el río Guatapurí (EMDUPAR S.A. E.S.P., 2014).

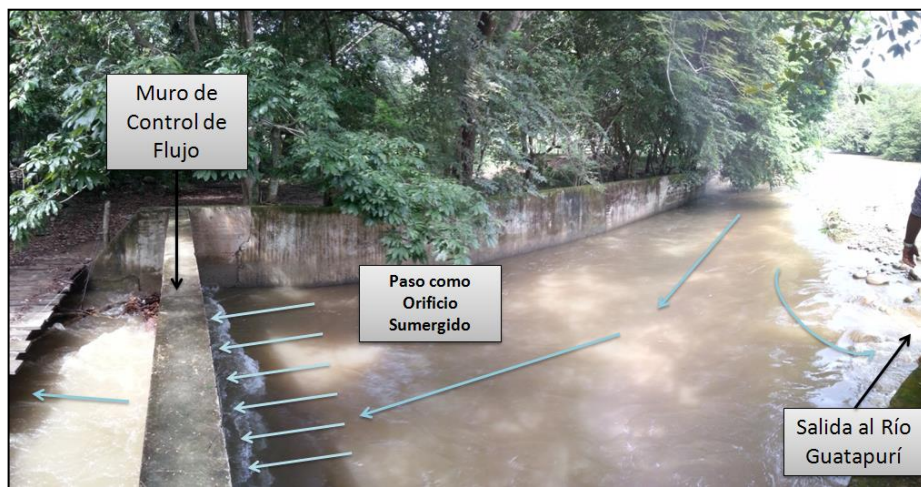


Figura 2. Muro de control del flujo de captación

Fuente: EMDUPAR S.A. E.S.P., 2014

Finalizado el canal de aproximación de la captación, se encuentra un muro de control del flujo que permite el control del paso del agua por medio de un orificio en la parte baja del muro hacia las compuertas de la bocatoma (EMDUPAR S.A. E.S.P., 2014).

6.1.2.1.2. Aducción

El agua es captada y conducida por gravedad hasta el desarenador a través de un canal rectangular que se encuentra construido encima del nivel de terreno natural, con una longitud de 1513,93 m aproximadamente. En el total del recorrido del canal se pueden identificar tres zonas donde su sección transversal varía (EMDUPAR S.A. E.S.P., 2014).



Fotografía 1. Canal de aducción

Fuente: EMDUPAR S.A. E.S.P., 2014

En la siguiente figura se representa en vista superior el recorrido del canal de aducción:

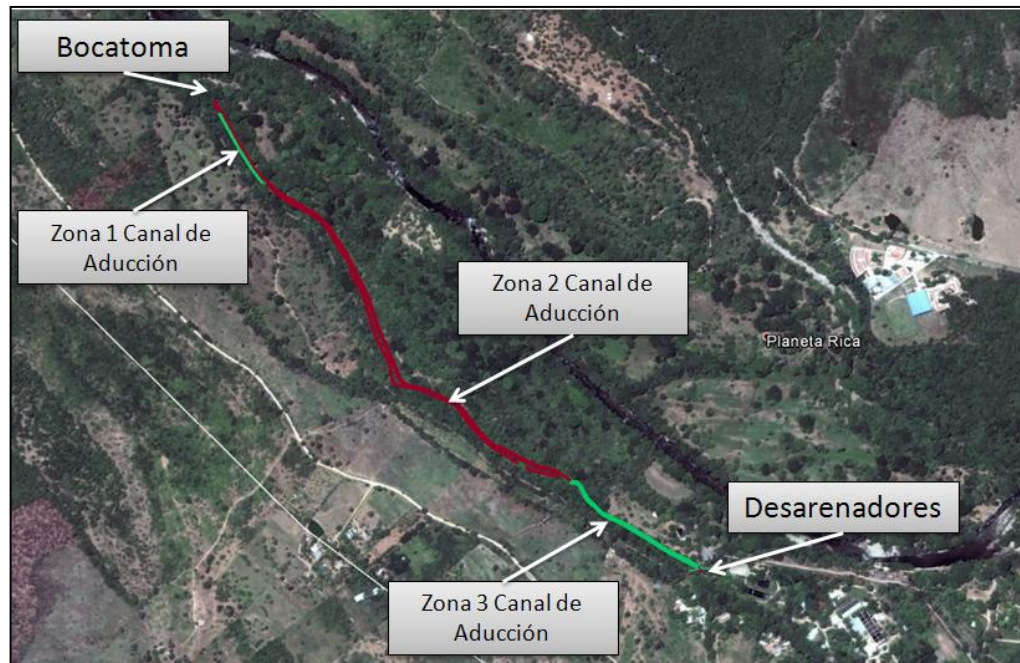


Figura 3. Esquema del canal de aducción

Fuente: EMDUPAR S.A. E.S.P., 2014

6.1.2.1.3. Sistema de desarenación

El sistema de Desarenadores consiste en tres componentes, un pre-desarenador, un desarenador y un pre-decantador los cuales hacen pre-tratamiento antes de pasar a la PTAP (EMDUPAR S.A. E.S.P., 2014).



Figura 4. Sistema de pre tratamiento

Fuente: EMDUPAR S.A. E.S.P., 2014

6.1.2.1.4. Planta de Tratamiento “La Gota Fría”

Esta planta cuenta con un sistema de tratamiento convencional que incluye: un vertedero rectangular para aforo de caudal y mezcla, 8 unidades de floculación tipo Alabama, 8 unidades de sedimentación de alta tasa, y una batería de seis filtros rápidos de lavado mutuo y lecho mixto de Arena y antracita (EMDUPAR S.A. E.S.P., 2014).

6.1.2.1.4.1. Sistema de Dosificación

El sistema de dosificación es mecánico y convencional, El coagulante utilizado en la Planta es Policloruro de Aluminio líquido, este es almacenado en silos y transportado a tanques plásticos de 2000L de capacidad para de ahí ser bombeados al sistema de mezcla rápida. Cuenta con tanques de químicos en buen estado y un sistema de tuberías que sufrieron cambios recientes, sin embargo, en el punto de dosificación para mezcla rápida se identifica que la aplicación del coagulante no es

homogénea debido a que el tubo de distribución concentra la mayor demanda de coagulante en su punto medio y no en todos los extremos de este como se observa en la siguiente figura:



Figura 5. Dosificador de Coagulante

Fuente: Elaboración Propia, 2020

6.1.2.1.4.2. Mezcla Rápida

El agua cruda entra a la planta por una tubería de 40 pulgadas. Como sistema de mezcla rápida, la planta cuenta con un vertedero rectangular tipo Perfil Creager, la aplicación de coagulante se realiza mediante un tubo de distribución, la regla de aforo se encuentra aguas arriba del resalto.



Fotografía 2. Mezcla Rápida

Fuente: Autora, 2020

En esta unidad hidráulica se identificó el peligro por condiciones de seguridad a la cual se exponen los trabajadores debido a que no hay un pasillo para acceder hasta el caudalímetro, ubicado a una altura superior a 2,5 metros, además, existe un tabique de concreto desgastado y con exposición de sus refuerzos, el cual sostiene la boca de salida del tubo de coagulante.



Figura 6. Condiciones inseguras en unidad de Mezcla Rápida

Fuente: Elaboración Propia, 2020

A esto se suma que el caudalímetro no es preciso en su medida, no mide perfectamente las variaciones entre aumentos y descensos del caudal.

6.1.2.1.4.3. Canal de admisión a flocladores

A partir de mezcla rápida se desprende un canal de coagulación y admisión de agua a los flocladores, en el cual es visible la pérdida de agua por desborde y derramamiento, debido a su capacidad hidráulica limitada para atender la demanda operativa de la PTAP.



Figura 7. Condiciones del canal de admisión a floclador

Fuente: Elaboración Propia, 2020

El desbordamiento del agua va hacia las unidades de floclación. Además, se observa que presenta algunas suciedades y restos vegetales como hojas, ramas y otros de origen orgánico como espumas, hay presencia de fenómenos físicos como remolinos que desde el criterio técnico obedece a que las líneas de flujo mantienen un sentido con un régimen turbulento considerablemente alto, muy por encima del deseado.

También se presume que existen fisuras e infiltraciones debido a que, al lado del canal, existe encharcamiento y fluye el agua de manera constante.

6.1.2.1.4.4. Floculadores

Como sistema de floculación la planta cuenta con 8 unidades de floculación tipo Alabama, cada unidad de floculación tiene en total 12 cámaras, con un largo de 1,96 m, ancho de 1,84 m y profundidad útil de 2,40 m.



Fotografía 3. Módulos o Unidades de Floculación

Fuente: Autora, 2020

La presencia de residuos vegetales y la formación de espumas en las cámaras finales son común en las unidades de floculación.

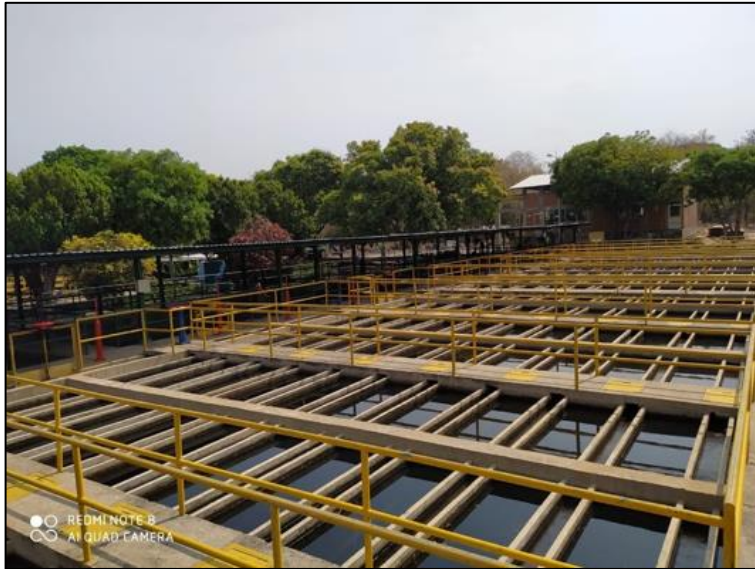


Fotografía 4. Formación de espumas en cámaras finales de floculación

Fuente: Autora, 2020

6.1.2.1.4.5. Sedimentadores

La Planta cuenta con 8 unidades de sedimentación de alta tasa, cada unidad tiene dos módulos de sedimentación, las dimensiones útiles de cada módulo de sedimentación son: 10,69 m de largo, 2,43 m de ancho y 4 m de profundidad, los paneles de sedimentación son de forma hexagonal tipo colmena de 6 cm de lado, 120 cm de longitud, y ángulo de inclinación de 60°.



Fotografía 5. Módulos o unidades de sedimentación

Fuente: Autora, 2020

Los sedimentadores permiten ver con más claridad la presencia de residuos vegetales debido a sus aguas mansas logradas en las cámaras intermedias y canales de interconexión (los cuales funcionan correctamente, en comparación con la PTAP La Huaricha; sin embargo, presentan algunos daños estructurales por el tiempo de exposición a las condiciones de desgaste y tantos años sin mantenimiento).



Figura 8. Condiciones de las unidades de sedimentación

Fuente: Elaboración Propia, 2020

Recientemente se optimizaron estos módulos con paneles tipo colmena, desechando los residuos de placas de asbesto-cemento a los lados de la PTAP La Gota Fría. Esto refleja la inexistencia de procedimientos para el manejo de residuos peligrosos.

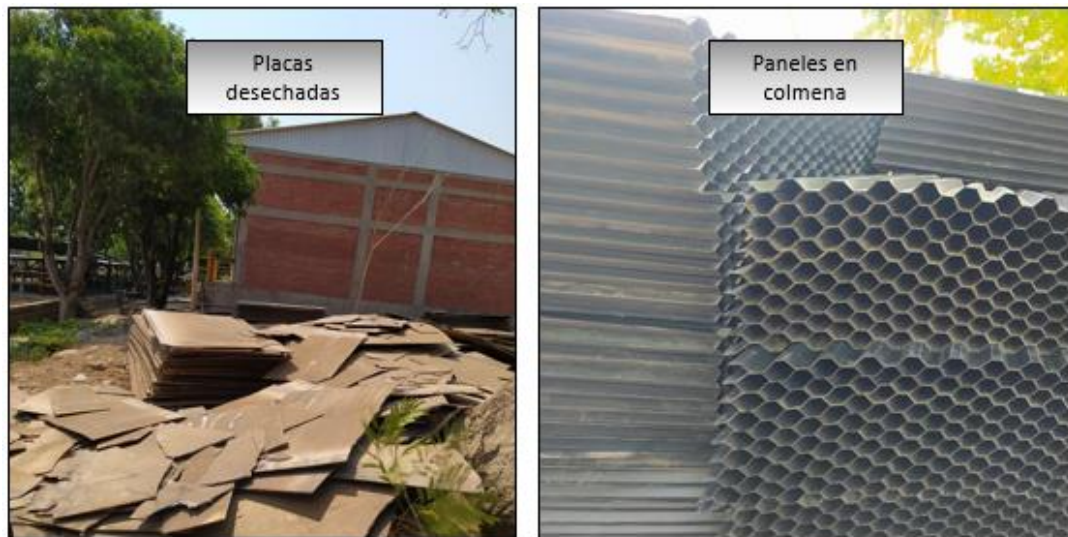
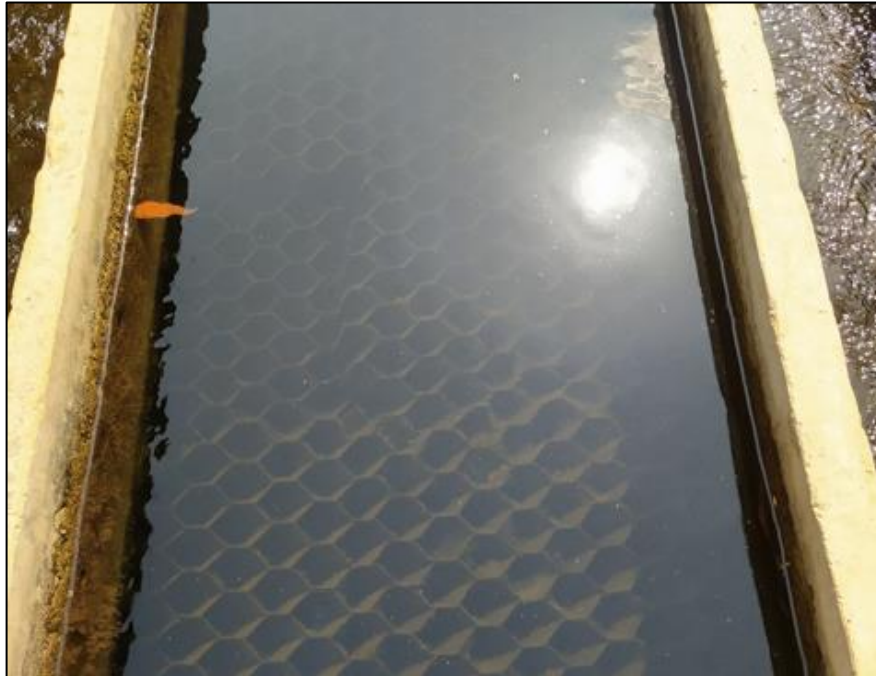


Figura 9. Placas desechadas y paneles de colmena de reemplazo

Fuente: Elaboración Propia, 2020

A pesar del poco tiempo de uso de los paneles, se observa el crecimiento de algas por toda su estructura interna y externa.



Fotografía 6. Paneles en colmena en unidades de sedimentación

Fuente: Autora, 2020

En algunas barandas de seguridad de las unidades de sedimentación se encuentran instaladas pantallas reflectoras. Debido a que el suministro energético a estas se hace mediante cableado, se detecta peligro eléctrico debido a algunos de estos que se encuentran expuestos.

6.1.2.1.4.6. Filtros

La planta cuenta con 6 unidades de filtración rápida, de lavado mutuo, cuyas dimensiones útiles son: 4,67 m de largo, 7,71 m de ancho, y 4,22 m de profundidad total. El lecho está compuesto por arena, grava y antracita.

En estas unidades también se nota la presencia de residuos vegetales y considerables elementos flotantes, entre ellos algunos insectos.



Fotografía 7. Unidades de filtración de la PTAP La Gota Fría

Fuente: Autora, 2020

Es de destacar que estas unidades requieren un lavado cada 12 horas, debido a que la capacidad instalada de la PTAP La Gota fría está en sobre uso de la tasa hidráulica, además de la turbidez del agua que colmata muy fácilmente estas unidades, haciendo imposible darle continuidad al servicio en temporada de lluvia.



Fotografía 8. Unidades de filtración de la PTAP La Gota Fría

Fuente: Autora, 2020

Se observa la presencia de un color oscuro en las paredes del filtro producto de la humedad que favorece el crecimiento de microorganismos y algunos hongos.

6.2. EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES HIDRÁULICAS DE LAS UNIDADES DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA PLANTA LA GOTA FRÍA DE LA CIUDAD DE VALLEDUPAR

6.2.1. Análisis de Flujo mediante Ensayo de Trazadores

Se realizó el ensayo de trazadores para aplicar el modelo de Wolf Resnick y Curva de Tendencia con tal de determinar los factores que determinan los tiempos de retención de las unidades y módulos de tratamiento con base a los lineamientos del Manual III, Tomo 2 del CEPIS/OPS, y el cual será insumo para el análisis hidráulico del caudal de operación de dicha unidad.

En el Manual III se presenta un procedimiento detallado con excepciones, recomendaciones y precauciones para tener en cuenta al momento de hacer el ensayo, cuestiones que no serán explicadas en este apartado, por lo tanto, se irá directamente a la presentación del procedimiento resumido, la aplicación del ensayo y los resultados y análisis respectivos.

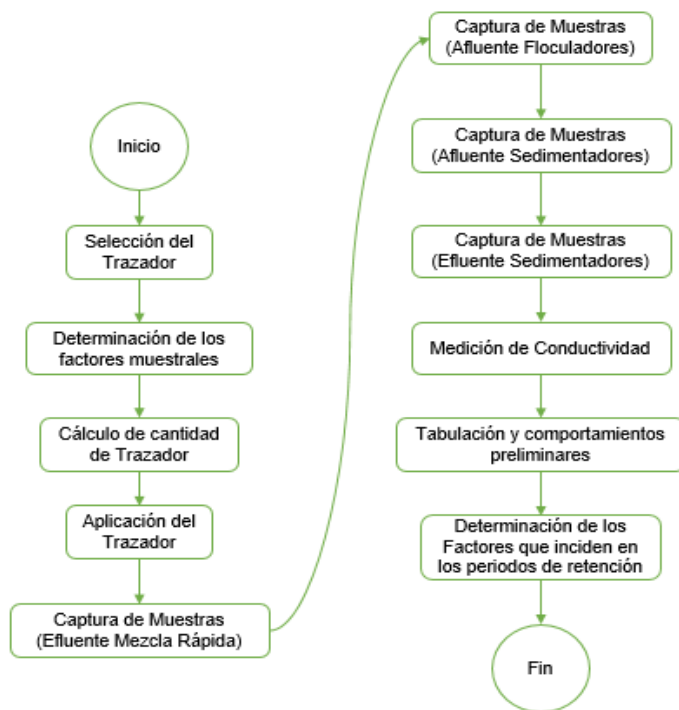


Figura 10. Flujograma del procedimiento de análisis de flujo mediante ensayo de trazadores
Fuente: Elaboración Propia, 2020 (Tomado del CEPIS/OPS)

6.2.1.1. Selección del Trazador

Debido a la naturaleza tecnológica del tratamiento el tipo de dosificación de trazador fue instantánea, seleccionando el Cloruro de Sodio (NaCl) o sal casera o de cocina, por su facilidad de obtener y por representar bajos costos en comparación con otros tipos de trazadores.

6.2.1.2. Determinación de los factores muestrales

Las unidades a estudiar son la mezcla rápida, los floculadores y sedimentadores de la PTAP La Gota Fría. Para ello, se estableció la manera de cómo se iban a seleccionar las muestras de agua para cada una de las unidades de tratamiento en función a su volumen y el tiempo de retención hidráulico.

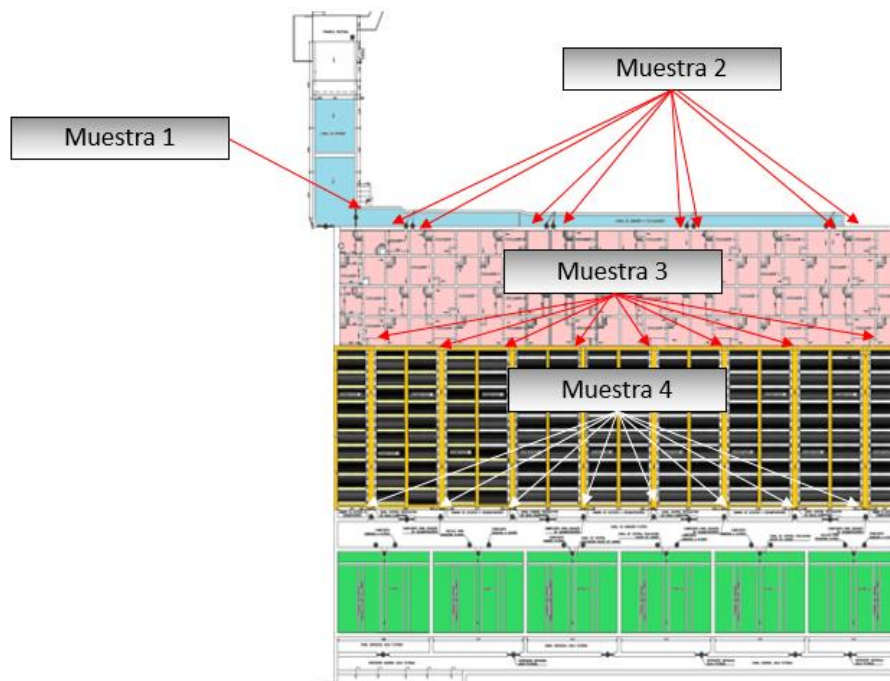


Figura 11. Lugares donde se hizo la toma de muestra de agua
Fuente: Elaboración Propia, 2020 (Tomado de Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado, 2014)

- Para mezcla rápida se realizaron las muestras en la compuerta efluente (muestra 1).
- Para determinación de caudales se realizaron las muestras en la compuerta afluente a las unidades de floculación (muestra 2).

- Para floculadores se realizaron las muestras en la canaleta efluente (muestra 3).
- Para sedimentadores se realizaron las muestras en sus cámaras finales efluentes (muestra 4).

Tal como se observa en la siguiente figura anterior.

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

Tabla 5. Volumen de las Unidades de Tratamiento

Unidad de Tratamiento	Nº Unidades	Volumen Unitario (m ³)	Volumen Total (m ³)
Mezcla Rápida	1	27	27
Canal de Admisión	1	43,34	43,34
Floculación	8	21,5	776,36
Sedimentación	8	37,58	1352,72
TOTAL			2199,51

Fuente: Elaboración Propia, 2020

6.2.1.3. Cálculo de la Cantidad de Trazador

Por recomendación del Jefe de Producción del sistema de tratamiento de EMDUPAR S.A. E.S.P., el cálculo de la cantidad del trazador se realizó de manera agrupada para la sumatoria de los volúmenes de las unidades: canal de admisión, floculadores y sedimentadores, y por otra parte, de manera individual para mezcla rápida siendo ésta la última unidad evaluada, aduciendo a que debido al diseño de esparcimiento físico y geométrico de los módulos, garantizaba ahorros en los insumos utilizados, también ayudaría en los tiempos de ensayo, garantizando resultados acordes a la realidad del momento.

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

$$P = \frac{V * K * Co}{I \times 10^3} \quad (1)$$

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:

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

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

$$P = \frac{2172,51 * 1,65 * 30 \text{ mg/L}}{0,95 \times 10^3}$$

$$P = 113,20 \text{ kg}$$

Para mezcla rápida:

$$P = \frac{27 * 1,65 * 30 \text{ mg/L}}{0,95 \times 10^3}$$

$$P = 1,41 \text{ kg}$$

6.2.1.4. Aplicación del Trazador

Para aplicarlo, el trazador se diluyó en una cantidad de agua considerable, para esto se requirieron tres tanques de 70 Litros, siendo el caudal de 940 L/s.



Fotografía 9. Tanques para dilución del trazador

Fuente: Autora, 2020

También se contó con personal de apoyo y soporte del sistema de tratamiento, con la participación del Jefe de Producción y Jefe de Operaciones, personal de mantenimiento de la planta y estudiantes de UNIANDINA, UNICESAR y SENA, debido a que al momento de aplicar el trazador en la mezcla rápida comenzaría inmediatamente la toma de la Muestra 2, posteriormente a la 3 y 4, como se presentó en la figura anterior.



Fotografía 10. Tabique de aplicación del trazador

Fuente: Autora, 2020

Se ubicaron los tres tanques en el tabique y con una manguera fueron alimentados y mezclados con la sal (la cual fue dividida equitativamente 37,73 kg por tanque). Posteriormente, se vertieron al resalto hidráulico del Perfil Creager, así mismo comenzaron la toma de muestra cómo se indicó.

6.2.1.5. Captura de Muestras: Efluente mezcla rápida

Antes de avanzar hay que aclarar que el número de muestra no fue probabilístico, pues este dependía de la concentración medida en campo con el conductímetro multiparamétrico del laboratorio del sistema de tratamiento de agua potable de EMDUPAR S.A. E.S.P., por lo tanto, el ensayo no tiene un tiempo definido, pues este termina cuando después de ciertas tomas de muestra, la conductividad vuelve a tomar el mismo valor de la conductividad inicial del agua cruda aguas arribas de mezcla rápida.



Fotografía 11. Medición de conductividad en muestras tomadas al efluente de mezcla rápida
Fuente: Autora, 2020

Como se observa en la fotografía anterior, las muestras se hicieron en vasos desechables e inmediatamente eran medidas con el conductímetro y tabuladas. (Es de aclarar que, por cada medición hecha, se lavaba la pluma con agua destilada).

Tabla 6. Concentraciones medidas en efluente de mezcla rápida

Nº	c (ms/cm)
1	76
2	785
3	501
4	356
5	230
6	150
7	90
8	82
9	78
10	76
11	76
12	76
13	76

Fuente: Elaboración Propia, 2020

Se realizaron 13 mediciones, logrando la concentración inicial (de 76 milisiemens por centímetro, ms/cm; medida aguas arriba en la mezcla rápida), a la muestra 10.

6.2.1.6. Captura de Muestras - Canal de admisión: Afluente Floculadores

Se hicieron un total de 43 toma de muestras por cada floculador (aunque por consideración de la investigadora se enlistaron 37), logrando un tiempo de 180 segundos para conseguir que el valor de la concentración final llegase al valor de la inicial.



Fotografía 12. Toma de muestra en floculador

Fuente: Autora, 2020

Las mediciones presentaron un comportamiento escalonado, debido a que las líneas de flujo del agua alcanzaban primero a unas unidades que, a otras, por eso y tal cual como se observa en la siguiente tabla, la concentración máxima varía entre los 25 a 50 segundos de muestreo.

Tabla 7. Concentraciones medidas en afluentes de floculadores³

t (s)	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
0	76	76	76	76	76	76	76	76
5	78	76	82	77	83	80	81	81
10	90	196	85	81	83	79	82	82
15	2065	1130	81	606	82	81	81	82
20	5150	3476	904	1880	82	87	84	84
25	6520	5590	3350	3810	81	86	84	83

³ Dónde F = Floculador (va acompañado del número indicador de la unidad, siendo el Floculador 1 el primero en llegar las líneas de flujo del agua con concentración); (se mide en milisiemens por centímetro, ms/cm).

t (s)	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
30	4740	4670	4560	5640	81	220	84	83
35	3090	3820	6640	6650	476	1371	84	85
40	2860	2389	5430	3170	1880	2600	268	251
45	2354	2130	3440	1809	5540	4570	2910	3770
50	1145	1989	2900	1553	4140	3530	4318	4430
55	1090	1568	1356	1495	3950	2980	3330	3830
60	927	1200	1235	1180	2120	1780	2250	2834
65	908	1024	1210	1096	2050	1613	1600	2740
70	888	1021	1117	998	1708	1523	1512	1860
75	776	981	1123	888	1505	1465	1460	1440
80	757	856	1070	785	1410	1028	1200	1220
85	689	749	960	703	1390	1164	1110	1145
90	657	726	860	609	1145	1032	1024	1005
95	589	684	752	588	1097	998	985	999
100	544	678	695	557	980	991	712	884
105	523	497	548	488	943	850	670	882
110	422	438	453	212	945	846	577	724
115	376	458	373	415	662	807	556	536
120	303	323	284	352	640	719	463	507
125	265	327	254	236	585	733	456	551
130	272	268	237	239	454	536	423	523
135	208	235	130	384	403	448	330	424
140	197	154	128	235	397	301	235	344
145	188	108	127	189	330	252	230	264
150	176	154	111	179	254	198	189	258
155	158	108	102	134	197	178	187	204
160	114	97	100	99	154	176	146	124
165	99	93	98	87	143	145	145	139
170	92	89	93	83	109	111	129	121
175	88	78	88	78	97	84	98	97
180	76	76,2	77	76,3	83	79	87,6	88

Fuente: Elaboración Propia, 2020

Estos resultados permiten calcular los caudales de ingreso por cada unidad de floculación. Para este cálculo se debe restar cada concentración de la tabla anterior menos la concentración inicial.

Tabla 8. Concentraciones de acceso a floculadores menos concentración inicial

t (s)	F1: C-Co	F2: C-Co	F3: C-Co	F4: C-Co	F5: C-Co	F6: C-Co	F7: C-Co	F8: C-Co
0	0	0	0	0	0	0	0	0

t (s)	F1: C-Co	F2: C-Co	F3: C-Co	F4: C-Co	F5: C-Co	F6: C-Co	F7: C-Co	F8: C-Co
5	2	0	6	1	7	4	5	5
10	14	120	9	5	7	3	6	6
15	1989	1054	5	530	6	5	5	6
20	5074	3400	828	1804	6	11	8	8
25	6444	5514	3274	3734	5	10	8	7
30	4664	4594	4484	5564	5	144	8	7
35	3014	3744	6564	6574	400	1295	8	9
40	2784	2313	5354	3094	1804	2524	192	175
45	2278	2054	3364	1733	5464	4494	2834	3694
50	1069	1913	2824	1477	4064	3454	4242	4354
55	1014	1492	1280	1419	3874	2904	3987	3754
60	851	1124	1159	1104	2044	1704	2174	2758
65	832	948	1134	1020	1974	1537	1524	2664
70	812	945	1041	922	1632	1447	1436	1784
75	700	905	1047	812	1429	1389	1384	1364
80	681	780	994	709	1334	952	1124	1144
85	613	673	884	627	1314	1088	1034	1069
90	581	650	784	533	1069	956	948	929
95	513	608	676	512	1021	922	909	923
100	468	602	619	481	904	915	636	808
105	447	421	472	412	867	774	594	806
110	346	362	377	136	869	770	501	648
115	300	382	297	339	586	731	480	460
120	227	247	208	276	564	643	387	431
125	189	251	178	160	509	657	380	475
130	196	192	161	163	378	460	347	447
135	132	159	54	308	327	372	254	348
140	121	78	52	159	321	225	159	268
145	112	32	51	113	254	176	154	188
150	100	78	35	103	178	122	113	182
155	82	32	26	58	121	102	111	128
160	38	21	24	23	78	100	70	48
165	23	17	22	11	67	69	69	63
170	16	13	17	7	33	35	53	45
175	12	2	12	2	21	8	22	21
180	0	0,2	1	0,3	7	3	11,6	12

Fuente: Elaboración Propia, 2020

A cada columna se le realiza una sumatoria y se tabula:

Tabla 9. Caudales por cada floculador

Floculador	Sum. (C-Co)	Q (L/s)	Q (m ³ /seg)
1	36738	129,599897	0,1295999
2	35720,2	126,009425	0,12600942
3	38317	135,170104	0,1351701
4	34925,3	123,205272	0,12320527
5	33543	118,328961	0,11832896
6	31005	109,37571	0,10937571
7	26177,6	92,3461885	0,09234619
8	30038	105,964443	0,10596444
Total	266464,1	940	0,94

Fuente: Elaboración Propia, 2020

Se realiza una sumatoria de la columna 1 (la cual se denominará gran sumatoria: GSum). La columna N°2 de calcula mediante la siguiente formulación:

$$Q_f = \frac{\text{Sum} * Q \text{ operación}}{\text{GSum}} \quad (2)$$

Como se detalla en la tabla 9, el floculador que más recibe volumen de agua es el número 3 y el que menos recibe volumen de agua es el número 7.

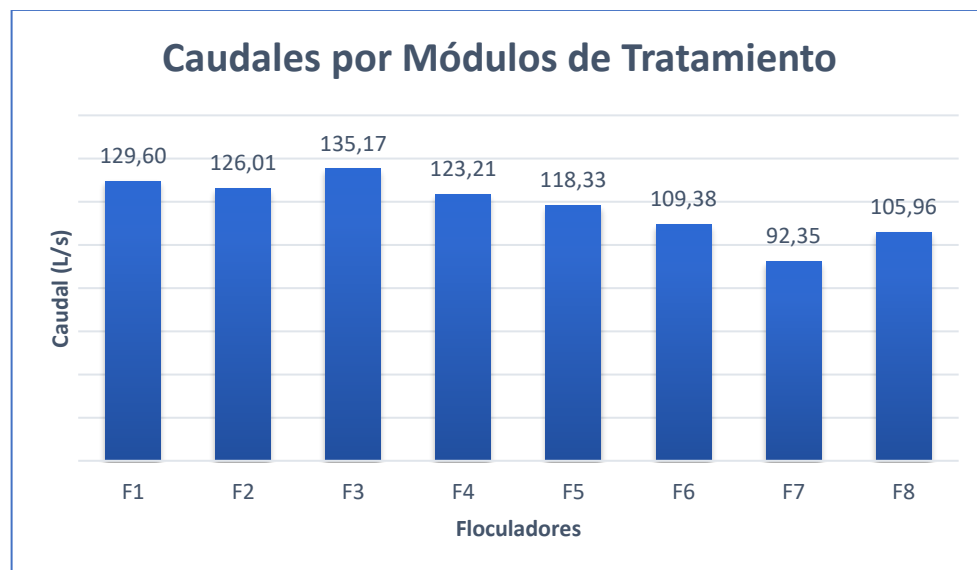


Gráfico 1. Volumen de agua que ingresa a cada floculador por segundo

Fuente: Elaboración Propia, 2020

6.2.1.7. Captura de Muestras - Floculadores: Afluente Sedimentadores

Se hicieron un total de 20 toma de muestras por cada sedimentador (aunque por consideración de la investigadora se enlistaron 17), logrando un tiempo de 48 minutos para conseguir que el valor de la concentración final llegase al valor de la inicial.

Tabla 10. Concentraciones medidas en afluente de sedimentadores⁴

t (s)	F1 ef	F2 ef	F3 ef	F4 ef	F5 ef	F6 ef	F7 ef	F8 ef
0	76	76	76	76	76	76	76	76
3	157	144	108	123	98,7	115	95,2	98,4
6	377	361	249	331	198	220	178	173
9	593	581	449	568	316	297	446	450
12	550	571	556	560	588	519	585	605
15	370	368	473	408	497	423	468	497
18	204	212	195	235	315	251	297	345
21	121	124	184	131	182	140	167	170
24	97,4	101	134	119	154	121	129	148
27	80,1	82,5	98	92,1	101	99,8	99,4	99,7
30	89,7	85,8	96,5	90,7	95,6	90,8	95,7	89,9
33	85	90	89,7	87	88,7	91,7	86,2	85,6
36	80,1	76,9	85,5	91,5	92,3	87,6	93,8	80,9
39	77	79	91	82	90,7	92	90,1	83,5
42	76,9	77,6	89,7	77,9	91,8	91,4	89,2	82,7
45	77,5	76,5	79,9	79	85,7	80,8	79,3	77,8
48	76,2	76	76,8	76,3	76,9	76,5	76,8	76,2

Fuente: Elaboración Propia, 2020

Se ha de aclarar que estas concentraciones serán utilizadas para determinar los factores que afectan los periodos de retención en los floculadores.

6.2.1.8. Captura de Muestras –Sedimentadores: Efluente Sedimentadores

Se hicieron un total de 35 toma de muestras por cada sedimentador (aunque por consideración de la investigadora se enlistaron 23), logrando un tiempo de 113

⁴ Dónde F = Floculador; ef = efluente (va acompañado del número indicador de la unidad, siendo el Efluente Floculador 1 el primero en llegar las líneas de flujo del agua con concentración); (se mide en milisiemens por centímetro, ms/cm).

minutos para conseguir que el valor de la concentración final llegase al valor de la inicial.

Tabla 11. Concentraciones medidas en efluente de sedimentadores⁵

t (min)	S1 ef	S2 ef	S3 ef	S4 ef	S5 ef	S6 ef	S7 ef	S8 ef
0	76	76	76	76	76	76	76	76
6	79,03	80,5	82,7	83,2	84,15	78,6	81,6	80,2
12	84,34	80,8	85,5	99,8	86,32	91,2	83,15	102,3
18	101	108,4	90,8	153,2	97,2	115	99,6	145
23	179	175	135	188	143	171	193	185
28	167	201	150	227	207	227	200	193
33	198	169	163	136	212	200	156	156
38	182	189	184	153	183	173	178	171
43	166	156	177	198	160	156	160	151
48	150	139	143	171	145	138	143	136
53	149,5	140,25	123,7	155,2	128,94	131,6	131,98	139,8
58	146,3	142	132	138,7	122,7	140	137	147,5
63	138,2	128,05	119,8	143,5	136,5	139	123,93	134
68	122,6	111,6	117	133,2	142,7	127,45	114,3	120,5
73	129,1	119,35	123	122,46	119,82	118,6	121,18	116
78	126,7	115	108,5	125,43	110,02	113	111,75	105,34
83	113,5	109	88,6	111,56	115,7	104	98,8	99,6
88	109,5	99,8	98,4	99,6	121,5	96	99,1	84
93	114,75	104,9	95,4	101	98,23	99,5	100,15	99,7
98	98	99,8	92,1	99,8	90,2	101	95,95	100,15
103	94,35	92,65	88,1	93,2	88,9	91,45	90,37	85,7
108	84,2	77,9	78,4	87,2	77,3	80,2	78,15	79,8
113	76,01	76	76,1	76,9	76,27	76,4	76,05	76,2

Fuente: Elaboración Propia, 2020

Se ha de aclarar que estas concentraciones serán utilizadas para determinar los factores que afectan los periodos de retención en los sedimentadores.

6.2.1.9. Medición de Conductividad

Solo algunas muestras pudieron ser medidas inmediatamente se comenzó el ensayo. Debido a la gran cantidad de información por tabular (2741 datos de

⁵ Dónde S = Sedimentador; ef = efluente (va acompañado del número indicador de la unidad, siendo el Efluente Sedimentador 1 el primero en llegar las líneas de flujo del agua con concentración); (se mide en milisemens por centímetro, ms/cm).

conductividad), las muestras fueron colectadas en vasos desechables y a medida fueron realizadas las mediciones con el conductímetro.



Fotografía 13. Muestras destinadas para medición de su conductividad

Fuente: Autora, 2020

Por cada toma de muestra debía lavarse con agua destilada la pluma del conductímetro.



Fotografía 14. Conductímetro multiparamétrico utilizado en las pruebas de medición

Fuente: Autora, 2020

6.2.1.10. Tabulación y comportamiento preliminares

Las tablas 6, 7, 8, 9, 10 y 11, contienen las conductividades del trazador utilizado, en la teoría y la práctica esta conductividad es exactamente el mismo valor de concentración del Cloruro de Sodio (NaCl) expresado en miligramos por litro.

La mezcla rápida alcanzó un pico de concentración a un segundo.

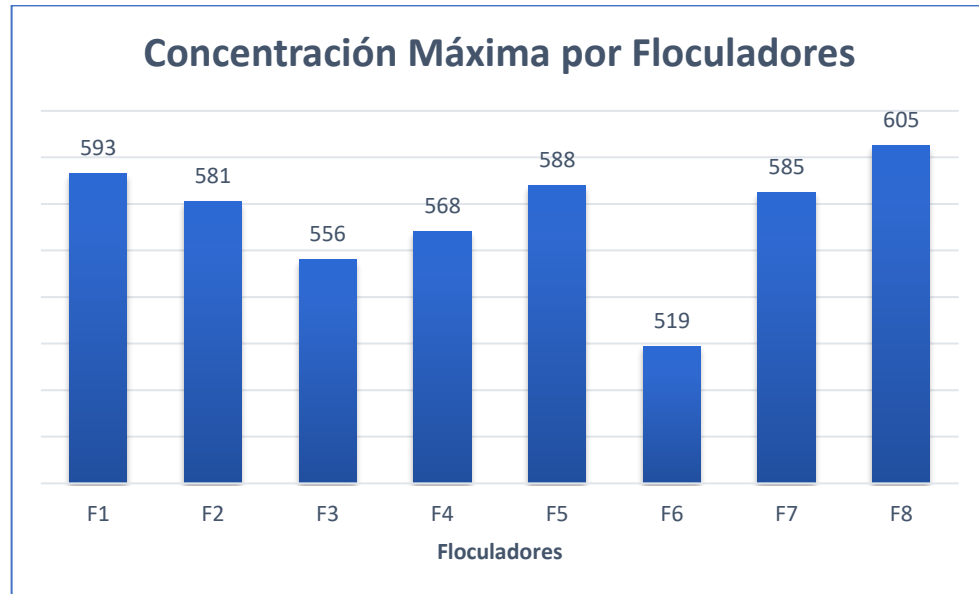


Gráfico 2. Concentraciones máximas por cada floculador

Fuente: Elaboración Propia, 2020

Como se observa en el gráfico 2, el floculador 8 fue el que mayor concentración de trazador presentó a un tiempo de 12 minutos y el floculador 6 fue el que menos concentración de trazador presentó al mismo periodo de tiempo.

Este patrón en comparación con el caudal da un indicio de cómo se pudo distribuir el trazador en las unidades, además no existe concordancia en los datos debido a que su media es muy variada y esto puede aducir a la distribución que reciben del canal de admisión o coagulación, ya que este a medida se aproxima a los floculadores finales va reduciendo su geometría horizontal (ancho).

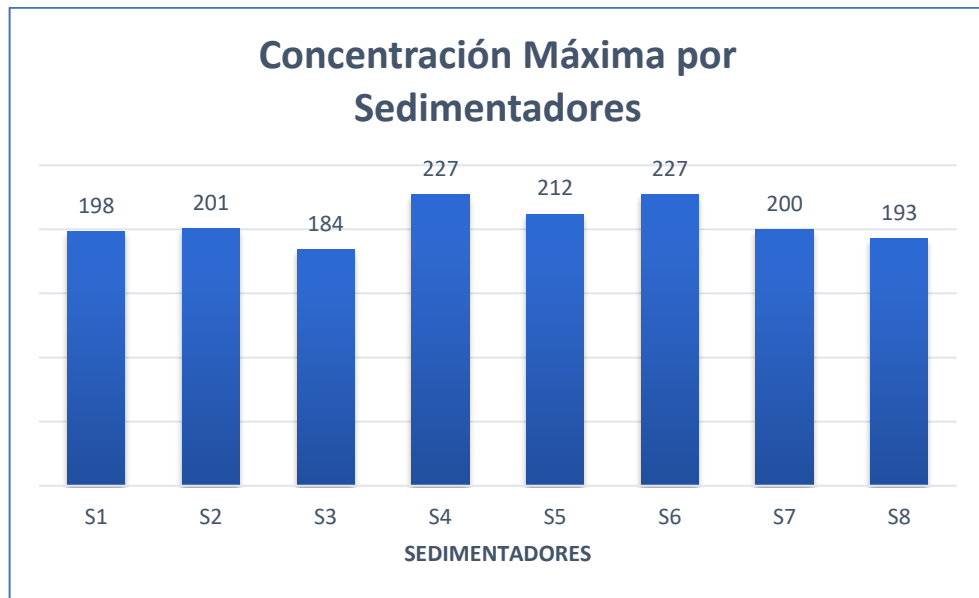


Gráfico 3. Concentraciones máximas por cada sedimentador

Fuente: Elaboración Propia, 2020

En este gráfico se observa que los sedimentadores presentan valores más proporcionales y que se pueden comparar. En el caso de los sedimentadores 4 y 6, ambos logran la misma concentración a los mismos 28 minutos.

6.2.1.11. Determinación de los factores que inciden en los periodos de retención

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

6.2.1.11.1. Mezcla Rápida

El volumen de la unidad es de 27 m^3 , para el caudal de 940 L/s. Con esto se obtuvo un TRH Teórico de 28,72 segundos. Al aplicar el método se alcanzó el tiempo medio (50%) a los 4 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 61% el flujo mezclado.

Los resultados corroboran que la mezcla rápida es idónea.

6.2.1.11.2. Floculadores

6.2.1.11.2.1. Condiciones y Fracciones de los Flujos (Floculadores)

Para el **Floculador 1**:

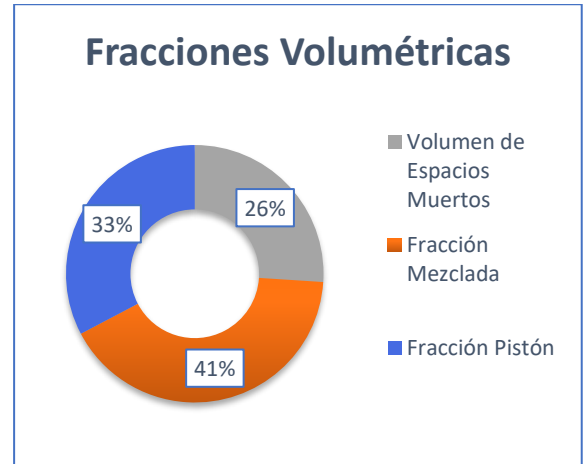
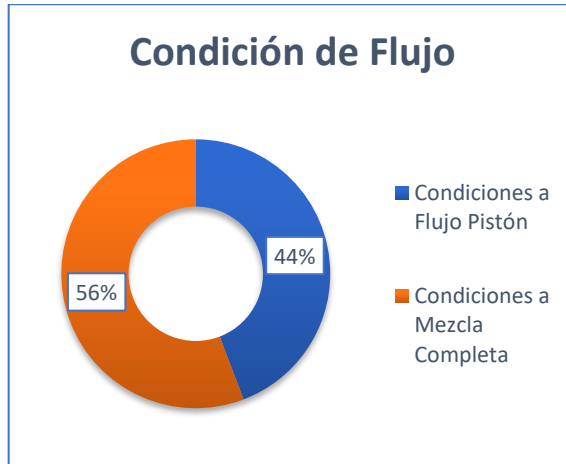


Gráfico 4. Condiciones de Flujo – Floculador 1 Gráfico 5. Fracciones Volumétricas – Floculador 1
Fuente: Elaboración Propia, 2020

El volumen de espacios muertos les resta más volumen a las líneas de flujo pistón que al flujo mezclado.

Para el **Floculador 2**:

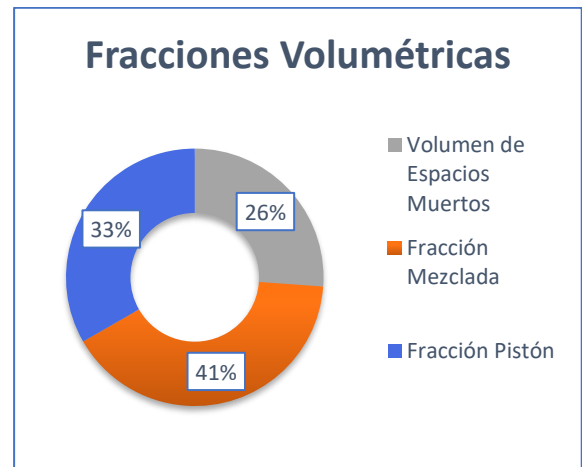
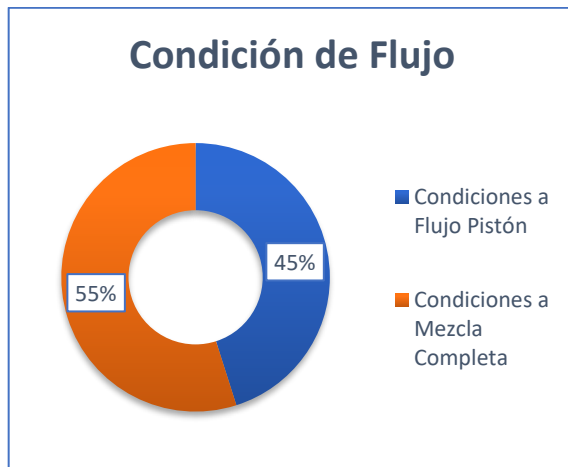


Gráfico 6. Condiciones de Flujo – Flocculador 2 Gráfico 7. Fracciones Volumétricas – Flocculador 2
Fuente: Elaboración Propia, 2020

El volumen de espacios muertos les resta más volumen a las líneas de flujo pistón que al flujo mezclado.

Para el **Flocculador 3**:

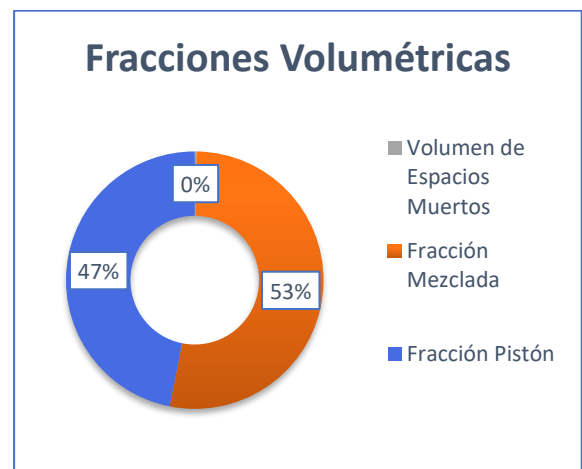
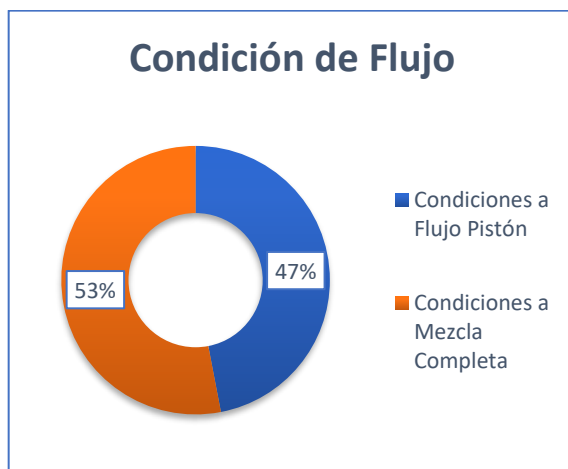


Gráfico 8. Condiciones de Flujo – Flocculador 3 Gráfico 9. Fracciones Volumétricas – Flocculador 3
Fuente: Elaboración Propia, 2020

No hay volumen de espacios muertos, por lo tanto, las condiciones y fracciones son similares.

Para el **Floculador 4:**

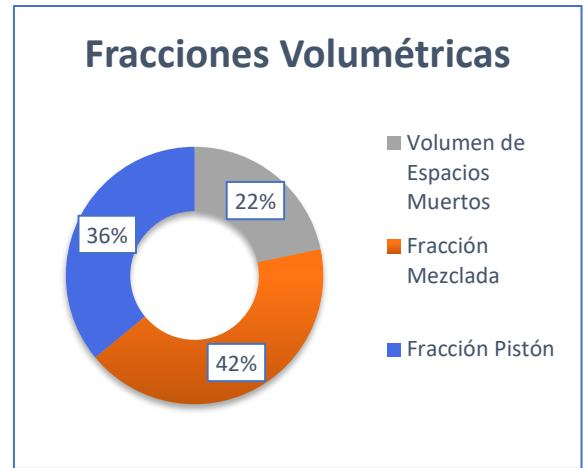
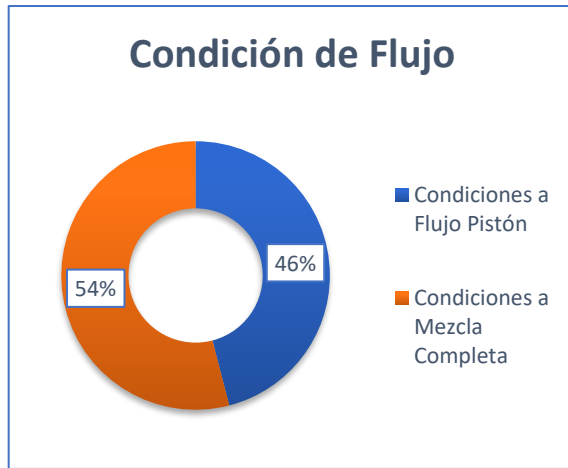


Gráfico 10. Condiciones de Flujo – Floculador 4 Gráfico 11. Fracciones Volumétricas – Floculador 4
Fuente: Elaboración Propia, 2020

El volumen de espacios muertos les resta más volumen a las líneas de flujo pistón que al flujo mezclado.

Para el **Floculador 5:**

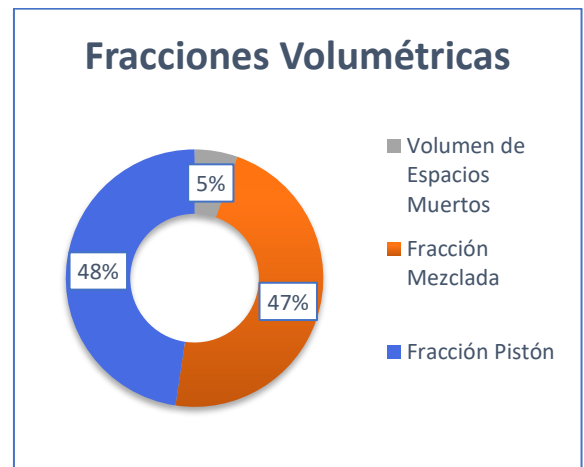
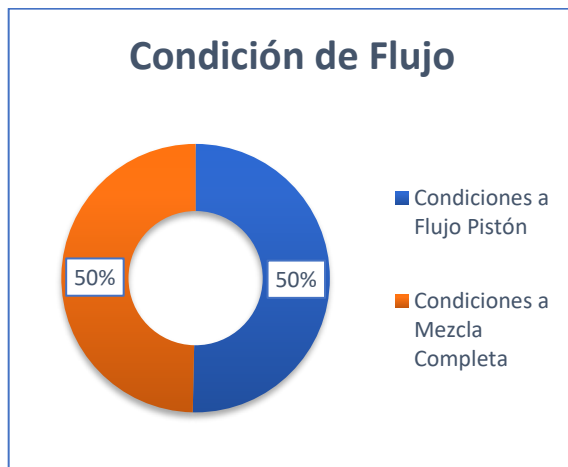


Gráfico 12. Condiciones de Flujo – Floculador 5 Gráfico 13. Fracciones Volumétricas – Floculador 5
Fuente: Elaboración Propia, 2020

El volumen de espacios muertos les resta más volumen a las líneas de flujo pistón que al flujo mezclado.

Para el **Floculador 6:**

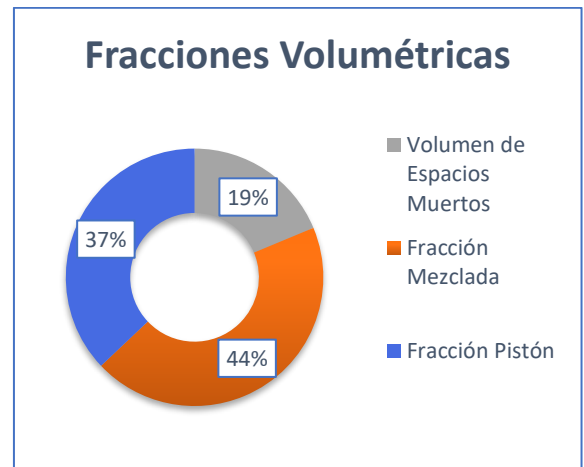
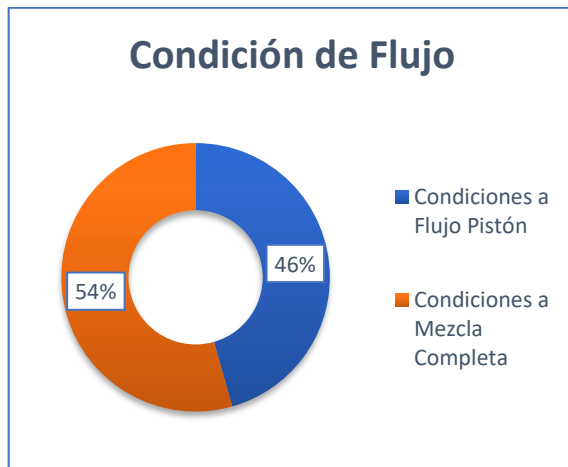


Gráfico 14. Condiciones de Flujo – Floculador 6 Gráfico 15. Fracciones Volumétricas – Floculador 6
Fuente: Elaboración Propia, 2020

El volumen de espacios muertos les resta más volumen a las líneas de flujo pistón que al flujo mezclado.

Para el **Floculador 7**:

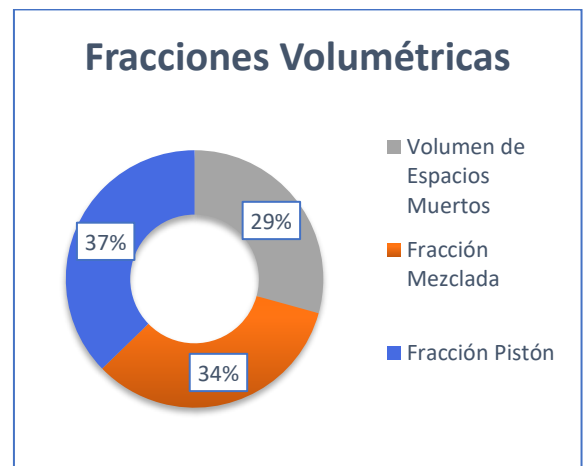
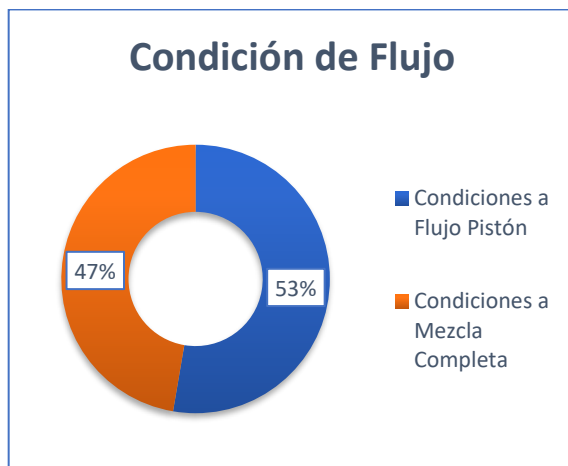


Gráfico 16. Condiciones de Flujo – Floculador 7 Gráfico 17. Fracciones Volumétricas – Floculador 7
Fuente: Elaboración Propia, 2020

El volumen de espacios muertos le resta más volumen a las líneas de flujo pistón que al flujo mezclado.

Para el **Floculador 8**:

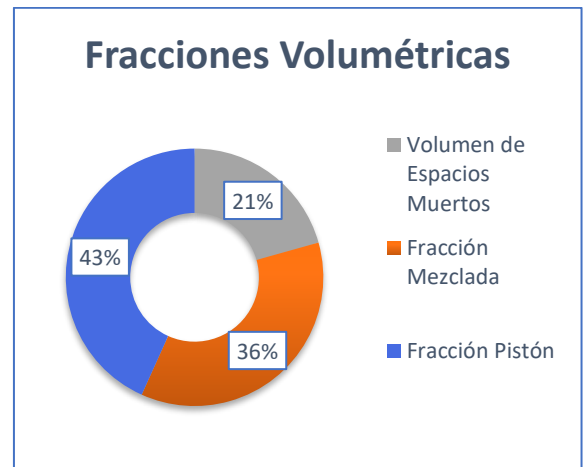
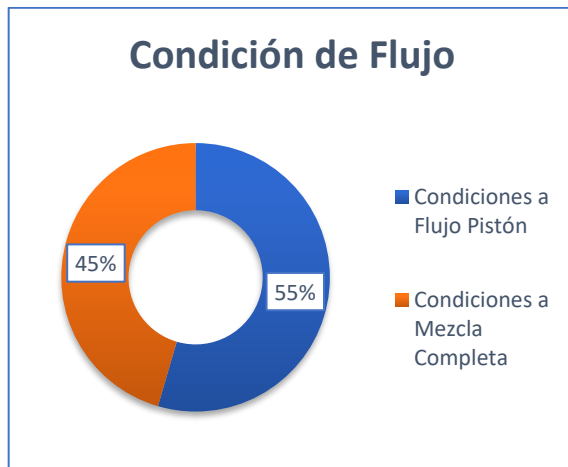


Gráfico 18. Condiciones de Flujo – Floculador 8 Gráfico 19. Fracciones Volumétricas – Floculador 8
Fuente: Elaboración Propia, 2020

El volumen de espacios muertos les resta más volumen a las líneas de flujo pistón que al flujo mezclado.

6.2.1.11.2.2. Eficiencia volumétrica (Floculadores)

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

$$\text{Eficiencia Volumétrica} = \left(\frac{1}{\text{IDM}} \right) \times 100 \quad (3)$$

En el siguiente gráfico se presenta la Eficiencia Volumétrica de los Floculadores:

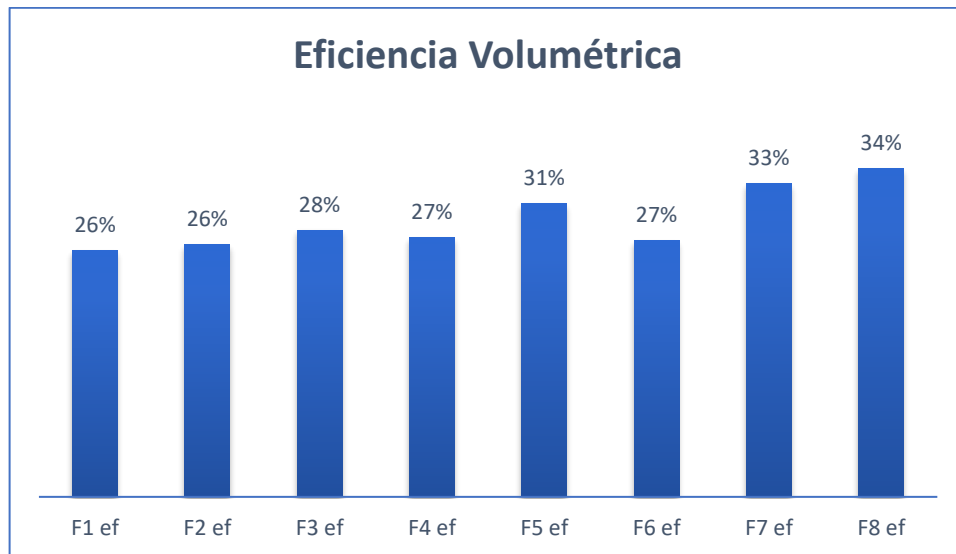


Gráfico 20. Eficiencia Volumétrica de los Floculadores

Fuente: Elaboración Propia, 2020

Teniendo en consideración que los últimos Floculadores son los que menos sobrecarga hidráulica tienen debido al caudal de reparto bajo que reciben, muy cercano al de diseño, se alcanza a comprender porque estos también presentan mejores eficiencias.

Ha de aclararse que la efectividad del tratamiento es la sumatoria de factores que definen la eficiencia de las unidades de tratamiento y la eficacia, por lo tanto, este criterio de eficiencia volumétrica solo es un indicio del comportamiento más que un elemento que permita una toma de decisiones profunda.

$$\text{Efectividad Tratamiento} = \text{Factores de Eficacia} + \text{Factores de Eficiencia} \quad (4)$$

6.2.1.11.2.3. Volumen de Espacios Muertos – VEM (Floculadores)

Aunque ya se tocó este punto en el artículo 6.2.1.11.2.1., del presente documento, en este apartado se infiere lo expuesto en el gráfico 21, relacionados a dicho factor.

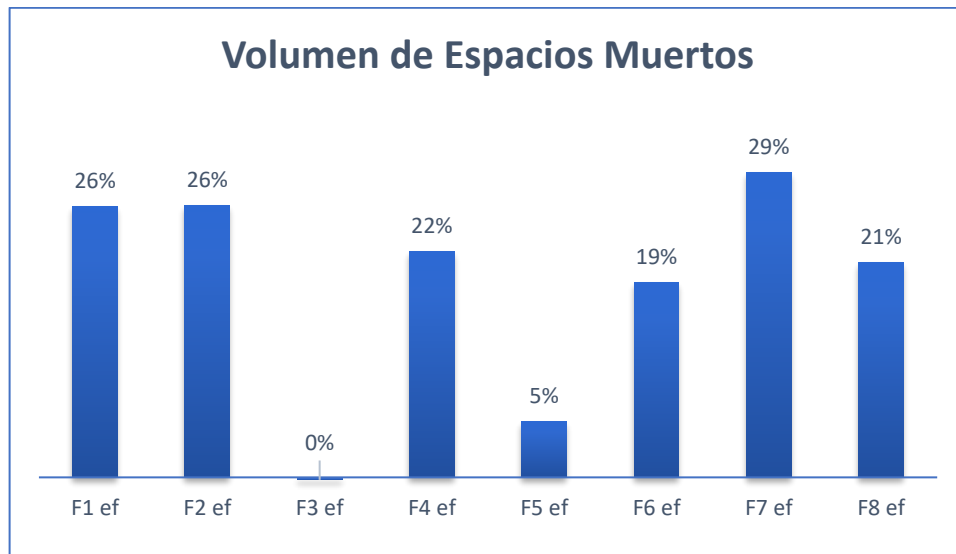


Gráfico 21. Volumen de Espacios Muertos en los Floculadores

Fuente: Elaboración Propia, 2020

Se puede resaltar el caso particular del Floculador 3, en el cual todas las líneas de flujo son a pistón y mezcla completa. Seguido del Floculador 5, del cual un 5% de su volumen es estacionario o estático. La similitud entre los Floculadores 1 y 2, quienes reciben más caudal de reparto. La característica superior del Floculador 7, que, a pesar de representar un alto porcentaje en volumen de espacios muertos, tiene una eficiencia volumétrica con el mismo tenor.

6.2.1.11.2.4. Análisis de los factores (floculadores)

En todas las unidades o módulos de floculación predomina el flujo mezclado, hay existencias de corto circuitos hidráulicos o remolinos.

Solamente los Floculadores 1 y 2 logran el estado ideal de mezcla, en los otros existe, pero no llega al umbral de consideración.

Para observar los resultados se invita a observar el [ANEXO 1](#), en donde se representa de manera más detallada las tablas de cálculo y los gráficos respectivos, así mismo los tiempos de retención calculados para el caudal de operación de 940 l/s.

6.2.1.11.3. Sedimentadores

6.2.1.11.3.1. Condiciones y Fracciones de los Flujos (Sedimentadores)

Para el **Sedimentador 1:**

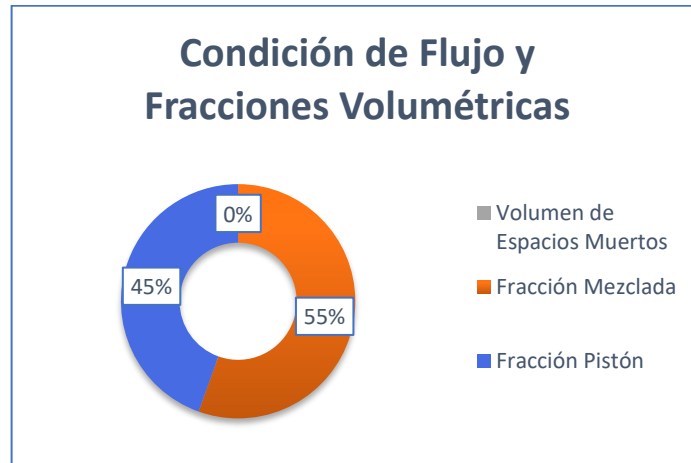


Gráfico 22. Condición de Flujo y Fracciones Volumétricas (Sedimentador 1)

Fuente: Elaboración Propia, 2020

No hay volumen de espacios muertos, por lo tanto, las condiciones y fracciones son similares.

Para el **Sedimentador 2:**

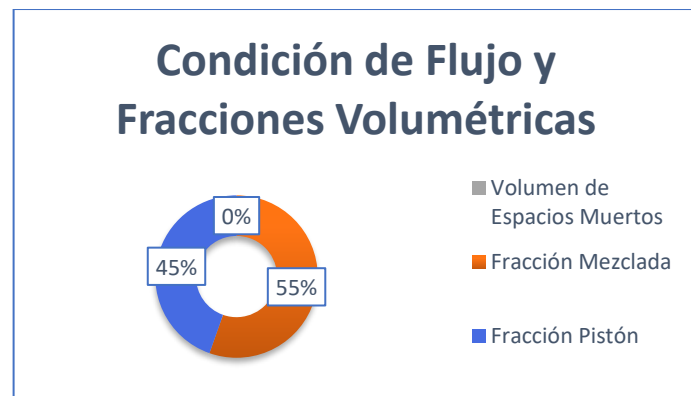


Gráfico 23. Condición de Flujo y Fracciones Volumétricas (Sedimentador 2)

Fuente: Elaboración Propia, 2020

El volumen de espacios muertos les resta más volumen a las líneas de flujo pistón que al flujo mezclado.

Para el **Sedimentador 3:**

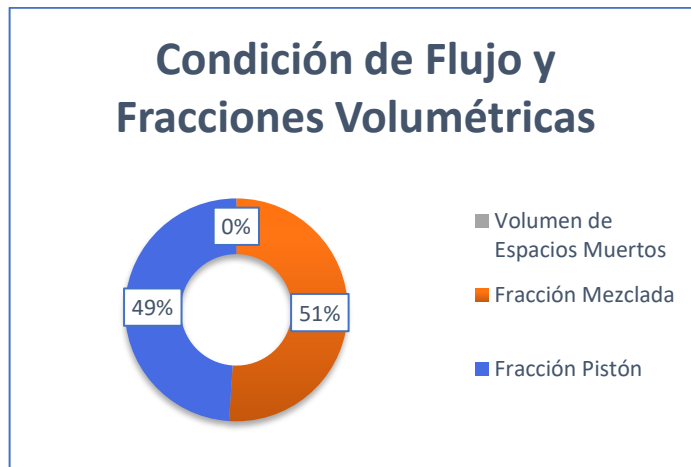


Gráfico 24. Condición de Flujo y Fracciones Volumétricas (Sedimentador 3)
Fuente: Elaboración Propia, 2020

No hay volumen de espacios muertos, por lo tanto, las condiciones y fracciones son similares.

Para el **Sedimentador 4:**

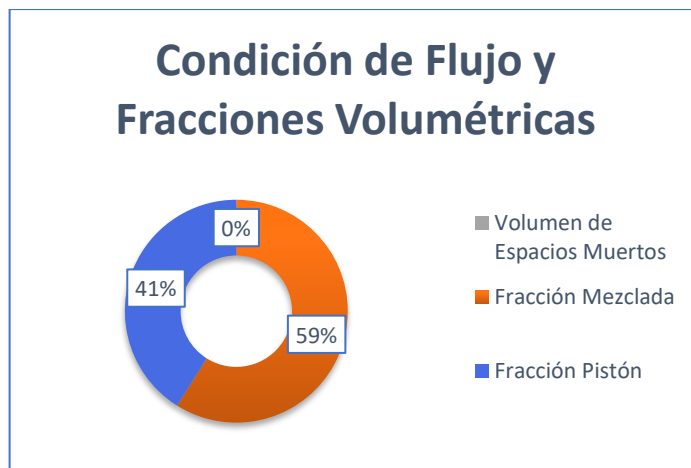


Gráfico 25. Condición de Flujo y Fracciones Volumétricas (Sedimentador 4)
Fuente: Elaboración Propia, 2020

No hay volumen de espacios muertos, por lo tanto, las condiciones y fracciones son similares.

Para el **Sedimentador 5:**

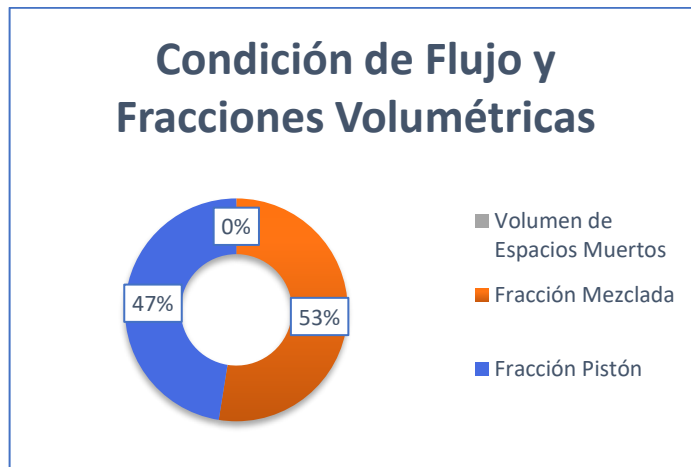


Gráfico 26. Condición de Flujo y Fracciones Volumétricas (Sedimentador 5)
Fuente: Elaboración Propia, 2020

No hay volumen de espacios muertos, por lo tanto, las condiciones y fracciones son similares.

Para el **Sedimentador 6:**

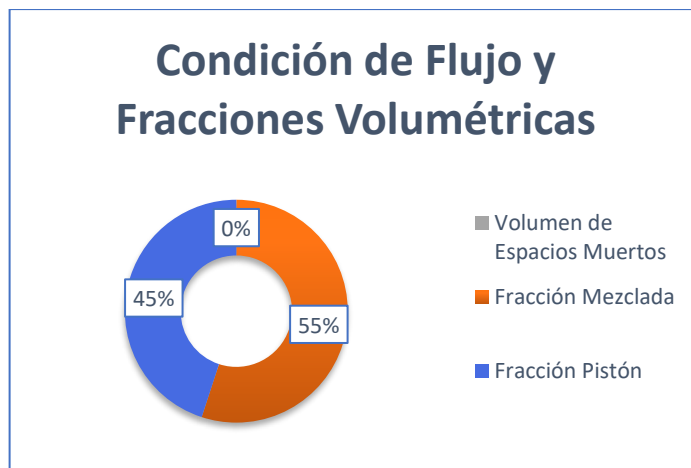


Gráfico 27. Condición de Flujo y Fracciones Volumétricas (Sedimentador 6)
Fuente: Elaboración Propia, 2020

No hay volumen de espacios muertos, por lo tanto, las condiciones y fracciones son similares.

Para el **Sedimentador 7:**

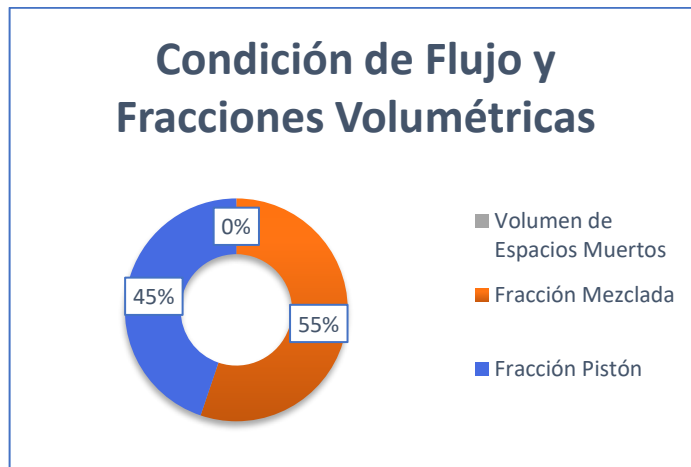


Gráfico 28. Condición de Flujo y Fracciones Volumétricas (Sedimentador 7)
Fuente: Elaboración Propia, 2020

No hay volumen de espacios muertos, por lo tanto, las condiciones y fracciones son similares.

Para el **Sedimentador 8:**

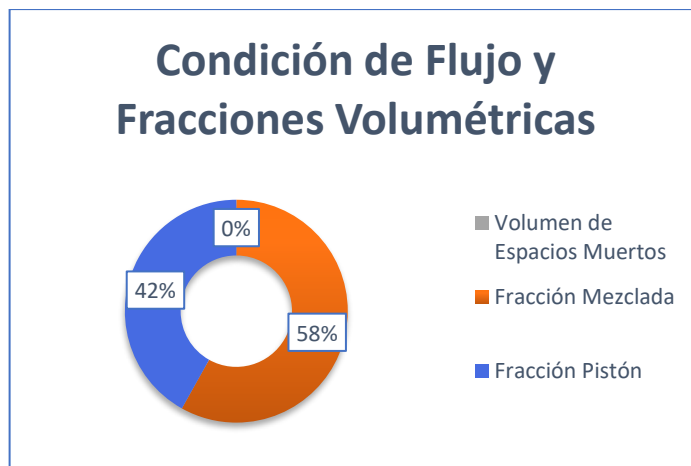


Gráfico 29. Condición de Flujo y Fracciones Volumétricas (Sedimentador 8)
Fuente: Elaboración Propia, 2020

No hay volumen de espacios muertos, por lo tanto, las condiciones y fracciones son similares.

6.2.1.11.3.2. Eficiencia volumétrica (Sedimentadores)

En el siguiente gráfico se presenta la Eficiencia Volumétrica de los Floculadores:

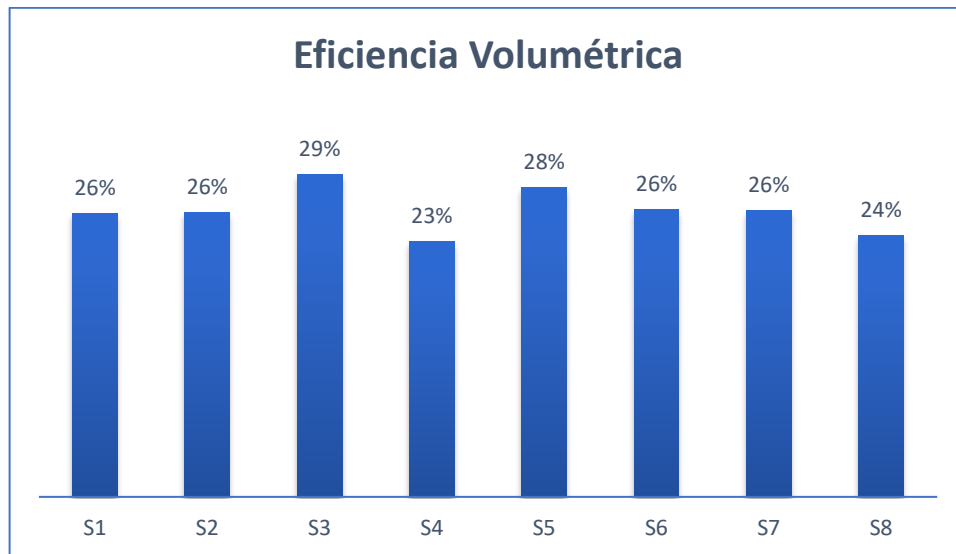


Gráfico 30. Eficiencia Volumétrica de los Sedimentadores

Fuente: Elaboración Propia, 2020

Como se aprecia, la eficiencia volumétrica comparada entre los Sedimentadores tiene medias comparativas, debido a las variaciones bajas.

6.2.1.11.3.3. Volumen de Espacios Muertos – VEM (Sedimentadores)

No hay volumen de espacios muertos.

6.2.1.11.3.4. Inferencias de los Factores (Sedimentadores)

En todas las unidades o módulos de sedimentación predomina el flujo mezclado, hay existencias de zonas muertas y corto circuitos hidráulicos o remolinos.

Solamente los Sedimentadores 2 y 4 logran el estado ideal de mezcla, en los otros existe, pero no llega al umbral de consideración.

Para observar los resultados se invita a observar el [ANEXO 1](#), en donde se representa de manera más detallada las tablas de cálculo y los gráficos respectivos, así mismo los tiempos de retención calculados para el caudal de operación de 940 l/s

6.2.2. 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 600 L/s y el actual de operación, equivalente a 940 L/s.

Se accedió a las unidades para hacer las mediciones de sus geometrías útiles como ancho, largo, profundidad y 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.

En el [ANEXO 3](#) se presentan los planos que corresponden a las unidades de tratamiento de agua potable “La Gota Fría”, facilitados por la Empresa EMDUPAR S.A. E.S.P.

6.2.2.1. Revisión Hidráulica en Mezcla Rápida

6.2.2.1.1. 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 Fría.

Tabla 12. Datos de entrada - perfil Creager

PARÁMETROS	UNIDADES	VALOR
Caudal de Diseño(Q)	m ³ /s	0,600
Ancho de canal existente (B)	m	3,41
Gravedad (g)	m/s ²	9,81
Altura del Vertedero (P)	m	0,92
Temperatura del agua (T)	°C	21
Peso específico (γ)	kg/m ³	998,68
Viscosidad (μ)	kg.s/m ²	9,99x10 ⁻⁵

Fuente: Elaboración Propia, 2020

6.2.2.1.2. Parámetros Teóricos Mezcla Rápida (Q = 600 L/s)

Los parámetros relevantes a revisar son el número de froude, tiempo de mezcla y gradiente de velocidad. Para ello ha de aplicarse las siguientes formulaciones:

Tabla 13. Parámetros teóricos Perfil Creager

PARAMETRO	FORMULA	CÁLCULOS	RESULTADO	UNIDAD
1	Altura lámina de Agua (HLA)	$HLA = \left(\frac{Q}{2,224 \times B}\right)^{2/3}$	$HLA = \left(\frac{0,600}{2,224 \times 3,41}\right)^{2/3}$	0,186 m
2	Altura Total (Z)	$Z = P + HLA$	$Z = 0,92 + 0,186$	1,106 m
3	Velocidad en el Resalto (V1)	$V1 = \left[2g \times \left(Z - \frac{HLA}{2}\right)\right]^{1/2}$	$V1 = \left(2(9,81) \times \left(1,106 - \frac{0,186}{2}\right)\right)^{1/2}$	4,458 m/s
4	Altura en el Resalto (h1)	$h1 = \frac{Q}{(V1 \times B)}$	$h1 = \frac{0,600}{(4,458 \times 3,41)}$	0,039 m
5	Numero de Froude (F)	$F = \frac{V1}{(h1 \times g)^{0,5}}$	$F = \frac{4,458}{(0,039 \times 9,81)^{0,5}}$	7,164
6	Altura Final del Resalto (h2)	$h2 = \left(\frac{h1}{2}\right) \times \sqrt{1 + 8 \times F^2} - 1$	$h2 = \left(\frac{0,039}{2}\right) \times \sqrt{1 + 8 \times 7,164^2} - 1$	0,381 m
7	Cálculo de Perdida de Energía (H)	$H = \frac{(h2 - h1)^3}{(4 \times h1 \times h2)}$	$H = \frac{(0,381 - 0,039)^3}{(4 \times 0,039 \times 0,381)}$	0,661 m
8	Cálculo de la Longitud del Resalto (L)	$L = 6 \times (h2 - h1)$	$L = 6 \times (0,381 - 0,039)$	2,047 m
9	Velocidad al final del perfil (V2)	$V2 = \frac{Q}{(h2 \times B)}$	$V2 = \frac{0,600}{(0,381 \times 3,41)}$	0,462 m/s
10	Velocidad Promedia en el Perfil (Vm)	$Vm = \frac{(V1 + V2)}{2}$	$Vm = \frac{(4,458 + 0,462)}{2}$	2,460 m/s
11	Cálculo del Tiempo de Mezcla (To)	$t = \frac{L}{Vm}$	$t = \frac{2,047}{2,460}$	0,832 s

PARAMETRO	FORMULA	CÁLCULOS	RESULTADO	UNIDAD
12 Cálculo del Gradiente de Velocidad (G)	$G = \sqrt{\frac{Y}{\mu} \times \frac{H}{t}}$	$G = \sqrt{\frac{998,68}{9,99 \times 10^{-5}} \times \frac{0,661}{0,832}}$	2817,48	s ⁻¹

Fuente: Elaboración Propia, 2020

En materia de revisión, se obtiene el siguiente análisis:

- ✓ Número de Froude

De acuerdo al parágrafo 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 600 L/s, el número de Froude de 7,164 aplica al estar dentro del rango establecido, lo que indica que para este caudal se logra generar un resalto estable

- ✓ 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.

Considerando lo expuesto anteriormente se puede inferir que para el caudal de diseño para la PTAP La Gota Fría, se logra generar la intensidad de agitación necesaria en la masa de agua para lograr la dispersión del coagulante, más sin embargo el gradiente de velocidad sobrepasa 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 600 L/s, el Gradiente de Velocidad Medio es de 2817,48 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 – Capítulo 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 600 L/s, el tiempo de mezcla de 0,832 segundos el cual aplica al ser inferior al valor reseñado.

6.2.2.1.3. Evaluación Hidráulica Mezcla Rápida (Q = 940 L/s)

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

$$G = \sqrt{\frac{Y}{\mu} \times \frac{H}{t}} \quad (5)$$

Dónde,

G : Gradiente de Velocidad

Y : Peso específico del agua (998,68 kg/m³)

μ : Viscosidad Dinámica del agua (9,99 x 10⁻⁵ kg-s/m²)

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).



Fotografía 15. Nivelación Topográfica (unidad de Mezcla Rápida)

Fuente: Autora, 2020

$$H = 0,96 \text{ m}$$

El tiempo de retención de la unidad, para 21°C de temperatura, fue obtenido con el Análisis de Flujo mediante el ensayo de trazadores, su valor se presenta en el [ANEXO 1](#).

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

Por lo tanto, el Gradiente de Velocidad será:

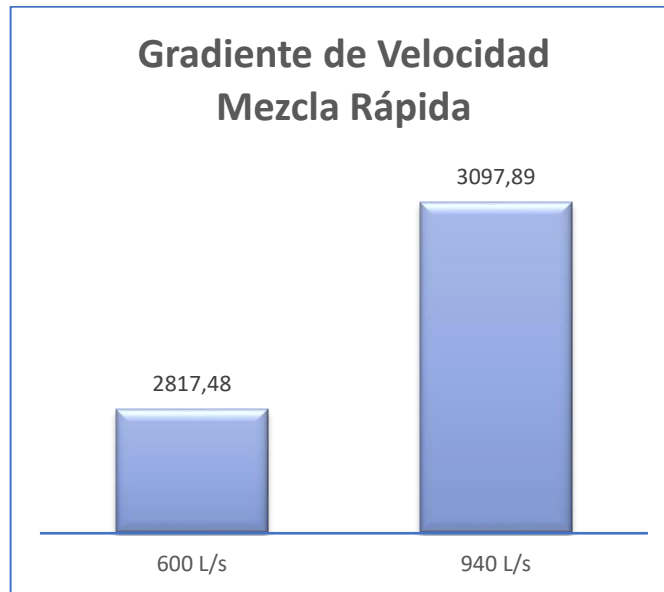
$$G = \sqrt{\frac{998,68}{9,99 \times 10^{-5}} \times \frac{0,96}{1}}$$

$$G = 3097,89 \text{ s}^{-1}$$

De acuerdo 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} , Rango para la cual no aplica el gradiente de velocidad para este caudal operativo de 940 L/s.

6.2.2.1.4. 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:



*Gráfico 31. Comparación Gradiente de Velocidad – Mezcla Rápida (Q. Diseño y Operativo)
Fuente: Elaboración Propia, 2020*

El caudal operativo actual posee un Gradiente de Velocidad que es un 9% mayor que el Gradiente de Velocidad para el caudal de Diseño, el cual guarda relación con la sobrecarga del caudal que soporta actualmente la planta.

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 se encuentran por encima de los valores recomendados por la Resolución 0330 de 2017.

6.2.2.2. **Revisión Hidráulica en Floculadores**

6.2.2.2.1. **Mediciones de campo en Floculadores**

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

Tabla 14. Datos de entrada - Floculadores

PARÁMETROS	UNIDADES	VALOR
Caudal (Q)	m ³ /s	0,600
N° de Floculadores (NF)	unid	8
N° de Cámaras (NC)	unid	12
Ancho (L1)	m	1,84
Largo (L2)	m	1,96
Profundidad (H1)	m	2,4
Profundidad (H2)	m	2,1
Profundidad Media (Hm)	m	2,25
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	21
Viscosidad Cinemática (μ)	m ² /s	9,87*10 ⁻⁷

Fuente: Elaboración Propia, 2020

6.2.2.2.2. **Parámetros Teóricos Floculadores (Q = 600 L/s)**

Los parámetros de referencia a revisar son el número de cámaras, velocidad en el codo, tiempo de retención hidráulico y gradiente de velocidad. en la siguiente tabla se muestran las ecuaciones aplicadas y los resultados obtenidos al aplicarlas.

Tabla 15. Parámetros Teóricos Floculadores

PARAMETROS	ECUACIONES	CALCULOS	RESULTADO	UNIDAD
1 Caudal Especifico (q)	$q = \frac{Q}{N^{\circ} \text{ Floculadores}}$	$q = \frac{0,600}{8}$	0,075	m ³ /s
2 Volumen de Floculador (V)	$V = (L1 * L2 * Hm) * NC$	$V = (1,84 * 1,96 * 2,25) * 12$	97,37	m ³
3 Tiempo de retención en cada Floculador (T)	$T = \frac{V}{q}$	$T = \frac{93,37}{0,075} \times \frac{1}{60}$	21,64	min
4 Área de cada cámara (A)	$A = L1 * L2$	$A = 1,84 * 1,96$	3,60	m ²
5 Volumen de cada Cámara (Vc)	$Vc = A * Hm$	$Vc = 3,60 * 2,25$	8,11	m ³
6 Tiempo de retención de cada cámara (Tc)	$Tc = \frac{Vc}{q}$	$Tc = \frac{8,11}{0,075} \times \frac{1}{60}$	1,80	min
Zona 1 - 3 cámaras con codo de sección 39,8*39,8 cm				
Área del codo (Ao)				
7	L1= 0,398 Mts L2= 0,398 Mts	$Ao = L1 * L2$	$Ao = 0,398 * 0,398$	0,15 m ²
8	Perdida de entrada del flujo (h1)	$h1 = \frac{\left(\frac{q}{(Cd1 * Ao)}\right)^2}{(2 * g)}$	$h1 = \frac{\left(\frac{0,075}{(0,8 * 0,158)}\right)^2}{(2 * 9,81)}$	0,018 m

PARAMETROS	ECUACIONES	CALCULOS	RESULTADO	UNIDAD
9	Velocidad en el Codo (Vcodo)	$V_{codo} = \frac{q}{A_o}$	$V_{codo} = \frac{0,075}{0,15}$	0,47 m/s
10	Perdida en el codo (h2)	$h2 = K \times \frac{V_{codo}^2}{(2 \times g)}$	$h2 = 0,4 \times \frac{0,47^2}{(2 \times 9,81)}$	0,005 m
11	Perdida de salida en el codo (h3)	$h3 = \frac{\left(\frac{q}{(Cd2 * A_o)}\right)^2}{(2 \times g)}$	$h3 = \frac{\left(\frac{0,075}{(0,64 * 0,15)}\right)^2}{(2 \times 9,81)}$	0,028 m
12	Perdida de carga total en el tramo (h)	$h = h1 + h2 + h3$	$h = 0,018 + 0,005 + 0,028$	0,050 m
13	Pérdida Total (H1)	$H1 = 3 * h$	$H1 = 3 * 0,050$	0,15 m

Zona 2 - 3 cámaras con codo de sección 42,1*42,1 cm

Área del codo (Ao)				
14	L1= 0,421 Mts L2= 0,421 Mts	$A_o = L1 * L2$	$A_o = 0,421 * 0,421$	0,17 m ²
15	Perdida de entrada del flujo (h1)	$h1 = \frac{\left(\frac{q}{(Cd1 * A_o)}\right)^2}{(2 \times g)}$	$h1 = \frac{\left(\frac{0,075}{(0,8 * 0,17)}\right)^2}{(2 \times 9,81)}$	0,014 m
16	Velocidad en el Codo (Vcodo)	$V_{codo} = \frac{q}{A_o}$	$V_{codo} = \frac{0,075}{0,177}$	0,42 m/s

PARAMETROS	ECUACIONES	CALCULOS	RESULTADO	UNIDAD	
17	Perdida en el codo (h2)	$h2 = K \times \frac{V_{codo}^2}{(2 \times g)}$	$h2 = 0,4 \times \frac{0,42^2}{(2 \times 9,81)}$	0,004	m
18	Perdida de salida en el codo (h3)	$h3 = \frac{\left(\frac{q}{(Cd2 * Ao)}\right)^2}{(2 \times g)}$	$h3 = \frac{\left(\frac{0,075}{(0,64 * 0,17)}\right)^2}{(2 \times 9,81)}$	0,022	m
19	Perdida de carga total en el tramo (h)	$h = h1 + h2 + h3$	$h = 0,014 + 0,004 + 0,022$	0,040	m
20	Pérdida Total (H2)	$H2 = 3 * h$	$H2 = 3 * 0,040$	0,12	m

Zona 3 - 3 cámaras con codo de sección 45,3*45,3 cm

Área del codo (Ao)					
21	L1= 0,453 Mts L2= 0,453 Mts	$Ao = L1 * L2$	$Ao = 0,421 * 0,421$	0,205	m ²
22	Perdida de entrada del flujo (h1)	$h1 = \frac{\left(\frac{q}{(Cd1 * Ao)}\right)^2}{(2 \times g)}$	$h1 = \frac{\left(\frac{0,075}{(0,8 * 0,205)}\right)^2}{(2 \times 9,81)}$	0,011	m
23	Velocidad en el Codo (Vcodo)	$V_{codo} = \frac{q}{Ao}$	$V_{codo} = \frac{0,075}{0,205}$	0,36	m/s
24	Perdida en el codo (h2)	$h2 = K \times \frac{V_{codo}^2}{(2 \times g)}$	$h2 = 0,4 \times \frac{0,365^2}{(2 \times 9,81)}$	0,003	m

PARAMETROS	ECUACIONES	CALCULOS	RESULTADO	UNIDAD
25 Perdida de salida en el codo (h3)	$h3 = \frac{\left(\frac{q}{(Cd2 * Ao)}\right)^2}{(2 \times g)}$	$h3 = \frac{\left(\frac{0,075}{(0,64 * 0,205)}\right)^2}{(2 \times 9,81)}$	0,017	m
26 Perdida de carga total en el tramo (h)	$h = h1 + h2 + h3$	$h = 0,011 + 0,003 + 0,017$	0,03	m
27 Pérdida Total (H3)	$H3 = 3 \times h$	$H3 = 3 \times 0,03$	0,09	m
Zona 4 - 3 cámaras con codo de sección 50,1*50,1 cm				

Área del codo (Ao)

28	L1= 0,501 Mts L2= 0,501 Mts	$Ao = L1 \times L2$	$Ao = 0,501 \times 0501$	0,25	m ²
29	Perdida de entrada del flujo (h1)	$h1 = \frac{\left(\frac{q}{(Cd1 \times Ao)}\right)^2}{(2 \times g)}$	$h1 = \frac{\left(\frac{0,075}{(0,8 \times 0,25)}\right)^2}{(2 \times 9,81)}$	0,007	m
30	Velocidad en el Codo (Vcodo)	$Vcodo = \frac{q}{Ao}$	$Vcodo = \frac{0,075}{0,251}$	0,30	m/s
31	Perdida en el codo (h2)	$h2 = K \times \frac{Vcodo^2}{(2 \times g)}$	$h2 = 0,4 \times \frac{0,30^2}{(2 \times 9,81)}$	0,002	m

PARAMETROS	ECUACIONES	CALCULOS	RESULTADO	UNIDAD
32 Perdida de salida en el codo (h3)	$h3 = \frac{\left(\frac{q}{(Cd2 \times Ao)}\right)^2}{(2 \times g)}$	$h3 = \frac{\left(\frac{0,075}{(0,64 \times 0,25)}\right)^2}{(2 \times 9,81)}$	0,011	m
33 Perdida de carga total en el tramo (h)	$h = h1 + h2 + h3$	$h = 0,007 + 0,002 + 0,02$	0,02	m
34 Pérdida Total (H4)	$H4 = 3 \times h$	$H4 = 3 \times 0,02$	0,06	m
Cálculos Finales				
35 Pérdida Total en las doce cámaras (H)	$H = H1 + H2 + H3 + H4$	$H = 0,0151 + 0,121 + 0,090 + 0,060$	0,422	m
36 Periodo de retención en cada tramo (Tr)	$Tr = 3 \times T \text{ cámara}$	$Tr = 3 \times 1,80$	5,40	min
37 Gradiente de Velocidad en cada Floculador (G)	$G = \left(g \times \frac{H}{t} \times \mu\right)^{0,5}$	$G = \left(9,81 \times \frac{0,422}{21,64 \times 60 \times 10^{-7}} \times 9,87\right)^{0,5}$	56,81	Seg ⁻¹
38 Gradiente de velocidad para cada tramo del Floculador (G)	$G1 = \left(g \times \frac{H1}{t} \times \mu\right)^{0,5}$	$G1 = \left(9,81 \times \frac{0,015}{5,40 \times 60 \times 10^{-7}} \times 9,87\right)^{0,5}$	67,99	s ⁻¹
	$G2 = \left(g \times \frac{H2}{t} \times \mu\right)^{0,5}$	$G2 = \left(9,81 \times \frac{0,12}{5,40 \times 60 \times 10^{-7}} \times 9,87\right)^{0,5}$	60,76	s ⁻¹

PARAMETROS	ECUACIONES	CALCULOS	RESULTADO	UNIDAD
	$G3 = (g \times \frac{H3}{t} \times \mu)^{0,5}$	$G3 = (9,81 \times \frac{0,09}{5,40 \times 60 \times 10^{-7}} \times 9,87)^{0,5}$	52,48	s ⁻¹
	$G4 = (g \times \frac{H4}{t} \times \mu)^{0,5}$	$G4 = (9,81 \times \frac{0,06}{5,40 \times 60 \times 10^{-7}} \times 9,87)^{0,5}$	42,90	s ⁻¹
		$V1 = \frac{0,075}{0,158}$	0,47	m/s
		$V2 = \frac{0,075}{0,177}$	0,42	m/s
39	Cálculo de la velocidad del agua en los codos (V)	$V = \frac{q}{Ao}$		
		$V3 = \frac{0,075}{0,205}$	0,37	m/s
		$V4 = \frac{0,075}{0,251}$	0,30	m/s

Fuente: Elaboración Propia, 2020

En materia de revisión, se obtiene el siguiente análisis:

✓ Número de Cámaras

Cuanto mayor sea el número de compartimentos, menores serán los cortocircuitos del agua, de acuerdo a lo definido por el CEPIS Capítulo 6 – Floculación, por lo tanto y en concordancia con lo referido en el título C – C.F.1. donde

expone que el número mínimo de cámaras es de 9 pero es preferible hacer 12 o el número de unidades necesarias para el volumen de agua que se necesite tratar, se concluye que el número de cámaras con los que cuenta esta unidad se encuentra dentro de las recomendaciones idóneas.

✓ Velocidad en el codo

De acuerdo a la Ficha Técnica C.F.1 “Floculación Hidráulica” del Título C: Sistemas de Potabilización del RAS, en los codos la velocidad debe estar entre 0.4 m/s y 0.2 m/s. En estas unidades se presentan 4 zonas de floculación las cuales deben de estar dentro del rango exigido para evitar ruptura del floc.

Zona 1 - 3 cámaras con codo de sección 39,8 por 39,8 cm = 0,47 m/s

Zona 2 - 3 cámaras con codo de sección 42,1 por 42,1 cm = 0,42 m/s

Zona 3 - 3 cámaras con codo de sección 45,3 por 45,3 cm = 0,37 m/s

Zona 4 - 3 cámaras con codo de sección 50,1 por 50,1 cm = 0,30 m/s

En vista de lo anterior, se infiere que la velocidad del agua en los codos a medida pasa las 4 zonas van decreciendo, pero no logra alcanzar velocidades bajas de 0,20 m/s, lo que disminuye la eficiencia de estas unidades.

✓ Tiempo de Retención Hidráulico

De acuerdo 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 requerido en la unidad de floculación para que se produzca la aglomeración de las partículas debe estar establecido en un rango de 20 a 40 minutos. Para el caudal de 600 L/s, el tiempo de retención hidráulico es de 21,64 minutos lo cual se encuentra dentro del rango establecido, resaltando que es muy cercano al límite inferior.

✓ Gradiente de Velocidad

De acuerdo al CEPIS Capítulo 6 - Floculación, Gradientes elevados en los primeros compartimentos promueven una aglomeración más acelerada de los flóculos; gradientes más bajos en las últimas cámaras reducen la fragmentación. Y por lo cual es conveniente realizar una compartimentalización con gradientes escalonados

en forma decreciente. En estas unidades se presentan 4 zonas de floculación presentadas de la siguiente manera:

Zona 1 - 3 cámaras con codo de sección 39,8 por 39,8 cm = 67,99 s⁻¹

Zona 2 - 3 cámaras con codo de sección 42,1 por 42,1 cm = 60,76 s⁻¹

Zona 3 - 3 cámaras con codo de sección 45,3 por 45,3 cm = 52,48 s⁻¹

Zona 4 - 3 cámaras con codo de sección 50,1 por 50,1 cm = 42,90 s⁻¹

Con base a lo anterior y de acuerdo a la Ficha Técnica C.F.1 “Floculación Hidráulica” del Título C: Sistemas de Potabilización del RAS el 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 cual expone que el gradiente de velocidad requerido en la unidad de floculación debe estar establecido en un rango de 10 a 70 s⁻¹ , se puede inferir que si bien se encuentra dentro del rango no cumple con lo dispuesto, debido a que solo existe gradientes altos y medio pero no existen gradientes bajos.

6.2.2.2.3. Evaluación Hidráulica Floculadores (Q = 940 L/s)

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

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

Dónde,

G : Gradiente de Velocidad

g : Gravedad (9,81 m/s²)

μ : Viscosidad Dinámica del agua (9,99 x 10⁻⁵ kg-s/m²)

H : Pérdida de Carga (obtenido por nivelación topográfica = 0,41 m)

t : Tiempo de retención (s)

Las pérdidas de carga se obtuvieron por nivelación topográfica. $H= 0,41$ 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 21°C son los siguientes:

Tabla 16. Tiempo de Retención y Caudal para cada Floculador de la PTAP La Gota Fría
Floculadores - Caudal 940 L/s

Floculadores	F 1	F 2	F 3	F 4	F 5	F 6	F 7	F 8
Tiempo de Retención (Min)	9	9	12	9	12	12	12	12
Caudal (L/s)	129,59	126,01	135,17	123,21	118,65	109,38	92,37	105,97

Fuente: Elaboración Propia, 2020

Los tiempos de retención presentados fueron obtenidos mediante ensayo de trazadores, visto anteriormente y el cual es presentado en la Tabla 10 y [ANEXO 1](#), así mismo los caudales obtenidos para cada floculador se presentan en la Tabla 9.

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

Tabla 17. Gradiente de Velocidad Promedio de los Floculadores. Caudal 940l/s

Floculadores	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Gradiente de Velocidad (G)	86,87	86,87	75,23	86,87	75,23	75,23	75,23	75,23

Fuente: Elaboración Propia, 2020

De acuerdo al artículo 112 de la Resolución 0330 de 2017, el gradiente de velocidad requerido en la unidad de floculación debe estar establecido en un rango de 10 a 70 s^{-1} . Como podemos constatar el gradiente de velocidad promedio para el caudal de operación de 940 l/s es mayor, teniendo en cuenta que a menores tiempos de retención los gradientes aumentan, esto se debe en gran medida a la sobrecarga de caudal que presenta esta planta.

6.2.2.2.4. Síntesis Caudal de Diseño y Operativo Floculador

Como se aprecia en el siguiente gráfico, para el caudal de operación de 940 L/s los gradientes promedio de velocidad obtenidos para cada floculador sobrepasan los rangos recomendados por la resolución 0330 de 2017 y para el caudal de diseño el gradiente de velocidad promedio se encuentra dentro del rango recomendado, pero se debe tener en cuenta que no se encontraron gradientes bajos como se muestra en el análisis realizado con anterioridad, lo que disminuye la eficiencia de estas unidades. (En rojo se observa el gradiente de velocidad para el caudal de diseño).

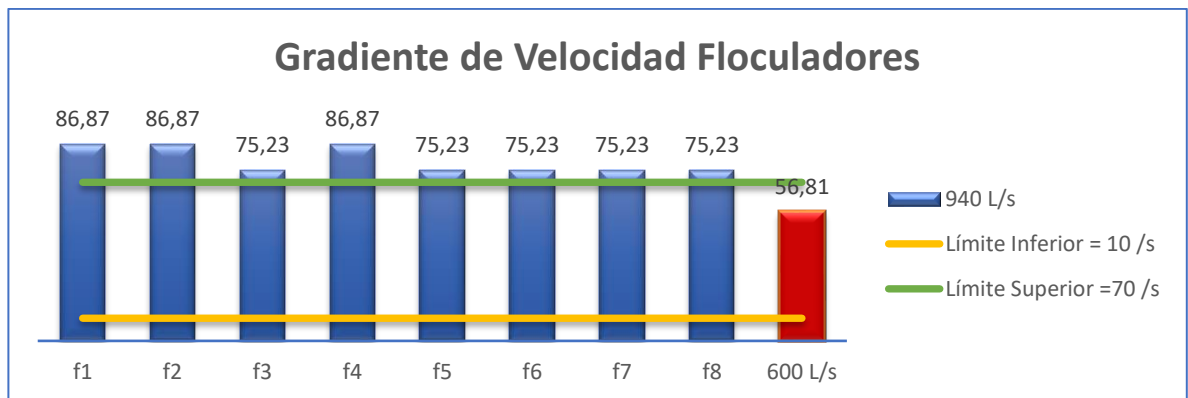


Gráfico 32. Comparación de Gradientes de Velocidad – Floculadores (Q. Diseño y operativo)
Fuente: Elaboración Propia, 2020

En cuanto a los tiempos de retención hidráulicos son inferiores al tiempo correspondiente al caudal de diseño.

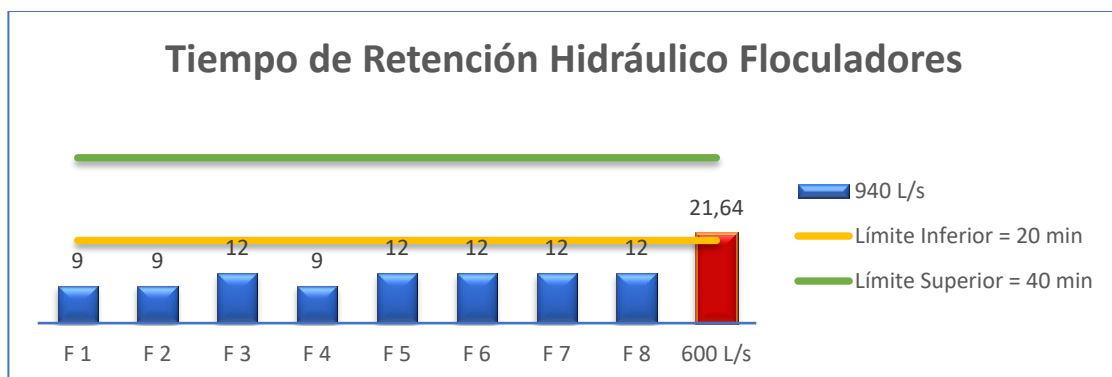


Gráfico 33. Comparación de Tiempos de Retención – Floculadores (Q. Diseño y operativo)
Fuente: Elaboración Propia, 2020

Se puede observar que para el caudal de operación se presentan tiempos de retención cortos y gradientes de velocidad altos, Condiciones que generan deficiencias en el proceso de potabilización.

Durante las visitas realizadas a la planta, se evidencia la sobrecarga de caudal a la cual es sometida las unidades de floculación. Por lo que la formación de Floc es muy pobre.

6.2.2.2.5. Revisión Box Couvert (Transición Floculador – Sedimentador)

La entrada de agua floculada al sedimentador se realiza por medio de un box en concreto de 0,50 de ancho x 0,52 m de alto, Se realizó el análisis del gradiente generado en la entrada, con el objeto de verificar que este gradiente sea menor al presentado en la última cámara de floculación, por lo tanto, se tiene que:

El gradiente de velocidad en el Box se define matemáticamente así:

$$G_{\text{Box}} = n \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} \times Rh^{-0,67} \times v^{1,50} \quad (6)$$

Dónde,

G Box : Gradiente de Velocidad

Y : Peso específico (998,68 kg/m³)

μ : Viscosidad Dinámica del agua (9,99 x 10⁻⁵ kg-s/m²)

Rh : Radio Hidráulico (0,17 m)

n : Coeficiente Manning (Concreto: 0,014)

V : Velocidad (0,3 m/s)

$$G_{\text{Box}} = 0,014 \sqrt{\frac{998,68 \text{ Kg/m}^3}{9,99 * 10^{-5} \text{ Kg * s/m}^2}} \times 0,17 \text{ m} \times 0,3 \text{ m/s} = 24 \text{ s}^{-1}$$

El canal de salida de agua floculada permite manejar un gradiente menor al de la salida del Floculador garantizando la estabilidad del Floc formado y entendiéndose en el artículo 112 de la Resolución 0330 de 2017.

Sin embargo, no satisface en su totalidad el literal C.3.4.3. “Aspectos de Diseño” del Título C: Sistemas de Potabilización del RAS, que expresa:

“El gradiente de velocidad en los canales, compuertas, orificios, vertederos, tuberías o cualquier otra estructura de paso del agua floculada no deben tener un gradiente de velocidad superior al de la cámara de floculación precedente. El gradiente de velocidad en los pasos entre cámaras no debe ser mayor de 20 s⁻¹. Por lo tanto, debe calcularse el gradiente en cada caso”

6.2.2.3. Revisión Hidráulica en Sedimentadores

6.2.2.3.1. Mediciones en Sedimentadores

En la siguiente tabla se presenta el resumen de las mediciones en las unidades de sedimentación de la PTAP Gota Fría.

Tabla 18. Datos de entrada - Sedimentadores

PARÁMETROS	UNIDADES	VALOR
Caudal (Q)	m3/Seg	0,600
#Sedimentadores	unid	8
# Módulos Sed.	unid	2
Long. Útil (L)	m	10,69
Ancho Útil (An)	m	2,41
Profundidad (P)	m	4
Long. Paneles (Lp)	m	1,2
Separación entre placas	m	0,06
Espesor		0,0015
Ang. Inclinación	grados	60
Viscosidad Cinemática (μ)	m2/s	$9,87 \cdot 10^{-7}$
Factor De Forma (So)		1,3

Fuente: Elaboración Propia, 2020

6.2.2.3.2. Parámetros Teóricos Sedimentadores (Q = 600 L/s)

En esta unidad se identifican 4 zonas de sedimentación:

Zona de entrada: se encarga de distribuir uniformemente el flujo de agua

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

Zona de lodos: funciona a través del sistema de drenaje

Zona de salida: Donde se ejerce control sobre el flujo de agua y a partir de allí se regula el nivel 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.

Para ello ha de aplicarse las siguientes formulaciones:

Zona de entrada

Evaluación de los orificios del Box Couvert del agua floculada

La distribución del agua floculada a las unidades de sedimentación se lleva a cabo por medio de un múltiple distribuidor ubicado en la parte inferior por la parte central de cada Sedimentador. El múltiple consiste en un box de 0,50 metros (m) de ancho x 0,52 m de alto y 10,60 m de largo, con 19 orificios de 6" por cada costado y espaciados 0,57 m centro a centro.

✓ Caudal del Orificio

$$Q \text{ orificio} = \frac{Q \text{ box}}{N^{\circ} \text{ Orificio Box}} \quad (7)$$

$$Q \text{ orificio} = \frac{0,075 \text{ m}^3/\text{s}}{38}$$

$$Q \text{ orificio} = 0,00197 \text{ m}^3/\text{s}$$

✓ Área del Orificio

$$A \text{ orificio} = \frac{\pi(D. \text{ orif})^2}{4} \quad (8)$$

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

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

✓ Velocidad del Orificio

$$\text{Vel. orificio} = \frac{Q \text{ orificio}}{A \text{ orificio}} \quad (9)$$

$$\text{Vel. orificio} = \frac{0,00197 \text{ m}^3/\text{s}}{0,018 \text{ m}^2}$$

$$\text{Vel. orificio} = 0,11 \text{ m/s}$$

✓ Radio Hidráulico

$$\text{Rorificio} = \frac{D. \text{ orificio}}{4} \quad (10)$$

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

$$\text{Rorificio} = 0,0381 \text{ m}$$

✓ Gradiente velocidad del orificio

$$G \text{ Orif} = \sqrt{\frac{f \times V^3}{\nu \times 8 \times R_h}} \quad (11)$$

$$G \text{ Orif} = \sqrt{\frac{0,04 \times (0,11 \text{ m/s})^3}{9,87 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s} \times 8 \times 0,0381}}$$

$$G \text{ Orif} = 13,30 \text{ s}^{-1}$$

De acuerdo a la Ficha Técnica C.F.1 "Floculación Hidráulica" del Título C: Sistemas de Potabilización del RAS 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 establecido en un rango de 10 a 70 s⁻¹. Igualmente, la misma norma, afirma que en el Sedimentador los gradientes de velocidad deben ser como máximo iguales a los de la última cámara del Floculador; de lo contrario el Floc puede tender a romperse repercutiendo en su caída al fondo del tanque. Se puede observar que el gradiente es menor.

Tabla 19. Parámetros Teóricos Sedimentadores

PARAMETRO	FORMULA	CÁLCULOS	RESULTADO	UNIDAD	
ZONA DE SEDIMENTACIÓN					
1	Caudal Unitario q	$q = \frac{Q}{\#Sedimentadores}$	$q = \frac{0,600}{8}$	0,075	m ³ /s
2	Área de cada módulo del Sedimentador (A)	$A = (Long.Util * Ancho) * \#Mod.Sed$	$A = 10,69 * 2,41$	25,76	m ²
3	Largo requerido para la inclinación de las placas 60°	$Lrp = Lp * Cos60^\circ$	$Lrp = 1,20 * Cos60^\circ$	0,60	m
4	Longitud total del Sedimentador	$Ls = L + Lrp$	$Ls = 10,69 + 0,60$	11,29	m
5	Volumen/ C. Modulo	$V = Long.Util * Ancho * Prof$	$V = 10,69 * 2,42 * 4$	103,05	m ³
6	Carga Superficial (cs)	$cs = \left(\frac{q * 86,400}{A * sen 60^\circ} \right) * \left(1 + \left(\frac{ep}{e} \right) \right)$	$cs = \left(\frac{0,075 * 86,400}{(25,76 * 2) * sen 60^\circ} \right) * \left(1 + \left(\frac{0,0015}{0,06} \right) \right)$	148,85	m ³ /m ² *día
7	Área Transversal (AT)	$AT = Ah + \frac{Apo}{sen60^\circ}$	$AT = 25,76 + \frac{(2,41 * 1,20)}{sen60^\circ}$	29,10	m ²

PARAMETRO	FORMULA	CÁLCULOS	RESULTADO	UNIDAD	
8	Número de Placas	$n = \frac{(AT * \text{Sen } 60)}{a(e + ep)}$	$n = \frac{(29,10 * \text{Sen } 60)}{2,41(0,06 + 0,0015)}$	170,05	
9	Velocidad del flujo (Vo)	$V_o = \frac{q * 86400}{AT * \text{Sen}60^\circ - (n * ep * a)}$	$V_o = \frac{0,075 * 86400}{25,76 * \text{Sen}60^\circ - (170,05 * 0,0015 * 2,41)}$	298,6642 0,0035	m/día m/s
10	Número de Reynolds	$Nre = e * \frac{V_o}{\mu}$	$Nre = 0,06 * \frac{0,0035}{9,87 * 10^{-7}}$	210,14	
11	Longitud Relativa	$L = \frac{l}{e}$	$L = \frac{1,20}{0,06}$	20	
12	Longitud de Transición	$L' = 0,013Nre$	$L' = 0,013Nre$	2,73	
13	Longitud relativa en flujo laminar, corregida en la Long. De transición	$L' < L \rightarrow Lo = L - L'$	$L' < L \rightarrow Lo = 20 - 2,73$	17,27	
14	Velocidad Critica de Sedimentación	$VSC = \frac{V_o * So}{\text{Sen}(60) + Lo\text{Cos}(60)}$	$VSC = \frac{298,6642 * 1,3}{\text{Sen}(60) + 17,27\text{Cos}(60)}$	40,87	m/día
15	Tiempo de Retención total en las celdas	$t = \frac{Lp}{V_o}$	$t = \frac{1,20}{0,0035 * 60}$	5,79	min
16	Tiempo de Retención / C. Sedimentador	$T = \frac{V}{Q}$	$T = \frac{103,05 * 2}{0,075 * 60}$	45,80	min

Fuente: Autor, 2020

- ✓ 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 2,41m que descargan a un canal de recolección principal de dimensiones de 0,50 m ancho x 1 m de alto x 11,29 m de largo, ubicadas a lo largo de cada Sedimentador y que finalmente entrega a los filtros.

En materia de revisión, 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 600 L/s, el tiempo de retención en cada sedimentador es de 45,80 min, lo cual se encuentra por encima del rango establecido por la normatividad.

✓ Carga superficial

De acuerdo a 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 rangos.

Para el caudal de 600 L/s, la carga superficial de 148,85 m³/m²-día se encuentra dentro del rango 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 600 L/s, el Número de Reynolds de 210,14 se encuentra dentro del rango establecido y aprobando la condición recomendada.

✓ Inclinação 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 600 L/s, la inclinación de las placas es de 60°, correspondiente al límite superior del rango establecido.

✓ 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 600 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 600 L/s, la extracción de lodos es continua.

6.2.2.3.3. Evaluación Hidráulica Sedimentadores (Q = 940 L/s)

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:

$$c_s = \left(\frac{q * 86,400}{A * \text{sen } 60^\circ} \right) * \left(1 + \left(\frac{ep}{e} \right) \right) \quad (12)$$

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 expresados en la tabla 9, en el capítulo 6.2.1.6., del presente documento.

Algunos de sus parámetros son calculados tal como se hizo en la tabla anterior.

Así mismo, los valores de los tiempos de retención hidráulica de cada unidad provienen del [ANEXO 1](#). Lo necesario para esta sección se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 20. Tiempo de retención, carga superficial y velocidad crítica de sedimentación de los decantadores

Parámetros	Sedimentador - Caudal 940 L/s							
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Tiempo (min)	33	28	38	28	33	28	28	28
Caudal (L/s)	129,59	126,01	135,17	123,21	118,65	109,38	92,37	105,97
Carga Superficial (m ³ /m ² -día)	256,02	250,06	267,93	244,11	234,19	216,33	182,59	208,39

Fuente: Elaboración Propia, 2020

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 de los Sedimentadores. Así mismo NO aplica ningún tiempo de retención.

Es importante destacar que unos de los principales problemas manifestado por los operadores y evidenciado durante la visita es que debido a las altas pérdidas de agua que se presentan en la red de distribución, es necesario operar la planta a un caudal mayor al de diseño para suplir el exceso de demanda. No obstante, esta práctica hace que durante picos de turbiedad la acumulación de lodo en las tolvas sea excesiva y la re suspensión del mismo sea constante afectando de manera importante los filtros. Por otro lado, la purga constante de los decantadores hace que la producción de agua disminuya notablemente.

6.2.2.3.4. Síntesis Caudal de Diseño y Operativo Sedimentador

Como se aprecia en el siguiente gráfico, 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.

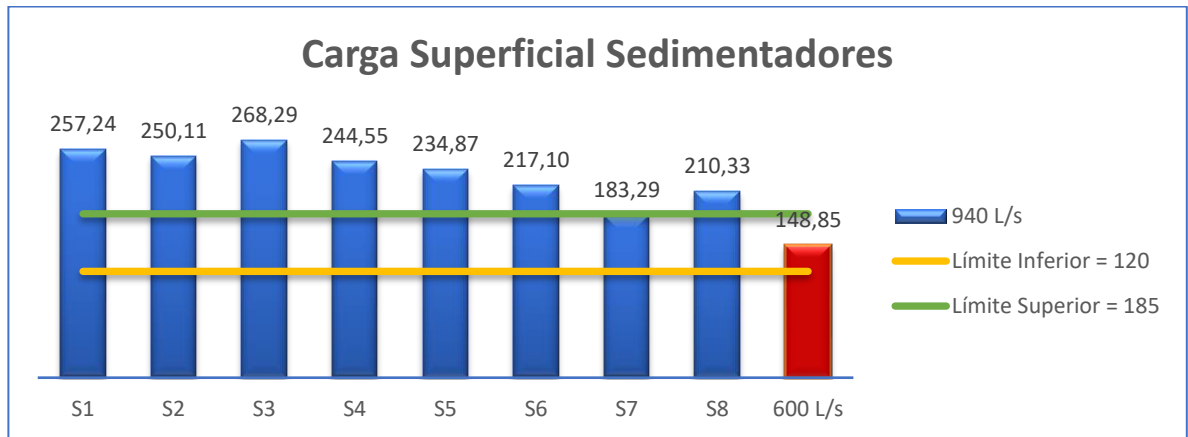
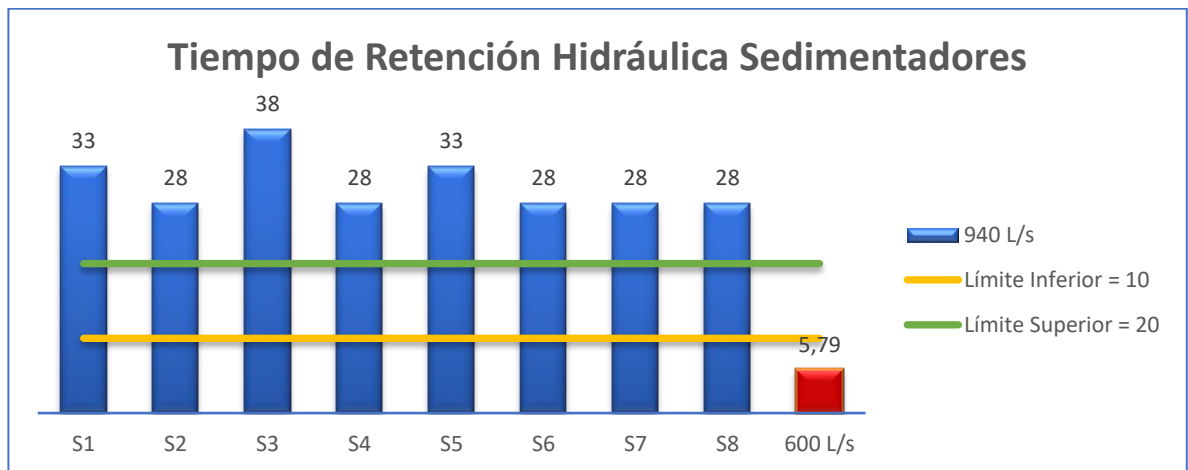


Gráfico 34. Comparación de Carga Superficial – Sedimentadores (Q. Diseño y Operativo)

Fuente: Elaboración Propia, 2020

Para los mismos lineamientos de recomendaciones y de diseños, el Tiempo de Retención Hidráulico presenta un comportamiento tal que el caudal operativo está muy por encima del límite superior y el caudal de diseño se encuentra por debajo del valor (límite inferior) recomendado.



6.2.2.4. Revisión Hidráulica en Filtros

6.2.2.4.1. Mediciones en Filtros

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

La planta La Gota Fría, cuenta con 6 unidades de filtración rápida. Las dimensiones de dichas unidades son las siguientes:

Tabla 21. Datos de entrada - Filtros

PARÁMETROS	UNIDADES	VALOR
Largo del Filtro (L)	m	5,51
Ancho del Filtro (A)	m	7,71
Profundidad del Filtro (H)	m	4,22
Área Superficial del Filtro (As)	m ²	42,48

Fuente: Elaboración Propia, 2020

Teniendo en cuenta que el área de filtración no corresponde al área superficial total de filtro, ya que esta incluye el área de la canaleta que recoge el agua de lavado y este no es área filtrante.

Las dimensiones dadas a continuación son las que corresponden al área filtrante. (Tomadas por medición directa):

Tabla 22. Medidas directas en la unidad de filtro

PARÁMETROS	UNIDADES	VALOR
Largo del Filtro (L)	m	4,67
Ancho del Filtro (A)	m	7,71
Área Superficial del Filtro (As)	m ²	36

Fuente: Elaboración Propia, 2020

6.2.2.4.2. Parámetros Teóricos Filtros (Q = 600 L/s)

A continuación, se presenta el cálculo del área de filtración total y tasa de filtración para los 6 filtros con que cuenta la planta gota fría y para su caudal de diseño de 600 l/s

1. Cálculo del Área de Filtración total (A)

$$A = (A_n * L) \# \text{Filtros} \quad (13)$$

$$A = (4,67\text{m} * 7,71\text{m}) * 6$$

$$A = 216,03 \text{ m}^2$$

2. Cálculo de la tasa de Filtración (Tf)

$$T_f = \frac{Q * 86.400}{A} \quad (14)$$

$$T_f = \frac{0,600 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 86.400 \text{ s}}{216,03 \text{ m}^2}$$

$$T_f = 239,97 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{día}}$$

6.2.2.4.2.1. Características de la unidad

Por encima del lecho filtrante se ubican las canaletas de lavado. Los filtros de la planta gota fría cuentan con 3 canaletas secundarias con dimensiones de 0,40 metros (m) de ancho, 7,71 m de largo y 0,40 m de alto los cuales vierten a una canaleta principal de lavado de 0,84 m de ancho y 7,71 m de largo

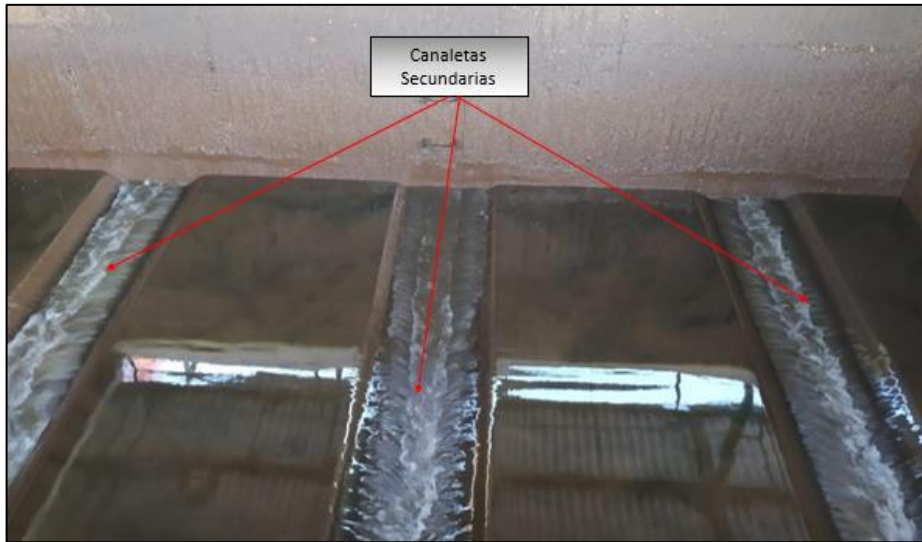


Figura 12. Canaletas secundarias en los filtros

Fuente: Elaboración Propia, 2020



Figura 13. Canaleta principal de lavado en los filtros

Fuente: Elaboración Propia, 2020

6.2.2.4.3. Evaluación Hidráulica Filtros (Q = 940 L/s)

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

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

$$T_f = \frac{0,940 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 86.400 \text{ s}}{216,03 \text{ m}^2}$$

$$T_f = 368,11 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{día}}$$

6.2.2.4.4. Síntesis Caudal de Diseño y Operativo

Resultado que es un 53% mayor con respecto a la tasa de filtración de diseño, valor que representa ineficiencia para la unidad.

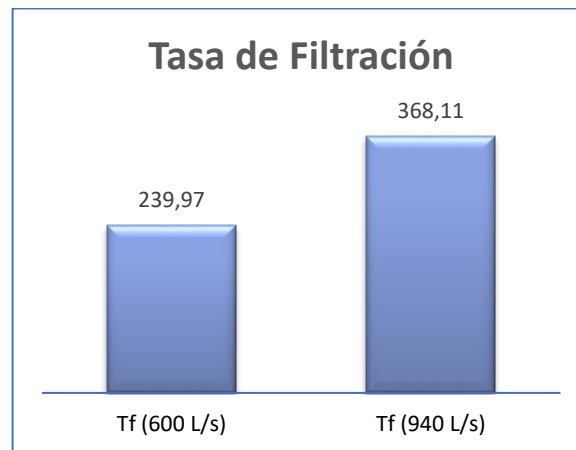


Gráfico 36. Tasas de filtración (Q. Diseño y operativo)

Fuente: Elaboración Propia, 2020

Conforme a lo recopilado en las visitas de inspección a la planta y según datos suministrados por los operarios, las carreras de filtración están cercanas a 12 horas en temporada seca cuando las turbiedades son bajas, pero pueda bajar hasta carreras de 4 a 6 horas en temporada de lluvias cuando las turbiedades aumentan, afectando de manera significativa la producción de agua, ya que lavados tan frecuentes no permiten producir los volúmenes necesarios de agua para suplir demanda. Por lo tanto, mientras la planta trabaje con caudales tan altos, los procesos precedentes a los filtros no trabajarán de manera adecuada y gran parte de la carga de tratamiento la seguirán recibiendo los filtros y en poco tiempo los lechos nuevamente se comenzarán a colmatar.

6.3. CALCULAR LA DEMANDA REQUERIDA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO Y ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE ACORDE AL CRECIMIENTO POBLACIONAL PROYECTADO DE LOS HABITANTES DE LA CIUDAD DE VALLEDUPAR

6.3.1. Proyección Poblacional

A continuación, se presenta el procedimiento seguido para la estimación de la población, el cálculo de la dotación bruta y la demanda de agua, teniendo en cuenta los lineamientos de la Resolución 0330 de 2017 y RAS Título C, con el fin de evaluar la capacidad real de los componentes del sistema, a lo largo del periodo de diseño establecido. Para su desarrollo se tuvo en cuenta la información de estudios previos, la recopilada en campo y la suministrada por la empresa EMDUPAR S.A. E.S.P.

Los resultados presentados a continuación pueden observarse en el [ANEXO 2](#).

6.3.1.1. Periodo de Diseño

Para todos los componentes de los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo, se adopta como periodo de diseño 25 años, según lo establecido por la Resolución 0330 de 2017- Art. 40 del Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. De acuerdo con el lineamiento trazado por el Ras – 2017, se procede al cálculo de la estimación de la población proyectado desde el año 2019 al año 2044.

6.3.1.2. Proyección Poblacional

6.3.1.2.1. Información de los censos ciudad de Valledupar

Para la proyección de la población se utilizan los métodos que adopta el RAS Título B⁶, de acuerdo a los datos recolectados de los censos realizados en el municipio de

⁶ Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO B. Sistemas de Acueducto / Vargas Liévano, Armando (Ed.). Bogotá, D.C. Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2010 [disponible en internet: <http://www.minvivienda.gov.co/lists/reglamentoaguasaneamiento/allitems.aspx>]. Recuperado el día 20 de Agosto de 2020.

Valledupar y analizados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE)⁷.

Tabla 23. Registro de Población – ciudad de Valledupar

AÑO	POBLACIÓN (Hab)
1951	9.011
1964	43.553
1973	98.669
1985	142.771
1993	202.404
2005	299.065
2018	459.394

Fuente: DANE, 2020

En la siguiente tabla se presenta el incremento anual de población año tras año, mediante análisis proyectivo del DANE.

Tabla 24. Proyecciones de población DANE – ciudad de Valledupar
PROYECCIÓN DANE 2018 - 2023

2018	431.794
2019	451.803
2020	468.165
2021	477.763
2022	484.453
2023	490.733

Fuente: DANE, 2020

A partir de los datos de la población proyectada del DANE se obtienen las ratas de crecimiento utilizadas

⁷ Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Censos. [disponible en internet: <https://www.dane.gov.co/index.php/60-espanol/demograficas/censos>]. Recuperado el día 20 de Agosto de 2020.

Tabla 25. Ratas de crecimiento de acuerdo a proyección DANE 2018-2023

AÑO	POBLACIÓN	RATA GEOMETRICA	RATA EXPONENCIAL	RATA LINEAL
2018	431.794			
2019	451.803	4,63%	4,53%	20.009
2020	468.165	3,62%	3,56%	16.362
2021	477.763	2,05%	2,03%	9.598
2022	484.453	1,40%	1,39%	6.690
2023	490.733	1,30%	1,29%	6.280

Fuente: Elaboración Propia, 2020

6.3.1.2.2. Cálculo de la Población de Estudio

Para la proyección de la población, se utilizó el procedimiento señalado en el numeral B.2.4.3.4., del RAS, el cual establece los métodos de proyección que se deben utilizar.

6.3.1.2.2.1. Proyección método aritmético

Supone un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración. La ecuación para calcular la población proyectada es la siguiente:

$$P_f = P_{uc} + \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} \times (T_f - T_{uc}) \quad (15)$$

Dónde,

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

P_{uc} : Población correspondiente a la proyección del DANE (habitantes).

P_{ci} : Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes).

T_{uc} : Año correspondiente al último año proyectado por el DANE

T_{ci} : Año correspondiente al censo inicial con información.

T_f : Año al cual se quiere proyectar la información.

6.3.1.2.2. Proyección método geométrico

Es útil en poblaciones que muestren una importante actividad económica, que genera un apreciable desarrollo y que poseen importantes áreas de expansión las cuales pueden ser dotadas de servicios públicos sin mayores dificultades. La ecuación que se emplea es:

$$P_f = P_{uc}(1 + r)^{T_f - T_{uc}} \quad (16)$$

Dónde,

r : Tasa de crecimiento anual en forma decimal.

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

P_{uc} : Población correspondiente a la proyección del DANE (habitantes).

P_{ci} : Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes).

T_{uc} : Año correspondiente al último año proyectado por el DANE

T_f : Año al cual se quiere proyectar la información.

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

$$r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{1/(T_{uc} - T_{ci})} - 1 \quad (17)$$

6.3.1.2.2.3. Proyección método exponencial

La utilización de este método requiere conocer por lo menos tres censos para poder determinar el promedio de la tasa de crecimiento de la población. Se recomienda su aplicación a poblaciones que muestren apreciable desarrollo y poseen abundantes áreas de expansión. La ecuación empleada por este método es la siguiente:

$$P_f = P_{ci} \times e^{k \cdot (T_f - T_{ci})} \quad (18)$$

Donde k es la tasa de crecimiento de la población la cual se calcula como el promedio de las tasas calculadas para cada par de censos, así:

$$k = \frac{\ln P_{cp} - \ln P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}} \quad (19)$$

Dónde,

P_p : Población del censo posterior (proyección del DANE).

P_{ca} : Población del censo anterior (habitantes).

T_{cp} : Año correspondiente al censo posterior.

T_{ca} : Año correspondiente al censo anterior.

\ln : Logaritmo natural o neperiano.

6.3.1.2.3. Tasas de Crecimiento Poblacional

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 26. Tasas de crecimiento acorde a los métodos de estimación poblacional

Año	Reta de Crecimiento Aritmético	Reta de Crecimiento Geométrico	Reta de Crecimiento Exponencial
2020	10000	4,60%	4,60%
2021	10000	4,60%	4,60%
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%

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

6.3.1.2.4. Población Proyectada

En base a las ratas de crecimiento se obtuvieron la población por cada método propuesto, obteniendo del promedio de los tres métodos, una población final de 727.241 habitantes, consiguiendo una rata de crecimiento entre 3,85 y 1,09%.

Tabla 27. Población Proyectada

Año	Total Crecimiento Aritmético	Total Crecimiento Geométrico	Total Crecimiento Exponencial	Total Crecimiento Aritmético
2020	454167	464599	465075	461280
2021	464167	485970	486968	479035
2022	474167	508325	509891	497461
2023	482667	526625	528581	512624
2024	491167	545583	547956	528235
2025	499667	565224	568041	544311
2026	508167	585572	588863	560867
2027	516667	606653	610448	577923
2028	523667	616177	620107	586650
2029	530667	625851	629919	595479
2030	537667	635677	639886	604410
2031	544667	645657	650011	613445
2032	551667	655794	660296	622586
2033	557667	664844	669471	630661
2034	563667	674019	678773	638820
2035	569667	683320	688204	647064
2036	575667	692750	697767	655395
2037	581667	702310	707462	663813
2038	587167	711300	716575	671681
2039	592667	720404	725806	679626
2040	598167	729625	735156	687649
2041	603667	738965	744626	695753
2042	609167	748423	754218	703936
2043	614167	757404	763323	711631
2044	619167	766493	772538	719399
2045	624167	775691	781864	727241

Fuente: Elaboración Propia, 2020

En el siguiente gráfico se presente el comportamiento de la proyección poblacional de la ciudad de Valledupar a los 25 años, establecido como periodo de diseño bajo las recomendaciones del artículo 40 de la resolución 0330 de 2017.

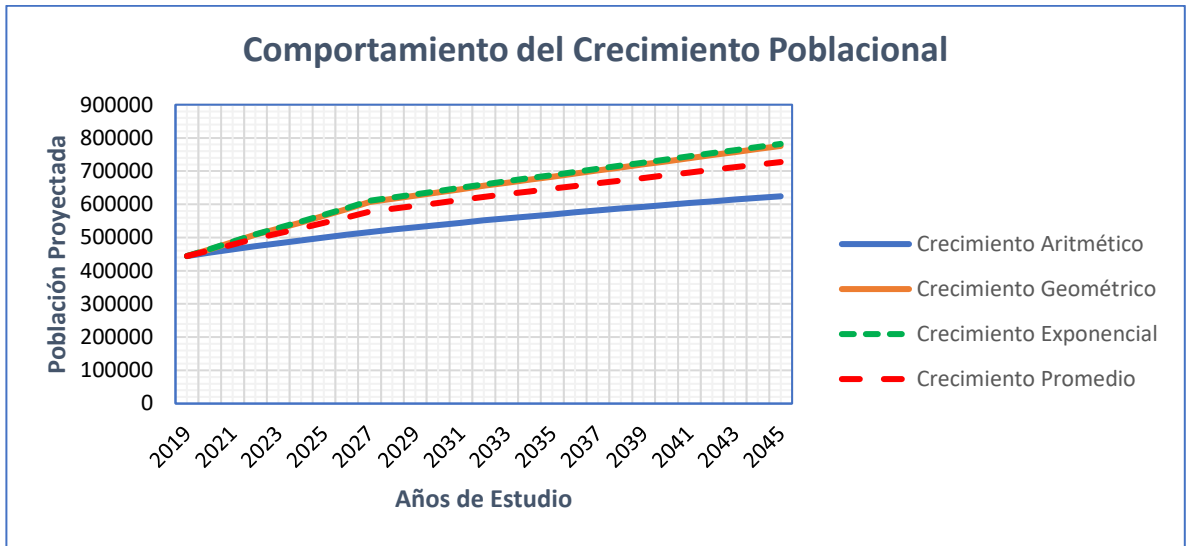


Gráfico 37. Comportamiento del Crecimiento Poblacional a 25 años
 Fuente: Elaboración Propia, 2020

Se espera que la ciudad de Valledupar tenga 727.241 habitantes para el año 2045, horizonte correspondiente a los 25 años del periodo de diseño establecido.

6.3.2. Estimación de la Demanda Requerida

6.3.2.1. Dotación Neta

Acorde al artículo 43 de la resolución 0330 de 2017, para poblaciones asentadas a menos de 1000 metros sobre el nivel del mar, la dotación neta máxima será de:

$$d_{\text{neta}} = 140 \frac{L}{\text{hab} - \text{dia}} \quad (20)$$

6.3.2.2. Pérdidas de Agua

El cálculo de la dotación bruta, es igual la Dotación Neta Actual dividida entre uno menos el porcentaje de pérdidas técnicas actual. Por consiguiente, se procede a realizar el cálculo del IANC, que corresponde al % de perdidas técnicas el cual según lo indicado por la Resolución 0330 de 2017, engloba el total de pérdidas esperadas en todos los componentes del sistema (como conducciones, aducciones y redes), así como las necesidades de la planta de tratamiento de agua potable.

6.3.2.2.1. IANC Actual

Usando los datos de producción en la PTAP y de consumo suministrados por EMDUPAR S.A. E.S.P, se puede determinar el Índice de Agua No Contabilizada IANC, para el año 2019.

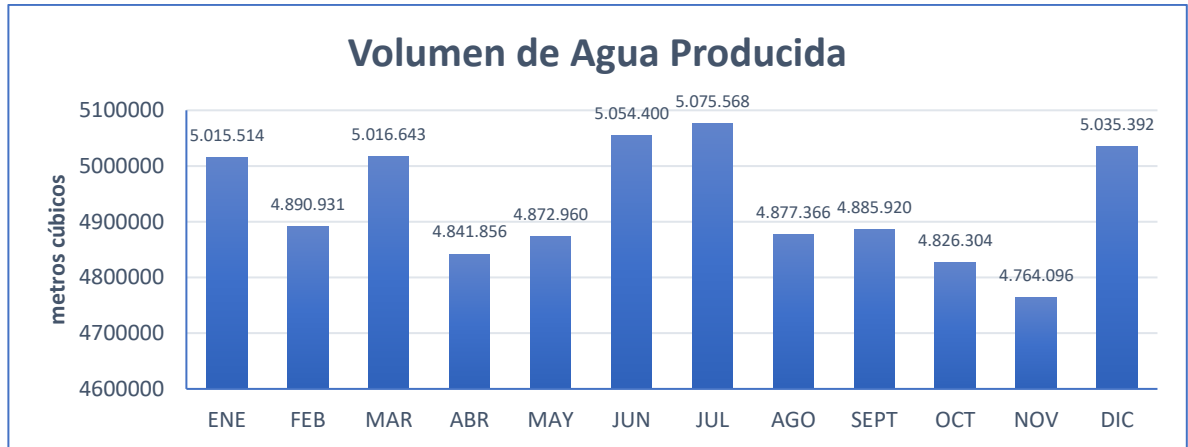


Gráfico 38. Volumen de Agua Producida – Año 2019
Fuente: Informe de Gestión de Indicadores – EMDUPAR S.A. E.S.P., 2019

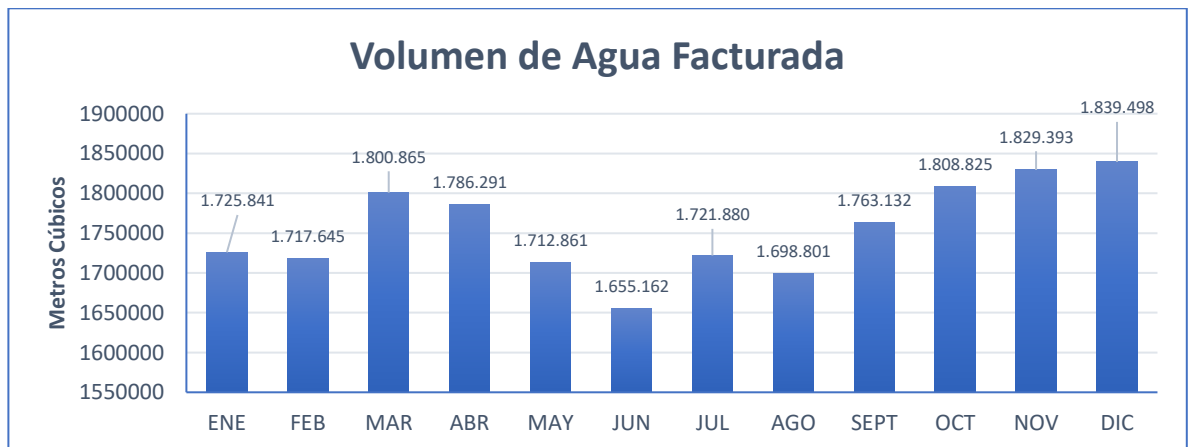


Gráfico 39. Volumen de Agua Facturada – Año 2019
Fuente: Informe de Gestión de Indicadores – EMDUPAR S.A. E.S.P., 2019

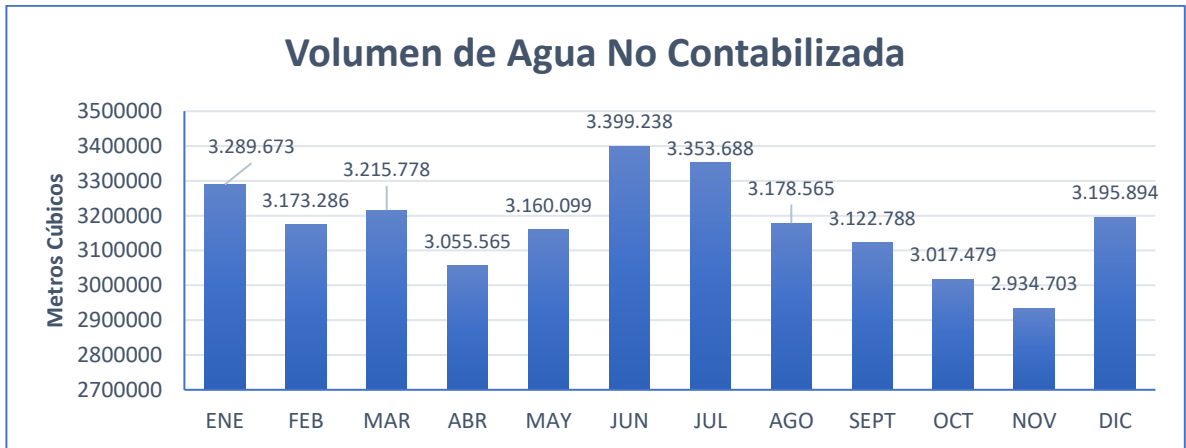


Gráfico 40. Volumen de Agua No Contabilizada – Año 2019

Fuente: Informe de Gestión de Indicadores – EMDUPAR S.A. E.S.P., 2019

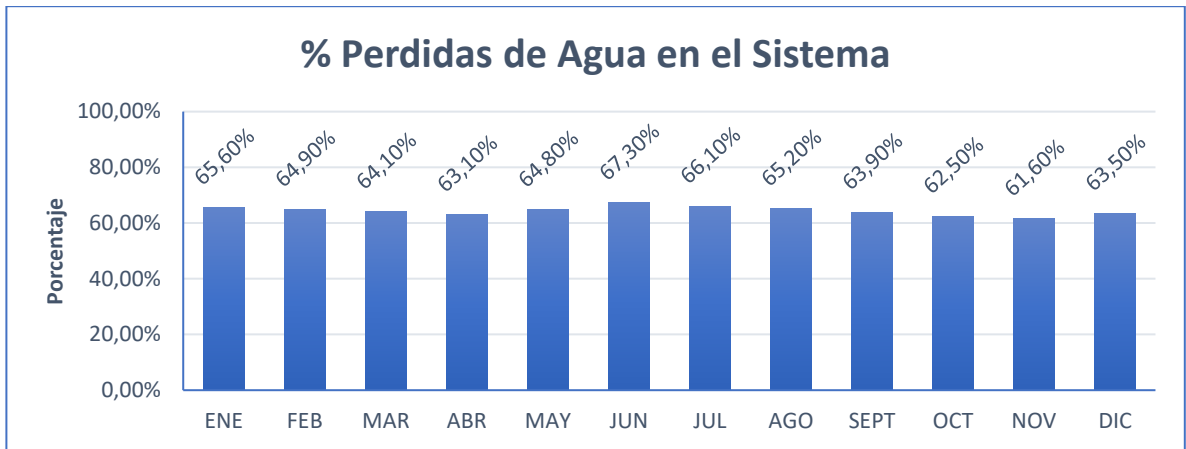


Gráfico 41. % de Pérdidas de Agua en el Sistema – Año 2019

Fuente: Informe de Gestión de Indicadores – EMDUPAR S.A. E.S.P., 2019

El IANC se calculará a partir de lo dispuesto en el numeral B.2.5.4 de la norma RAS 2000 “Las pérdidas técnicas corresponden a la diferencia entre el volumen de agua tratada y medida a la salida de la(s) planta(s) potabilizadora(s) y el volumen entregado a la población medido en las acometidas domiciliarias del municipio”.

Para este caso se adopta el IANC promedio del año 2019 que corresponde a 64,4%. Si bien, el valor es alto, es necesario que dichas pérdidas sean reducidas en el corto plazo, de lo contrario se tendrán dos escenarios; sobreexplotar la fuente hídrica (Río Guatapurí) para poder satisfacer las necesidades de la población o tener que racionar el servicio afectando de esta manera a los usuarios.

De acuerdo al párrafo enunciado en el artículo 44 de la resolución 0330 de 2017, las pérdidas máximas del sistema (%p) deben ser equivalente a un 25%. A partir de este criterio se estima que cada cinco años el valor de pérdida actual de agua disminuya a una tasa de 10%, alcanzando así el valor de 25% para el horizonte de diseño de 25 años.

6.3.2.3. Dotación Bruta

La formulación matemática para la dotación bruta se presenta en el artículo 44 de la resolución 0330 de 2017 y se define así:

$$D_{bruta} = \frac{d_{neta}}{(1 - \%p)} = \frac{140 \frac{L}{hab - día}}{(1 - \%p)} \quad (21)$$

Dónde,

D_{bruta} : Dotación Bruta.

d_{neta} : Dotación Neta (140 L/hab-día)

$\%p$: Porcentaje de pérdidas técnicas máximas en el sistema.

En el gráfico continuo se puede observar como las pérdidas disminuyen a la tasa estimada de 10% por cada cinco años y a medida como la dotación bruta es equiparable con el comportamiento.

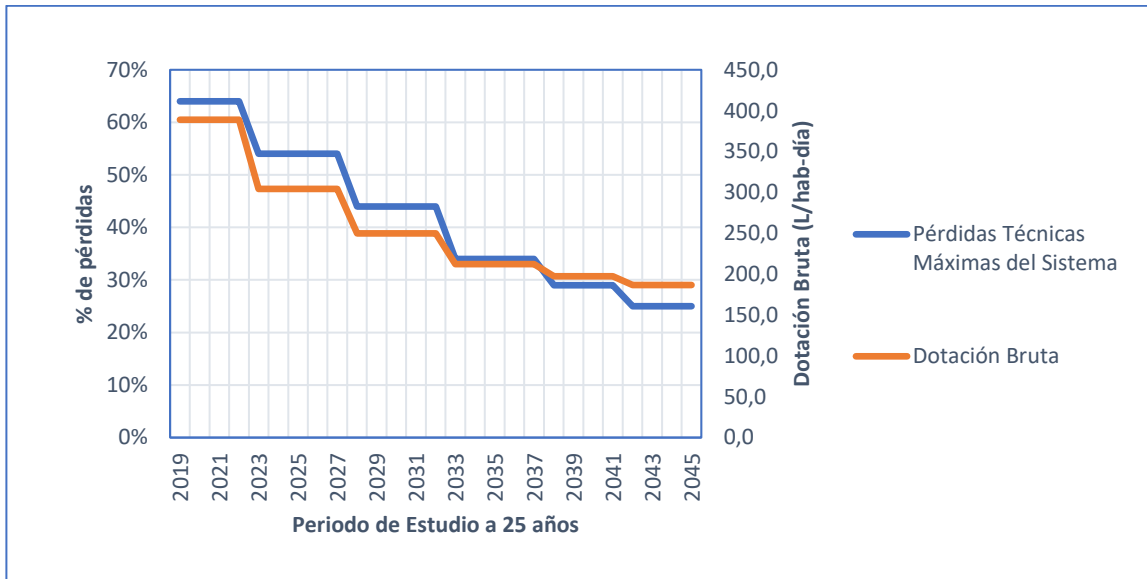


Gráfico 42. Comportamiento de las Pérdidas Técnicas Máximas del Sistema y Dotación Bruta
Fuente: Elaboración Propia, 2020

Para el año 2045, cuando se ha alcanzado el periodo de diseño de 25 años la Dotación Bruta se estima en 186,7 L/hab-día.

6.3.2.4. Caudales Medios

6.3.2.4.1. Demanda media residencial

Acorde al literal 2.8.2.1., del Título B “Sistema de Acueducto” del RAS, el Caudal Medio Diario se calcula mediante la siguiente formulación:

$$Q_{mr} = \frac{\text{No. Suscriptores} \times D_{bruta}}{30} \quad (22)$$

Dónde,

Q_{mr} : Caudal Medio Diario Residencial (m³/día).

D_{bruta} : Dotación Bruta (m³/hab-mes)

30 : Factor de conversión de mes a día.

Para efectos de cálculos posteriores, el resultado esperado, el caudal esperado debe estar expresado en litros por segundo, por eso se ajusta la formulación así:

$$Q_{mr} = \frac{\text{No. Suscriptores} \times D_{bruta}}{86400} \quad (23)$$

Donde el 86400 es el factor de conversión a segundos, de una dotación bruta que presenta sus datos diarios.

6.3.2.4.2. Demanda Media Otros Usos

Acorde al literal 2.5.3., del Título B “Sistema de Acueducto” del RAS, el caudal puede ser obtenido mediante los usos de agua que existan en el municipio: residencial, comercial, industrial, institucional, fines públicos, escuelas y usos en zonas rurales.

Sin embargo, para aquellos sistemas de acueducto donde los consumos del uso residencial representen más del 90% del consumo total de agua potable, el cálculo de agua se puede realizar teniendo en cuenta únicamente la dotación neta residencial sumándole a ésta un porcentaje que tenga en cuenta los otros usos en forma agrupada según los datos de consumo existentes.

Para el municipio de Valledupar, el 15% de la demanda residencial es destinado para otros usos. La demanda media de otros usos se obtiene mediante la siguiente formulación:

$$Q_{ou} = Q_{mr} \times 15\% \quad (24)$$

6.3.2.4.3. Demanda Media Diaria

Acorde al literal 2.8.3.1., del Título B “Sistema de Acueducto” del RAS, el Caudal Medio Diario

$$Q_{md} = \frac{p \times D_{bruta}}{86400} \quad (25)$$

Dónde,

Qmd : Caudal Medio Diario (m³/día).

D_{bruta} : Dotación Bruta (m³/hab-mes)

86400 : Factor de conversión de día a segundos.

En el siguiente Gráfico, se representa la Demanda media residencial, media de otros usos y media diaria.

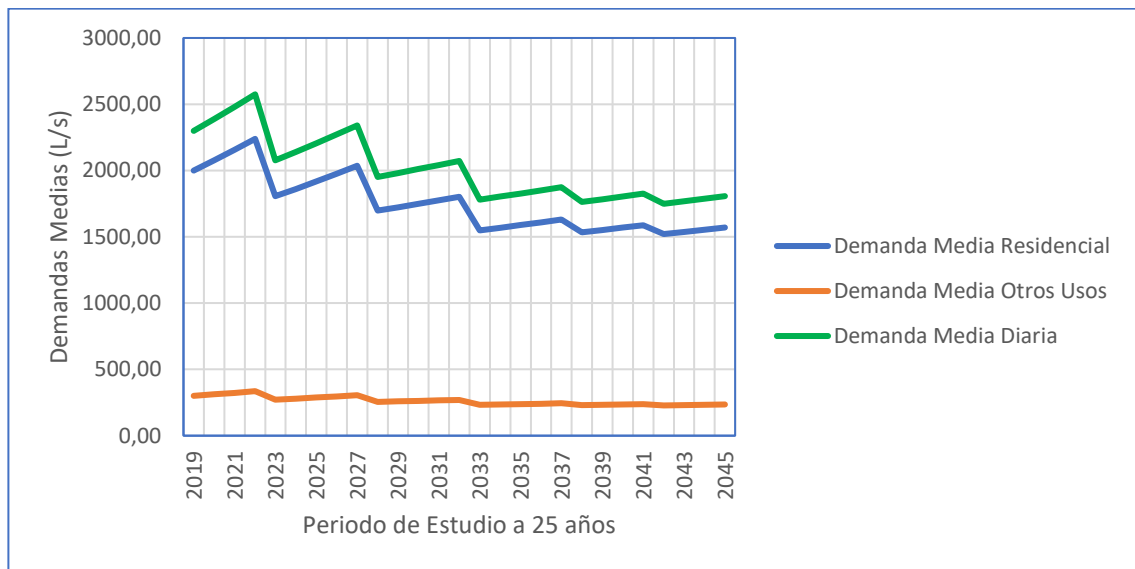


Gráfico 43. Comportamiento de las demandas medias de agua acorde a su uso
Fuente: Elaboración Propia, 2020

Como se aprecia, las demandas se van normalizando a medida se alcanza el periodo de diseño, cuestión que favorece el tratamiento en las unidades.

6.3.2.5. Caudales Máximos

6.3.2.5.1. Demanda Máxima Diaria

Acorde al literal 2.8.3.2., del Título B “Sistema de Acueducto” del RAS, el caudal máximo diario está dado por la siguiente formulación:

$$QMD = k_1 \times Qmd \quad (26)$$

Dónde,

QMD : Caudal Máximo Diario (L/s).

K₁ : Valor máximo 1.2. (Obtenido acorde al parágrafo 2 el artículo 47 de la resolución 0330 de 2017).

6.3.2.5.2. Demanda Máxima Horaria

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:

$$QMH = k_2 \times QMD \quad (27)$$

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).

En el siguiente gráfico se representa el comportamiento de la Demanda Máxima Diaria y Horaria.

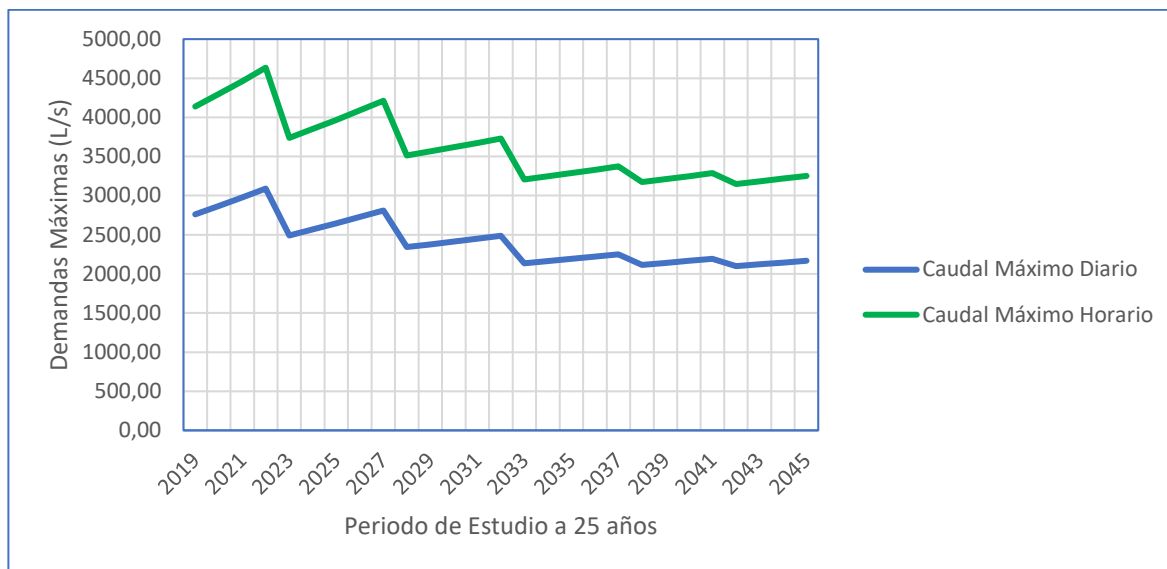


Gráfico 44. Comportamiento de las demandas máximas de agua

Fuente: Elaboración Propia, 2020

El comportamiento es la regulación y normalidad de los caudales, la reducción de los picos drásticos, contexto que favorece al sistema de abastecimiento de agua potable a la población futura.

A continuación, se presenta el resumen de la proyección de los caudales medios y máximos.

Tabla 28. Proyección de Caudales Medios y Diarios

Año	Población Final (habitantes)	Demanda media Diaria – Qmd (L/s)	Demanda Máxima Diaria (QMD)	Demanda Máxima Horaria (QMH)
2020	461280	2387,67	2865,21	4297,81
2021	479035	2479,57	2975,49	4463,23
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

Fuente: Elaboración Propia, 2020

De acuerdo a la tabla anterior se puede decir que el Caudal Máximo Diario (QMD) para el año de diseño (2045) es de 2168,25 l/s \approx 2170 l/s y el Caudal Máximo Horario (QMH) es de 3252,38 l/s.

6.3.2.6. Caudales de Diseño

El artículo 47 de la resolución 0330 de 2017 reglamenta los caudales de diseño a calcular son para los componentes del sistema de abastecimiento y potabilización de agua.

6.3.2.6.1. Caudal de Captación

Debido a que la fuente de captación es el río Guatapurí (superficial), tal como se regula en la disposición aclarada, este caudal será equivalente al doble del Caudal Máximo Diario (QMD):

$$Q \text{ Captación} = 2 \times QMD \quad (28)$$

6.3.2.6.2. Caudales de Aducción, Desarenador, PTAP y conducción

Acorde a la disposición regulatoria aclarada, se especifica que estos caudales serán equivalentes al Caudal Máximo Diario (QMD).

6.3.2.6.2.1. Caudal de Conducción Tanque – Red de Distribución y Red de Distribución

Acorde a la disposición regulatoria aclarada, se especifica que estos caudales serán equivalentes al Caudal Máximo Horario (QMH).

6.3.2.7. Volúmenes Tanque de Almacenamiento

El artículo 81 de la resolución 0330 de 2017 reglamenta el volumen útil del tanque de almacenamiento. Para ello se realizan los siguientes cálculos.

6.3.2.7.1. Capacidad Volumétrica de Regulación de Cabecera

En el mencionado artículo se dispone que la capacidad de almacenamiento debe ser igual a 1/3 del volumen distribuido en la zona que va a ser abastecida en el día de máximo consumo. Para determinar este volumen se emplea la siguiente formulación:

$$\text{CRC} = \text{QMD} \times \frac{1}{3} \times 86,4 \quad (29)$$

Dónde,

CRC : Capacidad de Regulación de Cabecera

QMD : Caudal Máximo Diario (L/s)

1/3 : Relación volumétrica que satisface la condición

86,4 : Factor de Conversión a m³ para un día

6.3.2.7.2. Capacidad Volumétrica Contra Incendios

Este mismo artículo regula la disposición de la capacidad volumétrica contra incendios, acorde al nivel de riesgo establecido en el Plan de Gestión de Riesgo Municipal. La ciudad de Valledupar se encuentra en riesgo medio, por lo tanto, un 25% del CRC corresponde a volumen útil contra incendios.

$$CI = CRC \times 25\% \quad (30)$$

Dónde,

CRC : Capacidad de Regulación de Cabecera

25% : Valor conforme a Riesgo de incendio Clase Medio.

6.3.2.7.3. Capacidad Volumétrica del Tanque

Corresponde a la suma del volumen destinado a incendios con el volumen de regulación de cabecera:

$$V \text{ Tanque} = CRC + CI \quad (31)$$

En el siguiente gráfico se representa la capacidad volumétrica de regulación de cabecera, contra incendios y el volumen total del tanque.

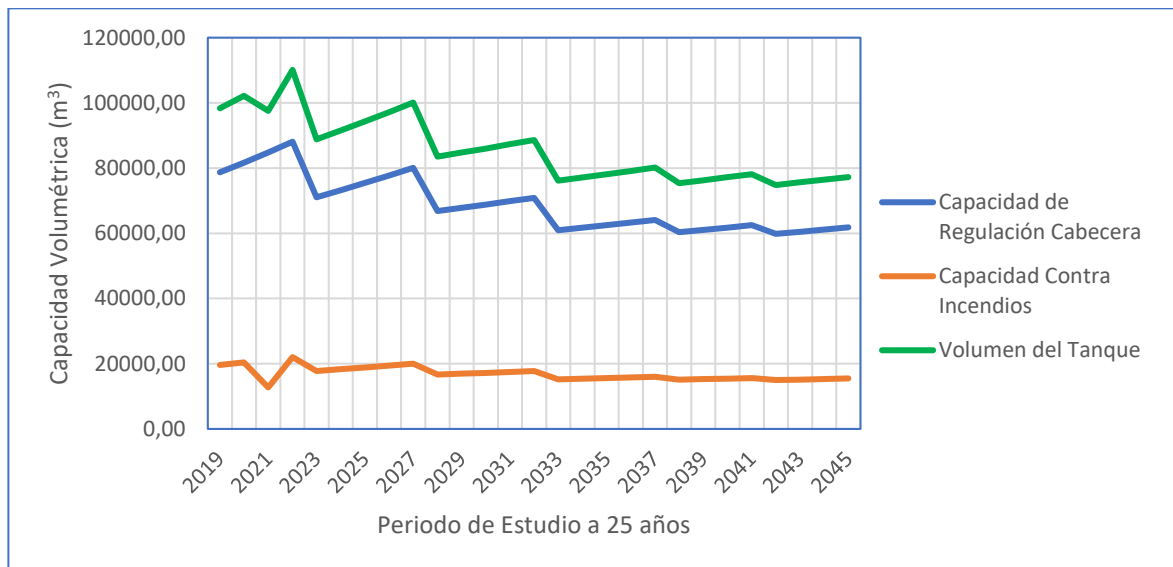


Gráfico 45. Capacidades Volumétricas - Tanque de Almacenamiento
Fuente: Elaboración Propia, 2020

Es de notar que la normalidad del gráfico se logra a medida las pérdidas disminuyen, lo que contribuye la reducción de la demanda bruta y también la estabilidad de las demandas medias, máximas y los caudales.

6.3.2.7.4. Déficit del Almacenamiento

Actualmente, el sistema de abastecimiento y tratamiento de agua potable de la empresa EMDUPAR S.A. E.S.P., cuenta con tres tanques de almacenamiento y un tanque en proceso constructivo; cuyas capacidades volumétricas son las siguientes:

- Tanque La Popa con 6010,2 m³.
- Tanque La Pedregosa con 4375 m³.
- Tanque de Compensación con 2000 m³.
- Tanque Nuevo con 20000 m³.

Para el cálculo se emplea esta simple formulación:

$$\text{Deficit Almacenamiento} = V \text{ Tanque} - V \text{ Tanques Existentes} \quad (32)$$

$$\text{Deficit Almacenamiento} = V \text{ Tanque} - (6010,2 + 4375 + 2000)$$

Este cálculo aplica para los primeros cuatro años, debido a que se estima que el tanque nuevo y de mayor capacidad entrará en funcionamiento para el año 2022. Acorde con esta aclaración, se agrega este volumen en los cálculos a partir del año en referencia (observar [ANEXO 2](#)).

$$\text{Deficit Almacenamiento} = V \text{ Tanque} - (6010,2 + 4375 + 2000 + 20000)$$

En la siguiente gráfica se representa el volumen real que se dispondrá:

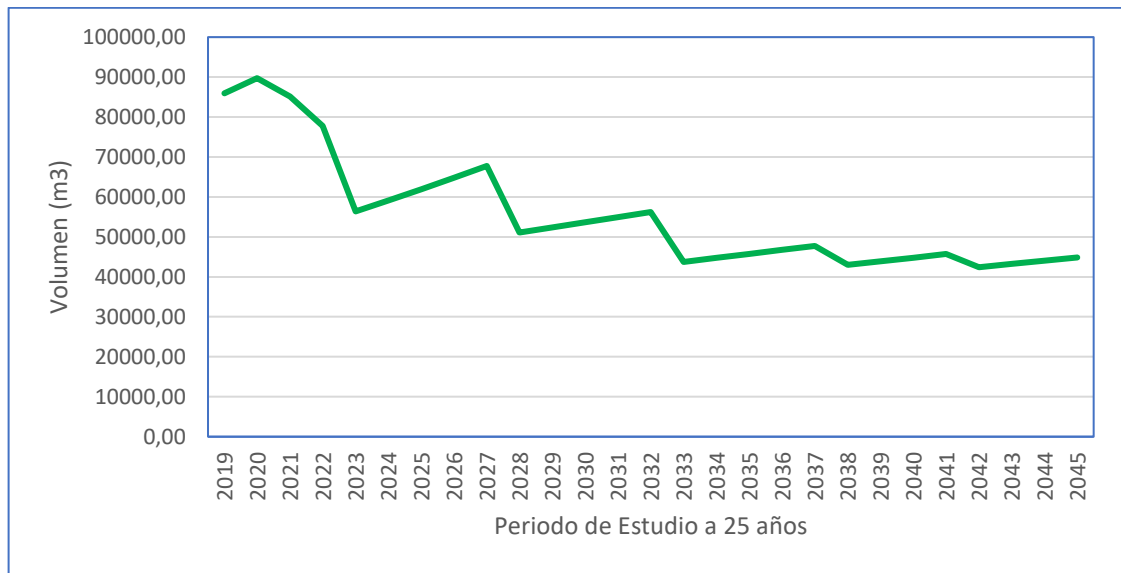


Gráfico 46. Comportamiento del Déficit de Volumen del Tanque

Fuente: Elaboración Propia, 2020

Como se observa en este gráfico y en concordancia con las demás gráficas, se normaliza la disponibilidad del líquido vital.

6.4. PLANTEAR ALTERNATIVAS DE ACUERDO A LAS CONDICIONES HIDRÁULICAS, CAPACIDAD INSTALADA Y ÁREA DISPONIBLE, QUE PERMITAN EL MEJORAMIENTO CONTINUO DE LA OPERACIÓN FUTURA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE “LA GOTA FRÍA”.

6.4.1. Planteamiento de Alternativa

Para cubrir la demanda de agua potable en la ciudad de Valledupar a un horizonte de diseño de 25 años (2045), de acuerdo a los resultados obtenidos de la proyección de la población y demanda, se determinó que el caudal que satisface las necesidades y garantiza el buen funcionamiento de las unidades de la planta de tratamiento de Valledupar es de 2170 l/s

En la actualidad las dos plantas de tratamiento de agua potable de la ciudad de Valledupar, tienen una capacidad de tratamiento total de 1800 L/s, presentando un déficit de tratamiento al horizonte final de diseño (2045) de 370 L/s, por lo tanto, se

requiere la ampliación del sistema de tratamiento de 1800L/s a 2170L/s. Es importante destacar, la necesidad de implementar programas de reducción de pérdidas y optimización de redes y tanques de almacenamiento, con el objeto de disminuir las pérdidas actuales que se encuentran en un 64%.

La alternativa planteada va dirigida a la ampliación de la planta “La Gota Fría”, de acuerdo a los resultados obtenidos de la proyección de la población y estimación de caudales, la cual para suplir el déficit del sistema de tratamiento al horizonte del proyectó, pasaría de un caudal de diseño de 600 l/s a un caudal de diseño de 970 l/s, y en el cual la ampliación de las unidades para suplir dicho déficit se realiza teniendo en consideración que las unidades propuestas serán diseñadas para operar con el mismo caudal unitario con que trabajan cada una de las unidades actuales de la planta.

Tabla 29. Caudales unitarios y número de unidades de la PTAP La Gota Fría

Unidades	Caudal Unitario de las unidades actuales	Número de unidades		Total
		Actuales	Requeridas	
Floculadores	75 L/s	8	5	13
Sedimentadores	75 L/s	8	5	13
Filtros	100 L/s	6	4	9

Fuente: Elaboración Propia, 2020

Con base en la tabla anterior se infiere el número de unidades requeridas para los Floculadores, Sedimentadores y filtros. No obstante, el número requerido para ampliación será determinado de igual forma por el al área disponible con que cuenta el sistema de tratamiento de agua potable. Por lo tanto, se es necesario conocer el área útil de la planta de agua potable de EMDUPAR S.A. E.S.P. que permita mostrar si es posible la ampliación del número total de unidades indicadas en la tabla anterior o en dado caso cuantas unidades permite de acuerdo al área disponible.

6.4.1.1. Área disponible para posible ampliación

En la siguiente ilustración se presenta la infraestructura vecina o aledaña a la PTAP La Gota Fría, que visto en sí permite identificar la zona más factible para la selección del área para dicha ampliación.



Ilustración 7. Infraestructura Existente del sistema de tratamiento de agua potable de la ciudad de Valledupar perteneciente a la empresa EMDUPAR S.A. E.S.P.

Fuente: Elaborado con Google Earth, 2020

De acuerdo a planos suministrados por la empresa EMDUPAR S.A. E.S.P., e imágenes tomadas de Google Earth, se puede identificar lo siguiente:

En los sentidos se ubican,

- ✓ Norte (N) – Oeste (W) → Caseta de dosificación y tanques dosificadores
- ✓ Sur (S) – Oeste (W) → Caseta de cloración
- ✓ Sur (S) – Este (E) → PTAP La Huaricha
- ✓ Norte (W) – Este (E) → Macromedidor – Vía Interna

Con base a estos puntos se determina el área disponible alrededor de la planta objeto del presente estudio, infiriendo que el área con mayor disponibilidad para una posible ampliación en sus unidades está ubicada en el noroeste de la planta.

El resultado de este análisis permite identificar las siguientes áreas aledañas:

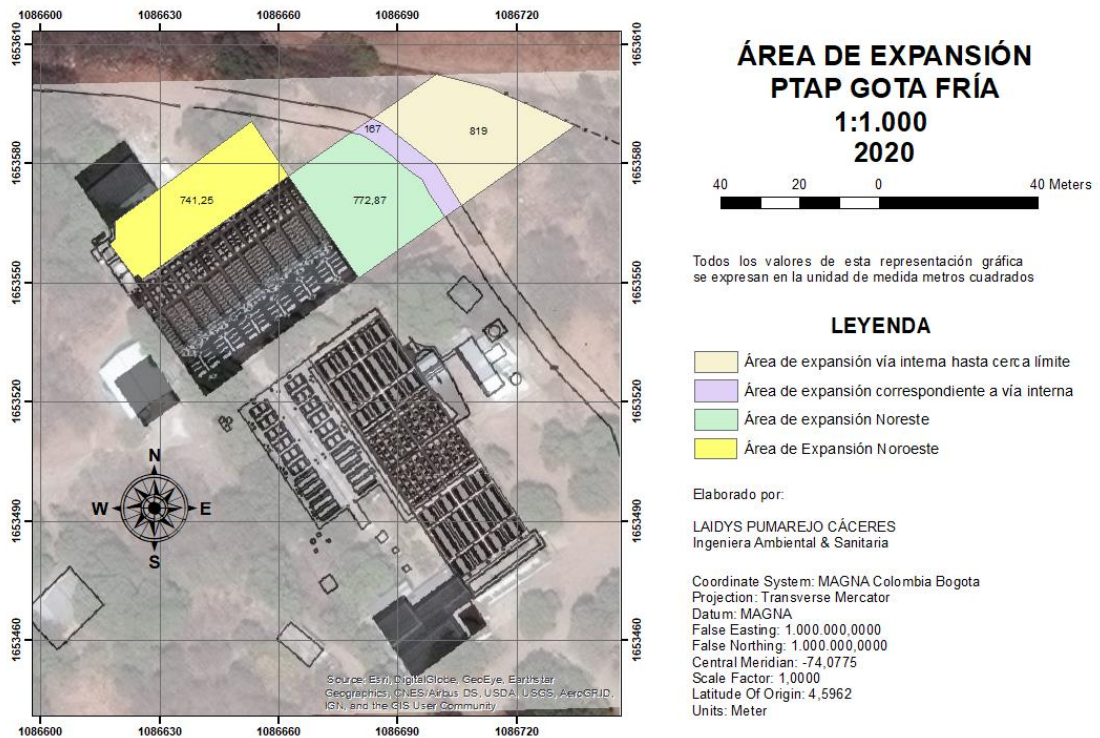


Ilustración 8. Áreas Disponibles para posible expansión

Fuente: Elaboración Propia, 2020

Si bien desde este punto se encuentra limitado por una tubería de 40" y su macro medidor contiguo a las unidades de filtración, la cual lleva el caudal a tratar para la planta "La Huaricha" y por la vía interna que conduce hacia el sistema de dosificación de la planta "La Gota Fría". Por lo tanto y en vista que este es el mayor espacio con que limita la planta en mención se procede a realizar una revisión en el dimensionamiento de dicha área, con el fin de conocer cuántas unidades pueden ampliarse.

- ✓ Macromedidor



Fotografía 16. Macromedidor Aledaño a la PTAP La Gota Fría

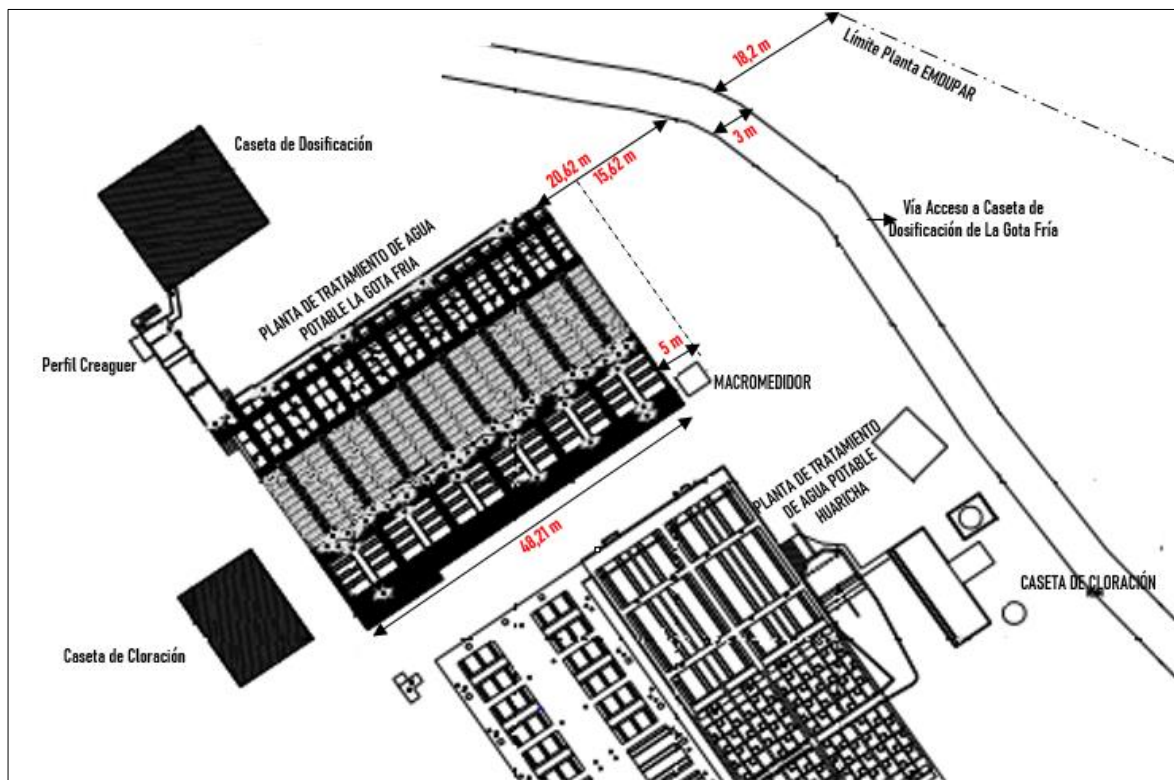
Fuente: Autora, 2020

- ✓ Tubería contigua a las unidades de tratamiento la gota fría, la cual conduce el agua cruda a la Planta Huaricha



Fotografía 17. Macromedidor Aledaño a la PTAP La Gota Fría

Fuente: Autora, 2020



*Ilustración 9. Medidas contiguas a la PTAP La Gota Fría
Fuente: Elaborado a partir de plano suministrado por EMDUPAR S.A. ES. P., 2020*

Con base a las medidas representadas en la ilustración anterior, se tuvieron en cuenta los siguientes puntos para presentar la mejor alternativa y conocer cuántas unidades permite ampliar de acuerdo al área disponible:

- ✓ No se realizará cambios de dimensiones externas de las unidades de tratamiento (Floculación, sedimentación y filtración).
- ✓ Las actuales unidades estarán separadas en un espacio de 5 metros de las unidades propuestas, con el fin de no intervenir la tubería de 40” que suministra el agua cruda para tratamiento a la planta “La Huaricha”, y en el cual se encuentra a su vez el macromedidor encerrado en malla.
- ✓ El canal de admisión de agua coagulada será la conexión de las unidades actuales con las propuestas y se extenderá con las medidas actuales con que cuenta esta unidad.

- ✓ Se tendrá en cuenta la vía interna que da acceso al sistema de dosificación de la planta “La Gota Fría.

Las medidas de las unidades de floculación actuales serán la guía para conocer cuánto puede ampliarse dichas unidades acuerdo al caudal proyectado y área disponible, teniendo en cuenta a su vez que las unidades siguientes están condicionadas por las unidades de floculación

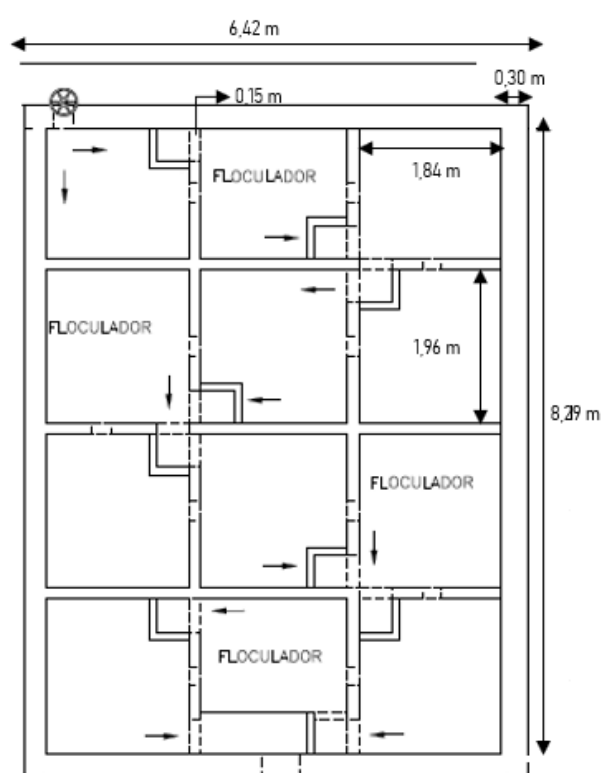


Ilustración 10. Medidas de una unidad de floculación

Fuente: Elaboración Propia, 2020

La longitud disponible para la ampliación de dichas unidades es de 15,62 metros hasta la vía de acceso a la caseta de dosificación de la planta La Gota Fría (ver ilustración N°9) y teniendo en cuenta las medidas establecidas para una unidad existente de floculación incluyendo el grosor de las paredes, (ver ilustración N°10) se puede determinar lo siguiente:

- ✓ 2 unidades de floculación → 12,34 m

- ✓ 3 unidades de floculación → 18,36 m
- ✓ 4 unidades de floculación → 24,33 m
- ✓ 5 unidades de floculación → 30,30 m

Con los datos anteriores se concluye que el total de 5 unidades necesarias para suplir el déficit al horizonte del proyecto de acuerdo a la tabla, sobrepasa el límite, teniendo en cuenta que solo se cuenta con una longitud de 15,62 m para llegar a la vía interna. Por lo tanto, se propone 3 unidades de floculación y mover la vía de acceso más al noroeste, de esta forma se obtiene el número máximo de unidades que se puede ampliar y se mantiene la vía de acceso a dicha planta.

Se muestra las condiciones finales de la planta con las unidades adicionales propuestas y su respectivo caudal de diseño.

Tabla 30. Condiciones Finales para la alternativa de caudal proyectado de 830 L/S

Unidades	Caudal Unitario de las unidades actuales	Número de unidades		Total
		Actuales	Requeridas	
Floculadores	75 L/s	8	3	11
Sedimentadores	75 L/s	8	3	11
Filtros	100 L/s	6	2	8

Fuente: Elaboración Propia, 2020

De acuerdo a las dimensiones de las unidades proyectadas con un caudal unitario de trabajo igual que el de las unidades actuales de la planta “La Gota Fría” se trabajaría con un caudal total de 830 l/s, resaltando que este caudal no supe la totalidad del requerido al horizonte del proyecto, pero que es lo máximo que se puede ampliar dicha unidad, de acuerdo al área disponible. Por lo tanto, el caudal restante respecto al déficit en el año 2045 de 2170 l/s se propone sea pensado en aumentar la capacidad de “La Planta Huaricha”, y así abarcar por completo el déficit al horizonte de proyecto.

Tabla 31. Área útil requerida para la alternativa formulada

Unidades	Área útil (m ²)
Floculadores	129,84
Sedimentadores	154,56
Filtros	72,01
Área Útil Total	356,41

Fuente: Elaboración Propia, 2020

La siguiente representación gráfica es imagen de lo expuesto en la alternativa:

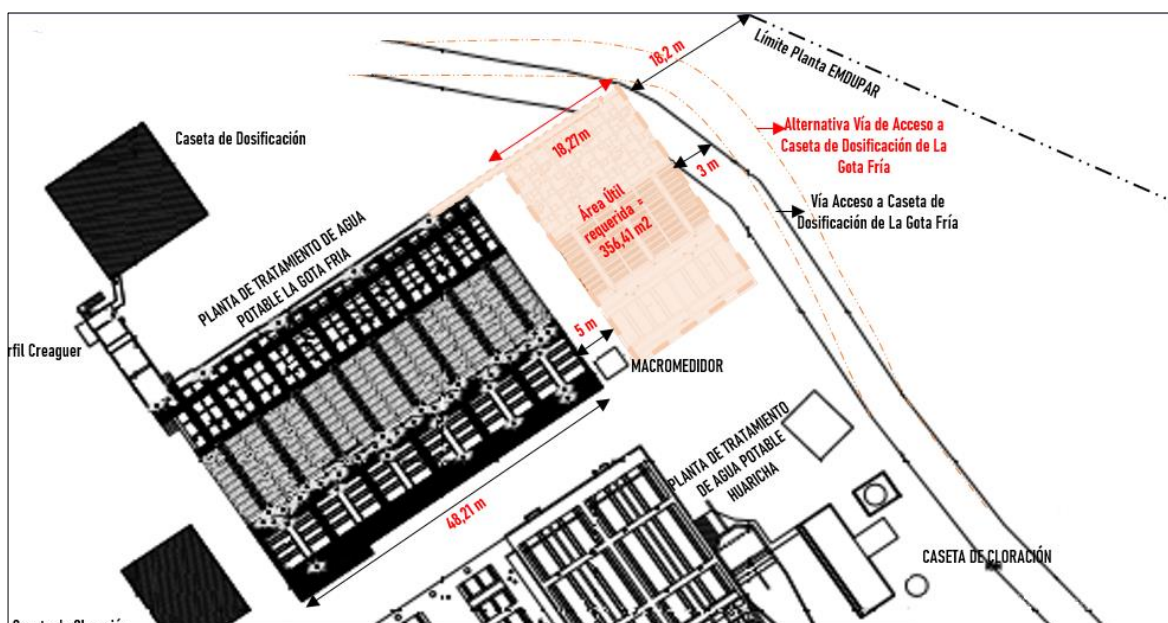


Ilustración 11. Representación gráfica de la Alternativa Formulada
Fuente: Elaborado a partir de plano suministrado por EMDUPAR S.A. ES. P., 2020

6.4.1.2. Condiciones Hidráulicas de las Unidades de Tratamiento

A continuación, se presenta las condiciones hidráulicas de las nuevas unidades de tratamiento correspondientes al caudal de diseño el cual pasaría de 600 l/s, a un caudal proyectado de 830 l/s de acuerdo a los datos de proyección y demanda, así como del área disponible, verificando que las nuevas unidades cumplan con los parámetros dispuestos por la Resolución 0330 de 2017 y el Título C – Sistemas de Potabilización (Versión 2010).

6.4.1.2.1. Unidades Proyectadas de Mezcla Rápida

De acuerdo al análisis de flujo realizado al caudal de operación de 940 l/s y evaluación hidráulica realizada para el caudal de diseño de 600 l/s, se puede inferir que esta unidad trabajaría de manera idónea para el caudal proyectado de 830 l/s, por lo cual este caudal podrá ser tratado con las características actuales de tamaño y capacidad de esta unidad.

Análisis hidráulico para el caudal proyectado de 830 l/s

Tabla 32. Datos de Entrada – Perfil Creager para caudal proyectado

Parámetros	Unidades	Valor
Caudal de Diseño(Q)	m ³ /s	0,830
Ancho de canal existente (B)	m	3,41
Gravedad (g)	m/s ²	9,81
Altura del Vertedero (P)	m	0,92
Temperatura del agua (T)	°C	21
Peso específico (γ)	kg/m ³	998,68
Viscosidad (μ)	kg.s/m ²	9,99x10 ⁻⁵

Fuente: Elaboración Propia, 2020

El diseño se presenta en la tabla N° 33.

Tabla 33. Parámetros Teóricos de Mezcla Rápida para caudal proyectado

PARAMETRO	FORMULA	CÁLCULOS	RESULTADO	UNIDAD
1	Altura lámina de Agua (HLA)	$HLA = \left(\frac{Q}{2,224 \times B}\right)^{2/3}$	$HLA = \left(\frac{0,830}{2,224 \times 3,41}\right)^{2/3}$	0,23 m
2	Altura Total (Z)	$Z = P + HLA$	$Z = 0,92 + 0,23$	1,15 m
3	Velocidad en el Resalto (V1)	$V1 = \left[2g \times \left(Z - \frac{HLA}{2}\right)\right]^{1/2}$	$V1 = \left(2(9,81) \times \left(1,15 - \frac{0,23}{2}\right)\right)^{1/2}$	4,50 m/s
4	Altura en el Resalto (h1)	$h1 = \frac{Q}{(V1 \times B)}$	$h1 = \frac{0,830}{(4,50 \times 3,41)}$	0,05 m
5	Numero de Froude (F)	$F = \frac{V1}{(h1 \times g)^{0,5}}$	$F = \frac{4,50}{(0,05 \times 9,81)^{0,5}}$	6,20
6	Altura Final del Resalto (h2)	$h2 = \left(\frac{h1}{2}\right) \times \sqrt{1 + 8 \times F^2} - 1$	$h2 = \left(\frac{0,05}{2}\right) \times \sqrt{1 + 8 \times 6,20^2} - 1$	0,45 m
7	Cálculo de Perdida de Energía (H)	$H = \frac{(h2 - h1)^3}{(4 \times h1 \times h2)}$	$H = \frac{(0,45 - 0,05)^3}{(4 \times 0,05 \times 0,45)}$	0,63 m
8	Cálculo de la Longitud del Resalto (L)	$L = 6 \times (h2 - h1)$	$L = 6 \times (0,45 - 0,05)$	2,35 m
9	Velocidad al final del perfil (V2)	$V2 = \frac{Q}{(h2 \times B)}$	$V2 = \frac{0,830}{(0,45 \times 3,41)}$	0,54 m/s
10	Velocidad Promedia en el Perfil (Vm)	$Vm = \frac{(V1 + V2)}{2}$	$Vm = \frac{(4,50 + 0,54)}{2}$	2,52 m/s
11	Cálculo del Tiempo de Mezcla (To)	$t = \frac{L}{Vm}$	$t = \frac{2,35}{2,52}$	0,93 s

PARAMETRO	FORMULA	CÁLCULOS	RESULTADO	UNIDAD
12 Cálculo del Gradiente de Velocidad (G)	$G = \sqrt{\frac{Y}{\mu} \times \frac{H}{t}}$	$G = \sqrt{\frac{998,68}{9,99 \times 10^{-5}} \times \frac{0,63}{0,93}}$	2594,72	s ⁻¹

Fuente: Elaboración Propia, 2020

En la siguiente tabla se resume el análisis de los parámetros hidráulicos relevantes:

Tabla 34. Observaciones de los parámetros hidráulicos relevantes – Mezcla Rápida

Criterio	Recomendación Normatividad	Resultados	Unidad	Observaciones
Numero de Froude (F)	4,5 < F < 9,0 (Resolución 0330 de 2017. Art 111)	6,20		Para el caudal proyectado se obtuvo un resultado de 5,78 lo que indica que para este caudal se logra generar un resalto estable.
Gradiente de Velocidad (G)	>1000 Seg ⁻¹ (Resolución 0330 de 2017. Art 111)	2594,72	s ⁻¹	Se puede inferir que para el caudal proyectado para la PTAP La Gota Fría, el gradiente de velocidad cumple con el fundamento teórico y por lo expuesto en la normatividad vigente, contribuyendo a generar la intensidad de agitación necesaria en la masa de agua para lograr la dispersión del coagulante.
Tiempo de mezcla rápida (T)	< 1 s (Resolución 0330 de 2017. Art 111)	0,93	s	Para el caudal proyectado se obtuvo un tiempo de mezcla de 0,98 segundos lo cual se encuentra dentro del rango para que se produzca la intensidad de agitación necesaria en la masa de agua para la dispersión del coagulante.

Fuente: Elaboración Propia, 2020

6.4.1.2.2. Unidades Proyectadas de Floculación

En esta unidad de acuerdo al caudal de diseño de 600 L/s y un total de 8 Floculadores, se encuentra en la capacidad de tratar un caudal de 75 L/s en cada módulo de floculación. Acorde a estos datos y para el caudal proyectado de 830 L/s se amplía las unidades de floculación a un total de 11 Floculadores, aumentando a 3 Floculadores más y tratando un caudal por igual de 75 L/s, y el cual contara con el mismo número de módulos y las mismas dimensiones de las unidades actuales.

Así mismo con base en las conclusiones obtenidas del análisis hidráulico realizado a las unidades de floculación, para el caudal de diseño de 600 L/s, se propone que para el caudal proyectado de 825 L/s, en las 3 nuevas unidades incrementar las dimensiones de los compartimientos en las 4 zonas, en referencia con las actuales unidades de floculación con que cuenta la planta Gota Fría, con el fin de graduar el gradiente de velocidad para que se logre gradientes altos, medios y bajos, disminuyendo así mismo las velocidades generadas en los codos y que cumpla con lo estipulado en la Resolución 0330 de 2017, por los manuales de buenas prácticas de ingeniería Título C – Sistemas de Potabilización (Versión 2010), y con el fundamento teórico expuesto en el CEPIS – Capítulo 5, Mezcla Rápida.

A continuación, se presenta el análisis de las 3 nuevas unidades, buscando que cumplan con los parámetros establecidos por la normatividad vigente, es de resaltar que los datos de entrada serán los mismos que se utilizaron en el análisis anterior.

Tabla 35. Datos de Entrada – Floculadores para caudal proyectado

Parámetros	Unidades	Valor
Caudal (Q)	m ³ /s	0,830
N° de Floculadores	unid	11
N° de Cámaras	unid	12
Ancho (L1)	m	1,84
Largo (L2)	m	1,96
Profundidad (H1)	m	2,4
Profundidad (H2)	m	2,1
Profundidad Media (Hm)	m	2,25

Parámetros	Unidades	Valor
Gravedad (g)	m/s ²	9,81
Coeficiente de descarga (Cd1)	---	0,8
Coeficiente de descarga (Cd2)	---	0,64
Constante de Conductividad Hidráulica (K)	---	0,4
Temperatura (T)	°C	21
Viscosidad Cinemática (μ)	m ² /s	9,87*10 ⁻⁷

Fuente: Elaboración Propia, 2020

Los cálculos para el diseño de esta unidad se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 36. Parámetros Teóricos de Floculadores para caudal proyectado

PARAMETROS	ECUACIONES	CALCULOS	RESULTADO	UNIDAD	
1	Caudal Especifico (q)	$q = \frac{Q}{N^{\circ} \text{ Floculadores}}$	$q = \frac{0,830}{11}$	0,075	m ³ /s
2	Volumen de Floculador (V)	$V = (L1 * L2 * Hm) * NC$	$V = (1,84 * 1,96 * 2,25) * 12$	97,37	m ³
3	Tiempo de retención en cada Floculador (T)	$T = \frac{V}{q}$	$T = \frac{93,37}{0,075} \times \frac{1}{60}$	21,51	min
4	Área de cada cámara (A)	$A = L1 * L2$	$A = 1,84 * 1,96$	3,60	m ²
5	Volumen de cada Cámara (Vc)	$Vc = A * Hm$	$Vc = 3,60 * 2,25$	8,11	m ³
6	Tiempo de retención de cada cámara (Tc)	$Tc = \frac{Vc}{q}$	$Tc = \frac{8,11}{0,075} \times \frac{1}{60}$	1,79	min

Zona 1 - 3 cámaras con codo de sección 39,5*39,5 cm

Área del codo (Ao)					
7	L1= 0,395 Mts L2= 0,395 Mts	$Ao = L1 * L2$	$Ao = 0,395 * 0,395$	0,16	m ²
8	Perdida de entrada del flujo (h1)	$h1 = \frac{\left(\frac{q}{(Cd1 * Ao)}\right)^2}{(2 * g)}$	$h1 = \frac{\left(\frac{0,075}{(0,8 * 0,16)}\right)^2}{(2 * 9,81)}$	0,02	m

PARAMETROS	ECUACIONES	CALCULOS	RESULTADO	UNIDAD
9	Velocidad en el Codo (Vcodo)	$V_{codo} = \frac{q}{A_o}$	$V_{codo} = \frac{0,075}{0,16}$	0,48 m/s
10	Perdida en el codo (h2)	$h2 = K \times \frac{V_{codo}^2}{(2 \times g)}$	$h2 = 0,4 \times \frac{0,48^2}{(2 \times 9,81)}$	0,005 m
11	Perdida de salida en el codo (h3)	$h3 = \frac{\left(\frac{q}{(Cd2 * A_o)}\right)^2}{(2 \times g)}$	$h3 = \frac{\left(\frac{0,075}{(0,64 * 0,16)}\right)^2}{(2 \times 9,81)}$	0,03 m
12	Perdida de carga total en el tramo (h)	$h = h1 + h2 + h3$	$h = 0,02 + 0,005 + 0,03$	0,05 m
13	Pérdida Total (H1)	$H1 = 3 * h$	$H1 = 3 * 0,05$	0,16 m

Zona 2 - 3 cámaras con codo de sección 44,0*44,0 cm

Área del codo (Ao)

14	L1= 0,44 Mts L2= 0,44 Mts	$A_o = L1 * L2$	$A_o = 0,44 * 0,44$	0,19 m ²
15	Perdida de entrada del flujo (h1)	$h1 = \frac{\left(\frac{q}{(Cd1 * A_o)}\right)^2}{(2 \times g)}$	$h1 = \frac{\left(\frac{0,075}{(0,8 * 0,19)}\right)^2}{(2 \times 9,81)}$	0,01 m
16	Velocidad en el Codo (Vcodo)	$V_{codo} = \frac{q}{A_o}$	$V_{codo} = \frac{0,075}{0,19}$	0,39 m/s

PARAMETROS	ECUACIONES	CALCULOS	RESULTADO	UNIDAD	
17	Perdida en el codo (h2)	$h2 = K \times \frac{V_{codo}^2}{(2 \times g)}$	$h2 = 0,4 \times \frac{0,39^2}{(2 \times 9,81)}$	0,003	m
18	Perdida de salida en el codo (h3)	$h3 = \frac{\left(\frac{q}{(Cd2 * Ao)}\right)^2}{(2 \times g)}$	$h3 = \frac{\left(\frac{0,075}{(0,64 * 0,19)}\right)^2}{(2 \times 9,81)}$	0,02	m
19	Perdida de carga total en el tramo (h)	$h = h1 + h2 + h3$	$h = 0,01 + 0,003 + 0,02$	0,03	m
20	Pérdida Total (H2)	$H2 = 3 * h$	$H2 = 3 * 0,03$	0,10	m

Zona 3 - 3 cámaras con codo de sección 52,0*52,0 cm

Área del codo (Ao)					
21	L1= 0,52 Mts L2= 0,52 Mts	$Ao = L1 * L2$	$Ao = 0,52 * 0,52$	0,27	m ²
22	Perdida de entrada del flujo (h1)	$h1 = \frac{\left(\frac{q}{(Cd1 * Ao)}\right)^2}{(2 \times g)}$	$h1 = \frac{\left(\frac{0,075}{(0,8 * 0,27)}\right)^2}{(2 \times 9,81)}$	0,01	m
23	Velocidad en el Codo (Vcodo)	$V_{codo} = \frac{q}{Ao}$	$V_{codo} = \frac{0,075}{0,27}$	0,28	m/s
24	Perdida en el codo (h2)	$h2 = K \times \frac{V_{codo}^2}{(2 \times g)}$	$h2 = 0,4 \times \frac{0,28^2}{(2 \times 9,81)}$	0,002	m

PARAMETROS	ECUACIONES	CALCULOS	RESULTADO	UNIDAD
25 Perdida de salida en el codo (h3)	$h3 = \frac{\left(\frac{q}{(Cd2 * Ao)}\right)^2}{(2 \times g)}$	$h3 = \frac{\left(\frac{0,075}{(0,64 * 0,27)}\right)^2}{(2 \times 9,81)}$	0,01	m
26 Perdida de carga total en el tramo (h)	$h = h1 + h2 + h3$	$h = 0,01 + 0,002 + 0,01$	0,02	m
27 Pérdida Total (H3)	$H3 = 3 \times h$	$H3 = 3 \times 0,02$	0,05	m
Zona 4 - 3 cámaras con codo de sección 61,0*61,0 cm				

Área del codo (Ao)

28	L1= 0,61 Mts L2= 0,61 Mts	$Ao = L1 \times L2$	$Ao = 0,61 \times 0,61$	0,37	m ²
29	Perdida de entrada del flujo (h1)	$h1 = \frac{\left(\frac{q}{(Cd1 \times Ao)}\right)^2}{(2 \times g)}$	$h1 = \frac{\left(\frac{0,075}{(0,8 \times 0,37)}\right)^2}{(2 \times 9,81)}$	0,003	m
30	Velocidad en el Codo (Vcodo)	$Vcodo = \frac{q}{Ao}$	$Vcodo = \frac{0,075}{0,37}$	0,20	m/s
31	Perdida en el codo (h2)	$h2 = K \times \frac{Vcodo^2}{(2 \times g)}$	$h2 = 0,4 \times \frac{0,20^2}{(2 \times 9,81)}$	0,001	m

PARAMETROS	ECUACIONES	CALCULOS	RESULTADO	UNIDAD
32 Perdida de salida en el codo (h3)	$h3 = \frac{\left(\frac{q}{(Cd2 \times Ao)}\right)^2}{(2 \times g)}$	$h3 = \frac{\left(\frac{0,075}{(0,64 \times 0,37)}\right)^2}{(2 \times 9,81)}$	0,01	m
33 Perdida de carga total en el tramo (h)	$h = h1 + h2 + h3$	$h = 0,003 + 0,001 + 0,01$	0,01	m
34 Pérdida Total (H4)	$H4 = 3 \times h$	$H4 = 3 \times 0,01$	0,03	m
Cálculos Finales				
35 Pérdida Total en las doce cámaras (H)	$H = H1 + H2 + H3 + H4$	$H = 0,16 + 0,10 + 0,05 + 0,03$	0,34	m
36 Periodo de retención en cada tramo (Tr)	$Tr = 3 \times T \text{ cámara}$	$Tr = 3 \times 1,81$	5,37	min
37 Gradiente de Velocidad en cada Floculador (G)	$G = \left(g \times \frac{H}{t} \times \mu\right)^{0,5}$	$G = \left(9,81 \times \frac{0,34}{21,51 \times 60 \times 10^{-7}} \times 9,87\right)^{0,5}$	69,65	Seg ⁻¹
38 Gradiente de velocidad para cada tramo del Floculador (G)	$G1 = \left(g \times \frac{H1}{t} \times \mu\right)^{0,5}$	$G1 = \left(9,81 \times \frac{0,16}{5,37 \times 60 \times 10^{-7}} \times 9,87\right)^{0,5}$	56,14	s ⁻¹
	$G2 = \left(g \times \frac{H2}{t} \times \mu\right)^{0,5}$	$G2 = \left(9,81 \times \frac{0,10}{5,37 \times 60 \times 10^{-7}} \times 9,87\right)^{0,5}$	40,19	s ⁻¹

PARAMETROS	ECUACIONES	CALCULOS	RESULTADO	UNIDAD
	$G3 = (g \times \frac{H3}{t} \times \mu)^{0,5}$	$G3 = (9,81 \times \frac{0,05}{5,37 \times 60 \times 10^{-7}} \times 9,87)^{0,5}$	29,21	s ⁻¹
	$G4 = (g \times \frac{H4}{t} \times \mu)^{0,5}$	$G4 = (9,81 \times \frac{0,03}{5,37 \times 60 \times 10^{-7}} \times 9,87)^{0,5}$	0,34	s ⁻¹
39	Cálculo de la velocidad del agua en los codos (V)	$V1 = \frac{0,075}{0,16}$	0,48	m/s
		$V2 = \frac{0,075}{0,19}$	0,39	m/s
		$V3 = \frac{0,075}{0,27}$	0,28	m/s
		$V4 = \frac{0,075}{0,37}$	0,20	m/s

Fuente: Elaboración Propia, 2020

En la siguiente tabla se resume el análisis de los parámetros hidráulicos relevantes:

Tabla 37. Observaciones de los parámetros hidráulicos relevantes – Mezcla Rápida

Criterio	Recomendación normatividad	Resultado	Unidad	Observaciones
Velocidad en el codo (V)	$0,20 < Vc < 0,40$	0,48	m/s	Debe de estar dentro de los parámetros estipulados por la normatividad, para evitar rotura del floc de acuerdo

Criterio	Recomendación normatividad	Resultado	Unidad	Observaciones
Gradiente de Velocidad (G)	Titulo C Sistemas de Potabilización - C.F.1 (Versión 2010)	0,39	s ⁻¹	al CEPIS Capitulo 6 - Floculación, Por consiguiente y cumpliendo con lo dispuesto y con la Normatividad vigente para este tipo de unidades. Se buscó disminuir la velocidad en el codo por lo que fue necesario aumentar el área de las 4 zonas de floculación, a como se presentan en la actualidad
		0,28		
		0,20		
	69,65	De acuerdo al CEPIS Capitulo 6 - Floculación, Gradientes elevados en los primeros compartimentos promueven una aglomeración más acelerada de los flóculos; gradientes más bajos en las últimas cámaras reducen la fragmentación. Y por lo cual es conveniente realizar una compartimentalización con gradientes escalonados en forma decreciente. Por consiguiente y cumpliendo con lo dispuesto en el CEPIS y con la Normatividad vigente para este tipo de unidades. Se busca la obtención de gradientes altos y bajos, evitando tramos intermedios con altos gradientes.		
	56,14			
	40,19			
Tiempo de Retención Hidráulica (T)	20 < T < 40 Resolución 0330 de 2017. Art 112	29,21	min	La Resolución 0330 de 2017. Art.112 y Titulo C sistemas de Potabilización C.F.1., recomienda que el tiempo de retención adecuada para que se produzca la aglomeración de las partículas debe estar entre 20 y 40 minutos. Por lo tanto y en concordancia con lo expuesto se puede concluir que cumple con lo dispuesto por la norma referida anteriormente.
		21,64		

Fuente: Elaboración Propia, 2020

Con base en lo anterior se cumplen con los parámetros estipulados por la Resolución 0330 de 2017, por los manuales de buenas prácticas de ingeniería Título C – Sistemas de Potabilización (Versión 2010), y cumple con el fundamento teórico expuesto en el CEPIS – Capítulo 6 Floculación.

6.4.1.2.2.1. Gradientes de Velocidad en el canal de agua floculada y estructura de repartición de agua floculada al Sedimentador

El gradiente de velocidad en los canales, compuertas, orificios, vertederos, tuberías o cualquier otra estructura de paso del agua floculada no deben tener un gradiente de velocidad superior al de la cámara de floculación precedente. El gradiente de velocidad en los pasos entre cámaras no debe ser mayor de 20 s⁻¹. Título C Por lo tanto debe calcularse el gradiente en cada caso. Título C – C.3.4.3. “Aspectos de diseño”, en vista de lo expuesto, se procede a realizar el cálculo del gradiente de velocidad en el canal de agua floculada que interconecta el Floculador y Sedimentador y en la estructura de repartición de agua floculada al Sedimentador, con el fin de verificar si cumple con lo dispuesto.

6.4.1.2.2.2. Box Couvler distribuidor de Agua Floculada - Canal de agua floculada (interconexión Floculador y Sedimentador)

La entrada de agua floculada al Sedimentador se realiza por medio de un box en concreto de 0,50 de ancho x 0,52 m de alto, las dimensiones del box serán las mismas que la de las unidades existentes. Se realizó el análisis del gradiente generado en la entrada, con el objeto de verificar que este gradiente sea menor al presentado en la última cámara de floculación, por lo tanto, se tiene que:

El gradiente de velocidad en el Box se define mediante la ecuación (6).

Dónde,

G Box : Gradiente de Velocidad

Y : Peso específico (998,68 kg/m³)

- μ : Viscosidad Dinámica del agua ($9,99 \times 10^{-5} \text{ kg}\cdot\text{s}/\text{m}^2$)
 R_h : Radio Hidráulico (0,17 m)
 n : Coeficiente Manning (Concreto: 0,014)
 V : Velocidad (0,2 m/s)

$$G_{\text{Box}} = 0,014 \sqrt{\frac{998,68 \text{ Kg}/\text{m}^3}{9,99 * 10^{-5} \text{ Kg} * \text{s}/\text{m}^2}} \times 0,17 \text{ m}^{-0,67} \times 0,2 \text{ m}/\text{s}^{1,50} = 13 \text{ s}^{-1}$$

Con base en este resultado se puede inferir que las dimensiones del box, pueden ser las mismas a las de las unidades existentes, cumpliendo con el fundamento teórico que expresa que el canal de salida de agua floculada debe permitir manejar un gradiente menor al de la salida del Floculador garantizando la estabilidad del floc formado.

6.4.1.2.3. Unidades Proyectadas de Sedimentación

Esta unidad se encuentra condicionada a las unidades de floculación, por lo tanto, se proyecta también 3 unidades para trabajar con un caudal de 75 L/s, A continuación, se presenta su análisis buscando cumplir con los parámetros establecidos por la normatividad vigente, es de resaltar que los datos de entrada serán los mismos que se utilizaron en el análisis anterior.

Tabla 38. Datos de Entrada – Sedimentadores para caudal proyectado

Parámetros	Unidades	Valor
Caudal (Q)	m ³ /s	0,830
#Sedimentadores	unid	11
# Módulos Sed.	unid	2
Long. Útil (L)	m	10,69
Ancho Útil (An)	m	2,41
Profundidad (P)	m	4
Long. Paneles (Lp)	m	1,2
Separación entre placas	m	0,06

Parámetros	Unidades	Valor
Espesor		0,0015
Ang. Inclinación	grados	60
Viscosidad Cinemática (μ)	m ² /s	9,87*10 ⁻⁷
Factor De Forma (So)		1,3
Zonas de sedimentación	4	

Fuente: Elaboración Propia, 2020

6.4.1.2.3.1. Zona de Entrada

Evaluación de los orificios del Box – Coulver de Agua floculada (Estructura de repartición de agua floculada al Sedimentador): El sistema de distribución del agua floculada y las dimensiones serán las mismas que las de las unidades existentes. Un box de 0,50 de ancho x 0,52 m de alto y 10,60 m de largo, con 19 orificios de 6" por cada costado y espaciados 0,57 m centro a centro.

- ✓ Caudal del Orificio. (Ver ecuación N°7)

$$Q \text{ orificio} = \frac{0,074 \text{ m}^3/\text{s}}{38}$$

$$Q \text{ orificio} = 0,00195 \text{ m}^3/\text{s}$$

- ✓ Área del Orificio. (Ver ecuación N°8)

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

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

- ✓ Velocidad del Orificio. (Ver ecuación N°9)

$$\text{Vel. orificio} = \frac{0,00195\text{m}^3/\text{s}}{0,018\text{m}^2}$$

$$\text{Vel. orificio} = 0,11 \text{ m/s}$$

✓ Radio Hidráulico. (Ver ecuación N°10)

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

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

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

✓ Gradiente velocidad del orificio. (Ver ecuación N°6)

Dónde,

G Box : Gradiente de Velocidad

Y : Peso específico (998,68 kg/m³)

μ : Viscosidad Dinámica del agua (9,99 x 10⁻⁵ kg-s/m²)

Rh : Radio Hidráulico (0,04 m)

n : Coeficiente Manning (Concreto: 0,014)

V : Velocidad (0,11 m/s)

$$G_{\text{Box}} = 0,009 \sqrt{\frac{998,68 \text{ Kg/m}^3}{9,99 * 10^{-5} \text{ Kg * s/m}^2}} \times 0,04^{-0,67} \times 0,11 \text{ m/s}^{1,50} = 8,97 \text{ s}^{-1}$$

Con base en este resultado se puede inferir que las dimensiones del box, pueden ser las mismas a las de las unidades existentes, cumpliendo con el fundamento teórico que expresa que el canal de salida de agua floculada debe permitir manejar un gradiente menor al de la salida del Floculador garantizando la estabilidad del floc formado.

Tabla 39. Parámetros Teóricos de Sedimentadores para caudal proyectado

PARAMETRO	FORMULA	CÁLCULOS	RESULTADO	UNIDAD
ZONA DE SEDIMENTACIÓN				
1	Caudal Unitario q	$q = \frac{Q}{\#Sedimentadores}$	$q = \frac{0,830}{11}$	0,075 m ³ /s
2	Área de cada módulo del Sedimentador (A)	$A = (Long.Util * Ancho) * \#Mod.Sed$	$A = 10,69 * 2,41$	25,76 m ²
5	Volumen/ C. Modulo	$V = Long.Util * Ancho * Prof$	$V = 10,69 * 2,42 * 4$	103,05 m ³
6	Carga Superficial (cs)	$cs = \left(\frac{q * 86,400}{A * \text{sen } 60^\circ} \right) * \left(1 + \left(\frac{ep}{e} \right) \right)$	$cs = \left(\frac{0,075 * 86,400}{(25,76 * 2) * \text{sen } 60^\circ} \right) * \left(1 + \left(\frac{0,0015}{0,06} \right) \right)$	149,75 m ³ /m ² *día
7	Área Transversal (AT)	$AT = Ah + \frac{Apo}{\text{sen}60^\circ}$	$AT = 25,76 + \frac{(2,41 * 1,20)}{\text{sen}60^\circ}$	29,10 m ²
8	Número de Placas	$n = \frac{(AT * \text{Sen } 60)}{a(e + ep)}$	$n = \frac{(29,10 * \text{Sen } 60)}{2,41(0,06 + 0,0015)}$	170,05
9	Velocidad del flujo (Vo)	$Vo = \frac{q * 86400}{AT * \text{Sen}60^\circ - (n * ep * a)}$	$Vo = \frac{0,075 * 86400}{259,10 * \text{Sen}60^\circ - (170,05 * 0,0015 * 2,41)}$	300,47 m/día 0,0035 m/s
10	Número de Reynolds	$Nre = e * \frac{Vo}{\mu}$	$Nre = 0,06 * \frac{0,0035}{9,87 * 10^{-7}}$	211,41

PARAMETRO	FORMULA	CÁLCULOS	RESULTADO	UNIDAD	
11	Longitud Relativa	$L = \frac{l}{e}$	$L = \frac{1,20}{0,06}$	20	
12	Longitud de Transición	$L' = 0,013NRe$	$L' = 0,013 * 211.41$	2,75	
13	Longitud relativa en flujo laminar, corregida en la Long. De transición	$L' < L \rightarrow Lo = L - L'$	$L' < L \rightarrow Lo = 20 - 2,73$	17,25	
14	Velocidad Critica de Sedimentación	$VSC = \frac{Vo * So}{Sen(60) + LoCos(60)}$	$VSC = \frac{300,47 * 1,3}{Sen(60) + 17,25Cos(60)}$	41,15	m/día
15	Tiempo de Retención total en las celdas	$t = \frac{Lp}{Vo}$	$t = \frac{1,20}{0,0035 * 60}$	5,75	min
16	Tiempo de Retención / C. Sedimentador	$T = \frac{V}{Q}$	$T = \frac{103,05 * 2}{0,075 * 60}$	45,52	min

Fuente: Elaboración Propia, 2020

✓ Zona de salida

La recolección de agua sedimentada se realizará de la misma forma que las unidades actuales, constituidas mediante once canaletas secundarias ubicadas en cada módulo con dimensiones 0,25m x 2,41m que descargan a un canal de recolección principal de dimensiones de 0,50 m ancho x 1 m de alto x 11,29 m de largo, ubicadas a lo largo de cada Sedimentador y que finalmente entrega a los filtros.

✓ Zona de recolección de lodos

La extracción de los lodos se realizará de manera continua de igual forma que las unidades actuales.

Tabla 40. Observaciones de los parámetros hidráulicos relevantes – Mezcla Rápida

Criterio	Recomendación normativa	Resultado	Unidad	Observaciones
	10 min – 15min			
Tiempo de retención (Tr)	Título C Sistemas de Potabilización - C.F.1 (Versión 2010) Resolución 0330 de 2017. Art 112	5,79	min	
Carga Superficial (Cs)	120 m ³ /m ² *día – 185 m ³ /m ² *día Resolución 0330 de 2017. Art 112	149,75	m ³ /m ² *día	De acuerdo a 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 m ³ /m ² -día para placas angostas y el artículo 113 de la Resolución 0330 de 2017, recomienda una carga superficial con los mismos rangos.

Numero de Reynolds (Nre)	Nre < 500. Se recomienda un Reynolds menor a 250 RAS 2000 Titulo C-Capitulo C.6.5.1.3	211,41
--------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------	--------

Para el caudal de 830 L/s, la carga superficial de 149,75 m³/m²-día se encuentra dentro del rango establecido.

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 830 L/s, el Número de Reynolds de 211,41 se encuentra dentro del rango establecido y aprobando la condición recomendada.

Fuente: Elaboración Propia, 2020

6.4.1.2.4. Unidades Proyectadas de Filtración

Para el caudal proyectado de 830 l/s, se presenta el cálculo del área de filtración total y tasa de filtración, sumándole los dos filtros requeridos y verificando que este dentro de los parámetros exigidos por la normatividad. Es de resaltar que las nuevas unidades tendrán las mismas dimensiones y características que las actuales.

1. Cálculo del Área de Filtración total (A). (Ver ecuación N°13)

$$A = (4,67\text{m} * 7,71\text{m}) * 8$$
$$A = 288,04 \text{ m}^2$$

2. Cálculo de la tasa de Filtración (Tf). (Ver ecuación N°14)

$$Tf = \frac{0,820 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 86.400 \text{ s}}{288,04 \text{ m}^2}$$

$$Tf = 248,96 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{día}}$$

Se puede inferir que la tasa de filtración para las unidades proyectadas a un caudal de 830 l/s, se encuentran en el rango que estipula la normatividad.

6.4.1.3. Condiciones Finales Acorde a Población y Área

En la siguiente tabla se resumen las condiciones finales proyectadas de acuerdo a los requerimientos de la población y al área disponible:

Tabla 41. Condiciones finales proyectadas de población y área disponible

Mezcla Rápida				
Ancho del canal		3,41 m		
Altura del perfil		0,92 m		
Numero de Froude		6,202		
Tiempo de mezcla		0,931 s		
Gradiente de velocidad		2594,72 s ⁻¹		
Floculadores				
Número total de Floculadores		11		
Número de cámaras		12		
Largo útil de cada cámara		1,84 m		
Ancho útil de cada cámara		1,96 m		
Profundidad media		2,25 m		
Volumen de cada floculador		97,37 m ³		
Tiempo de retención		21,51 min		
		Área del codo (m ²)	Velocidad en el codo (m/s)	Gradiente de velocidad (s ⁻¹)
Unidades actuales	Zona 1	0,16	0,48	69,65
	Zona 2	0,19	0,39	56,14
	Zona 3	0,27	0,28	40,19
	Zona 4	0,37	0,20	29,21
Unidades proyectadas	Zona 1	0,16	0,47	67,99
	Zona 2	0,18	0,42	60,76
	Zona 3	0,21	0,37	52,48
	Zona 4	0,25	0,30	42,90
Sedimentadores				
Numero de sedimentadores		11		
Numero de módulos		2		
Longitud útil		10,69 m		
Ancho útil		2,41 m		
Profundidad		4 m		
Long. Paneles		1,2		
Separación entre placas		0,06 m		
Espesor		0,0015 m		
Angulo de inclinación		60°		
Área de cada modulo		25,76 m ²		

Carga Superficial	149,75 m ³ /m ² *día	
Numero de Reynolds	211,41	
Velocidad critica de sedimentación	41,15 m ³ /día	
Tiempo de retención en cada sedimentador	45,52 min	
Tiempo de retención total en las celdas	5,75 min	
Zona de salida		
11 canaletas secundarias	Ancho	0,25 m
	Largo	2,41 m
Canaleta de recolección principal	Ancho	0,50 m
	Largo	11,29 m
Zona de lodos – Extracción continua		
Filtros		
Área de filtración total	288,04 m ²	
Tasa de filtración	248,96 m ³ /m ² *día	

Fuente: Elaboración Propia, 2020

7. CONCLUSIONES

Con base en la identificación realizada a los componentes que constituyen la planta de tratamiento de agua potable “La Gota Fría”, se evidencia la sobrecarga a la cual se somete esta planta, sobre todo en horas de mayor consumo, induciendo a falla de tipo operativo que a simple vista pueden calificarse, además que se presentan desgastes en alguna de sus estructuras, fisuras y fugas, debido a posibles desgastes o falta de mantenimientos preventivos.

Los resultados de la evaluación del comportamiento del Floculador por el método de Wolf Resnick e índice de Morrill arrojaron resultados en los cuales se infiere que existe presencia de flujo de cortocircuitos hidráulicos y remolinos. Así mismo los Sedimentadores muestran presencia de zonas muertas y cortocircuitos hidráulicos, producto de la sobrecarga que se maneja actualmente en la planta, factores que influyen en los tiempos de retención causando afectaciones en la misión hidráulica de los módulos de tratamiento.

Al comparar los análisis de flujo realizados al caudal de operación de 940 L/s y evaluación hidráulica realizado al caudal de diseño de 600 L/s, se pudo constatar que la sobrecarga de caudal con que opera esta planta no permite que sus unidades operen correctamente, si bien en términos generales para su caudal de diseño de 600 L/s, estas unidades trabajarían de manera idónea, la sobre carga de caudal con que opera en la actualidad genera desbordamientos de agua constante, bajos tiempos de retención y sobrecarga en los filtros originando carreras de filtración bajas y lavados constantes, por ende habrá un aumento de las pérdidas de agua dentro de la planta.

De acuerdo a los datos obtenidos en la fase del cálculo de la demanda requerida acorde con la proyección de la población de la ciudad de Valledupar al horizonte del proyecto, se determinó que las plantas de tratamiento de dicha ciudad, PTAP Gota Fría y PTAP Huaricha tienen una capacidad actual de tratamiento de 1800 L/s. y

que al horizonte de diseño de 25 años presentara un déficit de 370 L/s, por lo cual se evidencia la necesidad de aumentar la capacidad de estas plantas para suplir la demanda de la población al año 2045 de 2170 l/s.

Por otro lado, en la actualidad se presentan perdidas en el sistema que equivalen al 64%, sobrepasando la capacidad de tratamiento de estas plantas por lo cual se hace necesario implementar medidas dirigidas a controlar las pérdidas y optimizar las redes y tanques de almacenamiento, logrando que al horizonte del proyecto se disminuyan en un máximo de 25%.

Al horizonte del proyecto al año 2045 se hace necesario un caudal de 2170 L/s, por lo cual es necesario que a futuro la empresa de servicios públicos EMDUPAR SA. E.S.P., amplié la concesión sobre el rio Guatapurí, la cual se encuentra establecida por la Corporación autónoma regional del Cesar (CORPOCESAR) mediante resolución No 022 del 25 de febrero de 2003 para un caudal permitido de 1800 L/s con una vigencia indefinida.

La alternativa propuesta, para suplir la demanda de agua potable al horizonte de proyecto del año 2045 está enfocada en la ampliación de la planta “La Gota Fría”, sin embargo esta se encuentra determinada a su vez por el área disponible de ampliación de dicha unidad, lo cual de acuerdo a la actividad de alternativas se plantea la inclusión de un número máximo de 3 unidades de floculación, sedimentación y 2 unidades de filtro, para tratar un caudal total de 830 l/s, y en el cual se propone que el conjunto de las nuevas unidades estén separadas de las actuales a una distancia aproximada de 5 metros, debido a que al lateral de la PTAP La Gota Fría se encuentra tubería de 40” y su macromedidor que lleva el agua cruda a la planta Huaricha, por lo que estarán conectadas por el canal de admisión de agua coagulada. Así mismo, se propone que la vía interna que conduce hacia la caseta de dosificación de la planta, se corra a una distancia aproximada de 2 metros.

De acuerdo al análisis hidráulico para el caudal proyectado de 830 L/s, se concluye: que el perfil Creager está en capacidad de tratar dicho caudal; para las unidades de floculación, de acuerdo a la evaluación hidráulica realizada al caudal de diseño de 600 L/s, para las 3 nuevas unidades se propone aumentar las dimensiones de los compartimientos en las 4 zonas, en referencia con las actuales unidades de floculación de la planta Gota Fría, con el fin de graduar el gradiente de velocidad para que se logre gradientes altos, medios y bajos, disminuyendo así mismo las velocidades generadas en los codos y que cumpla con lo estipulado en la Resolución 0330 de 2017, por los manuales de buenas prácticas de ingeniería Título C – Sistemas de Potabilización (Versión 2010), y con el fundamento teórico expuesto en el CEPIS, así mismo para las unidades de sedimentación y filtración se concluye que el caudal proyectado cumple con los parámetros estipulados por la normatividad vigente.

El caudal de trabajo propuesto de 830 L/s no supe el déficit total requerido al año 2045 de 370 L/s, asociado al área disponible, cuyo espacio no permite alcanzar a abarcar el total de unidades para el caudal necesario para cubrir el déficit, por lo que se propone que el caudal restante sea dirigido a aumentar la capacidad de “La Planta Huaricha”, y de esta manera cubrir en su totalidad el déficit proyectado al año 2045, esta solución planteada permitirá cubrir la demanda futura, resaltando la necesidad de implementar programas de reducción de pérdidas para lograr suplir a cabalidad los requerimientos de la población.

Las alternativas propuestas de este proyecto buscan conformar una solución acorde al déficit de la población futura del sistema de tratamiento de agua potable de la ciudad de Valledupar, contribuyendo a la solución de la problemática actual de la PTAP La Gota Fría, teniendo como resultado final un sistema de tratamiento capaz de brindar un suministro de agua potable al horizonte de proyecto.

8. RECOMENDACIONES

Acorde a los resultados obtenidos se pueden realizar las siguientes recomendaciones:

- ✓ Implementar actividades que permitan la identificación oportuna de posibles fallas estructurales para la aplicación de mantenimientos de impermeabilización a posibles fisuras y fugas que se puedan presentar de acuerdo a la verificación estructural respectiva.
- ✓ Plantear e implementar alternativas en cuatro aspectos fundamentales los cuales servirán de apoyo clave, para la búsqueda de un desempeño integral y un servicio óptimo del sistema de tratamiento de agua potable: Sectorización de redes de agua potable, Reducción de pérdidas, Intervención total de las redes de distribución y Control de la demanda.

La interacción de estas variables, conllevaría a un óptimo funcionamiento del sistema, garantizando la calidad del servicio, un control de los volúmenes excesivos que maneja la planta en la actualidad y tomados a cambio para optimizar el almacenamiento y regulación del recurso hídrico.

- ✓ Plantear alternativas de optimización en las redes de acueducto, que permitan disminuir en gran medida el porcentaje de pérdidas actuales, para que las alternativas planteadas, logren su objetivo en su totalidad.
- ✓ Realizar periódicamente carreras de filtración con el objetivo de verificar la capacidad de carga de los filtros cerciorándose que no se colmaten o que generen turbiedad en el agua.
- ✓ Realizar un mejor manejo de la información de la planta, usuarios y puntos de distribución en bases de datos para posteriores proyectos que puedan ser

realizados en la planta. Implementar un plan de capacitación y formación a corto plazo que permita el fortalecimiento institucional del acueducto.

- ✓ Realizar mantenimiento y lavado periódico de las unidades que componen la planta de tratamiento, para mantener en buen estado y de igual forma aumentar la vida útil de los lechos y módulos.
- ✓ Solicitar de manera oportuna la ampliación de concesión de agua captada del río Guatapurí, considerando la proyección para la ciudad en el horizonte final de proyecto planteado.
- ✓ Disposición y mantenimiento de medios para medición y control de caudales en forma continua. Se recomienda guardar los registros, realizar las mediciones a través de aparatos telemétricos, que permitan al operador conocer en tiempo real la cantidad de agua que se está captando de la fuente y así se un determinante para efectuar los respectivos controles.
- ✓ Control a la aplicación del coagulante, cuidando que esta sea constante y que se disperse de manera uniforme en toda la masa del agua.
- ✓ Se recomienda realizar la disposición de los lodos resultantes del proceso de potabilización del agua, caracterizando los lodos producidos en los módulos de sedimentación, y dando cumplimiento a la normatividad ambiental vigente.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía Municipal de Valledupar. (2018). *Información del Municipio*. Obtenido de Valledupar-cesar.gov.co: <http://www.valledupar-cesar.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx#:~:text=Valledupar%20est%C3%A1%20ubicada%20al%20norte,mediante%20una%20leve%20pendiente%E2%80%8B>.
- CEPIS/OPS. (2004). *Tratamiento de Agua para Consumo Humano*. Lima: OPS/OMS.
- Cruz, J., & Sanchez, M. (2017). *DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EN EL MUNICIPIO DE MIRAFLORES – BOYACÁ*. Bogotá D.C.: Universidad Católica de Colombia.
- DANE. (09 de Junio de 2019). *Acerca de nosotros: Proyecciones de Población*. Obtenido de A. Datum: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE): <http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>
- Díaz, W. (2017). *Evaluación y Optimización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Municipio de TENA en el Departamento de CUNDINAMARCA*. Bogotá D.C.: Universidad Católica de Colombia.
- ECOFORREST-CORPOCESAR. (1995). Diagnóstico Socioeconómico y Biofísico de la cuenca del Río Guatapurí. En C. A. CORPOCESAR, *Formulación del Plan de Ordenamiento de la Cuenca del Río Guatapurí* (pág. 142). Valledupar: ECOFORREST.
- EMDUPAR S.A. E.S.P. (2014). *Contrato 033 – Formulación del Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado de la Ciudad de Valledupar, realizado por el consorcio Plan Maestro de Valledupar: Alternativa PTAP*. Valledupar: Consorcio Plan Maestro Valledupar.

- EMDUPAR S.A. E.S.P. (2014). *Contrato 033 – Formulación del Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado de la Ciudad de Valledupar, realizado por el consorcio Plan Maestro de Valledupar: Diagnóstico PTAP*. Valledupar: Consorcio Plan Maestro Valledupar.
- EMDUPAR S.A. E.S.P. (2015). *Manual de operación y mantenimiento del sistema de suministro y tratamiento de agua potable*. Valledupar: EMDUPAR S.A. E.S.P.
- EMDUPAR S.A. E.S.P. (2018). *Plan Estratégico 2018-2019 “EMDUPAR Avanza en la Prestación de Servicios Públicos”*. Valledupar: EMDUPAR S.A. E.S.P.
- 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*. Bogotá D.C.: Universidad Católica de Colombia. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/11101/2/Trabajo%20de%20grado%20Revisado.pdf>
- Gobierno Municipal de Valledupar. (2016). *Plan de Desarrollo Municipal 2016 - 2019: Valledupar Avanza*. Valledupar: Alcaldía Municipal.
- Hernández, M. (12 de Diciembre de 2012). *Tipos y Niveles de Investigación*. Obtenido de Metodología de la Investigación: <http://metodologiadeinvestigacionmarisol.blogspot.com/2012/12/tipos-y-niveles-de-investigacion.html>
- Lopez, A., & Jimenez, B. (2016). *DIAGNOSTICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE SAN ANTONIO- ASOCIACION SUCUNETA*. Bogotá D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- MinDesarrollo. (Noviembre de 2000). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Título C: Potabilización de Agua*. Obtenido

de Ministerio de Desarrollo Económico: http://procurement-notices.undp.org/view_file.cfm?doc_id=16483

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). *Resolución 0330 de 2017 “Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009”*. Bogotá D.C.: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Obtenido de <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330%20-%202017.pdf>

NPT 020-2010. (2010). *NTP 0210 - 2010*. Lima: Ministerio de Vivienda Peruana.

OMS. (14 de Junio de 2019). *Centro de Prensa OMS*. Obtenido de Organización Mundial para la Salud: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

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.

Programa IAyS. (2019). *Líneas de Investigación de Ingeniería Ambiental & Sanitaria*. Valledupar: UNICESAR.

Quiñones, D., & Rojas, G. (2017). *Diseño del plan de optimización de la planta de tratamiento de agua potable de la vereda el Tobal, Subachoque*. Bogotá D.C.: Universidad Santo Tomás.

Salamanca, E. (2016). Tratamiento de Aguas el para consumo humano. *Módulo Arquitectura CUC*, 29-48.

Sampieri, R., Fernández C., C., Baptista L., P., & Collado., H. (2014). *Metodología de la Investigación*. Ciudad de México: McGraw Hill.

SUPERSERVICIOS. (2017). *EVALUACIÓN INTEGRAL DE PRESTADORES
EMPRESA DE SERVICIOS PUBLICOS DE VALLEDUPAR S.A. - EMDUPAR
S.A. E.S.P.* Bogotá D.C.: SUPERSERVICIOS.

ANEXOS

Tabla 42. Documentación y evidencias Anexas

ANEXO 1. : ANÁLISIS DE FLUJO MEDIANTE ENSAYO DE TRAZADORES

Análisis de Flujo – Efluente Mezcla Rápida

- ✓ [Mezcla Rápida](#)

Análisis de Flujo – Efluente Floculadores

- ✓ [Floculador 1](#)
- ✓ [Floculador 2](#)
- ✓ [Floculador 3](#)
- ✓ [Floculador 4](#)
- ✓ [Floculador 5](#)
- ✓ [Floculador 6](#)
- ✓ [Floculador 7](#)
- ✓ [Floculador 8](#)

Análisis de Flujo – Efluente Sedimentadores

- ✓ [Sedimentador 1](#)
- ✓ [Sedimentador 2](#)
- ✓ [Sedimentador 3](#)
- ✓ [Sedimentador 4](#)
- ✓ [Sedimentador 5](#)
- ✓ [Sedimentador 6](#)
- ✓ [Sedimentador 7](#)
- ✓ [Sedimentador 8](#)

ANEXO 2. : RESULTADOS DE PROYECCIONES: POBLACIÓN Y CAUDALES

[Tabla con Proyecciones de la Población \(Método Aritmético, Geométrico y Exponencial de acuerdo al Título B del RAS\), Estimación de Caudales y Volúmenes de Almacenamiento \(acorde al Título B del RAS y resolución 0330 de 2017\).](#)

ANEXO 3. : PLANOS DE LOS MODULOS (Planos suministrados por EMDUPAR S.A. E.S.P. elaborados en el Diagnóstico hecho al Sistema de Tratamiento de Agua Potable de Valledupar)

Planos de las unidades de tratamiento de agua Potable la Gota Fría, suministrados por la empresa los planos presentados son producto del informe del Diagnóstico de las Plantas de Agua Potable de Valledupar (Plan Maestro) y suministrados por la empresa EMDUPAR S.A. E.S.P., su presentación se realiza sin modificación alguna de sus dimensiones y con la finalidad de presentar los perfiles de cada uno de los tratamientos de dicha planta.

Fuente: Autora, 2020

ANEXO 1. ANÁLISIS DE FLUJO MEDIANTE ENSAYO DE TRAZADORES

A.1.1. Análisis de Flujo – Efluente Mezcla Rápida

Unidad:	Mezcla Rápida	Tiempo 10% (T ₁₀):	0,234697	s
Caudal (Q):	940 L/s	Tiempo Medio (T ₅₀):	1,289412	s
Volumen (V):	70,43 m³	Tiempo 90% (T ₉₀):	3,6656	s
Concentración Inicial (C ₀):	76 ms/cm	t ₁ /t ₀ :	0	
TRH Teórico (t₀):	1,25 s	t ₅₀ /t ₀ :	1,032555	
Tiempo Inicial (t _i):	0 s	t _p /t ₀ :	0,013347	
Tiempo Pico (t_p):	0,017 s	t ₉₀ /t ₁₀ :	15,61845	
Tiempo Final (t _f):	8,00 s	e:	6,379668	

t ₁ /t ₀ :	0,6128511	P:	39%	OK
t ₂ /t ₀ :	2,837102696	M:	61%	
tan(θ):	0,449589427	m:	0%	OK
∅:	0,6128511	Fm:	61%	
		Fp:	39%	

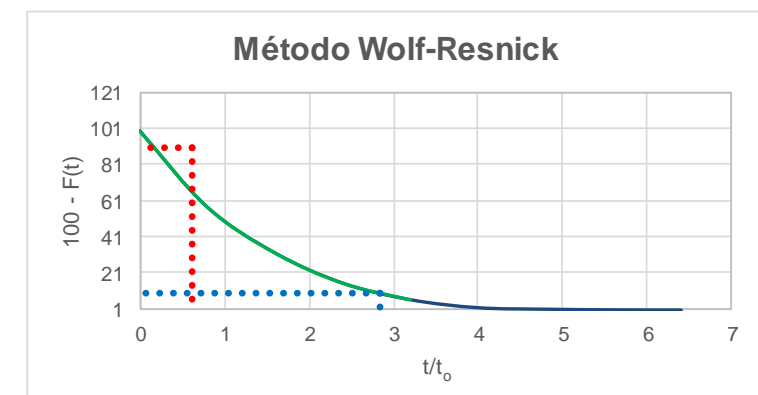
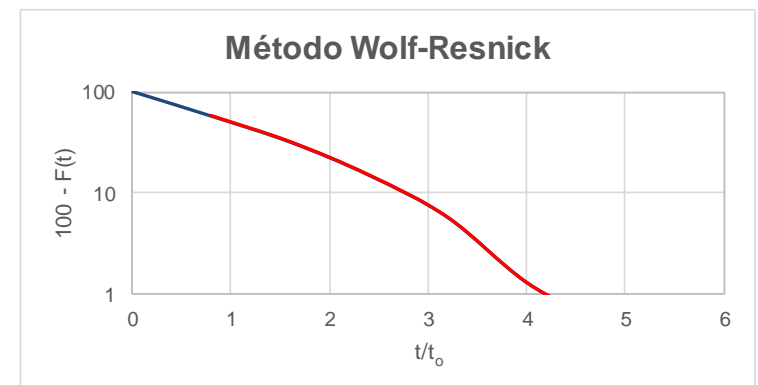
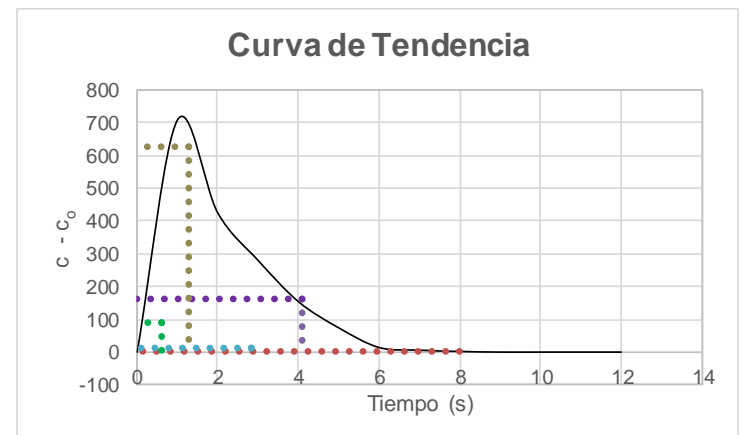
Nº	t (s)	c (ms/cm)	t/t ₀	C - C ₀	Σ(C - C ₀)	F(t)	100 - F(t)
1	0	76	0	0	0	0	100
2	1	785	0,800795	709	709	42,60817	57,39183
3	2	501	1,60159	425	1134	68,14904	31,85096
4	3	356	2,402385	280	1414	84,97596	15,02404
5	4	230	3,20318	154	1568	94,23077	5,769231
6	5	150	4,003976	74	1642	98,67788	1,322115
7	6	90	4,804771	14	1656	99,51923	0,480769
8	7	82	5,605566	6	1662	99,87981	0,120192
9	8	78	6,406361	2	1664	100	0
10	9	76	7,207156	0	1664	100	0
11	10	76	8,007951	0	1664	100	0
12	11	76	8,808746	0	1664	100	0
13	12	76	9,609541	0	1664	100	0

Nombre del Gráfico	Vertical		Horizontal	
	t (s)	C - C ₀	t (s)	C - C ₀
TRH Teórico (t₀):	1,248759	638,3525	1,248759	638,3525
Tiempo Inicial (t_i):	0	0	0	0
Tiempo Pico (t_p):	0,017	709	0,016667	709
Tiempo 10% (T₁₀):	0,234697	166,4	0,234697	166,4
Tiempo Medio (T₅₀):	1,289412	626,8071	1,289412	626,8071
Tiempo 90% (T₉₀):	3,6656	196,1344	3,6656	196,1344
Tiempo Final (t_f):	8	2	8	2

Nombre del Gráfico	t/t ₀	100 - F(t)	t/t ₀	100 - F(t)
t₁/t₀:	0,612851	90	0,612851	90
t₂/t₀:	2,837103	10	2,837103	10

	F(t)	t (s)	
Límite Superior:	42,60817	1	10
Límite Inferior:	0	0	
Límite Superior:	68,14904	2	50
Límite Inferior:	42,60817	1	
Límite Superior:	84,97596	4	90
Límite Inferior:	100	3	

	100 - F(t)	t/t ₀	
Límite Superior:	57,39183	0	90
Límite Inferior:	100	0,800795	
Límite Superior:	15,02404	2,402385	10
Límite Inferior:	5,769231	3,20318	



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

t ₁ /t ₀ :	FLUJO MEZCLADO Y CORTO CIRCUITO HIDRÁULICO	P:	39%	Condiciones a Flujo Pistón
t ₅₀ /t ₀ :	EXISTEN ZONAS MUERTAS	M:	61%	Condiciones a Mezcla Completa
t _p /t ₀ :	PREDOMINIO FLUJO MEZCLADO	m:	0%	Volumen de Espacios Muertos
Eficiencia Volumétrica:	6%	Fm:	61%	Fracción Mezclada
Excentricidad de la Curva:	FLUJO MEZCLADO IDEAL	Fp:	39%	Fracción Pistón

A.1.2. Análisis de Flujo – Efluente Floculadores (Floculador 1)

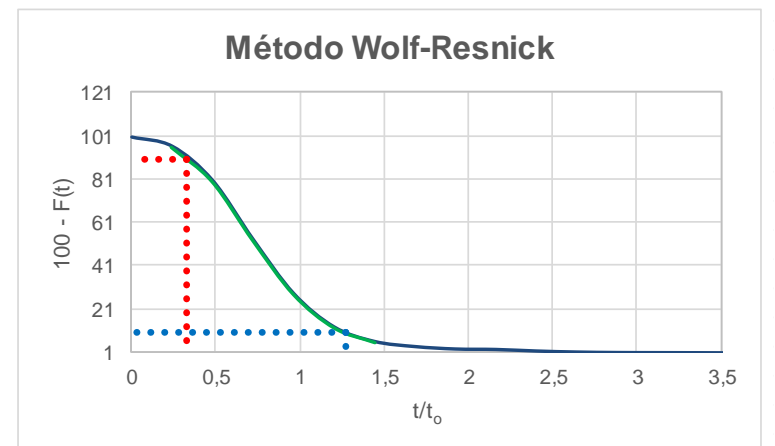
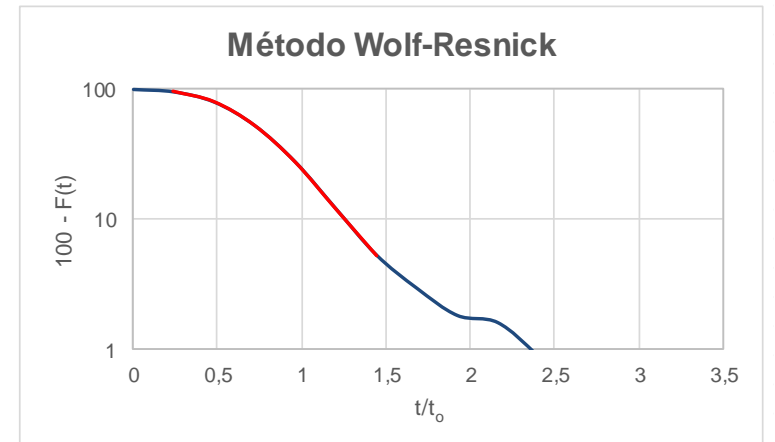
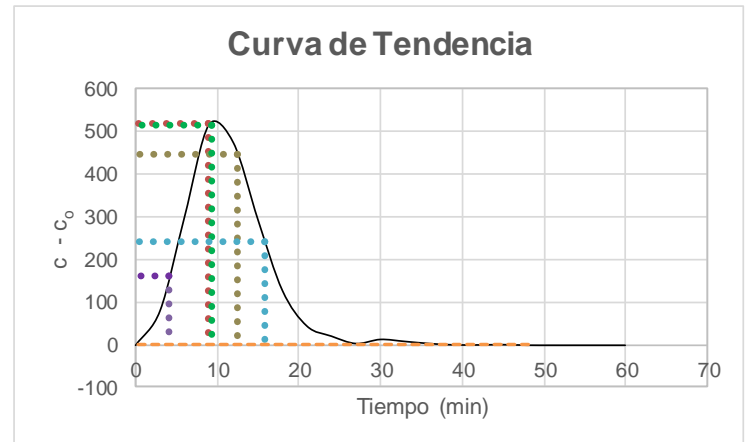
Unidad:	Floculador 1	Tiempo 10% (T ₁₀):	4,082292	min
Caudal (Q):	129,60 L/s	Tiempo Medio (T ₅₀):	9,30981	min
Volumen (v):	97,04448 m³	Tiempo 90% (T ₉₀):	15,92133	min
Concentración Inicial (C ₀):	76 ms/cm	t _i /t ₀ :	0	
TRH Teórico (t₀):	12,48001 min	t ₅₀ /t ₀ :	0,745978	
Tiempo Inicial (t _i):	0 min	t _p /t ₀ :	0,721153	
Tiempo Pico (t_p):	9 min	t ₉₀ /t ₁₀ :	3,900095	
Tiempo Final (t _F):	48 min	e:	2,403844	

	F(t)	t (min)	
Límite Superior:	20,14874	6	10
Límite Inferior:	4,272377	3	
Límite Superior:	72,41943	12	50
Límite Inferior:	47,41811	9	
Límite Superior:	94,67799	18	90
Límite Inferior:	87,92658	15	

t ₁ /t ₀ :	0,327106517	P:	44%	OK
t ₂ /t ₀ :	1,275746501	M:	56%	
tan(θ):	1,054140683	m:	26%	
∅:	0,327106517	Fm:	41%	OK
		Fp:	33%	

	100 - F(t)	t/t ₀	
Límite Superior:	79,85126	0,480769	90
Límite Inferior:	95,72762	0,240384	
Límite Superior:	5,322011	1,442307	10
Límite Inferior:	12,07342	1,201922	

Nº	t (min)	c (ms/cm)	t/t ₀	C - C ₀	Σ(C - C ₀)	F(t)	100 - F(t)
1	0	76	0	0	0	0	100
2	3	157	0,240384	81	81	4,272377	95,72762
3	6	377	0,480769	301	382	20,14874	79,85126
4	9	593	0,721153	517	899	47,41811	52,58189
5	12	550	0,961538	474	1373	72,41943	27,58057
6	15	370	1,201922	294	1667	87,92658	12,07342
7	18	204	1,442307	128	1795	94,67799	5,322011
8	21	121	1,682691	45	1840	97,05153	2,948468
9	24	97,4	1,923075	21,4	1861,4	98,18028	1,819716
10	27	80,1	2,16346	4,1	1865,5	98,39654	1,60346
11	30	89,7	2,403844	13,7	1879,2	99,11915	0,880848
12	33	85	2,644229	9	1888,2	99,59386	0,40614
13	36	80,1	2,884613	4,1	1892,3	99,81012	0,189883
14	39	77	3,124998	1	1893,3	99,86286	0,137138
15	42	76,9	3,365382	0,9	1894,2	99,91033	0,089667
16	45	77,5	3,605767	1,5	1895,7	99,98945	0,010549
17	48	76,2	3,846151	0,2	1895,9	100	0
18	51						
19	54						
20	57						
21	60						



Nombre del Gráfico	Vertical		Horizontal	
	t (min)	C - Co	t (min)	C - Co
TRH Teórico (t₀):	12,48001	445,1994	12,48001	445,1994
Tiempo Inicial (t_i):	0	0	0	0
Tiempo Pico (t_p):	9	517	9	517
Tiempo 10% (T₁₀):	4,082292	160,3681	4,082292	160,3681
Tiempo Medio (T₅₀):	9,30981	512,5594	9,30981	512,5594
Tiempo 90% (T₉₀):	15,92133	243,0198	15,92133	243,0198
Tiempo Final (t_F):	48	0,2	48	0,2
Nombre del Gráfico	t/t ₀	100 - F(t)	t/t ₀	100 - F(t)
t₁/t₀:	0,327107	90	0,327107	90
t₂/t₀:	1,275747	10	1,275747	10

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

t ₁ /t ₀ :	FLUJO MEZCLADO Y CORTO CIRCUITO HIDRÁULICO	P:	44%	Condiciones a Flujo Pistón
t ₅₀ /t ₀ :	EXISTEN CORTOCIRCUITOS HIDRÁULICOS	M:	56%	Condiciones a Mezcla Completa
t _p /t ₀ :	PREDOMINIO FLUJO MEZCLADO	m:	26%	Volumen de Espacios Muertos
Eficiencia Volumétrica:	26%	Fm:	41%	Fracción Mezclada
Excentricidad de la Curva:	FLUJO MEZCLADO IDEAL	Fp:	33%	Fracción Pistón

A.1.2. Análisis de Flujo – Efluente Floculadores (Floculador 2)

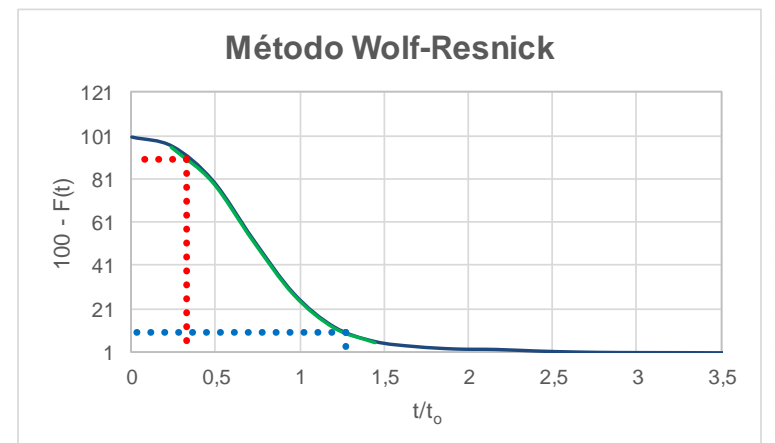
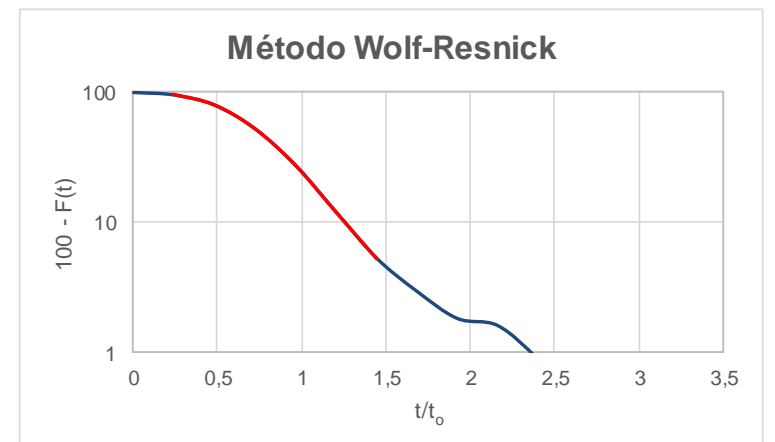
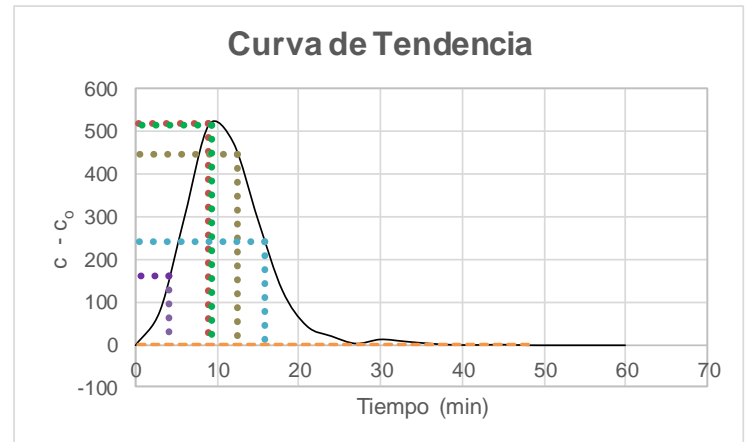
Unidad:	Floculador 2	Tiempo 10% (T ₁₀):	4,274 min
Caudal (Q):	126,01 L/s	Tiempo Medio (T ₅₀):	9,528182 min
Volumen (v):	97,04448 m³	Tiempo 90% (T ₉₀):	16,24125 min
Concentración Inicial (C ₀):	76 ms/cm	t _i /t ₀ :	0
TRH Teórico (t₀):	12,83561 min	t ₅₀ /t ₀ :	0,742324
Tiempo Inicial (t _i):	0 min	t _p /t ₀ :	0,701174
Tiempo Pico (t_p):	9 min	t ₉₀ /t ₁₀ :	3,800012
Tiempo Final (t _F):	48 min	e:	2,337248

	F(t)	t (min)	
Límite Superior:	18,67428	6	10
Límite Inferior:	3,597313	3	
Límite Superior:	71,57594	12	50
Límite Inferior:	45,38962	9	
Límite Superior:	94,21785	18	90
Límite Inferior:	87,02322	15	

t ₁ /t ₀ :	0,332979873	P:	45%	OK
t ₂ /t ₀ :	1,265327411	M:	55%	
tan(θ):	1,07256142	m:	26%	
∅:	0,332979873	Fm:	41%	OK
		Fp:	33%	

	100 - F(t)	t/t ₀	
Límite Superior:	81,32572	0,46745	90
Límite Inferior:	96,40269	0,233725	
Límite Superior:	5,782151	1,402349	10
Límite Inferior:	12,97678	1,168624	

Nº	t (min)	c (ms/cm)	t/t ₀	C - C ₀	Σ(C - C ₀)	F(t)	100 - F(t)
1	0	76	0	0	0	0	100
2	3	144	0,233725	68	68	3,597313	96,40269
3	6	361	0,46745	285	353	18,67428	81,32572
4	9	581	0,701174	505	858	45,38962	54,61038
5	12	571	0,934899	495	1353	71,57594	28,42406
6	15	368	1,168624	292	1645	87,02322	12,97678
7	18	212	1,402349	136	1781	94,21785	5,782151
8	21	124	1,636073	48	1829	96,75713	3,242872
9	24	101	1,869798	25	1854	98,07967	1,92033
10	27	82,5	2,103523	6,5	1860,5	98,42353	1,576469
11	30	85,8	2,337248	9,8	1870,3	98,94197	1,058033
12	33	90	2,570972	14	1884,3	99,68259	0,31741
13	36	76,9	2,804697	0,9	1885,2	99,7302	0,269798
14	39	79	3,038422	3	1888,2	99,88891	0,111093
15	42	77,6	3,272147	1,6	1889,8	99,97355	0,026451
16	45	76,5	3,505871	0,5	1890,3	100	0
17	48	76	3,739596	0	1890,3	100	0
18	51						
19	54						
20	57						
21	60						



Nombre del Gráfico	Vertical		Horizontal	
	t (min)	C - C ₀	t (min)	C - C ₀
TRH Teórico (t₀):	12,83561	438,457	12,83561	438,457
Tiempo Inicial (t_i):	0	0	0	0
Tiempo Pico (t_p):	9	505	9	505
Tiempo 10% (T₁₀):	4,274	160,1527	4,274	160,1527
Tiempo Medio (T₅₀):	9,528182	503,2394	9,528182	503,2394
Tiempo 90% (T₉₀):	16,24125	227,455	16,24125	227,455
Tiempo Final (t_F):	48	0	48	0
	48	0	0	0

Nombre del Gráfico	t/t ₀	100 - F(t)	t/t ₀	100 - F(t)
t₁/t₀:	0,33298	90	0,33298	90
t₂/t₀:	1,265327	10	1,265327	10

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

t ₁ /t ₀ :	FLUJO MEZCLADO Y CORTO CIRCUITO HIDRÁULICO	P:	45%	Condiciones a Flujo Pistón
t ₅₀ /t ₀ :	EXISTEN CORTOCIRCUITOS HIDRÁULICOS	M:	55%	Condiciones a Mezcla Completa
t _p /t ₀ :	PREDOMINIO FLUJO MEZCLADO	m:	26%	Volumen de Espacios Muertos
Eficiencia Volumétrica:	26%	Fm:	41%	Fracción Mezclada
Excentricidad de la Curva:	FLUJO MEZCLADO IDEAL	Fp:	33%	Fracción Pistón

A.1.2. Análisis de Flujo – Efluente Floculadores (Floculador 3)

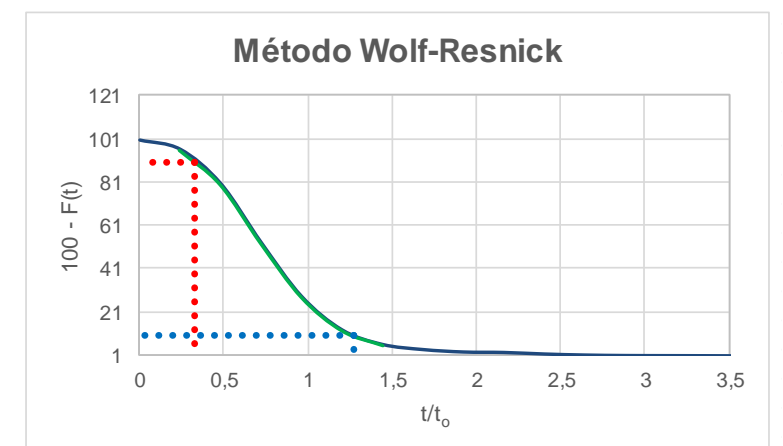
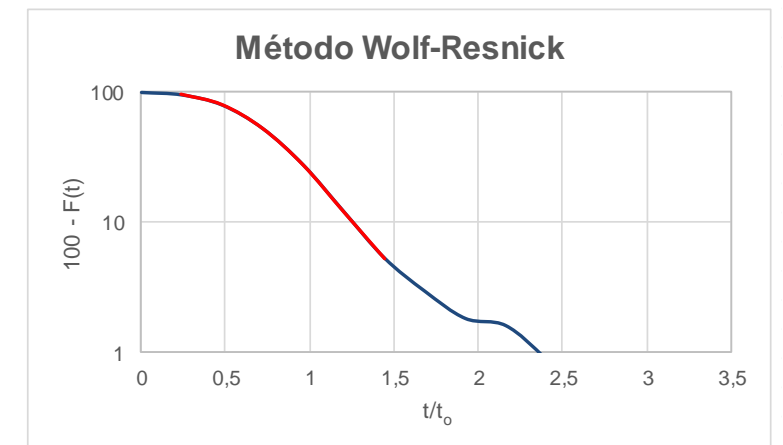
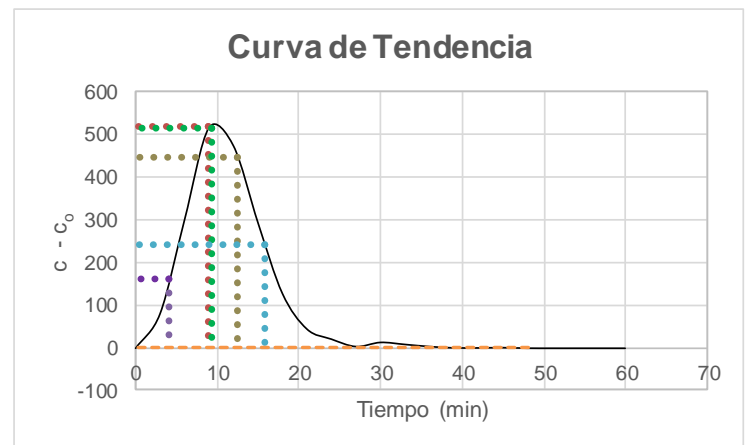
Unidad:	Floculador 3	Tiempo 10% (T ₁₀):	5,634277	min
Caudal (Q):	135,17 L/s	Tiempo Medio (T ₅₀):	11,13469	min
Volumen (v):	97,04448 m³	Tiempo 90% (T ₉₀):	20,25528	min
Concentración Inicial (C ₀):	76 ms/cm	t _i /t ₀ :	0	
TRH Teórico (t₀):	11,96572 min	t ₅₀ /t ₀ :	0,930549	
Tiempo Inicial (t _i):	0 min	t _p /t ₀ :	1,002865	
Tiempo Pico (t_p):	12 min	t ₉₀ /t ₁₀ :	3,595009	
Tiempo Final (t _F):	48 min	e:	2,005729	

	F(t)	t (min)	
Límite Superior:	11,14676	6	10
Límite Inferior:	1,739982	3	
Límite Superior:	57,52814	12	50
Límite Inferior:	31,42842	9	
Límite Superior:	91,45778	21	90
Límite Inferior:	85,58534	18	

t ₁ /t ₀ :	0,470868146	P:	47%	OK
t ₂ /t ₀ :	1,692775191	M:	53%	
tan(θ):	0,818392859	m:	0%	
∅:	0,470868146	Fm:	53%	OK
		Fp:	47%	

	100 - F(t)	t/t ₀	
Límite Superior:	88,85324	0,501432	90
Límite Inferior:	98,26002	0,250716	
Límite Superior:	8,542222	1,755013	10
Límite Inferior:	14,41466	1,504297	

Nº	t (min)	c (ms/cm)	t/t ₀	C - C ₀	Σ(C - C ₀)	F(t)	100 - F(t)
1	0	76	0	0	0	0	100
2	3	108	0,250716	32	32	1,739982	98,26002
3	6	249	0,501432	173	205	11,14676	88,85324
4	9	449	0,752148	373	578	31,42842	68,57158
5	12	556	1,002865	480	1058	57,52814	42,47186
6	15	473	1,253581	397	1455	79,11478	20,88522
7	18	195	1,504297	119	1574	85,58534	14,41466
8	21	184	1,755013	108	1682	91,45778	8,542222
9	24	134	2,005729	58	1740	94,61149	5,388505
10	27	98	2,256445	22	1762	95,80773	4,192268
11	30	96,5	2,507162	20,5	1782,5	96,92241	3,077592
12	33	89,7	2,757878	13,7	1796,2	97,66734	2,332663
13	36	85,5	3,008594	9,5	1805,7	98,18389	1,816106
14	39	91	3,25931	15	1820,7	98,99951	1,000489
15	42	89,7	3,510026	13,7	1834,4	99,74444	0,25556
16	45	79,9	3,760742	3,9	1838,3	99,9565	0,0435
17	48	76,8	4,011459	0,8	1839,1	100	1,42E-14
18	51						
19	54						
20	57						
21	60						



	Vertical		Horizontal	
Nombre del Gráfico	t (min)	C - Co	t (min)	C - Co
TRH Teórico (t₀):	11,96572	480,9484	11,96572	480,9484
Tiempo Inicial (t_i):	0	0	0	0
Tiempo Pico (t_p):	12	480	12	480
Tiempo 10% (T₁₀):	5,634277	155,811	5,634277	155,811
Tiempo Medio (T₅₀):	11,13469	449,1372	11,13469	449,1372
Tiempo 90% (T₉₀):	20,25528	110,7306	20,25528	110,7306
Tiempo Final (t_F):	48	0,8	48	0,8
	48	0	0	0,8
Nombre del Gráfico	t/t ₀	100 - F(t)	t/t ₀	100 - F(t)
t₁/t₀:	0,470868	90	0,470868	90
t₂/t₀:	1,692775	10	1,692775	10
	1,692775	0	0	10

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

t ₁ /t ₀ :	FLUJO MEZCLADO Y CORTO CIRCUITO HIDRÁULICO	P:	47%	Condiciones a Flujo Pistón
t ₅₀ /t ₀ :	EXISTEN CORTOCIRCUITOS HIDRÁULICOS	M:	53%	Condiciones a Mezcla Completa
t _p /t ₀ :	PREDOMINIO FLUJO MEZCLADO	m:	0%	Volumen de Espacios Muertos
Eficiencia Volumétrica:	28%	Fm:	53%	Fracción Mezclada
Excentricidad de la Curva:	EXISTENCIA DEL FLUJO MEZCLADO	Fp:	47%	Fracción Pistón

A.1.2. Análisis de Flujo – Efluente Floculadores (Floculador 4)

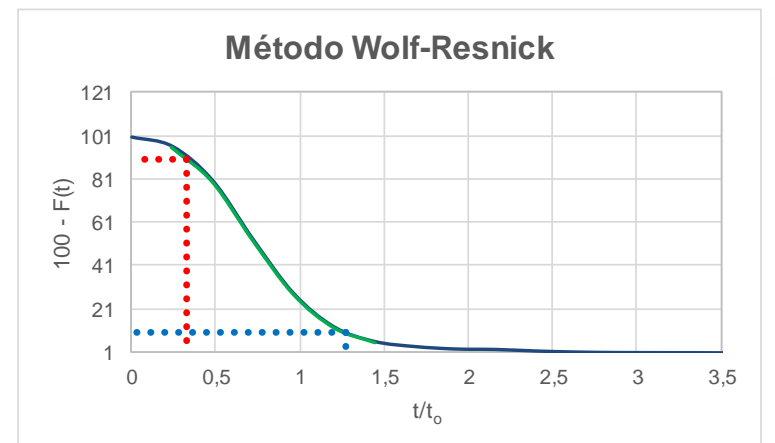
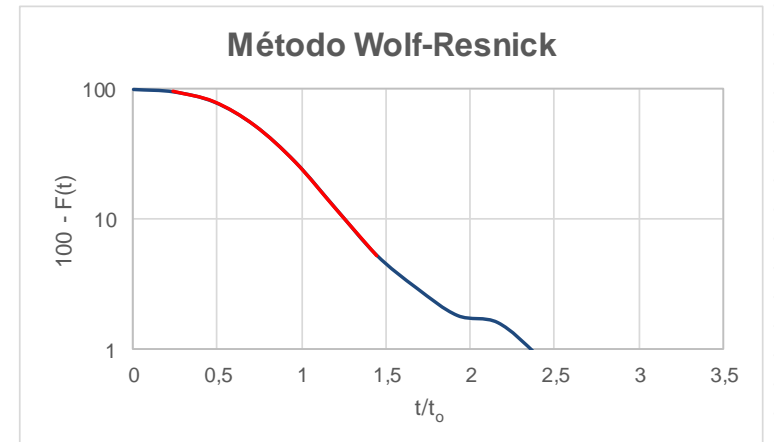
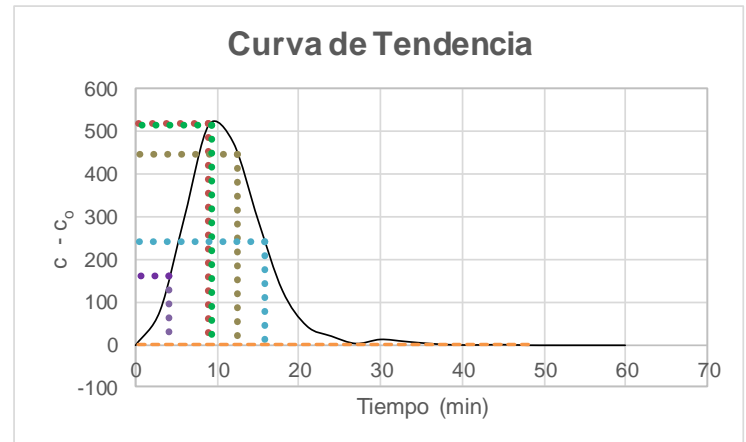
Unidad:	Floculador 4	Tiempo 10% (T ₁₀):	4,724118	min
Caudal (Q):	123,21 L/s	Tiempo Medio (T ₅₀):	10,07696	min
Volumen (v):	97,04448 m³	Tiempo 90% (T ₉₀):	17,48962	min
Concentración Inicial (C ₀):	76 ms/cm	t _i /t ₀ :	0	
TRH Teórico (t₀):	13,12775 min	t ₅₀ /t ₀ :	0,767608	
Tiempo Inicial (t _i):	0 min	t _p /t ₀ :	0,685571	
Tiempo Pico (t_p):	9 min	t ₉₀ /t ₁₀ :	3,702199	
Tiempo Final (t _F):	48 min	e:	2,285236	

	F(t)	t (min)	
Límite Superior:	15,6032	6	10
Límite Inferior:	2,428313	3	
Límite Superior:	66,02945	12	50
Límite Inferior:	41,02299	9	
Límite Superior:	91,39757	18	90
Límite Inferior:	83,18264	15	

t ₁ /t ₀ :	0,359857396	P:	46%	OK
t ₂ /t ₀ :	1,332263616	M:	54%	
tan(θ):	1,028376803	m:	22%	
∅:	0,359857396	Fm:	42%	OK
		Fp:	36%	

	100 - F(t)	t/t ₀	
Límite Superior:	84,3968	0,457047	90
Límite Inferior:	97,57169	0,228524	
Límite Superior:	8,602428	1,371141	10
Límite Inferior:	16,81736	1,142618	

Nº	t (min)	c (ms/cm)	t/t ₀	C - C ₀	Σ(C - C ₀)	F(t)	100 - F(t)
1	0	76	0	0	0	0	100
2	3	123	0,228524	47	47	2,428313	97,57169
3	6	331	0,457047	255	302	15,6032	84,3968
4	9	568	0,685571	492	794	41,02299	58,97701
5	12	560	0,914094	484	1278	66,02945	33,97055
6	15	408	1,142618	332	1610	83,18264	16,81736
7	18	235	1,371141	159	1769	91,39757	8,602428
8	21	131	1,599665	55	1824	94,23921	5,760785
9	24	119	1,828188	43	1867	96,46086	3,539137
10	27	92,1	2,056712	16,1	1883,1	97,29269	2,707311
11	30	90,7	2,285236	14,7	1897,8	98,05218	1,947817
12	33	87	2,513759	11	1908,8	98,62051	1,379489
13	36	91,5	2,742283	15,5	1924,3	99,42134	0,578662
14	39	82	2,970806	6	1930,3	99,73134	0,268664
15	42	77,9	3,19933	1,9	1932,2	99,8295	0,170499
16	45	79	3,427853	3	1935,2	99,9845	0,0155
17	48	76,3	3,656377	0,3	1935,5	100	0
18	51						
19	54						
20	57						
21	60						



Nombre del Gráfico	Vertical		Horizontal	
	t (min)	C - C ₀	t (min)	C - C ₀
TRH Teórico (t₀):	13,12775	426,8607	13,12775	426,8607
Tiempo Inicial (t_i):	0	0	0	0
Tiempo Pico (t_p):	9	492	9	492
Tiempo 10% (T₁₀):	4,724118	166,5388	4,724118	166,5388
Tiempo Medio (T₅₀):	10,07696	489,1281	10,07696	489,1281
Tiempo 90% (T₉₀):	17,48962	188,4318	17,48962	188,4318
Tiempo Final (t_F):	48	0,3	48	0,3

Nombre del Gráfico	t/t ₀	100 - F(t)	t/t ₀	100 - F(t)
t₁/t₀:	0,359857	90	0,359857	90
t₂/t₀:	1,332264	10	1,332264	10

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

t ₁ /t ₀ :	FLUJO MEZCLADO Y CORTO CIRCUITO HIDRÁULICO	P:	46%	Condiciones a Flujo Pistón
t ₅₀ /t ₀ :	EXISTEN CORTOCIRCUITOS HIDRÁULICOS	M:	54%	Condiciones a Mezcla Completa
t _p /t ₀ :	PREDOMINIO FLUJO MEZCLADO	m:	22%	Volumen de Espacios Muertos
Eficiencia Volumétrica:	27%	Fm:	42%	Fracción Mezclada
Excentricidad de la Curva:	EXISTENCIA DEL FLUJO MEZCLADO	Fp:	36%	Fracción Pistón

A.1.2. Análisis de Flujo – Efluente Floculadores (Floculador 5)

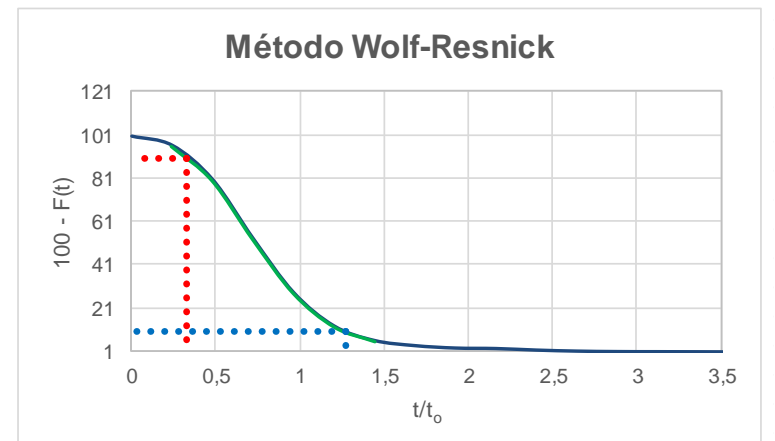
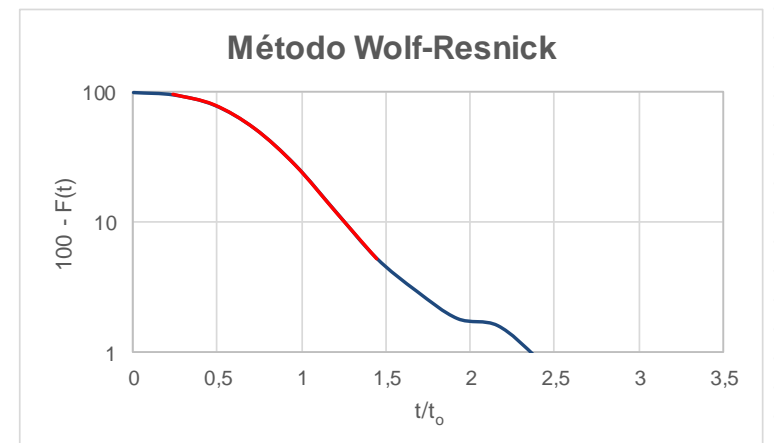
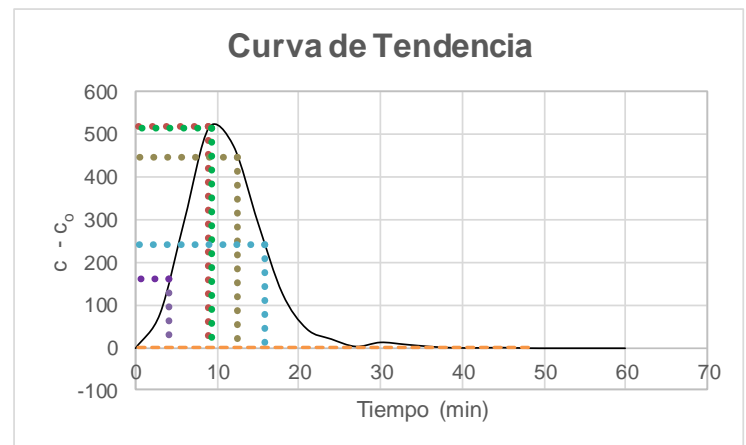
Unidad:	Floculador 5	Tiempo 10% (T ₁₀):	6,5105	min
Caudal (Q):	118,33 L/s	Tiempo Medio (T ₅₀):	12,2209	min
Volumen (v):	97,04448 m³	Tiempo 90% (T ₉₀):	21,27538	min
Concentración Inicial (C ₀):	76 ms/cm	t/t ₀ :	0	
TRH Teórico (t₀):	13,66874 min	t ₅₀ /t ₀ :	0,894077	
Tiempo Inicial (t _i):	0 min	t _p /t ₀ :	0,877916	
Tiempo Pico (t_p):	12 min	t ₉₀ /t ₁₀ :	3,267857	
Tiempo Final (t _F):	48 min	e:	1,755831	

	F(t)	t (min)	
Límite Superior:	20,73407	9	10
Límite Inferior:	7,798857	6	
Límite Superior:	71,01973	15	50
Límite Inferior:	48,3292	12	
Límite Superior:	93,81804	24	90
Límite Inferior:	89,6141	21	

t ₁ /t ₀ :	0,476305755	P:	50%	OK
t ₂ /t ₀ :	1,556499213	M:	50%	
tan(θ):	0,925760097	m:	5%	
∅:	0,476305755	Fm:	47%	OK
		Fp:	48%	

	100 - F(t)	t/to	
Límite Superior:	79,26593	0,658437	90
Límite Inferior:	92,20114	0,438958	
Límite Superior:	6,181955	1,755831	10
Límite Inferior:	10,3859	1,536352	

Nº	t (min)	c (ms/cm)	t/t ₀	C - C ₀	Σ(C - C ₀)	F(t)	100 - F(t)
1	0	76	0	0	0	0	100
2	3	98,7	0,219479	22,7	22,7	1,223456	98,77654
3	6	198	0,438958	122	144,7	7,798857	92,20114
4	9	316	0,658437	240	384,7	20,73407	79,26593
5	12	588	0,877916	512	896,7	48,3292	51,6708
6	15	497	1,097394	421	1317,7	71,01973	28,98027
7	18	315	1,316873	239	1556,7	83,90105	16,09895
8	21	182	1,536352	106	1662,7	89,6141	10,3859
9	24	154	1,755831	78	1740,7	93,81804	6,181955
10	27	101	1,97531	25	1765,7	95,16546	4,834537
11	30	95,6	2,194789	19,6	1785,3	96,22184	3,778161
12	33	88,7	2,414268	12,7	1798	96,90633	3,093673
13	36	92,3	2,633747	16,3	1814,3	97,78484	2,215156
14	39	90,7	2,853225	14,7	1829	98,57713	1,422874
15	42	91,8	3,072704	15,8	1844,8	99,42869	0,571305
16	45	85,7	3,292183	9,7	1854,5	99,95149	0,048507
17	48	76,9	3,511662	0,9	1855,4	100	0
18	51						
19	54						
20	57						
21	60						



Nombre del Gráfico	Vertical		Horizontal	
	t (min)	C - Co	t (min)	C - Co
TRH Teórico (t₀):	13,66874	461,3815	13,66874	461,3815
Tiempo Inicial (t_i):	0	0	0	0
Tiempo Pico (t_p):	12	512	12	512
Tiempo 10% (T₁₀):	6,5105	138,8976	6,5105	138,8976
Tiempo Medio (T₅₀):	12,2209	427,7007	12,2209	427,7007
Tiempo 90% (T₉₀):	21,27538	103,4297	21,27538	103,4297
Tiempo Final (t_F):	48	0,9	48	0,9
	48	0	0	0,9

Nombre del Gráfico	t/t ₀	100 - F(t)	t/t ₀	100 - F(t)
t₁/t₀:	0,476306	90	0,476306	90
t₂/t₀:	1,556499	10	1,556499	10
	1,556499	0	0	10

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

t ₁ /t ₀ :	FLUJO MEZCLADO Y CORTO CIRCUITO HIDRÁULICO	P:	50%	Condiciones a Flujo Pistón
t ₅₀ /t ₀ :	EXISTEN CORTOCIRCUITOS HIDRÁULICOS	M:	50%	Condiciones a Mezcla Completa
t _p /t ₀ :	PREDOMINIO FLUJO MEZCLADO	m:	5%	Volumen de Espacios Muertos
Eficiencia Volumétrica:	31%	Fm:	47%	Fracción Mezclada
Excentricidad de la Curva:	EXISTENCIA DEL FLUJO MEZCLADO	Fp:	48%	Fracción Pistón

A.1.2. Análisis de Flujo – Efluente Floculadores (Floculador 6)

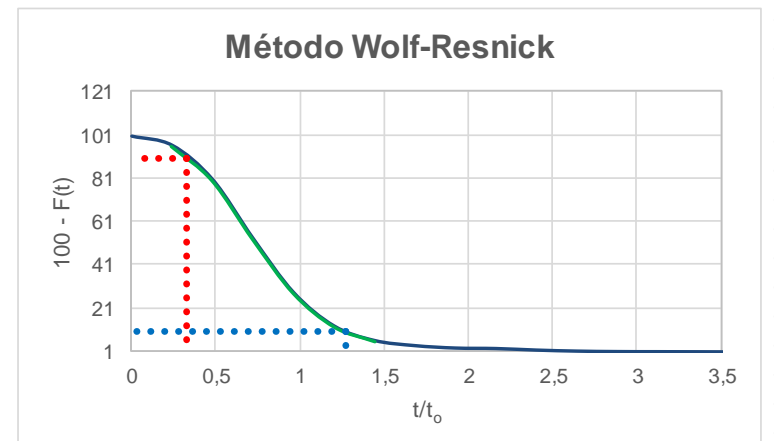
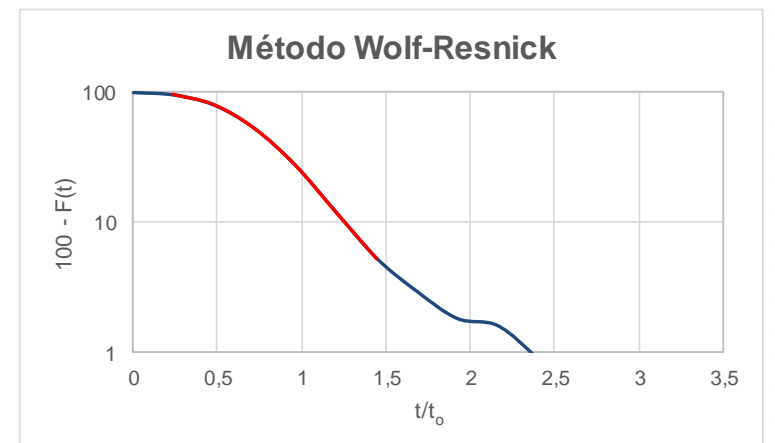
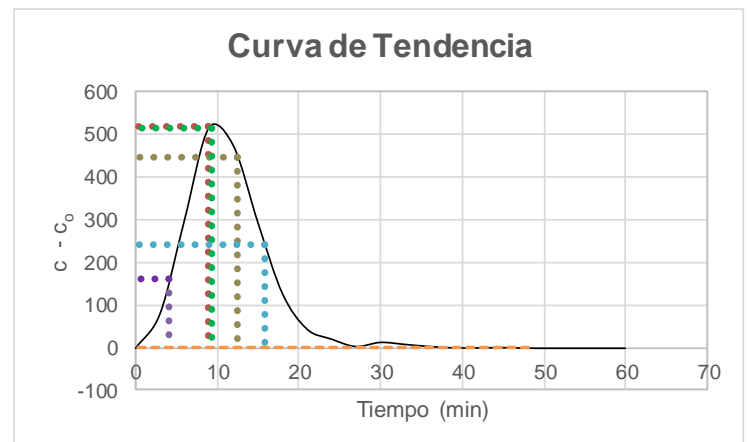
Unidad:	Floculador 6	Tiempo 10% (T ₁₀):	5,480417	min
Caudal (Q):	109,38 L/s	Tiempo Medio (T ₅₀):	11,61603	min
Volumen (v):	97,04448 m³	Tiempo 90% (T ₉₀):	20,50969	min
Concentración Inicial (C ₀):	76 ms/cm	t _i /t ₀ :	0	
TRH Teórico (t₀):	14,78763 min	t ₅₀ /t ₀ :	0,785523	
Tiempo Inicial (t _i):	0 min	t _p /t ₀ :	0,811489	
Tiempo Pico (t_p):	12 min	t ₉₀ /t ₁₀ :	3,742359	
Tiempo Final (t _F):	48 min	e:	1,622978	

	F(t)	t (min)	
Límite Superior:	11,57788	6	10
Límite Inferior:	2,467417	3	
Límite Superior:	53,58725	12	50
Límite Inferior:	25,55991	9	
Límite Superior:	90,66177	21	90
Límite Inferior:	86,61268	18	

t ₁ /t ₀ :	0,370608092	P:	46%	OK
t ₂ /t ₀ :	1,386948586	M:	54%	
tan(θ):	0,983922225	m:	19%	
∅:	0,370608092	Fm:	44%	OK
		Fp:	37%	

	100 - F(t)	t/t ₀	
Límite Superior:	88,42212	0,405744	90
Límite Inferior:	97,53258	0,202872	
Límite Superior:	9,338226	1,420106	10
Límite Inferior:	13,38732	1,217233	

Nº	t (min)	c (ms/cm)	t/t ₀	C - C ₀	Σ(C - C ₀)	F(t)	100 - F(t)
1	0	76	0	0	0	0	100
2	3	115	0,202872	39	39	2,467417	97,53258
3	6	220	0,405744	144	183	11,57788	88,42212
4	9	297	0,608617	221	404	25,55991	74,44009
5	12	519	0,811489	443	847	53,58725	46,41275
6	15	423	1,014361	347	1194	75,54093	24,45907
7	18	251	1,217233	175	1369	86,61268	13,38732
8	21	140	1,420106	64	1433	90,66177	9,338226
9	24	121	1,622978	45	1478	93,50879	6,491206
10	27	99,8	1,82585	23,8	1501,8	95,01455	4,985449
11	30	90,8	2,028722	14,8	1516,6	95,9509	4,049095
12	33	91,7	2,231594	15,7	1532,3	96,9442	3,055802
13	36	87,6	2,434467	11,6	1543,9	97,6781	2,321903
14	39	92	2,637339	16	1559,9	98,69037	1,309629
15	42	91,4	2,840211	15,4	1575,3	99,66468	0,335316
16	45	80,8	3,043083	4,8	1580,1	99,96837	0,031634
17	48	76,5	3,245955	0,5	1580,6	100	0
18	51						
19	54						
20	57						
21	60						



Sentido del Gráfico	Vertical		Horizontal	
	t (min)	C - C ₀	t (min)	C - C ₀
TRH Teórico (t₀):	14,78763	293,8576	14,78763	293,8576
Tiempo Inicial (t_i):	0	0	0	0
Tiempo Pico (t_p):	12	443	12	443
Tiempo 10% (T₁₀):	5,480417	125,8146	5,480417	125,8146
Tiempo Medio (T₅₀):	11,61603	414,586	11,61603	414,586
Tiempo 90% (T₉₀):	20,50969	82,14156	20,50969	82,14156
Tiempo Final (t_F):	48	0,5	48	0,5
	48	0	0	0,5
Nombre del Gráfico	t/t ₀	100 - F(t)	t/t ₀	100 - F(t)
t₁/t₀:	0,370608	90	0,370608	90
t₂/t₀:	1,386949	10	1,386949	10
	1,386949	0	0	10

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

t ₁ /t ₀ :	FLUJO MEZCLADO Y CORTO CIRCUITO HIDRÁULICO	P:	46%	Condiciones a Flujo Pistón
t ₅₀ /t ₀ :	EXISTEN CORTOCIRCUITOS HIDRÁULICOS	M:	54%	Condiciones a Mezcla Completa
t _p /t ₀ :	PREDOMINIO FLUJO MEZCLADO	m:	19%	Volumen de Espacios Muertos
Eficiencia Volumétrica:	27%	Fm:	44%	Fracción Mezclada
Excentricidad de la Curva:	EXISTENCIA DEL FLUJO MEZCLADO	Fp:	37%	Fracción Pistón

A.1.2. Análisis de Flujo – Efluente Floculadores (Floculador 7)

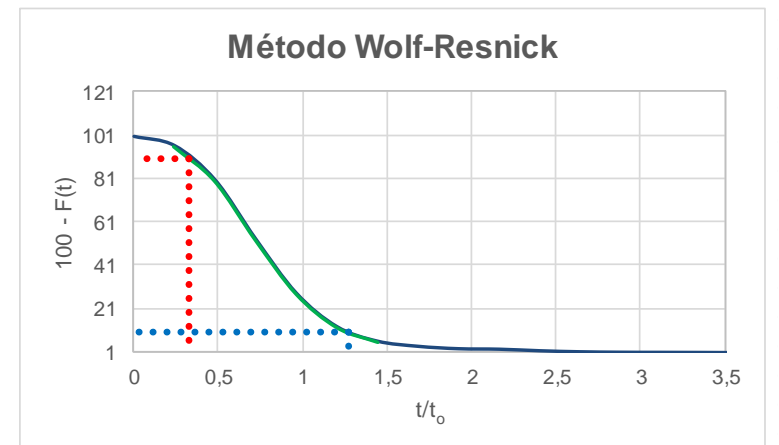
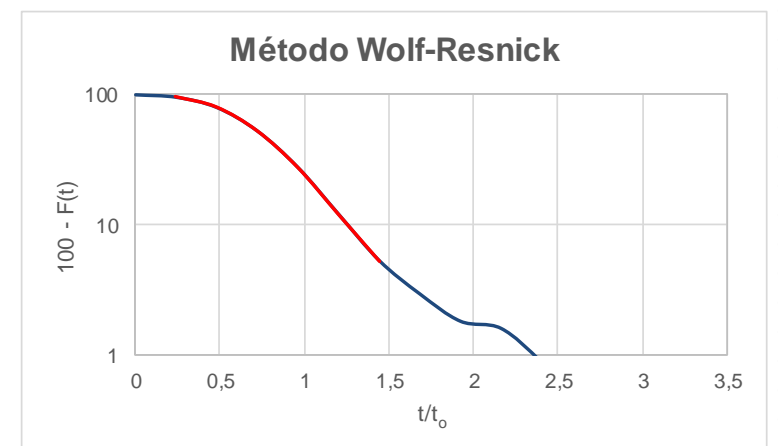
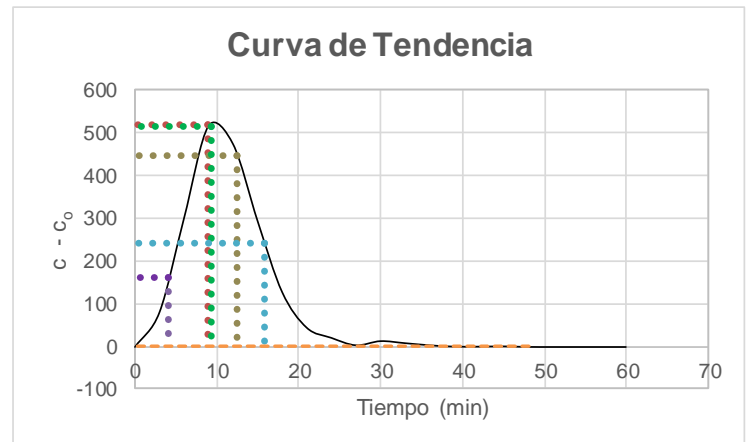
Unidad:	Floculador 7	Tiempo 10% (T ₁₀):	6,525162	min
Caudal (Q):	92,35 L/s	Tiempo Medio (T ₅₀):	11,58536	min
Volumen (v):	97,04448 m³	Tiempo 90% (T ₉₀):	19,99549	min
Concentración Inicial (C ₀):	76 ms/cm	t _i /t ₀ :	0	
TRH Teórico (t₀):	17,51461 min	t ₅₀ /t ₀ :	0,661468	
Tiempo Inicial (t _i):	0 min	t _p /t ₀ :	0,685142	
Tiempo Pico (t_p):	12 min	t ₉₀ /t ₁₀ :	3,064367	
Tiempo Final (t _F):	48 min	e:	1,370284	

	F(t)	t (min)	
Límite Superior:	26,41286	9	10
Límite Inferior:	6,51718	6	
Límite Superior:	53,78287	12	50
Límite Inferior:	26,41286	9	
Límite Superior:	91,63844	21	90
Límite Inferior:	86,74517	18	

t ₁ /t ₀ :	0,37255277	P:	53%	OK
t ₂ /t ₀ :	1,141646263	M:	47%	
tan(θ):	1,300236277	m:	29%	OK
∅:	0,37255277	Fm:	33%	
		Fp:	37%	

	100 - F(t)	t/t ₀	
Límite Superior:	73,58714	0,513857	90
Límite Inferior:	93,48282	0,342571	
Límite Superior:	8,361564	1,198999	10
Límite Inferior:	13,25483	1,027713	

Nº	t (min)	c (ms/cm)	t/t ₀	C - C ₀	Σ(C - C ₀)	F(t)	100 - F(t)
1	0	76	0	0	0	0	100
2	3	95,2	0,171286	19,2	19,2	1,032425	98,96758
3	6	178	0,342571	102	121,2	6,51718	93,48282
4	9	446	0,513857	370	491,2	26,41286	73,58714
5	12	585	0,685142	509	1000,2	53,78287	46,21713
6	15	468	0,856428	392	1392,2	74,86154	25,13846
7	18	297	1,027713	221	1613,2	86,74517	13,25483
8	21	167	1,198999	91	1704,2	91,63844	8,361564
9	24	129	1,370284	53	1757,2	94,48836	5,511642
10	27	99,4	1,54157	23,4	1780,6	95,74663	4,253374
11	30	95,7	1,712855	19,7	1800,3	96,80594	3,194064
12	33	86,2	1,884141	10,2	1810,5	97,35441	2,645588
13	36	93,8	2,055426	17,8	1828,3	98,31156	1,688444
14	39	90,1	2,226712	14,1	1842,4	99,06974	0,930258
15	42	89,2	2,397997	13,2	1855,6	99,77953	0,220466
16	45	79,3	2,569283	3,3	1858,9	99,95698	0,043018
17	48	76,8	2,740568	0,8	1859,7	100	0
18	51						
19	54						
20	57						
21	60						



Nombre del Gráfico	Vertical		Horizontal	
	t (min)	C - Co	t (min)	C - Co
TRH Teórico (t₀):	17,51461	248,667	17,51461	248,667
Tiempo Inicial (t_i):	0	0	0	0
Tiempo Pico (t_p):	12	509	12	509
Tiempo 10% (T₁₀):	6,525162	148,9145	6,525162	148,9145
Tiempo Medio (T₅₀):	11,58536	489,7885	11,58536	489,7885
Tiempo 90% (T₉₀):	19,99549	134,5286	19,99549	134,5286
Tiempo Final (t_F):	48	0,8	48	0,8
Nombre del Gráfico	t/t ₀	100 - F(t)	t/t ₀	100 - F(t)
t₁/t₀:	0,372555	90	0,372555	90
t₂/t₀:	1,141646	10	1,141646	10

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

t _i /t ₀ :	FLUJO MEZCLADO Y CORTO CIRCUITO HIDRÁULICO	P:	53%	Condiciones a Flujo Pistón
t ₅₀ /t ₀ :	EXISTEN CORTOCIRCUITOS HIDRÁULICOS	M:	47%	Condiciones a Mezcla Completa
t _p /t ₀ :	PREDOMINIO FLUJO MEZCLADO	m:	29%	Volumen de Espacios Muertos
Eficiencia Volumétrica:	33%	Fm:	33%	Fracción Mezclada
Excentricidad de la Curva:	EXISTENCIA DEL FLUJO MEZCLADO	Fp:	37%	Fracción Pistón

A.1.2. Análisis de Flujo – Efluente Floculadores (Floculador 8)

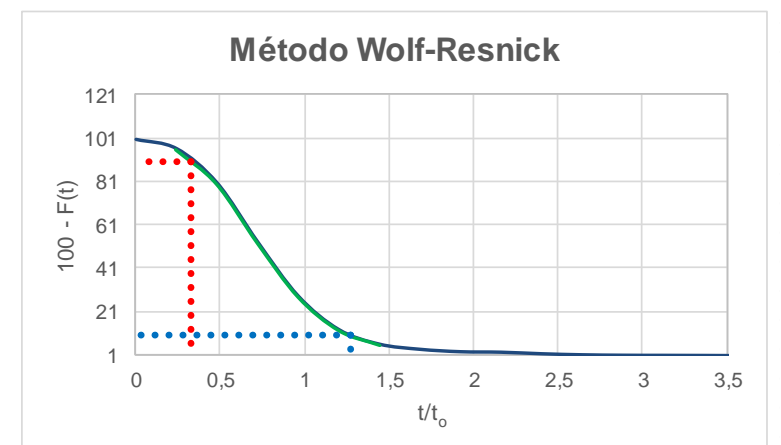
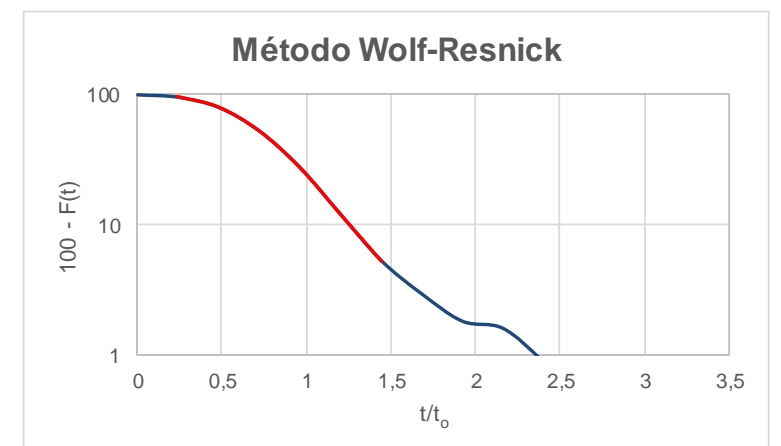
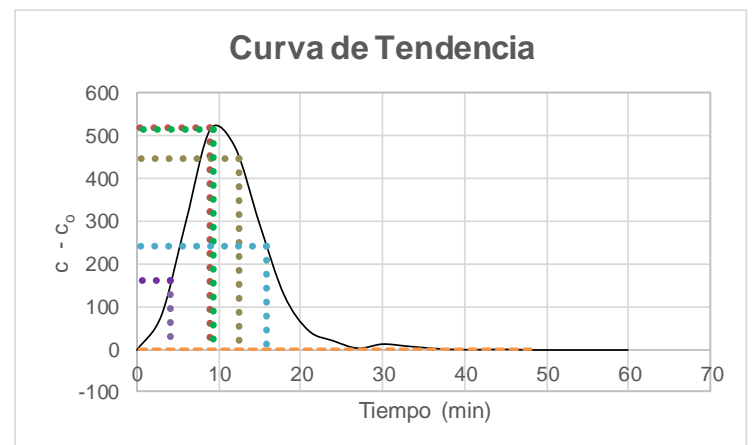
Unidad:	Floculador 1	Tiempo 10% (T ₁₀):	6,60377	min
Caudal (Q):	105,96 L/s	Tiempo Medio (T ₅₀):	11,72183	min
Volumen (v):	97,04448 m³	Tiempo 90% (T ₉₀):	19,26479	min
Concentración Inicial (C ₀):	76 ms/cm	t _i /t ₀ :	0	
TRH Teórico (t₀):	15,26369 min	t ₅₀ /t ₀ :	0,767956	
Tiempo Inicial (t _i):	0 min	t _p /t ₀ :	0,78618	
Tiempo Pico (t_p):	12 min	t ₉₀ /t ₁₀ :	2,917241	
Tiempo Final (t _F):	48 min	e:	1,572359	

	F(t)	t (min)	
Límite Superior:	25,34546	9	10
Límite Inferior:	6,133457	6	
Límite Superior:	52,51965	12	50
Límite Inferior:	25,34546	9	
Límite Superior:	92,79293	21	90
Límite Inferior:	87,96425	18	

t ₁ /t ₀ :	0,432645846	P:	55%	OK
t ₂ /t ₀ :	1,262132102	M:	45%	
tan(θ):	1,205565485	m:	21%	
∅:	0,432645846	Fm:	36%	OK
		Fp:	43%	

	100 - F(t)	t/t ₀	
Límite Superior:	74,65454	0,589635	90
Límite Inferior:	93,86654	0,39309	
Límite Superior:	7,207068	1,375815	10
Límite Inferior:	12,03575	1,17927	

Nº	t (min)	c (ms/cm)	t/t ₀	C - C ₀	Σ(C - C ₀)	F(t)	100 - F(t)
1	0	76	0	0	0	0	100
2	3	98,4	0,196545	22,4	22,4	1,150665	98,84933
3	6	173	0,39309	97	119,4	6,133457	93,86654
4	9	450	0,589635	374	493,4	25,34546	74,65454
5	12	605	0,78618	529	1022,4	52,51965	47,48035
6	15	497	0,982725	421	1443,4	74,14599	25,85401
7	18	345	1,17927	269	1712,4	87,96425	12,03575
8	21	170	1,375815	94	1806,4	92,79293	7,207068
9	24	148	1,572359	72	1878,4	96,4915	3,508502
10	27	99,7	1,768904	23,7	1902,1	97,70894	2,291057
11	30	89,9	1,965449	13,9	1916	98,42297	1,577028
12	33	85,6	2,161994	9,6	1925,6	98,91611	1,083886
13	36	80,9	2,358539	4,9	1930,5	99,16782	0,832178
14	39	83,5	2,555084	7,5	1938	99,55309	0,44691
15	42	82,7	2,751629	6,7	1944,7	99,89726	0,102738
16	45	77,8	2,948174	1,8	1946,5	99,98973	0,010274
17	48	76,2	3,144719	0,2	1946,7	100	0
18	51						
19	54						
20	57						
21	60						



Nombre del Gráfico	Vertical		Horizontal	
	t (min)	C - Co	t (min)	C - Co
TRH Teórico (t₀):	15,26369	411,5073	15,26369	411,5073
Tiempo Inicial (t_i):	0	0	0	0
Tiempo Pico (t_p):	12	529	12	529
Tiempo 10% (T₁₀):	6,60377	112,0137	6,60377	112,0137
Tiempo Medio (T₅₀):	11,72183	514,6281	11,72183	514,6281
Tiempo 90% (T₉₀):	19,26479	204,9174	19,26479	204,9174
Tiempo Final (t_F):	48	0,2	48	0,2
Nombre del Gráfico	t/t ₀	100 - F(t)	t/t ₀	100 - F(t)
t₁/t₀:	0,432646	90	0,432646	90
t₂/t₀:	1,262132	10	1,262132	10

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

t _i /t ₀ :	FLUJO MEZCLADO Y CORTO CIRCUITO HIDRÁULICO	P:	55%	Condiciones a Flujo Pistón
t ₅₀ /t ₀ :	EXISTEN CORTOCIRCUITOS HIDRÁULICOS	M:	45%	Condiciones a Mezcla Completa
t _p /t ₀ :	PREDOMINIO FLUJO MEZCLADO	m:	21%	Volumen de Espacios Muertos
Eficiencia Volumétrica:	34%	Fm:	36%	Fracción Mezclada
Excentricidad de la Curva:	EXISTENCIA DEL FLUJO MEZCLADO	Fp:	43%	Fracción Pistón

A.1.3. Análisis de Flujo – Efluente Sedimentadores (Sedimentador 1)

Unidad:	Sedimentador 1	Tiempo 10% (T ₁₀):	21,75427	min
Caudal (Q):	129,60 L/s	Tiempo Medio (T ₅₀):	44,36284	min
Volumen (v):	169,09 m³	Tiempo 90% (T ₉₀):	84,06	min
Concentración Inicial (C ₀):	76 ms/cm	t _i /t ₀ :	0	
TRH Teórico (t₀):	21,74513 min	t ₅₀ /t ₀ :	2,040127	
Tiempo Inicial (t _i):	0 min	t _p /t ₀ :	1,517581	
Tiempo Pico (t_p):	33 min	t ₉₀ /t ₁₀ :	3,864069	
Tiempo Final (t _f):	113 min	e:	2,161403	

t ₁ /t ₀ :	1,000420391	P:	45%	OK
t ₂ /t ₀ :	3,865693075	M:	55%	
tan(θ):	0,349006922	m:	0%	
∅:	1,000420391	Fm:	55%	OK
		Fp:	45%	

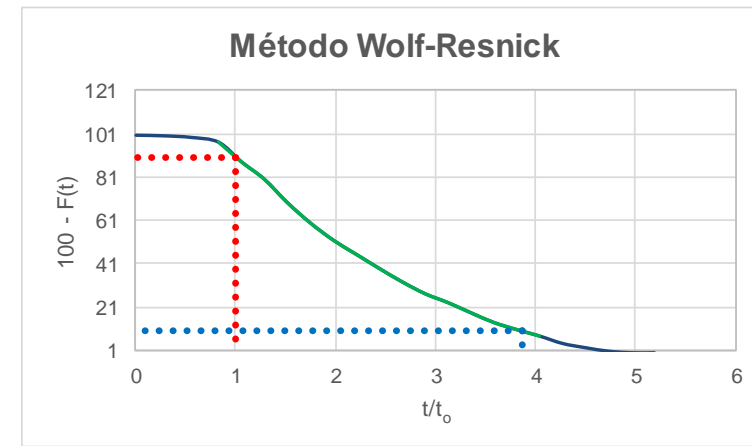
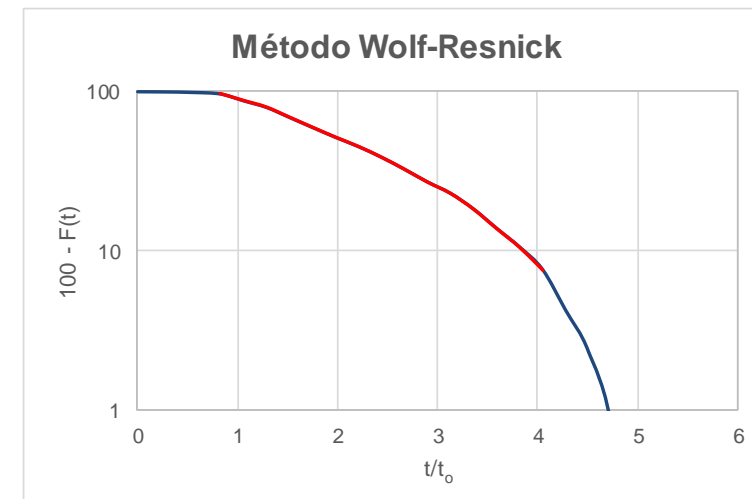
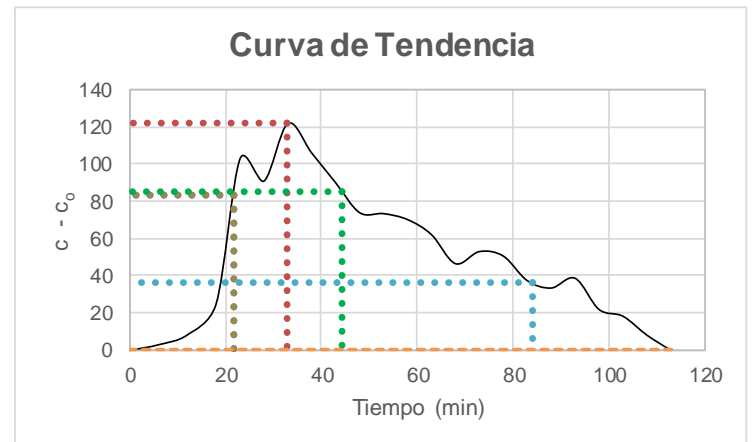
Nº	t (min)	c (ms/cm)	t/t ₀	C - C ₀	Σ(C - C ₀)	F(t)	100 - F(t)
1	0	76	0	0	0	0	100
2	6	79,03	0,275924	3,03	3,03	0,266472	99,73353
3	12	84,34	0,551848	8,34	11,37	0,99993	99,00007
4	18	101	0,827772	25	36,37	3,198544	96,80146
5	23	179	1,057708	103	139,37	12,25683	87,74317
6	28	167	1,287645	91	230,37	20,25979	79,74021
7	33	198	1,517581	122	352,37	30,98902	69,01098
8	38	182	1,747518	106	458,37	40,31115	59,68885
9	43	166	1,977454	90	548,37	48,22616	51,77384
10	48	150	2,207391	74	622,37	54,73406	45,26594
11	53	149,5	2,437327	73,5	695,87	61,19798	38,80202
12	58	146,3	2,667264	70,3	766,17	67,38048	32,61952
13	63	138,2	2,8972	62,2	828,37	72,85063	27,14937
14	68	122,6	3,127137	46,6	874,97	76,94885	23,05115
15	73	129,1	3,357073	53,1	928,07	81,61871	18,38129
16	78	126,7	3,58701	50,7	978,77	86,0775	13,9225
17	83	113,5	3,816947	37,5	1016,27	89,37542	10,62458
18	88	109,5	4,046883	33,5	1049,77	92,32156	7,67844
19	93	114,75	4,27682	38,75	1088,52	95,72941	4,270588
20	98	98	4,506756	22	1110,52	97,66419	2,335808
21	103	94,35	4,736693	18,35	1128,87	99,27798	0,722025
22	108	84,2	4,966629	8,2	1137,07	99,99912	0,000879
23	113	76,01	5,196566	0,01	1137,08	100	0

Nombre del Gráfico	Vertical		Horizontal	
	t (min)	C - C ₀	t (min)	C - C ₀
TRH Teórico (t₀):	21,74513	83,42403	21,74513	83,42403
Tiempo Inicial (t_i):	0	0	0	0
Tiempo Pico (t_p):	33	122	33	122
Tiempo 10% (T₁₀):	21,75427	83,56664	21,75427	83,56664
Tiempo Medio (T₅₀):	44,36284	85,63892	44,36284	85,63892
Tiempo 90% (T₉₀):	84,06	36,652	84,06	36,652
Tiempo Final (t_f):	113	0,01	113	0,01

Nombre del Gráfico	t/t ₀	100 - F(t)	t/t ₀	100 - F(t)
t₁/t₀:	1,00042	90	1,00042	90
t₂/t₀:	3,865693	10	3,865693	10

	F(t)	t (min)	
Límite Superior:	12,25683	23	10
Límite Inferior:	3,198544	18	
Límite Superior:	54,73406	48	50
Límite Inferior:	48,22616	43	
Límite Superior:	92,32156	88	90
Límite Inferior:	89,37542	83	

	100 - F(t)	t/t ₀	
Límite Superior:	87,74317	1,057708	90
Límite Inferior:	96,80146	0,827772	
Límite Superior:	7,67844	4,046883	10
Límite Inferior:	10,62458	3,816947	



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

t _i /t ₀ :	FLUJO MEZCLADO Y CORTO CIRCUITO HIDRÁULICO	P:	45%	Condiciones a Flujo Pistón
t ₅₀ /t ₀ :	EXISTEN ZONAS MUERTAS	M:	55%	Condiciones a Mezcla Completa
t _p /t ₀ :	PREDOMINIO FLUJO MEZCLADO	m:	0%	Volumen de Espacios Muertos
Eficiencia Volumétrica:	26%	Fm:	55%	Fracción Mezclada
Excentricidad de la Curva:	EXISTENCIA DEL FLUJO MEZCLADO	Fp:	45%	Fracción Pistón

A.1.3. Análisis de Flujo – Efluente Sedimentadores (Sedimentador 2)

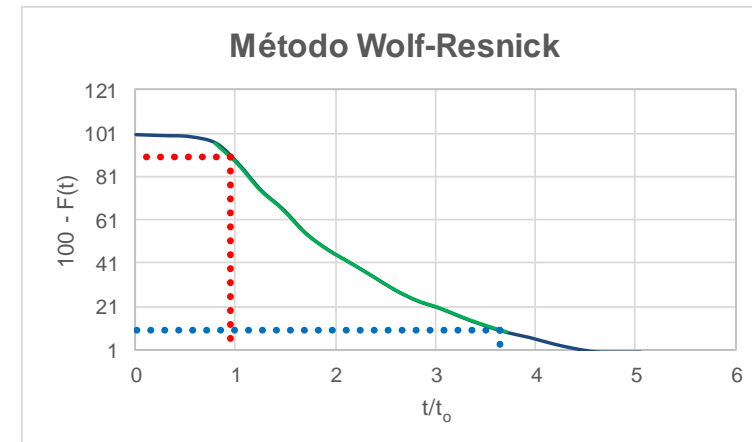
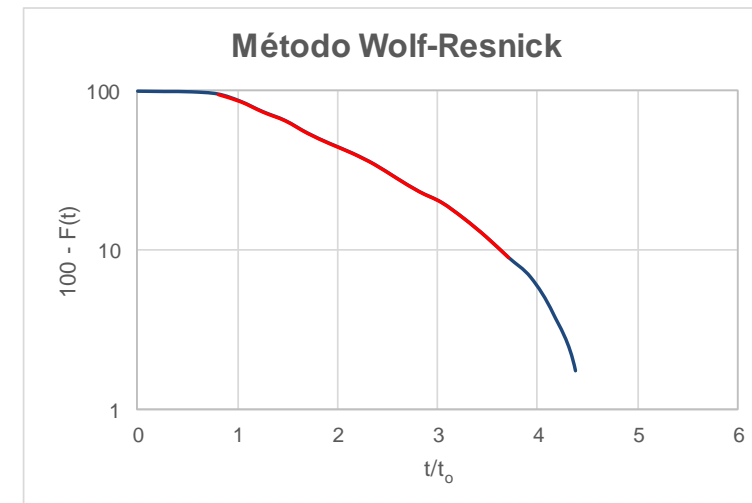
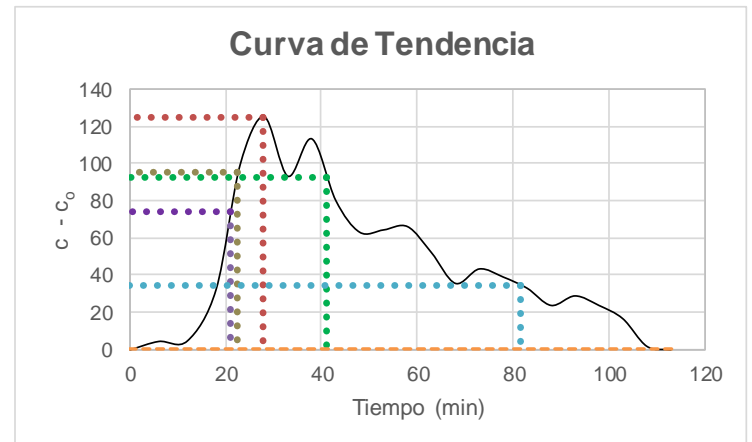
Unidad:	Sedimentador 2	Tiempo 10% (T ₁₀):	21,16162	min
Caudal (Q):	126,01 L/s	Tiempo Medio (T ₅₀):	41,1125	min
Volumen (v):	169,09 m³	Tiempo 90% (T ₉₀):	81,59848	min
Concentración Inicial (C ₀):	76 ms/cm	t _i /t ₀ :	0	
TRH Teórico (t₀):	22,36473 min	t ₅₀ /t ₀ :	1,838274	
Tiempo Inicial (t _i):	0 min	t _p /t ₀ :	1,251971	
Tiempo Pico (t_p):	28 min	t ₉₀ /t ₁₀ :	3,855967	
Tiempo Final (t _F):	113 min	e:	2,548656	

	F(t)	t (min)	
Límite Superior:	13,48993	23	10
Límite Inferior:	3,998082	18	
Límite Superior:	52,89549	43	50
Límite Inferior:	45,22531	38	
Límite Superior:	90,88686	83	90
Límite Inferior:	87,72291	78	

t ₁ /t ₀ :	0,946204891	P:	45%	OK
t ₂ /t ₀ :	3,648534443	M:	55%	
tan(θ):	0,370051091	m:	0%	
∅:	0,946204891	Fm:	55%	OK
		Fp:	45%	

	100 - F(t)	t/t ₀	
Límite Superior:	86,51007	1,028405	90
Límite Inferior:	96,00192	0,804839	
Límite Superior:	9,113135	3,711201	10
Límite Inferior:	12,27709	3,487634	

Nº	t (min)	c (ms/cm)	t/t ₀	C - C ₀	Σ(C - C ₀)	F(t)	100 - F(t)
1	0	76	0	0	0	0	100
2	6	80,5	0,26828	4,5	4,5	0,431448	99,56855
3	12	80,8	0,536559	4,8	9,3	0,891659	99,10834
4	18	108,4	0,804839	32,4	41,7	3,998082	96,00192
5	23	175	1,028405	99	140,7	13,48993	86,51007
6	28	201	1,251971	125	265,7	25,47459	74,52541
7	33	169	1,475538	93	358,7	34,39118	65,60882
8	38	189	1,699104	113	471,7	45,22531	54,77469
9	43	156	1,92267	80	551,7	52,89549	47,10451
10	48	139	2,146237	63	614,7	58,93576	41,06424
11	53	140,25	2,369803	64,25	678,95	65,09588	34,90412
12	58	142	2,593369	66	744,95	71,42378	28,57622
13	63	128,05	2,816936	52,05	797	76,41419	23,58581
14	68	111,6	3,040502	35,6	832,6	79,82742	20,17258
15	73	119,35	3,264068	43,35	875,95	83,9837	16,0163
16	78	115	3,487634	39	914,95	87,72291	12,27709
17	83	109	3,711201	33	947,95	90,88686	9,113135
18	88	99,8	3,934767	23,8	971,75	93,16874	6,831256
19	93	104,9	4,158333	28,9	1000,65	95,9396	4,060403
20	98	99,8	4,3819	23,8	1024,45	98,22148	1,778523
21	103	92,65	4,605466	16,65	1041,1	99,81783	0,182167
22	108	77,9	4,829032	1,9	1043	100	0
23	113	76	5,052599	0	1043	100	0



Nombre del Gráfico	Vertical		Horizontal	
	t (min)	C - Co	t (min)	C - Co
TRH Teórico (t₀):	22,36473	95,69659	22,36473	95,69659
Tiempo Inicial (t_i):	0	0	0	0
Tiempo Pico (t_p):	28	125	28	125
Tiempo 10% (T₁₀):	21,16162	74,51273	21,16162	74,51273
Tiempo Medio (T₅₀):	41,1125	92,4575	41,1125	92,4575
Tiempo 90% (T₉₀):	81,59848	34,68182	81,59848	34,68182
Tiempo Final (t_F):	113	0	113	0
Nombre del Gráfico	t/t ₀	100 - F(t)	t/t ₀	100 - F(t)
t₁/t₀:	0,946205	90	0,946205	90
t₂/t₀:	3,648534	10	3,648534	10

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

t ₁ /t ₀ :	FLUJO MEZCLADO Y CORTO CIRCUITO HIDRÁULICO	P:	45%	Condiciones a Flujo Pistón
t ₅₀ /t ₀ :	EXISTEN ZONAS MUERTAS	M:	55%	Condiciones a Mezcla Completa
t _p /t ₀ :	PREDOMINIO FLUJO MEZCLADO	m:	0%	Volumen de Espacios Muertos
Eficiencia Volumétrica:	26%	Fm:	55%	Fracción Mezclada
Excentricidad de la Curva:	FLUJO MEZCLADO IDEAL	Fp:	45%	Fracción Pistón

A.1.3. Análisis de Flujo – Efluente Sedimentadores (Sedimentador 3)

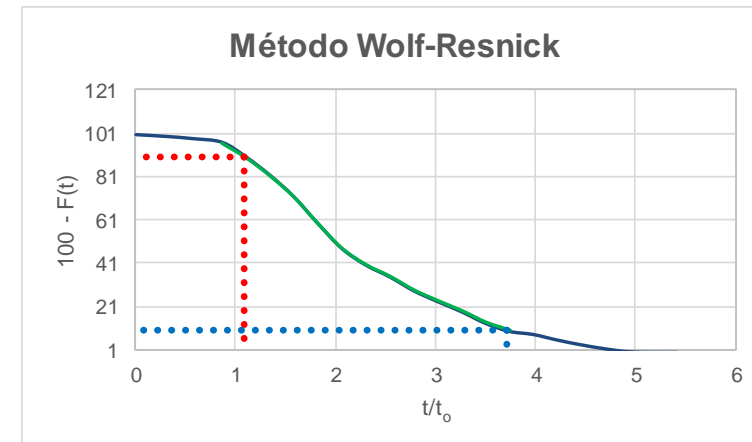
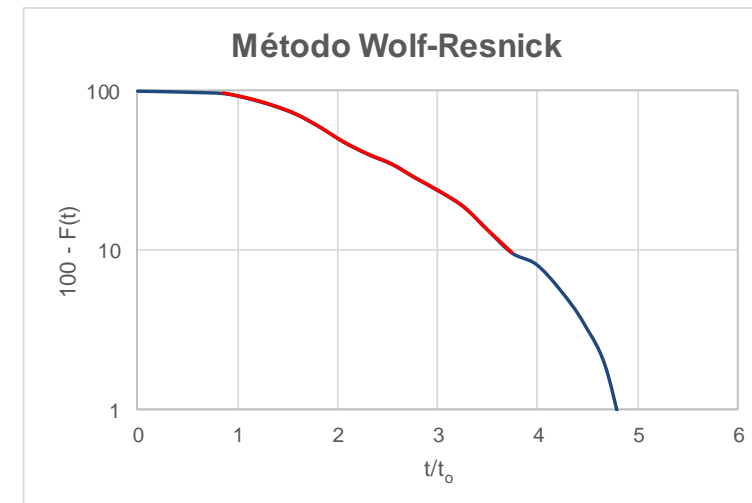
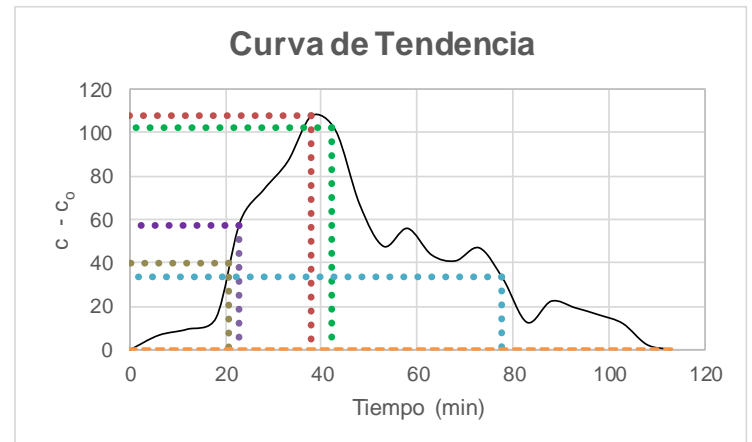
Unidad:	Sedimentador 3	Tiempo 10% (T ₁₀):	22,83136	min
Caudal (Q):	135,17 L/s	Tiempo Medio (T ₅₀):	42,01238	min
Volumen (v):	169,09 m³	Tiempo 90% (T ₉₀):	77,55231	min
Concentración Inicial (C ₀):	76 ms/cm	t _i /t ₀ :	0	
TRH Teórico (t₀):	20,84904 min	t ₅₀ /t ₀ :	2,015075	
Tiempo Inicial (t _i):	0 min	t _p /t ₀ :	1,822626	
Tiempo Pico (t_p):	38 min	t ₉₀ /t ₁₀ :	3,396746	
Tiempo Final (t _f):	113 min	e:	1,774662	

	F(t)	t (min)	
Límite Superior:	10,22611	23	10
Límite Inferior:	3,522327	18	
Límite Superior:	52,26679	43	50
Límite Inferior:	40,79082	38	
Límite Superior:	90,33064	78	90
Límite Inferior:	86,63788	73	

t ₁ /t ₀ :	1,095079572	P:	49%	OK
t ₂ /t ₀ :	3,719706712	M:	51%	
tan(θ):	0,3810065	m:	0%	
∅:	1,095079572	Fm:	51%	OK
		Fp:	49%	

	100 - F(t)	t/t ₀	
Límite Superior:	89,77389	1,103168	90
Límite Inferior:	96,47767	0,863349	
Límite Superior:	9,669356	3,74118	10
Límite Inferior:	13,36212	3,501361	

Nº	t (min)	c (ms/cm)	t/t ₀	C - C ₀	Σ(C - C ₀)	F(t)	100 - F(t)
1	0	76	0	0	0	0	100
2	6	82,7	0,287783	6,7	6,7	0,761277	99,23872
3	12	85,5	0,575566	9,5	16,2	1,8407	98,1593
4	18	90,8	0,863349	14,8	31	3,522327	96,47767
5	23	135	1,103168	59	90	10,22611	89,77389
6	28	150	1,342988	74	164	18,63425	81,36575
7	33	163	1,582807	87	251	28,51949	71,48051
8	38	184	1,822626	108	359	40,79082	59,20918
9	43	177	2,062445	101	460	52,26679	47,73321
10	48	143	2,302264	67	527	59,87956	40,12044
11	53	123,7	2,542084	47,7	574,7	65,2994	34,7006
12	58	132	2,781903	56	630,7	71,66231	28,33769
13	63	119,8	3,021722	43,8	674,5	76,63902	23,36098
14	68	117	3,261541	41	715,5	81,29758	18,70242
15	73	123	3,501361	47	762,5	86,63788	13,36212
16	78	108,5	3,74118	32,5	795	90,33064	9,669356
17	83	88,6	3,980999	12,6	807,6	91,7623	8,2377
18	88	98,4	4,220818	22,4	830	94,30747	5,692535
19	93	95,4	4,460637	19,4	849,4	96,51176	3,48824
20	98	92,1	4,700457	16,1	865,5	98,3411	1,658902
21	103	88,1	4,940276	12,1	877,6	99,71594	0,284059
22	108	78,4	5,180095	2,4	880	99,98864	0,011362
23	113	76,1	5,419914	0,1	880,1	100	0



Nombre del Gráfico	Vertical		Horizontal	
	t (min)	C - C ₀	t (min)	C - C ₀
TRH Teórico (t₀):	20,84904	39,9855	20,84904	39,9855
Tiempo Inicial (t_i):	0	0	0	0
Tiempo Pico (t_p):	38	108	38	108
Tiempo 10% (T₁₀):	22,83136	57,50919	22,83136	57,50919
Tiempo Medio (T₅₀):	42,01238	102,3827	42,01238	102,3827
Tiempo 90% (T₉₀):	77,55231	33,79831	77,55231	33,79831
Tiempo Final (t_f):	113	0,1	113	0,1
Nombre del Gráfico	t/t ₀	100 - F(t)	t/t ₀	100 - F(t)
t₁/t₀:	1,09508	90	1,09508	90
t₂/t₀:	3,719707	10	3,719707	10

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

t ₁ /t ₀ :	FLUJO MEZCLADO Y CORTO CIRCUITO HIDRÁULICO	P:	49%	Condiciones a Flujo Pistón
t ₅₀ /t ₀ :	EXISTEN ZONAS MUERTAS	M:	51%	Condiciones a Mezcla Completa
t _p /t ₀ :	PREDOMINIO FLUJO MEZCLADO	m:	0%	Volumen de Espacios Muertos
Eficiencia Volumétrica:	29%	Fm:	51%	Fracción Mezclada
Excentricidad de la Curva:	EXISTENCIA DEL FLUJO MEZCLADO	Fp:	49%	Fracción Pistón

A.1.3. Análisis de Flujo – Efluente Sedimentadores (Sedimentador 4)

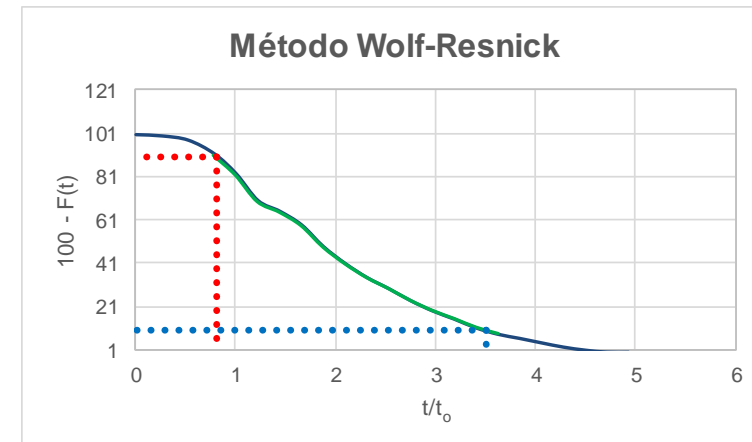
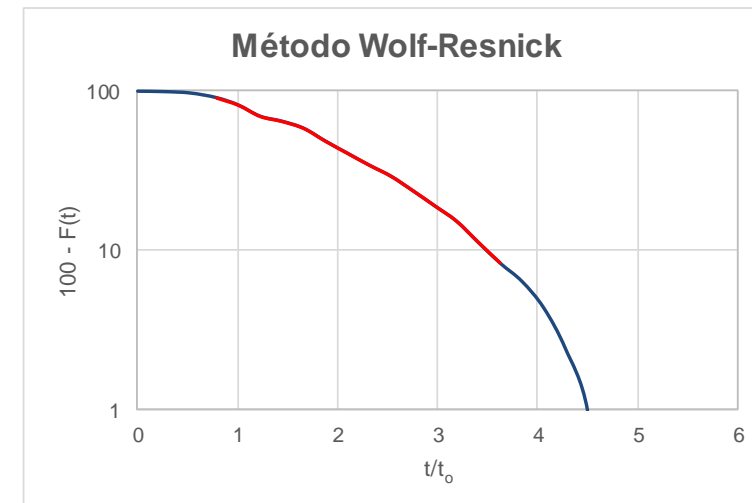
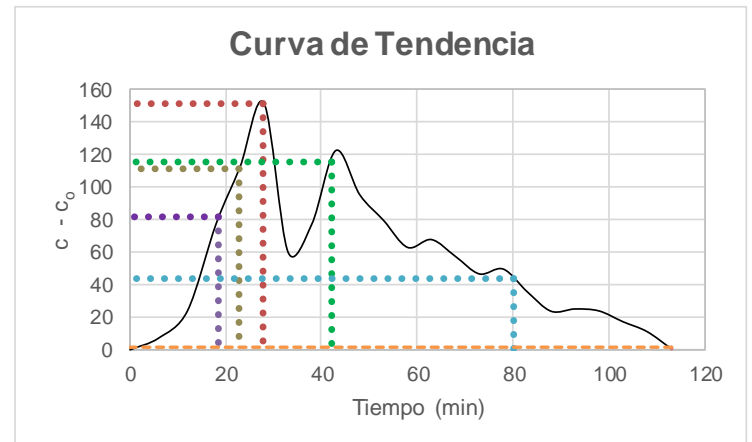
Unidad:	Sedimentador 4	Tiempo 10% (T ₁₀):	18,63817	min
Caudal (Q):	123,21 L/s	Tiempo Medio (T ₅₀):	42,27357	min
Volumen (v):	169,09 m³	Tiempo 90% (T ₉₀):	80,07607	min
Concentración Inicial (C ₀):	76 ms/cm	t _i /t ₀ :	0	
TRH Teórico (t₀):	22,87375 min	t ₅₀ /t ₀ :	1,848126	
Tiempo Inicial (t _i):	0 min	t _p /t ₀ :	1,224111	
Tiempo Pico (t_p):	28 min	t ₉₀ /t ₁₀ :	4,296348	
Tiempo Final (t _F):	113 min	e:	2,491939	

	F(t)	t (min)	
Límite Superior:	17,97624	23	10
Límite Inferior:	8,833014	18	
Límite Superior:	51,447	43	50
Límite Inferior:	41,48741	38	
Límite Superior:	91,69762	83	90
Límite Inferior:	88,79464	78	

t ₁ /t ₀ :	0,814827878	P:	41%	OK
t ₂ /t ₀ :	3,500784377	M:	59%	
tan(θ):	0,372306849	m:	0%	OK
∅:	0,814827878	Fm:	59%	
		Fp:	41%	

	100 - F(t)	t/t ₀	
Límite Superior:	82,02376	1,005519	90
Límite Inferior:	91,16699	0,786928	
Límite Superior:	8,30238	3,628613	10
Límite Inferior:	11,20536	3,410022	

Nº	t (min)	c (ms/cm)	t/t ₀	C - C ₀	Σ(C - C ₀)	F(t)	100 - F(t)
1	0	76	0	0	0	0	100
2	6	83,2	0,262309	7,2	7,2	0,587779	99,41222
3	12	99,8	0,524619	23,8	31	2,530716	97,46928
4	18	153,2	0,786928	77,2	108,2	8,833014	91,16699
5	23	188	1,005519	112	220,2	17,97624	82,02376
6	28	227	1,224111	151	371,2	30,30328	69,69672
7	33	136	1,442702	60	431,2	35,20144	64,79856
8	38	153	1,661293	77	508,2	41,48741	58,51259
9	43	198	1,879884	122	630,2	51,447	48,553
10	48	171	2,098475	95	725,2	59,20242	40,79758
11	53	155,2	2,317066	79,2	804,4	65,66799	34,33201
12	58	138,7	2,535658	62,7	867,1	70,78656	29,21344
13	63	143,5	2,754249	67,5	934,6	76,29699	23,70301
14	68	133,2	2,97284	57,2	991,8	80,96657	19,03343
15	73	122,46	3,191431	46,46	1038,26	84,75938	15,24062
16	78	125,43	3,410022	49,43	1087,69	88,79464	11,20536
17	83	111,56	3,628613	35,56	1123,25	91,69762	8,30238
18	88	99,6	3,847205	23,6	1146,85	93,62423	6,37577
19	93	101	4,065796	25	1171,85	95,66513	4,334871
20	98	99,8	4,284387	23,8	1195,65	97,60807	2,391934
21	103	93,2	4,502978	17,2	1212,85	99,0122	0,987795
22	108	87,2	4,721569	11,2	1224,05	99,92653	0,073472
23	113	76,9	4,940161	0,9	1224,95	100	0



Nombre del Gráfico	Vertical		Horizontal	
	t (min)	C - C ₀	t (min)	C - C ₀
TRH Teórico (t₀):	22,87375	111,1213	22,87375	111,1213
Tiempo Inicial (t_i):	0	0	0	0
Tiempo Pico (t_p):	28	151	28	151
Tiempo 10% (T₁₀):	18,63817	81,64166	18,63817	81,64166
Tiempo Medio (T₅₀):	42,27357	115,4621	42,27357	115,4621
Tiempo 90% (T₉₀):	80,07607	43,67099	80,07607	43,67099
Tiempo Final (t_F):	113	0,9	113	0,9
Nombre del Gráfico	t/t ₀	100 - F(t)	t/t ₀	100 - F(t)
t₁/t₀:	0,814828	90	0,814828	90
t₂/t₀:	3,500784	10	3,500784	10

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

t ₁ /t ₀ :	FLUJO MEZCLADO Y CORTO CIRCUITO HIDRÁULICO	P:	41%	Condiciones a Flujo Pistón
t ₅₀ /t ₀ :	EXISTEN ZONAS MUERTAS	M:	59%	Condiciones a Mezcla Completa
t _p /t ₀ :	PREDOMINIO FLUJO MEZCLADO	m:	0%	Volumen de Espacios Muertos
Eficiencia Volumétrica:	23%	Fm:	59%	Fracción Mezclada
Excentricidad de la Curva:	FLUJO MEZCLADO IDEAL	Fp:	41%	Fracción Pistón

A.1.3. Análisis de Flujo – Efluente Sedimentadores (Sedimentador 5)

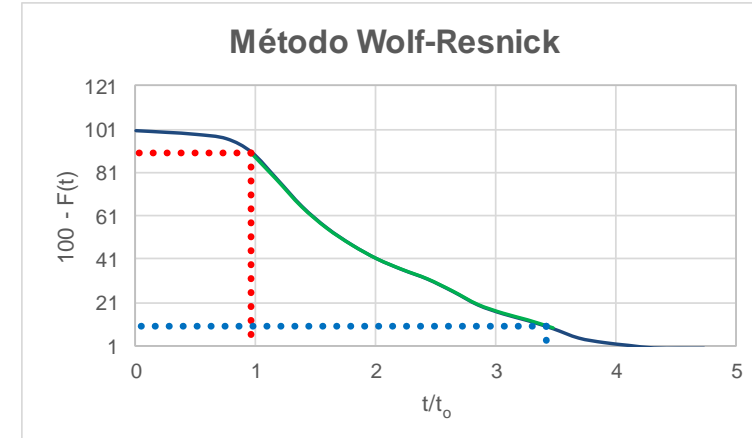
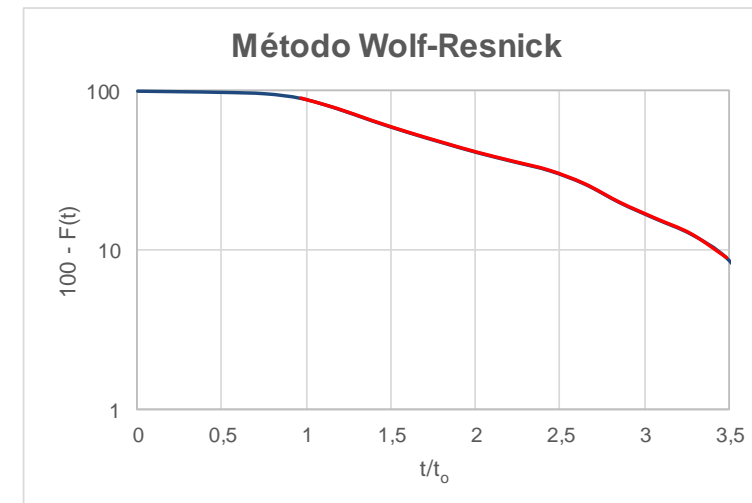
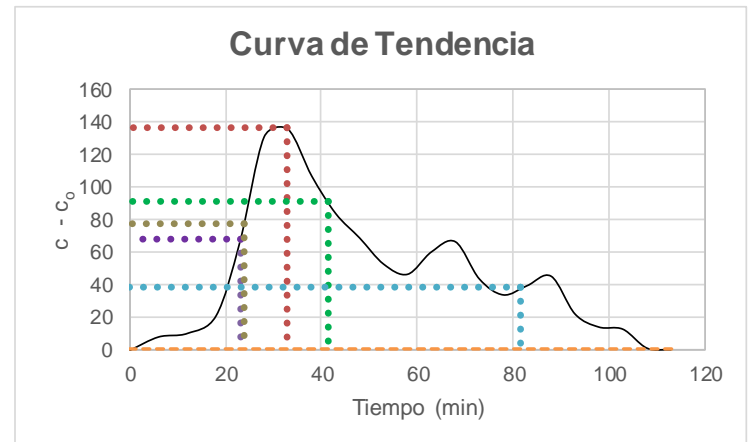
Unidad:	Sedimentador 5	Tiempo 10% (T ₁₀):	23,02958	min
Caudal (Q):	118,33 L/s	Tiempo Medio (T ₅₀):	41,36637	min
Volumen (v):	169,09 m³	Tiempo 90% (T ₉₀):	81,60894	min
Concentración Inicial (C ₀):	76 ms/cm	t _i /t ₀ :	0	
TRH Teórico (t₀):	23,81637 min	t ₅₀ /t ₀ :	1,736888	
Tiempo Inicial (t _i):	0 min	t _p /t ₀ :	1,385601	
Tiempo Pico (t_p):	33 min	t ₉₀ /t ₁₀ :	3,543657	
Tiempo Final (t _f):	113 min	e:	1,973432	

	F(t)	t (min)	
Límite Superior:	22,12015	28	10
Límite Inferior:	9,92787	23	
Límite Superior:	52,55433	43	50
Límite Inferior:	44,73638	38	
Límite Superior:	91,02797	83	90
Límite Inferior:	87,33305	78	

t ₁ /t ₀ :	0,966964203	P:	47%	OK
t ₂ /t ₀ :	3,426589849	M:	53%	
tan(θ):	0,406565935	m:	0%	OK
∅:	0,966964203	Fm:	53%	
		Fp:	47%	

	100 - F(t)	t/t ₀	
Límite Superior:	77,87985	1,175662	90
Límite Inferior:	90,07213	0,965722	
Límite Superior:	8,972032	3,484997	10
Límite Inferior:	12,66695	3,275058	

Nº	t (min)	c (ms/cm)	t/t ₀	C - C ₀	Σ(C - C ₀)	F(t)	100 - F(t)
1	0	76	0	0	0	0	100
2	6	84,15	0,251928	8,15	8,15	0,758528	99,24147
3	12	86,32	0,503855	10,32	18,47	1,719019	98,28098
4	18	97,2	0,755783	21,2	39,67	3,692122	96,30788
5	23	143	0,965722	67	106,67	9,92787	90,07213
6	28	207	1,175662	131	237,67	22,12015	77,87985
7	33	212	1,385601	136	373,67	34,77779	65,22221
8	38	183	1,595541	107	480,67	44,73638	55,26362
9	43	160	1,805481	84	564,67	52,55433	47,44567
10	48	145	2,01542	69	633,67	58,97622	41,02378
11	53	128,94	2,22536	52,94	686,61	63,90339	36,09661
12	58	122,7	2,435299	46,7	733,31	68,2498	31,7502
13	63	136,5	2,645239	60,5	793,81	73,88059	26,11941
14	68	142,7	2,855179	66,7	860,51	80,08842	19,91158
15	73	119,82	3,065118	43,82	904,33	84,16678	15,83322
16	78	110,02	3,275058	34,02	938,35	87,33305	12,66695
17	83	115,7	3,484997	39,7	978,05	91,02797	8,972032
18	88	121,5	3,694937	45,5	1023,55	95,26269	4,737307
19	93	98,23	3,904877	22,23	1045,78	97,33166	2,668342
20	98	90,2	4,114816	14,2	1059,98	98,65326	1,346736
21	103	88,9	4,324756	12,9	1072,88	99,85388	0,146121
22	108	77,3	4,534696	1,3	1074,18	99,97487	0,025129
23	113	76,27	4,744635	0,27	1074,45	100	0



Nombre del Gráfico	Vertical		Horizontal	
	t (min)	C - Co	t (min)	C - Co
TRH Teórico (t₀):	23,81637	77,44957	23,81637	77,44957
Tiempo Inicial (t_i):	0	0	0	0
Tiempo Pico (t_p):	33	136	33	136
Tiempo 10% (T₁₀):	23,02958	67,37863	23,02958	67,37863
Tiempo Medio (T₅₀):	41,36637	91,5147	41,36637	91,5147
Tiempo 90% (T₉₀):	81,60894	38,11976	81,60894	38,11976
Tiempo Final (t_f):	113	0,27	113	0,27
Nombre del Gráfico	t/t ₀	100 - F(t)	t/t ₀	100 - F(t)
t₁/t₀:	0,966964	90	0,966964	90
t₂/t₀:	3,42659	10	3,42659	10

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

t ₁ /t ₀ :	FLUJO MEZCLADO Y CORTO CIRCUITO HIDRÁULICO	P:	47%	Condiciones a Flujo Pistón
t ₅₀ /t ₀ :	EXISTEN ZONAS MUERTAS	M:	53%	Condiciones a Mezcla Completa
t _p /t ₀ :	PREDOMINIO FLUJO MEZCLADO	m:	0%	Volumen de Espacios Muertos
Eficiencia Volumétrica:	28%	Fm:	53%	Fracción Mezclada
Excentricidad de la Curva:	EXISTENCIA DEL FLUJO MEZCLADO	Fp:	47%	Fracción Pistón

A.1.3. Análisis de Flujo – Efluente Sedimentadores (Sedimentador 6)

Unidad:	Sedimentador 6	Tiempo 10% (T ₁₀):	20,77895	min
Caudal (Q):	109,38 L/s	Tiempo Medio (T ₅₀):	39,5125	min
Volumen (v):	169,09 m³	Tiempo 90% (T ₉₀):	79,24107	min
Concentración Inicial (C ₀):	76 ms/cm	t _i /t ₀ :	0	
TRH Teórico (t₀):	25,76593 min	t ₅₀ /t ₀ :	1,533517	
Tiempo Inicial (t _i):	0 min	t _p /t ₀ :	1,086706	
Tiempo Pico (t_p):	28 min	t ₉₀ /t ₁₀ :	3,813527	
Tiempo Final (t _f):	113 min	e:	2,212224	

t ₁ /t ₀ :	0,806450569	P:	45%	OK
t ₂ /t ₀ :	3,075420809	M:	55%	
tan(θ):	0,440728566	m:	0%	OK
∅:	0,806450569	Fm:	55%	
		Fp:	45%	

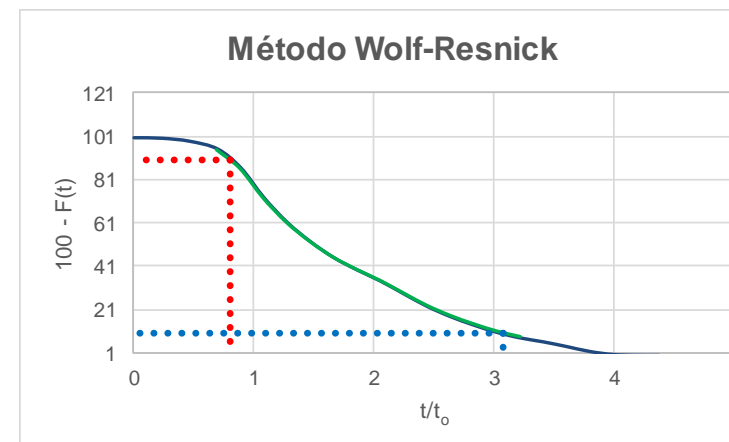
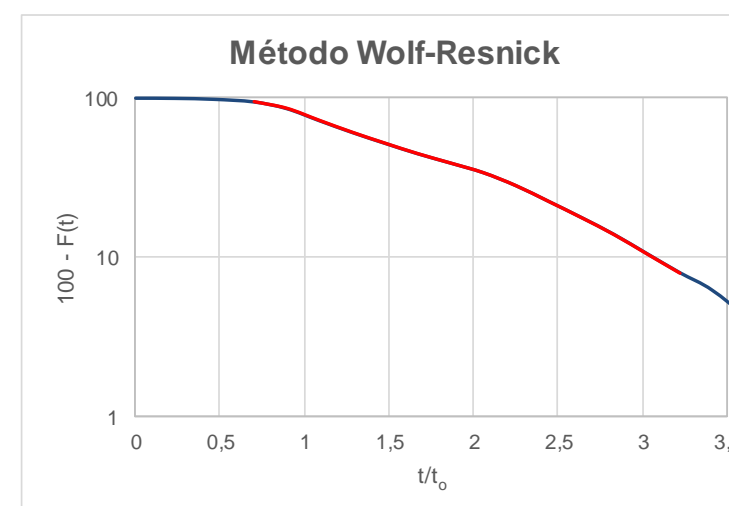
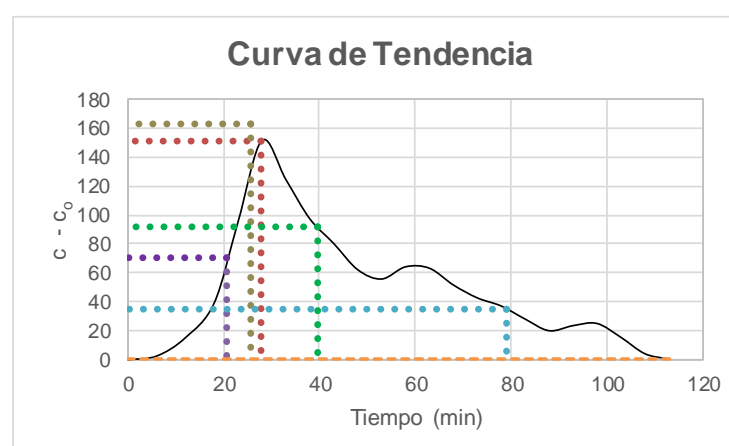
Nº	t (min)	c (ms/cm)	t/t ₀	C - C ₀	Σ(C - C ₀)	F(t)	100 - F(t)
1	0	76	0	0	0	0	100
2	6	78,6	0,232866	2,6	2,6	0,237226	99,76277
3	12	91,2	0,465731	15,2	17,8	1,624088	98,37591
4	18	115	0,698597	39	56,8	5,182482	94,81752
5	23	171	0,892652	95	151,8	13,85036	86,14964
6	28	227	1,086706	151	302,8	27,62774	72,37226
7	33	200	1,280761	124	426,8	38,94161	61,05839
8	38	173	1,474816	97	523,8	47,79197	52,20803
9	43	156	1,668871	80	603,8	55,09124	44,90876
10	48	138	1,862925	62	665,8	60,74818	39,25182
11	53	131,6	2,05698	55,6	721,4	65,82117	34,17883
12	58	140	2,251035	64	785,4	71,66058	28,33942
13	63	139	2,445089	63	848,4	77,40876	22,59124
14	68	127,45	2,639144	51,45	899,85	82,1031	17,8969
15	73	118,6	2,833199	42,6	942,45	85,98996	14,01004
16	78	113	3,027254	37	979,45	89,36588	10,63412
17	83	104	3,221308	28	1007,45	91,92062	8,07938
18	88	96	3,415363	20	1027,45	93,74544	6,254562
19	93	99,5	3,609418	23,5	1050,95	95,8896	4,110401
20	98	101	3,803473	25	1075,95	98,17062	1,82938
21	103	91,45	3,997527	15,45	1091,4	99,58029	0,419708
22	108	80,2	4,191582	4,2	1095,6	99,9635	0,036496
23	113	76,4	4,385637	0,4	1096	100	0

Nombre del Gráfico	Vertical		Horizontal	
	t (min)	C - Co	t (min)	C - Co
TRH Teórico (t₀):	25,76593	163,064	25,76593	163,064
Tiempo Inicial (t_i):	0	0	0	0
Tiempo Pico (t_p):	28	151	28	151
Tiempo 10% (T₁₀):	20,77895	70,12421	20,77895	70,12421
Tiempo Medio (T₅₀):	39,5125	91,8575	39,5125	91,8575
Tiempo 90% (T₉₀):	79,24107	34,76607	79,24107	34,76607
Tiempo Final (t_f):	113	0,4	113	0,4

Nombre del Gráfico	t/t ₀	100 - F(t)	t/t ₀	100 - F(t)
t₁/t₀:	0,806451	90	0,806451	90
t₂/t₀:	3,075421	10	3,075421	10

	F(t)	t (min)	
Límite Superior:	13,85036	23	10
Límite Inferior:	5,182482	18	
Límite Superior:	55,09124	43	50
Límite Inferior:	47,79197	38	
Límite Superior:	91,92062	83	90
Límite Inferior:	89,36588	78	

	100 - F(t)	t/t ₀	
Límite Superior:	86,14964	0,892652	90
Límite Inferior:	94,81752	0,698597	
Límite Superior:	8,07938	3,221308	10
Límite Inferior:	10,63412	3,027254	



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

t ₁ /t ₀ :	FLUJO MEZCLADO Y CORTO CIRCUITO HIDRÁULICO	P:	45%	Condiciones a Flujo Pistón
t ₅₀ /t ₀ :	EXISTEN ZONAS MUERTAS	M:	55%	Condiciones a Mezcla Completa
t _p /t ₀ :	PREDOMINIO FLUJO MEZCLADO	m:	0%	Volumen de Espacios Muertos
Eficiencia Volumétrica:	26%	Fm:	55%	Fracción Mezclada
Excentricidad de la Curva:	EXISTENCIA DEL FLUJO MEZCLADO	Fp:	45%	Fracción Pistón

A.1.3. Análisis de Flujo – Efluente Sedimentadores (Sedimentador 7)

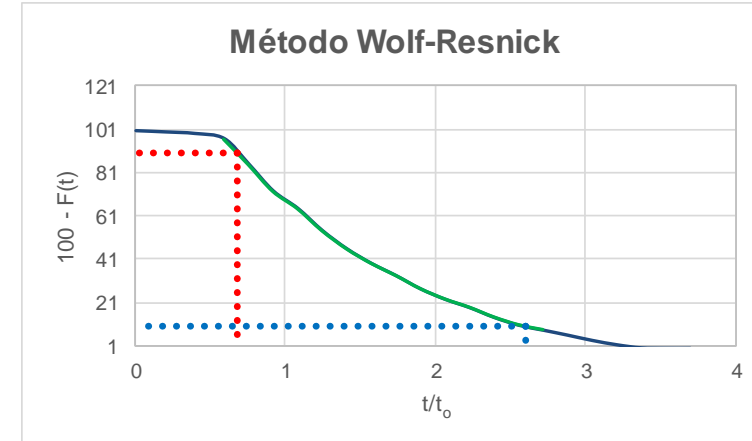
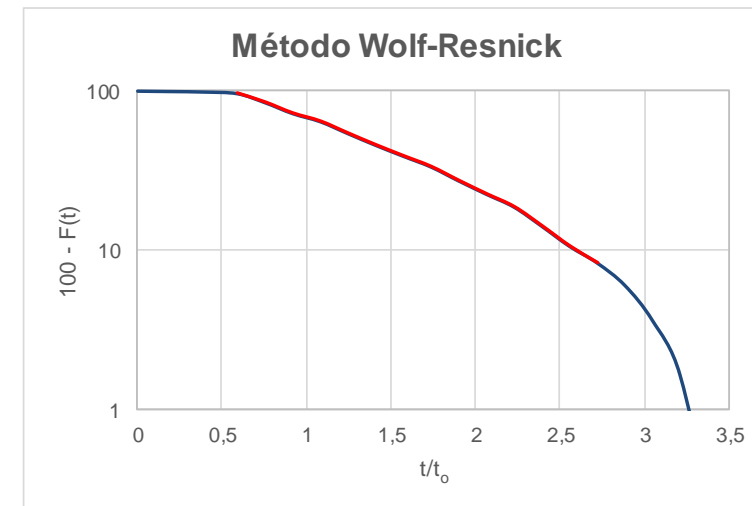
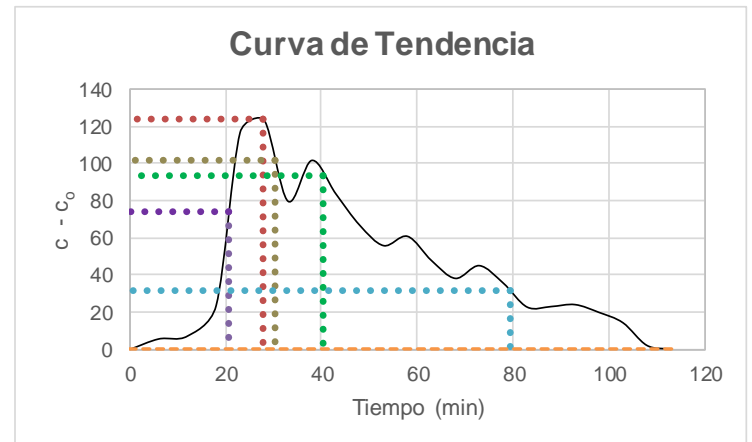
Unidad:	Sedimentador 7	Tiempo 10% (T ₁₀):	20,72462	min
Caudal (Q):	92,35 L/s	Tiempo Medio (T ₅₀):	40,45119	min
Volumen (v):	169,09 m³	Tiempo 90% (T ₉₀):	79,41754	min
Concentración Inicial (C ₀):	76 ms/cm	t _i /t ₀ :	0	
TRH Teórico (t₀):	30,51741 min	t ₅₀ /t ₀ :	1,325512	
Tiempo Inicial (t _i):	0 min	t _p /t ₀ :	0,917509	
Tiempo Pico (t_p):	28 min	t ₉₀ /t ₁₀ :	3,832039	
Tiempo Final (t _F):	113 min	e:	1,867786	

	F(t)	t (min)	
Límite Superior:	15,31876	23	10
Límite Inferior:	3,631151	18	
Límite Superior:	54,27747	43	50
Límite Inferior:	45,88636	38	
Límite Superior:	91,63187	83	90
Límite Inferior:	89,35428	78	

t ₁ /t ₀ :	0,679107897	P:	45%	OK
t ₂ /t ₀ :	2,602368256	M:	55%	
tan(θ):	0,519950404	m:	0%	OK
∅:	0,679107897	Fm:	55%	
		Fp:	45%	

	100 - F(t)	t/t ₀	
Límite Superior:	84,68124	0,753668	90
Límite Inferior:	96,36885	0,589827	
Límite Superior:	8,36813	2,719759	10
Límite Inferior:	10,64572	2,555918	

Nº	t (min)	c (ms/cm)	t/t ₀	C - C ₀	Σ(C - C ₀)	F(t)	100 - F(t)
1	0	76	0	0	0	0	100
2	6	81,6	0,196609	5,6	5,6	0,559407	99,44059
3	12	83,15	0,393218	7,15	12,75	1,27365	98,72635
4	18	99,6	0,589827	23,6	36,35	3,631151	96,36885
5	23	193	0,753668	117	153,35	15,31876	84,68124
6	28	200	0,917509	124	277,35	27,70563	72,29437
7	33	156	1,08135	80	357,35	35,69716	64,30284
8	38	178	1,245191	102	459,35	45,88636	54,11364
9	43	160	1,409032	84	543,35	54,27747	45,72253
10	48	143	1,572873	67	610,35	60,97037	39,02963
11	53	131,98	1,736713	55,98	666,33	66,56244	33,43756
12	58	137	1,900554	61	727,33	72,65598	27,34402
13	63	123,93	2,064395	47,93	775,26	77,44391	22,55609
14	68	114,3	2,228236	38,3	813,56	81,26985	18,73015
15	73	121,18	2,392077	45,18	858,74	85,78307	14,21693
16	78	111,75	2,555918	35,75	894,49	89,35428	10,64572
17	83	98,8	2,719759	22,8	917,29	91,63187	8,36813
18	88	99,1	2,8836	23,1	940,39	93,93942	6,060576
19	93	100,15	3,047441	24,15	964,54	96,35187	3,648133
20	98	95,95	3,211281	19,95	984,49	98,34475	1,655245
21	103	90,37	3,375122	14,37	998,86	99,78023	0,219767
22	108	78,15	3,538963	2,15	1001,01	99,99501	0,004995
23	113	76,05	3,702804	0,05	1001,06	100	0



Nombre del Gráfico	Vertical		Horizontal	
	t (min)	C - Co	t (min)	C - Co
TRH Teórico (t₀):	30,51741	101,8468	30,51741	101,8468
Tiempo Inicial (t_i):	0	0	0	0
Tiempo Pico (t_p):	28	124	28	124
Tiempo 10% (T₁₀):	20,72462	74,49582	20,72462	74,49582
Tiempo Medio (T₅₀):	40,45119	93,17571	40,45119	93,17571
Tiempo 90% (T₉₀):	79,41754	32,07856	79,41754	32,07856
Tiempo Final (t_F):	113	0,05	113	0,05

Nombre del Gráfico	t/t ₀	100 - F(t)	t/t ₀	100 - F(t)
t₁/t₀:	0,679108	90	0,679108	90
t₂/t₀:	2,602368	10	2,602368	10

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

t ₁ /t ₀ :	FLUJO MEZCLADO Y CORTO CIRCUITO HIDRÁULICO	P:	45%	Condiciones a Flujo Pistón
t ₅₀ /t ₀ :	EXISTEN ZONAS MUERTAS	M:	55%	Condiciones a Mezcla Completa
t _p /t ₀ :	PREDOMINIO FLUJO MEZCLADO	m:	0%	Volumen de Espacios Muertos
Eficiencia Volumétrica:	26%	Fm:	55%	Fracción Mezclada
Excentricidad de la Curva:	EXISTENCIA DEL FLUJO MEZCLADO	Fp:	45%	Fracción Pistón

A.1.3. Análisis de Flujo – Efluente Sedimentadores (Sedimentador 8)

Unidad:	Sedimentador 8	Tiempo 10% (T ₁₀):	18,18711	min
Caudal (Q):	105,96 L/s	Tiempo Medio (T ₅₀):	39,15967	min
Volumen (v):	169,09 m³	Tiempo 90% (T ₉₀):	76,22273	min
Concentración Inicial (C ₀):	76 ms/cm	t _i /t ₀ :	0	
TRH Teórico (t₀):	26,5954 min	t ₅₀ /t ₀ :	1,472423	
Tiempo Inicial (t _i):	0 min	t _p /t ₀ :	1,052814	
Tiempo Pico (t_p):	28 min	t ₉₀ /t ₁₀ :	4,191031	
Tiempo Final (t _f):	113 min	e:	2,143228	

t ₁ /t ₀ :	0,683844223	P:	42%	OK
t ₂ /t ₀ :	2,866012011	M:	58%	
tan(θ):	0,458259904	m:	0%	OK
∅:	0,683844223	Fm:	58%	
		Fp:	42%	

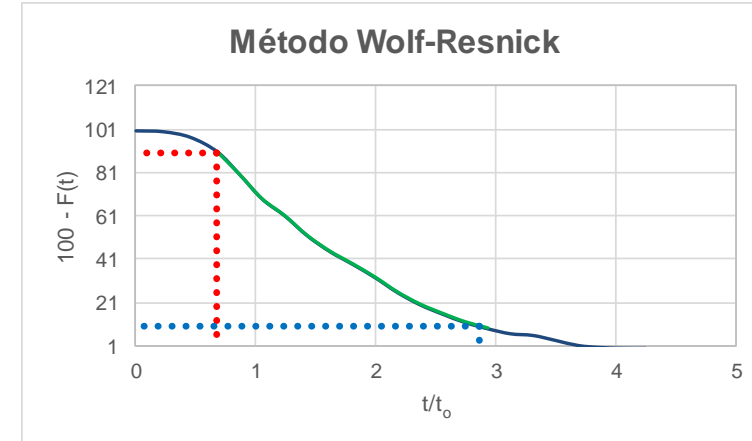
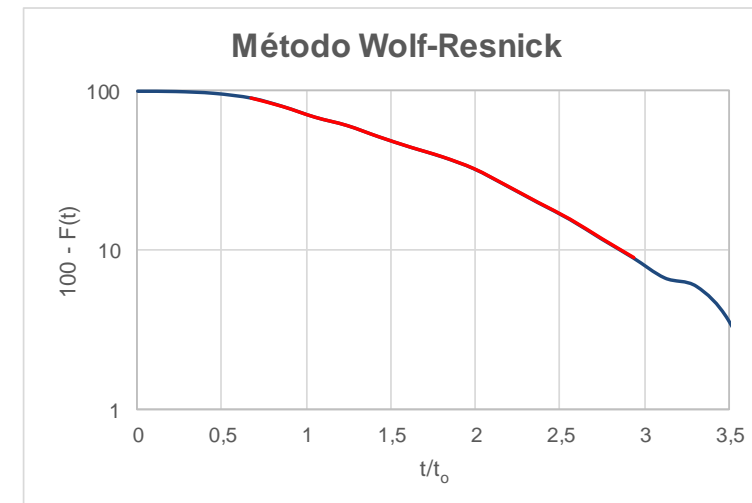
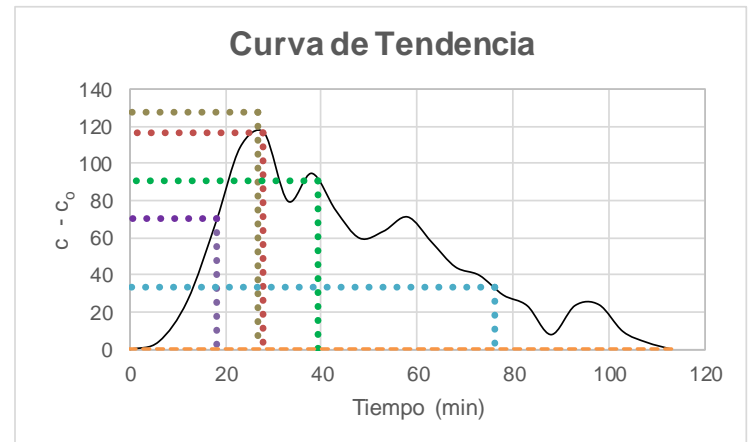
Nº	t (min)	c (ms/cm)	t/t ₀	C - C ₀	Σ(C - C ₀)	F(t)	100 - F(t)
1	0	76	0	0	0	0	100
2	6	80,2	0,225603	4,2	4,2	0,405488	99,59451
3	12	102,3	0,451206	26,3	30,5	2,944612	97,05539
4	18	145	0,676809	69	99,5	9,606194	90,39381
5	23	185	0,864811	109	208,5	20,12956	79,87044
6	28	193	1,052814	117	325,5	31,42529	68,57471
7	33	156	1,240816	80	405,5	39,14886	60,85114
8	38	171	1,428819	95	500,5	48,32061	51,67939
9	43	151	1,616821	75	575,5	55,56146	44,43854
10	48	136	1,804823	60	635,5	61,35414	38,64586
11	53	139,8	1,992826	63,8	699,3	67,51369	32,48631
12	58	147,5	2,180828	71,5	770,8	74,41663	25,58337
13	63	134	2,368831	58	828,8	80,01622	19,98378
14	68	120,5	2,556833	44,5	873,3	84,31246	15,68754
15	73	116	2,744836	40	913,3	88,17424	11,82576
16	78	105,34	2,932838	29,34	942,64	91,00686	8,993136
17	83	99,6	3,120841	23,6	966,24	93,28532	6,714682
18	88	84	3,308843	8	974,24	94,05768	5,942324
19	93	99,7	3,496845	23,7	997,94	96,34578	3,654216
20	98	100,15	3,684848	24,15	1022,09	98,67734	1,322662
21	103	85,7	3,87285	9,7	1031,79	99,61382	0,386179
22	108	79,8	4,060853	3,8	1035,59	99,98069	0,019309
23	113	76,2	4,248855	0,2	1035,79	100	0

Nombre del Gráfico	Vertical		Horizontal	
	t (min)	C - Co	t (min)	C - Co
TRH Teórico (t₀):	26,5954	127,394	26,5954	127,394
Tiempo Inicial (t_i):	0	0	0	0
Tiempo Pico (t_p):	28	117	28	117
Tiempo 10% (T₁₀):	18,18711	70,49688	18,18711	70,49688
Tiempo Medio (T₅₀):	39,15967	90,36133	39,15967	90,36133
Tiempo 90% (T₉₀):	76,22273	33,12913	76,22273	33,12913
Tiempo Final (t_f):	113	0,2	113	0,2

Nombre del Gráfico	t/t ₀	100 - F(t)	t/t ₀	100 - F(t)
t₁/t₀:	0,683844	90	0,683844	90
t₂/t₀:	2,866012	10	2,866012	10

	F(t)	t (min)	
Límite Superior:	20,12956	23	10
Límite Inferior:	9,606194	18	
Límite Superior:	55,56146	43	50
Límite Inferior:	48,32061	38	
Límite Superior:	91,00686	78	90
Límite Inferior:	88,17424	73	

	100 - F(t)	t/t ₀	
Límite Superior:	79,87044	0,864811	90
Límite Inferior:	90,39381	0,676809	
Límite Superior:	8,993136	2,932838	10
Límite Inferior:	11,82576	2,744836	



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

t ₁ /t ₀ :	FLUJO MEZCLADO Y CORTO CIRCUITO HIDRÁULICO	P:	42%	Condiciones a Flujo Pistón
t ₅₀ /t ₀ :	EXISTEN ZONAS MUERTAS	M:	58%	Condiciones a Mezcla Completa
t _p /t ₀ :	PREDOMINIO FLUJO MEZCLADO	m:	0%	Volumen de Espacios Muertos
Eficiencia Volumétrica:	24%	Fm:	58%	Fracción Mezclada
Excentricidad de la Curva:	EXISTENCIA DEL FLUJO MEZCLADO	Fp:	42%	Fracción Pistón

ANEXO 2. RESULTADOS DE PROYECCIONES: POBLACIÓN Y CAUDALES

MUNICIPIO DE VALLEDUPAR - DEPARTAMENTO DEL CESAR
Proyeccion de poblacion para el municipio de Valledupar
CALCULO DE LA PROYECCION DE LA POBLACION Y DEMANDAS MEDIA, MAXIMA DIARIA, MAXIMA HORARIA

PROYECCION DE POBLACION									JUSTIFICACION CON BASE AL RAS TITULO B & RESOLUCIÓN 0330 DE 2017							
Artículo 40									Artículo 43	Artículo 44	Artículo 44	Num 2.8.2.1	Num 2.5.3	Num 2.8.3.1	Artículo 47	Num 2.8.3.2
AÑO	RATA	TOTAL	RATA	TOTAL	RATA	TOTAL	POBLACION	RATA	DOTACION	PERDIDAS DE	DOTACION	DEMANDA MEDIA	DEMANDA MEDIA	DEMANDA	COEF. CONS	DEMANDA
	CRECIMIENTO	CRECIMIENTO	CRECIMIENTO	CRECIMIENTO	CRECIMIENTO	CRECIMIENTO		FINAL								
	ARITMETICO	ARITMETICO	GEOMETRICO	GEOMETRICO	EXPONENCIAL	EXPONENCIAL	FINAL (Hab.)	FINAL	(L-H-D)	(%)	(L-H-D)	(Qmr) (l/s)	(Qou) (l/s)	(l/s)	(k1)	(QMD)
0	2019	0	444167	0,00%	444167	0,00%	444167	444167	140	64%	388,9	1999,21	299,88	2299,09		2758,91
0	2020	10000	454167	4,60%	464599	4,60%	465075	461280	140	64%	388,9	2076,24	311,44	2387,67		2865,21
1	2021	10000	464167	4,60%	485970	4,60%	486968	479035	140	64%	388,9	2156,15	323,42	2479,57		2975,49
2	2022	10000	474167	4,60%	508325	4,60%	509891	497461	140	64%	388,9	2239,09	335,86	2574,95		3089,94
3	2023	8500	482667	3,60%	526625	3,60%	528581	512624	140	54%	304,3	1805,74	270,86	2076,60		2491,92
4	2024	8500	491167	3,60%	545583	3,60%	547956	528235	140	54%	304,3	1860,73	279,11	2139,84		2567,81
5	2025	8500	499667	3,60%	565224	3,60%	568041	544311	140	54%	304,3	1917,36	287,60	2204,96		2645,95
6	2026	8500	508167	3,60%	585572	3,60%	588863	560867	140	54%	304,3	1975,68	296,35	2272,03		2726,44
7	2027	8500	516667	3,60%	606653	3,60%	610448	577923	140	54%	304,3	2035,76	305,36	2341,12		2809,35
8	2028	7000	523667	1,57%	616177	1,57%	620107	586650	140	44%	250,0	1697,48	254,62	1952,11		2342,53
9	2029	7000	530667	1,57%	625851	1,57%	629919	595479	140	44%	250,0	1723,03	258,45	1981,48		2377,78
10	2030	7000	537667	1,57%	635677	1,57%	639886	604410	140	44%	250,0	1748,87	262,33	2011,20		2413,44
11	2031	7000	544667	1,57%	645657	1,57%	650011	613445	140	44%	250,0	1775,01	266,25	2041,27		2449,52
12	2032	7000	551667	1,57%	655794	1,57%	660296	622586	140	44%	250,0	1801,46	270,22	2071,68	1,20	2486,02
13	2033	6000	557667	1,38%	664844	1,38%	669471	630661	140	34%	212,1	1548,34	232,25	1780,59		2136,71
14	2034	6000	563667	1,38%	674019	1,38%	678773	638820	140	34%	212,1	1568,37	235,26	1803,63		2164,35
15	2035	6000	569667	1,38%	683320	1,38%	688204	647064	140	34%	212,1	1588,61	238,29	1826,90		2192,28
16	2036	6000	575667	1,38%	692750	1,38%	697767	655395	140	34%	212,1	1609,06	241,36	1850,42		2220,51
17	2037	6000	581667	1,38%	702310	1,38%	707462	663813	140	34%	212,1	1629,73	244,46	1874,19		2249,03
18	2038	5500	587167	1,28%	711300	1,28%	716575	671681	140	29%	197,2	1532,92	229,94	1762,85		2115,43
19	2039	5500	592667	1,28%	720404	1,28%	725806	679626	140	29%	197,2	1551,05	232,66	1783,71		2140,45
20	2040	5500	598167	1,28%	729625	1,28%	735156	687649	140	29%	197,2	1569,36	235,40	1804,77		2165,72
21	2041	5500	603667	1,28%	738965	1,28%	744626	695753	140	29%	197,2	1587,85	238,18	1826,03		2191,24
22	2042	5500	609167	1,28%	748423	1,28%	754218	703936	140	25%	186,7	1520,85	228,13	1748,98		2098,77
23	2043	5000	614167	1,20%	757404	1,20%	763323	711631	140	25%	186,7	1537,48	230,62	1768,10		2121,72
24	2044	5000	619167	1,20%	766493	1,20%	772538	719399	140	25%	186,7	1554,26	233,14	1787,40		2144,88
25	2045	5000	624167	1,20%	775691	1,20%	781864	727241	140	25%	186,7	1571,20	235,68	1806,88		2168,25

PROYECCIONES DEL DANE SEGÚN CENSO 2018						
Total Municipio Valledupar						
Año	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Población	431.794	451.803	468.165	477.763	484.453	490.733
Rata Geom		4,63	3,62	2,05	1,40	1,30
Rata Expo		4,53	3,56	2,03	1,39	1,29
Rata lineal		20.009	16.362	9.598	6.690	6.280
Promedio				11.788		

Qmd = Caudal medio diario
 QMD = Caudal máximo diario = Qmd * K1
 QMD = Caudal máximo diario = Qmd * K1
 K1 = Coeficiente para QMD = 1,3
 K2 = Coeficiente para QMH = 1,6

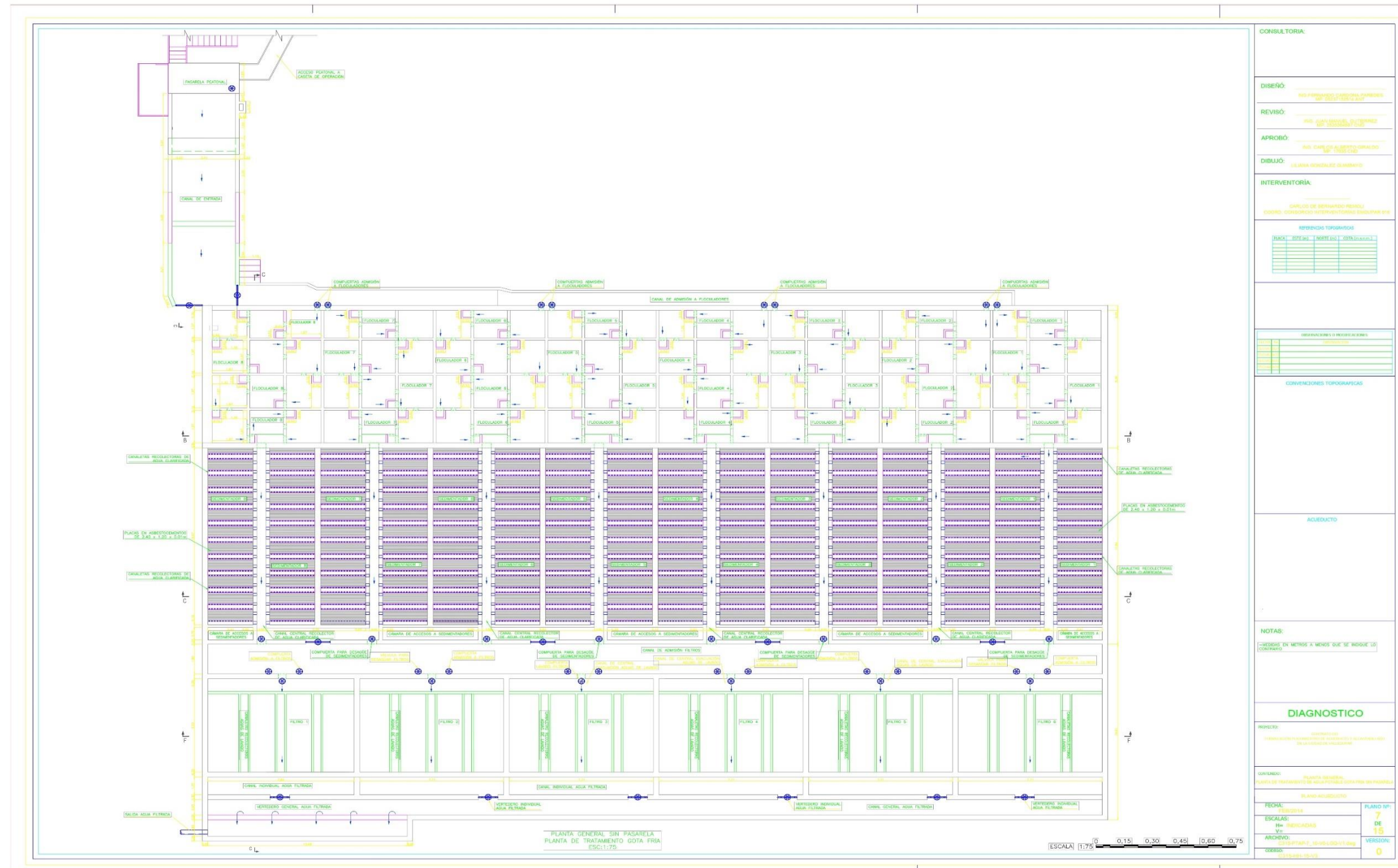
- NOTAS: 1.- Con base en las proyecciones del DANE, se considera un crecimiento geometrico entre un 4,60% y un 1,2%
 2.- Con base en las proyecciones del DANE, se considera un crecimiento exponencial entre un 4,60% y un 1,2%
 3.- Con base en las proyecciones del DANE, se considera un crecimiento aritmetico entre 10000 habitantes y 5000 al cabo de 25 años, decreciente cada cinco años
 4.- Obteniendo el promedio de los dos métodos, se llega a una poblacion final 727241 habitantes, y una rata de crecimiento entre 3,85 y 1,09%

MUNICIPIO DE VALLEDUPAR - DEPARTAMENTO DEL CESAR
Proyeccion de poblacion para el municipio de Valledupar
CALCULO DE LA PROYECCION DE LA POBLACION Y DEMANDAS MEDIA, MAXIMA DIARIA, MAXIMA HORARIA

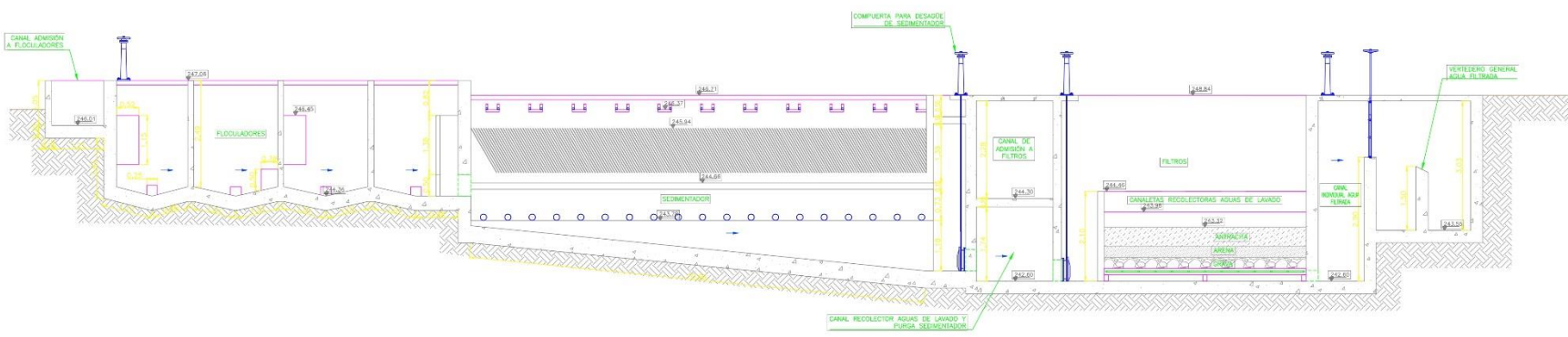
JUSTIFICACION CON BASE AL RAS TITULO B & RESOLUCIÓN 0330 DE 2017

Num 2.8.3.2	Num 2.8.3.3	Articulo 47	Articulo 47	Articulo 47	Articulo 47	Articulo 47	Articulo 47	Articulo 47	Articulo 81	Articulo 81	Articulo 81	DEFICIT
COEF. CONS MÁXIMO HORAR (k2)	DEMANDA MÁXIMA HORARIA (QMH)	Q _{DISEÑO} CAPTACION (l/s)	Q _{DISEÑO} ADUCCION (l/s)	Q _{DISEÑO} DESAREN (l/s)	Q _{DISEÑO} PTAT (l/s)	Q _{DISEÑO} CONDUC (l/s)	Q _{DISEÑO} COND TANQUE-RED (l/s)	Q _{DISEÑO} RED DISTRIB (l/s)	CAPACIDAD REGULACION CABECERA(m ³)	CAPACIDAD CONTRA INCENDIO (m ³)	VOLUMEN DELTANQUE (m ³)	ALMACEN (m ³)
1,50	4138,36	5517,82	2758,91	2758,91	2758,91	2758,91	4138,36	4138,36	78661,98	19665,49	98327,47	85942,27
	4297,81	5730,41	2865,21	2865,21	2865,21	2865,21	4297,81	4297,81	81692,73	20423,18	102115,91	89730,71
	4463,23	5950,98	2975,49	2975,49	2975,49	2975,49	4463,23	4463,23	84837,11	12725,57	97562,68	85177,48
	4634,91	6179,88	3089,94	3089,94	3089,94	3089,94	4634,91	4634,91	88100,33	22025,08	110125,42	77740,22
	3737,88	4983,85	2491,92	2491,92	2491,92	2491,92	3737,88	3737,88	71049,71	17762,43	88812,14	56426,94
	3851,72	5135,62	2567,81	2567,81	2567,81	2567,81	3851,72	3851,72	73213,42	18303,35	91516,77	59131,57
	3968,93	5291,91	2645,95	2645,95	2645,95	2645,95	3968,93	3968,93	75441,46	18860,36	94301,82	61916,62
	4089,66	5452,88	2726,44	2726,44	2726,44	2726,44	4089,66	4089,66	77736,22	19434,05	97170,27	64785,07
	4214,02	5618,69	2809,35	2809,35	2809,35	2809,35	4214,02	4214,02	80100,07	20025,02	100125,08	67739,88
	3513,79	4685,06	2342,53	2342,53	2342,53	2342,53	3513,79	3513,79	66790,15	16697,54	83487,68	51102,48
	3566,67	4755,56	2377,78	2377,78	2377,78	2377,78	3566,67	3566,67	67795,29	16948,82	84744,11	52358,91
	3620,16	4826,89	2413,44	2413,44	2413,44	2413,44	3620,16	3620,16	68812,08	17203,02	86015,10	53629,90
	3674,28	4899,04	2449,52	2449,52	2449,52	2449,52	3674,28	3674,28	69840,72	17460,18	87300,90	54915,70
	3729,03	4972,04	2486,02	2486,02	2486,02	2486,02	3729,03	3729,03	70881,37	17720,34	88601,72	56216,52
	3205,06	4273,42	2136,71	2136,71	2136,71	2136,71	3205,06	3205,06	60921,82	15230,45	76152,27	43767,07
	3246,53	4328,70	2164,35	2164,35	2164,35	2164,35	3246,53	3246,53	61709,97	15427,49	77137,46	44752,26
	3288,42	4384,56	2192,28	2192,28	2192,28	2192,28	3288,42	3288,42	62506,36	15626,59	78132,94	45747,74
	3330,76	4441,02	2220,51	2220,51	2220,51	2220,51	3330,76	3330,76	63311,12	15827,78	79138,91	46753,71
	3373,54	4498,06	2249,03	2249,03	2249,03	2249,03	3373,54	3373,54	64124,33	16031,08	80155,42	47770,22
	3173,14	4230,85	2115,43	2115,43	2115,43	2115,43	3173,14	3173,14	60315,02	15078,75	75393,77	43008,57
	3210,67	4280,90	2140,45	2140,45	2140,45	2140,45	3210,67	3210,67	61028,47	15257,12	76285,59	43900,39
	3248,58	4331,44	2165,72	2165,72	2165,72	2165,72	3248,58	3248,58	61748,98	15437,25	77186,23	44801,03
	3286,86	4382,48	2191,24	2191,24	2191,24	2191,24	3286,86	3286,86	62476,62	15619,15	78095,77	45710,57
	3148,16	4197,54	2098,77	2098,77	2098,77	2098,77	3148,16	3148,16	59840,20	14960,05	74800,25	42415,05
3182,57	4243,43	2121,72	2121,72	2121,72	2121,72	3182,57	3182,57	60494,37	15123,59	75617,96	43232,76	
3217,31	4289,75	2144,88	2144,88	2144,88	2144,88	3217,31	3217,31	61154,70	15288,68	76443,38	44058,18	
3252,38	4336,51	2168,25	2168,25	2168,25	2168,25	3252,38	3252,38	61821,28	15455,32	77276,60	44891,40	

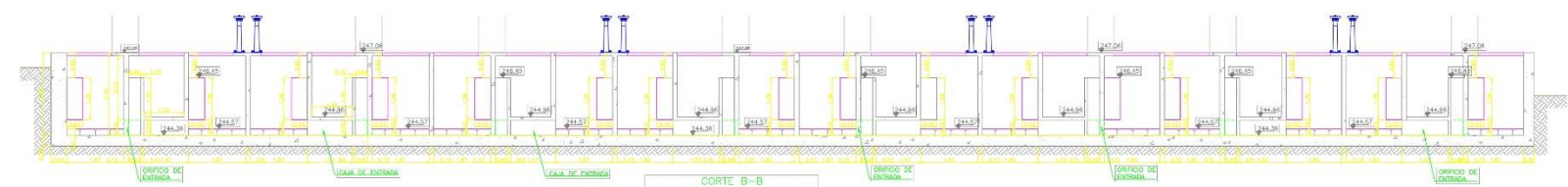
ANEXO 3. PLANOS DE LAS UNIDADES DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE LA GOTA FRIA.



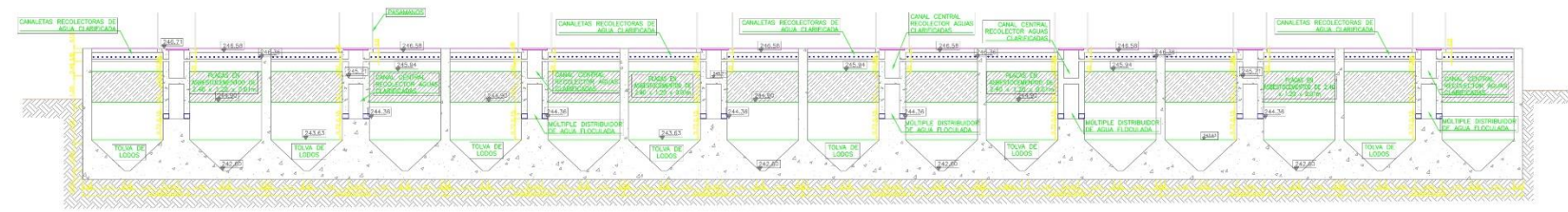
CONSULTORIA:	
DISEÑO:	
REVISÓ:	
APROBÓ:	
DIBUJO:	CLAUDIA RODRIGUEZ OLIVERA
INTERVENTORIA:	
COMPLEJO DE SERVICIOS BÁSICOS URBANO CONDOMINIO INTERCOMUNITARIO BARRIO LOS PINOS	
REFERENCIAS TOPOGRÁFICAS	
TRAZO	SECCION
REVISIONES Y MODIFICACIONES	
CONVERSIONES TOPOGRAFICAS	
ACUEDUCTO	
NOTAS:	
1. COTAR EN METROS Y MENS DE SE INDIQUE DE CONTRATO	
DIAGNOSTICO	
REFERENCIA: ANEXO 1 URBANO CONDOMINIO INTERCOMUNITARIO BARRIO LOS PINOS DE SERVICIOS BÁSICOS	
CONTENIDO: PLANTA GENERAL UBICACION: TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE GOTA FRIA EN PASARELLA	
FECHA: FEBRERO 2014 ESCALAS: 1/4" = 1' (PASARELLAS) V.O.: ARQUEO: CLAUDIA RODRIGUEZ OLIVERA DISEÑO: CLAUDIA RODRIGUEZ OLIVERA	
PLANO Nº:	7
DE:	15
VERSION:	0



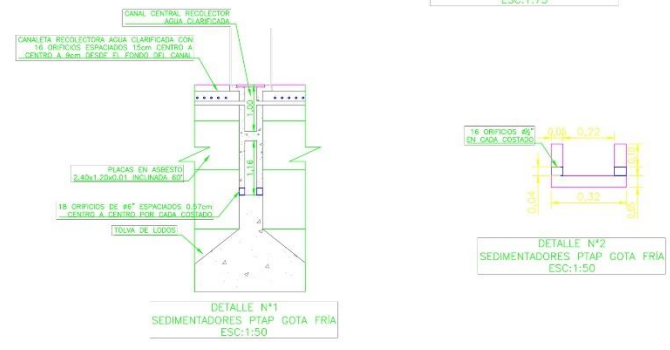
CORTE A-A
PLANTA DE TRATAMIENTO GOTA FRÍA
ESC:1:50



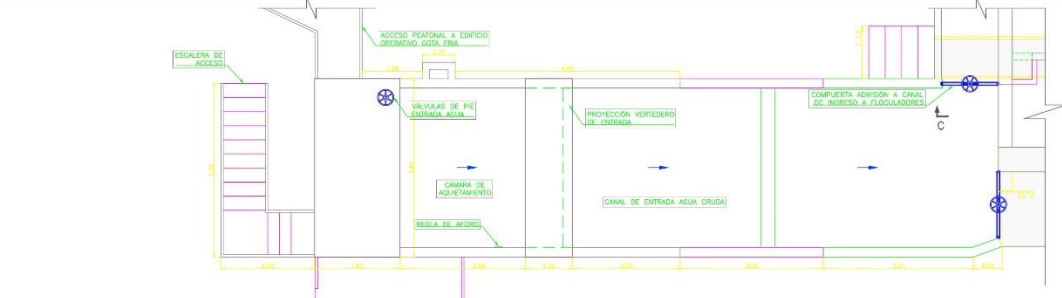
CORTE B-B
FLOCULADORES PTAP GOTA FRÍA
ESC:1:75



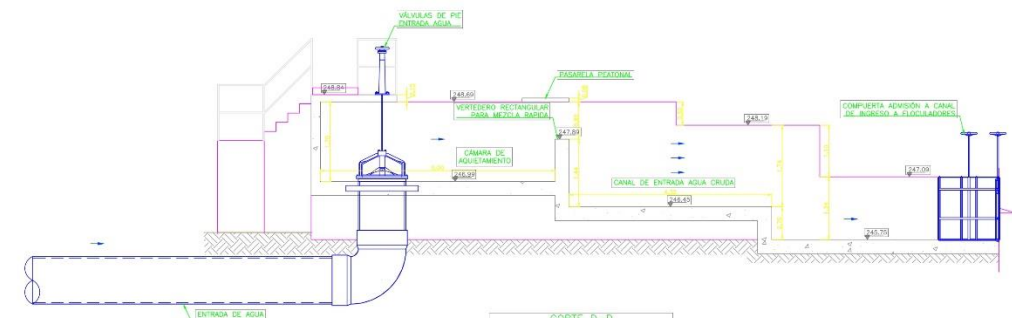
CORTE C-C
SEDIMENTADORES PTAP GOTA FRÍA
ESC:1:75



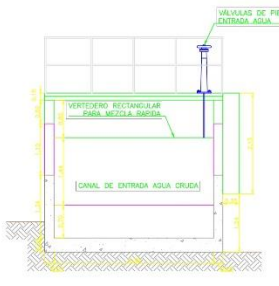
CONSULTORIA	
DISEÑO:	ING. FERNANDO J. ESCOBAR PARRALES INSTRUMENTISTA EN INGENIERÍA EN AGUAS
REVISÓ:	ING. LUIS MANUEL SUAREZ INSTRUMENTISTA EN INGENIERÍA EN AGUAS
APROBÓ:	ING. CARLOS ALBERTO ESPINOSA INSTRUMENTISTA EN INGENIERÍA EN AGUAS
DIBUJÓ:	J. LILIANA GONZALEZ DOMINGO
INTERVENTORIA	
CARLOS DE BETHUNEZ REYES COORD. CONVENIOS INTERMUNICIPALES ANDALUZAR S.A.	
REFERENCIAS TOPOGRAFICAS	
TRAZO	1372.00
ESTACION	1+000.00
REFERENCIAS DE PROYECTOS	
CONVENIO INTERMUNICIPAL ANDALUZAR S.A.	
CONVENIOS TOPOGRAFICAS	
AGUEDUCTO	
NOTAS	
-MEDIDAS EN METROS A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO.	
DIAGNOSTICO	
PROYECTO:	CONVENIO INTERMUNICIPAL ANDALUZAR S.A. - INGENIERIA EN AGUAS
CONVENIO:	CONVENIO INTERMUNICIPAL ANDALUZAR S.A. - INGENIERIA EN AGUAS
PLANO AGUEDUCTO	
FECHA:	FEBRUERA 2015
ESCALAS:	9 DE 15
HE: REVICADAS	VERSION:
ARCHIVO:	13-PTAP-7_13-10-2015-V1.dwg
CODIGO:	ESTR-004-18-03



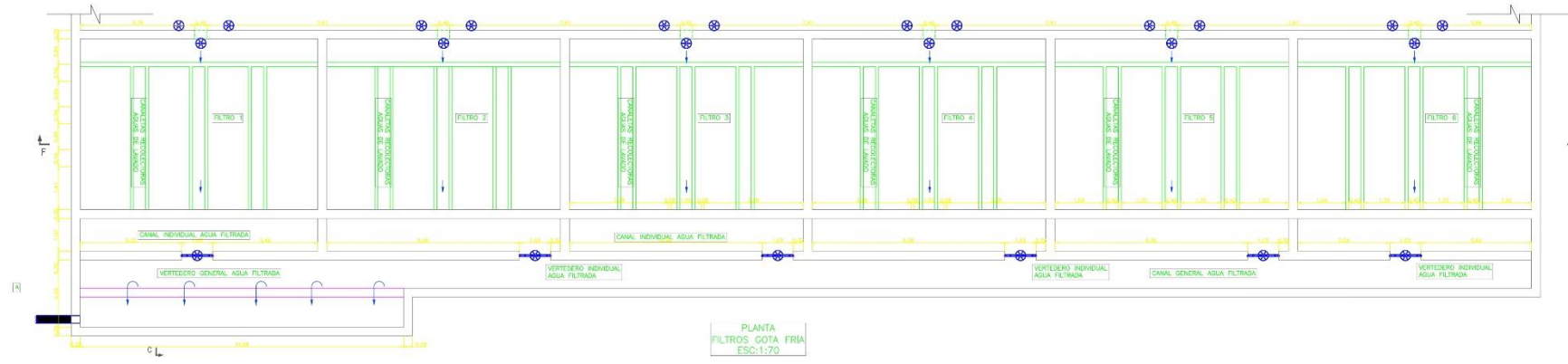
PLANTA
CANAL ENTRADA DE AGUA CRUDA
ESC:1:50



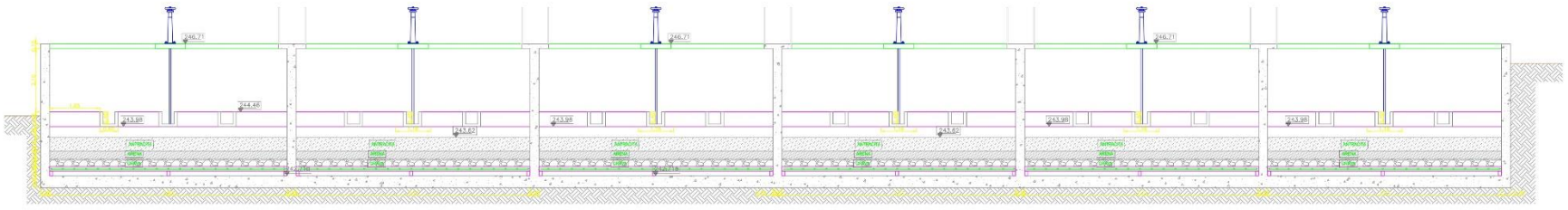
CORTE D-D
CANAL ENTRADA DE AGUA CRUDA
ESC:1:50



CORTE E-E
CANAL ENTRADA DE AGUA CRUDA
ESC:1:50



PLANTA
FILTROS GOTA FRIA
ESC:1:70



CORTE F-F
FILTROS GOTA FRIA
ESC:1:70



CONSULTORIA

DISEÑO: ING. FERNANDO J. ESCOBAR PARRON
ING. FERRERES
ING. FERRERES

REVISÓ: ING. LUIS MANUEL SUAREZ
ING. SUAREZ

APROBÓ: ING. CARLOS ALBERTO ORRALDO
ING. ORRALDO

DIBUJÓ: LILIANA RODRIGUEZ DOMINGO

INTERVENTORIA:

CARLOS DE BERNARDO REYES
INGENIERO CONSULTOR INTERVENTORIAL BARRIO SAN JUAN

REFERENCIAS TOPOGRAFICAS:

FECHA	ESTADO	TIPO	DESCRIPCION

REVISIONES Y MODIFICACIONES:

NO.	FECHA	DESCRIPCION

CONVENCIONES TOPOGRAFICAS:

AGUEDUCTO

NOTAS:

-MEDIDAS EN METROS A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO

DISEÑO

PROYECTO: CONSULTORIA
CONSTRUCCION DEL AGUEDUCTO DE AGUA CRUDA Y FILTROS GOTA FRIA
PARA EL BARRIO SAN JUAN

CLIENTE: PLANTA Y CORTE
AGUEDUCTO DE AGUA CRUDA Y FILTROS GOTA FRIA
PARA EL BARRIO SAN JUAN

PLANO AGUEDUCTO

FECHA: FEBRERO	PLANO NO.: 10
ESCALAS: H= 2/30	DE: 15
ARCHIVO: 014-PTAP-7_10-10-02-V1.dwg	VERSION: 0
CODIGO: C215A04-18-V3	