

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.2 00
		Página	1 de 130

**DIAGNOSTICO ACTUAL DE LA PTAP TIPO COMPACTA DEL MUNICIPIO DE
SIMITI BOLIVAR Y PROPUESTA DE MEJORAMIENTO MEDIANTE EL DISEÑO
DE UNIDADES DE CAMARA DE AQUIETAMIENTO, MEZCLA RAPIDA,
FLOCULADOR, SEDIMENTADOR Y FILTROS.**

Autor:

RAUL AUGUSTO DE LA HOZ MENDOZA

**PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL, AMBIENTAL Y QUIMICA
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURAS**



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

PAMPLONA

2015

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	2 de 130

**DIAGNOSTICO ACTUAL DE LA PTAP TIPO COMPACTA DEL MUNICIPIO DE
SIMITI BOLIVAR Y PROPUESTA DE MEJORAMIENTO MEDIANTE EL DISEÑO
DE UNIDADES DE CAMARA DE AQUIETAMIENTO, MEZCLA RAPIDA,
FLOCULADOR, SEDIMENTADOR Y FILTROS.**

Autor:

RAUL AUGUSTO DE LA HOZ MENDOZA

1050920053

Director:

JULIO ISAAC MALDONADO MALDONADO

M.Sc

**PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL, AMBIENTAL Y QUIMICA
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURAS**



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

PAMPLONA

2015

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	3 de 130

AGRADECIMIENTOS

Inicialmente agradezco a DIOS y a la virgen de la ORIGINAL por la vida y la oportunidad de emprender este camino, por darme fortaleza, claridad mental y motivación para vencer los obstáculos personales y académicos presentado en toda la carrera.

De igual manera agradezco a mi bella madre por todo el esfuerzo y sacrificio realizado para verme recibir mi título profesional, siendo este uno de sus mayores sueños alcanzado. Gracias madre por tu compañía, comprensión, paciencia, seguridad e incondicional apoyo, con toda seguridad digo, que de no haber sido por tu apoyo, no hubiese sido posible llegar hasta aquí.

Igualmente quiero agradecer a mi hermana, quien fue esa persona fundamental en toda mi carrera, a mi familia, en especial a mí gran Tía, amigos y compañeros de toda la carrera, quienes me motivaron a cumplir mi sueño.

A la UNIVERSIDAD DE PAMPLONA por haber prestado todos los escenario académicos y deportivos para complementar la teoría impartida en las aulas de clase.

A mis profesores de ingeniería ambiental, en especial a los doctores JULIO ISAAC MALDONADO Y MARIA ESTHER RIVERA quienes fueron un apoyo incondicional en este proceso, quienes atendieron cada una de mis inquietudes. Profesor ISAAC de verdad muchas gracias por todo su apoyo.

Por ultimo quiero agradecer a la ADMINISTRACION PUBLICA COOPERATIVA DE SIMITÍ “COOAGUASIM” por abrirme las puertas y realizar mis pasantías en el área de acueducto.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	4 de 130

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	3
INTRODUCCION.....	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
2. JUSTIFICACION.....	14
3. OBJETIVOS.....	15
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	15
3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	15
4. MARCO REFERENCIAL.....	16
4.1. MARCO CONTEXTUAL.....	16
4.1.1. Ubicación del proyecto.....	16
4.1.2. Breve descripción de la PTAP compacta y su funcionamiento.....	18
4.2. ANTECEDENTES.....	18
4.2.1. Nivel internacional.....	18
4.2.2. Nivel nacional.....	19
4.2.3. Nivel regional.....	19
4.3. MARCO TEORICO.....	20
4.3.1. Calidad de la fuente y grado de tratamiento.....	20
4.3.2. Estudios de tratabilidad.....	20
4.3.3. Ajuste de una recta por el método de mínimos cuadrado.....	21
4.3.4. Procesos de tratamiento.....	22
4.3.4.1. Mezcla rápida.....	22
4.3.4.2. Coagulación floculación.....	23
4.3.4.3. Sedimentación.....	26
4.3.4.4. Filtración.....	27
4.3.4.5. Cloración.....	30
4.3.4.6. Agua potable o agua para consumo humano.....	32
4.4. MARCO CONCEPTUAL.....	33
4.5. MARCO LEGAL.....	36
4.5.1. Constitución política de Colombia.....	36
4.5.2. Recurso agua.....	37
4.5.3. Servicios públicos.....	37
5. METODOLOGIA.....	39

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	5 de 130

5.1 FASE 1. Diagnostico actual de la fuente superficial (ciénaga de Simití), de la PTAP compacta y de la calidad del agua tratada por la misma.....	39
5.2 FASE 2 Socialización del estado actual y operación de la PTAP compacta del municipio de Simití, complementada con la calidad del agua que esta produce...41	41
5.3 FASE 3 Mejoramiento de la PTAP compacta del municipio, mediante los diseños y rediseños de los módulos faltante y/o existentes siguiendo el RAS 2000.....	42
5.4 FASE 4 Elaboración de los planos de cada unidad diseñada y reformada que harán parte de la PTAP mejorada.....	43
6. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS.....	44
6.1 FASE 1 Diagnostico actual de la fuente superficial (ciénaga de Simití), PTAP compacta y de la calidad del agua tratada por la misma.....	44
6.1.1. Diagnóstico de la PTAP compacta del municipio de Simití Bolívar.....	47
6.2. Socialización del estado actual y operación de la PTAP compacta del municipio de Simití, complementada con la calidad del agua que esta produce...56	56
6.3 FASE 3 Mejoramiento de la PTAP tipo compacta del municipio, mediante los diseños y rediseños de los módulos faltante y/o existentes siguiendo el RAS 2000.....	57
6.4 FASE 4 Elaboración de los planos de cada unidad diseñada y reformada que harán parte de la PTAP mejorada.....	116
CONCLUSIONES.....	118
RECOMENDACIONES.....	119
BIBLIOGRAFÍA.....	120

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	6 de 130

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ubicación de Simití en Colombia.....	16
Ilustración 2. Ubicación de Simití en el departamento de Bolívar.....	17
Ilustración 3. Ubicación de la planta compacta en el municipio.....	17
Ilustración 4. Mezclador rápido hidráulico.....	22
Ilustración 5. Modelo físico, coagulación.....	24
Ilustración 6. Floculador hidráulico tipo Alabama.....	25
Ilustración 7. Floculador mecánico de paletas de eje horizontal.....	25
Ilustración 8. Sedimentación de una partícula discreta en reposo.....	26
Ilustración 9. Trayectoria de sedimentación.....	26
Ilustración 10. Sedimentador de placas paralelas.....	27
Ilustración 11. Diagrama de los mecanismos de filtración.....	28
Ilustración 12. Esquema de un filtro rápido de gravedad.....	30
Ilustración 13. Corte de un filtro con orificio de control.....	30
Ilustración 14. Sistema de dosificación de cloro tipo vacío.....	31
Ilustración 15. Plano y funcionamiento actual de la PTAP compacta.....	49
Ilustración 16. Plano captura en planta y perfil cámara de quietamiento.....	72
Ilustración 17. Plano captura en planta y perfil canal de aproximación a mezcla rápida.....	73
Ilustración 18. Plano captura en planta y perfil del mezclador rápido.....	77
Ilustración 19. Plano captura en planta y perfil del canal de agua mezclada.....	79
Ilustración 20. Plano captura en planta y perfil del sistema de entrada a floculadores.....	81
Ilustración 21. Plano captura en planta y perfil del floculador Alabama.....	86
Ilustración 22. Plano captura en planta y perfil del orificio de salida de floculación.....	88
Ilustración 23. Plano captura en planta y perfil canal recolector y conductor de agua floculada.....	90
Ilustración 24. Plano captura en planta y perfil del sistema de entrada al sedimentador.....	92
Ilustración 25. Plano captura en planta y perfil de las unidades y componentes mencionadas en el párrafo anterior.....	99
Ilustración 26. Plano captura en planta y perfil de la cámara de agua sedimentada.....	100
Ilustración 27. Diagrama sistema de bombeo de agua sedimentada a filtros.....	104
Ilustración 28. Plano captura en planta y perfil de los filtros 1 y 2.....	116
Ilustración 29. Diagrama PTAP mejorada.....	117

LISTA DE IMAGENES

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	7 de 130

Imagen 1. Visita PTAP compacta.....	47
Imagen 2. Boca toma flotante.....	47
Imagen 3. Floculador flujo horizontal.....	48
Imagen 4. Carcasa (Sedimentador perimetral).....	49
Imagen 5. Cámara cilíndrica (Filtro interno).....	50
Imagen 6. Funcionamiento del filtro adicional fuera de servicio.....	50
Imagen 7. Tanque de almacenamiento superficial 130 m3.....	51
Imagen 8. Vaciado PTAP compacta.....	54
Imagen 9. Medición de caudal PTAP.....	54
Imagen 10. Llegada 18 L/s floculador.....	54
Imagen 11. Pruebas hidráulicas PTAP.....	54
Imagen 12. Implementación charlas.....	57
Imagen 13. Implementación de charlas.....	57
Imagen 14. Implementación charlas.....	57
Imagen 15. Implementación charlas.....	57

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	8 de 130

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Calidad de la fuente.....	20
Tabla 2. Tipos de filtros.....	29
Tabla 3. Características físicas del agua para consumo humano.....	32
Tabla 4. Características químicas que tienen implicaciones sobre la salud huma.....	32
Tabla 5. Características Microbiológicas.....	33
Tabla 6. Características físico-química y microbiológica de la ciénaga de Simití.....	44
Tabla 7. Calidad de la ciénaga de Simití.....	45
Tabla 8. Información técnica, área administrativa.....	52
Tabla 9. Información técnica, área operativa.....	52
Tabla 10. Resultados análisis físico químico y microbiológico del agua tratada por PTAP compacta.....	55
Tabla 11. Dosis óptima.....	58
Tabla 12. Potencial de hidrogeno óptimo (pH).....	59
Tabla 13. Concentración óptima.....	60
Tabla 14. Tiempo óptimo de mezcla rápida.....	61
Tabla 15. Tiempo óptimo de mezcla lenta.....	63
Tabla 16. Turbiedad final y turbiedad final/turbiedad inicial a diferentes tiempos y distintas revoluciones.....	64
Tabla 17. Tiempo de mezcla lenta con sus respectivo gradientes de velocidad...65	65
Tabla 18. Ajuste por mininos cuadrados.....	66
Tabla 19. Datos requeridos para el ensayo de velocidad de sedimentación.....	68
Tabla 20. Resultados ensayo de sedimentación con la prueba de jarras.....	68
Tabla 21. Calculo del porcentaje de remoción de turbiedad.....	69
Tabla 22. Porcentaje de remoción total.....	70
Tabla 23. Diseño cámara de aquietamiento.....	72
Tabla 24. Diseño canal de aproximación a mezcla rápida.....	73
Tabla 25. Propiedades físicas del agua a 1 atmosfera.....	76
Tabla 26. Datos para el diseño del mezclador rápido hidráulico.....	77
Tabla 27. Diseño mezclador rápido hidráulico (Caída escalonada).....	77
Tabla 28. Datos para el diseño del canal de agua coagulada.....	78
Tabla 29. Diseño del canal de agua coagulada.....	79
Tabla 30. Datos para el diseño del sistema de entrada a floculadores.....	80
Tabla 31. Diseño del sistema de entrada a floculadores.....	81
Tabla 32. Gradientes de floculación (Gradientes teóricos).....	82
Tabla 33. Datos requeridos para el diseño del floculador Alabama.....	83
Tabla 34. Diseño primer compartimiento de floculación.....	84
Tabla 35. Diseño de los compartimientos de floculación.....	85
Tabla 36. Dimensiones de las cámaras de floculación.....	85
Tabla 37. Datos necesarios para el diseño.....	87
Tabla 38. Resultado diseño del orificio del último compartimiento de floculación.....	87
Tabla 39. Datos necesarios para el diseño.....	89
Tabla 40. Diseño del canal recolector y conductor de agua floculada.....	89
Tabla 41. Datos necesarios para el diseño.....	91
Tabla 42. Resultados del diseño del sistema de entrada al sedimentador.....	91
Tabla 43. Datos necesarios para el diseño.....	94
Tabla 44. Diseño sistema de distribución de agua floculada en el sedimentador.....	94
Tabla 45. Calculo de los gradientes en los orificios del ducto de distribución.....	94

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	9 de 130

Tabla 46. Datos necesarios para el diseño del sedimentador.....	97
Tabla 47 Diseño sedimentador de alta tasa de flujo ascendente.....	98
Tabla 48. Datos necesarios para el diseño del sistema de bombeo.....	102
Tabla 49. Diseño del sistema de bombeo de agua sedimentada.....	102
Tabla 50. Datos necesarios para el diseño de filtros.....	108
Tabla 51. Diámetro promedio y porcentaje retenido para la arena.....	109
Tabla 52. Diámetro promedio y porcentaje retenido para la antracita.....	109
Tabla 53. Perdidas por filtración en el filtro 1 y 2.....	109
Tabla 54. Rangos de características de lechos filtrantes dobles.....	111
Tabla 55. Expansión del lecho de arena.....	111
Tabla 56. Expansión del lecho de antracita.....	111
Tabla 57. Datos necesarios para el cálculo de las pérdidas durante el lavado-Filtro 1.....	112
Tabla 58. Datos necesarios para el cálculo de las pérdidas durante el lavado-Filtro 2.....	112
Tabla 59. Pérdidas durante el lavado del filtro1 y 2.....	112
Tabla 60. Diseño de la canaleta de lavado de los filtros 1 y 2.....	114
Tabla 61 .Altura de los filtros 1 y 2.....	115

LISTA DE GRÁFICOS

Grafico 1. Turbiedad final Vs Dosis óptima.....	59
---	----

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	10 de 130

Grafico 2. Turbiedad final Vs pH óptimo.....	60
Grafico 3. Turbiedad final Vs Concentración óptima.....	61
Grafico 4. Turbiedad final Vs Tiempo de mezcla rápida.....	62
Grafico 5. Turbiedad final Vs Tiempo óptimo de mezcla lenta.....	63
Grafico 6. Porcentaje de turbiedad removida Vs TML.....	64
Grafico 7. Porcentaje de turbiedad removida Vs G s-1.....	65
Grafico 8. Logaritmo del Gradiente de velocidad Vs logaritmo Tiempo de mezcla lenta.....	66
Grafico 9. Velocidad de sedimentación critica (Vsc) Vs C (tf/to).....	69
Grafico 10. Porcentaje de remoción total Vs Velocidad de sedimentación critica (Vsc).....	70

Lista de anexos

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	11 de 130

ANEXO A. Índice de riesgo de la calidad de agua para consumo humano.....122

ANEXO B. Proyección de la población y caudal diseño del municipio de Simití.123

ANEXO C. Espesor de la grava de soporte según Jorge Arturo Pérez Parra...130

INTRODUCCIÓN

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	12 de 130

El municipio de Simití Bolívar, cuenta con una PTAP (planta de tratamiento de agua potable) tipo compacta en su cabecera municipal. El diagnóstico actual y diseño que se llevara a cabo a la PTAP en el presente trabajo, se realiza, con el fin de mejorar la calidad de agua suministrada a los habitantes del casco urbano del municipio. El diagnóstico a la PTAP del municipio de Simití, dará a conocer las fallencias tanto operativas como estructurales que afectan directamente un buen servicio de acueducto. Para minimizar o reducir dichas fallencias, se propone diseñar unidades faltantes en la estructura actual de la PTAP tipo compacta, las unidades faltantes serían: Cámara de quietamiento, mezcla rápida (Caída escalonada), floculador hidráulico tipo ALABAMA, sedimentador de alta tasa de flujo ascendente y filtros rápidos de lechos mixtos. Se aclara que el diseño estará sujeto a las instalaciones existentes en la planta tipo compacta, siendo algunas de las instalaciones las bombas centrifugas ubicadas en la captación, tubería de aducción, sedimentador de alta tasa flujo ascendente fuera de servicio (cuadrante lámina metálica) y tanque de almacenamiento.

Es importante mencionar que el máximo caudal que llega a la PTAP tipo compacta es de 30 L/s, este último se toma como caudal de diseño para cada una de las unidades. Cabe resaltar, que en la actualidad se opera la planta con 19 L/s, caudal con el cual se satisface la demanda de los habitantes de la cabecera municipal de Simití en periodo de sequías.

En el presente proyecto se conocerá detalladamente el diagnóstico y diseño mediante imágenes fotográficas de la planta actual y cálculos de cada módulo de tratamiento respectivamente. Paralelo al diseño se explicará el proceso en cada unidad o modulo, también se enseñaran los planos de cómo se observaría la ajustada y nueva planta de tratamiento.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	13 de 130

Actualmente la fuente que abastece de agua al municipio de Simití es la ciénaga de Simití, que rodea el casco urbano en casi toda su totalidad, dicha ciénaga tiene varios afluentes provenientes de la zona montañosa que se encuentra en la serranía de SAN LUCAS, y el otro aporte es del Rio Magdalena (Caño Simití).

El agua que produce la PTAP compacta no es la mejor, debido que el agua impulsada desde la ciénaga llega a un floculador de flujo horizontal, cuyo floculador solo cuenta con un solo compartimiento y el mismo está hecho en hierro con alto estado de corrosión, resaltando que la aplicación del coagulante se aplica en esta unidad. El agua “floculada” es llevada a una carcasa circular a través de un tubo que cae a ella con una altura considerable, dicha carcasa es llenada y funciona como un “sedimentador”, en esta unidad el floc no es retenido y pasa a la siguiente unidad, luego esta agua “sedimentada” pasa a una cámara circular que anteriormente funcionaba como filtro, en la actualidad el agua presente en esta unidad pasa directamente al tanque de aplicación de cloro, donde dicha aplicación se hace con solución de hipoclorito de calcio, en altas concentraciones sin ninguna medida, como también no se aplica en el punto correcto. El agua turbia y altamente clorada es bombeada hacia el tanque de almacenamiento, es importante mencionar que el tiempo de contacto no existe en la unidad, debido que el agua es bombeada de inmediato del tanque de aplicación del cloro. Todo lo anterior tiene una consecuencia significativa, la cual es la mala calidad de agua que llega a toda la cabecera municipal, produciendo estas, quejas y reclamos por parte de la población.

La planta compacta cuenta con unidades que no operan como debe ser, producto de inconvenientes en la mala operación y mantenimiento, siendo este el principal problema en la planta de tratamiento. En la actualidad la planta de tratamiento se encuentra en mal estado, debido a la corrosión que en esta se presenta, por eso se hace necesario realizar el diagnóstico y diseño de la misma.

En la actualidad el municipio de Simití cuenta con una PTAP convencional, la cual trata el agua proveniente de la quebrada INANEA, dicha quebrada en tiempo de estiaje o verano ha llegado a presentar niveles mínimos en su cauce, según habitantes de la ronda de la quebrada, se aclara que la fuente INANEA está ubicada siete kilómetros de la cabecera municipal. Respecto a la poca oferta de la fuente en periodo seco, se formuló como plan emergencia y contingencia la PTAP compacta, aclarando su mejora mediante diagnóstico y diseño de la misma.

2. JUSTIFICACION.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	14 de 130

El presente proyecto se realiza con el fin de conocer y proponer la mejora del estado actual de la PTAP compacta del municipio de Simití, desde el punto de vista infraestructural, operativo y calidad de agua que en esta se produce. Dicha calidad es un objetivo fundamental en la perspectiva de este proyecto, debido que con un buen diagnóstico, diseño y correcta operación de la PTAP se podrá tener un resultado positivo en cuanto a calidad de agua potable como lo indica la Resolución 2115 de 2007 colombiana en dicho tema.¹

Con el proyecto también se busca ofertar agua de buena calidad, con lo cual se podría implementar estrategias relacionadas al uso y ahorro eficiente del agua, con este poder reducir las pérdidas técnicas y comerciales que se presentan en la actual red de distribución del municipio de Simití Bolívar.

Con el diagnóstico actual y propuesta de mejoramiento mediante el diseño se pretende no solo mejorar la calidad de agua potable distribuida dentro del casco urbano si no también elevar la calidad de vida de los habitantes de la cabecera municipal de Simití Bolívar.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general.

¹ (MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL MINISTERIO AMBIENTE, 2007)

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	15 de 130

Realizar el diagnóstico actual de la planta de tratamiento de agua potable tipo compacta del municipio de Simití Bolívar y proponer el mejoramiento mediante el diseño de unidades faltantes como son: cámara de aquietamiento, mezcla rápida, floculador, sedimentador y filtros.

3.2. Objetivos específicos.

- ✓ Realizar el Diagnostico actual de la fuente superficial (Ciénaga de Simití), PTAP compacta y de la calidad del agua tratada por la misma.
- ✓ Socializar el estado actual de operación de la PTAP compacta del municipio de Simití, complementada con la calidad del agua que esta produce.
- ✓ Proponer el Mejoramiento de la PTAP tipo compacta del municipio, mediante los diseños y rediseños de los módulos faltante y/o existentes siguiendo el RAS 2000.
- ✓ Elaborar los planos de cada unidad diseñada y reformada que harán parte de la PTAP mejorada.

4. MARCO REFERENCIAL.

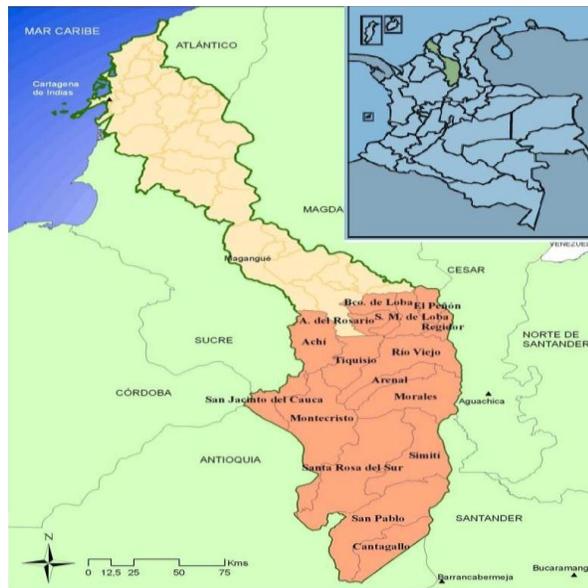
	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	16 de 130

4.1. MARCO CONTEXTUAL

4.1.1. Ubicación del proyecto.²

La planta de tratamiento de agua potable está ubicada en el municipio de Simití, departamento de Bolívar, precisamente en el sur del departamento. Limita al norte con el municipio de Morales, al sur con el municipio de San pablo, al oriente con la vertiente del Rio Magdalena por el costado del departamento de Santander y al oeste con el municipio de Santa rosa del sur. El municipio de Simití está localizado a 7° latitud norte, 58 minutos longitud oeste, a 73° latitud norte y 57 minutos longitud oeste. Cuenta con una extensión de 1.238 Km2 con una altitud de 53 m.s.n.m, su extensión en el casco urbano es de 0.806 Km2. En la actualidad Cuenta con una población de 8.638 habitantes en el casco urbano.

Ilustración 1. Ubicación de Simití en Colombia.



Fuente: WIKIPEDIA. Geografía de Simití. [En línea]
<https://es.wikipedia.org/wiki/Simit%C3%A1>

Ilustración 2. Ubicación de Simití en el departamento de Bolívar.

² (Bolívar, 2012)



Fuente: WIKIPEDIA. Geografía de Simití. [En línea]
<https://es.wikipedia.org/wiki/Simit%C3%AD>

El municipio de Simití se encuentra distanciado 584 Km de la ciudad de Cartagena, es importante mencionar que en todo el valle del Magdalena medio y la serranía de San Lucas se presentan alturas entre 53 y 1000 m.s.n.m, la temperatura promedio esta entre 24 y 32 °C.³

En la Figura 2 se puede observar la ubicación del municipio de Simití en el departamento de Bolívar, el cual esta seleccionado con un círculo de color rojo, también se puede evidenciar la ubicación de Cartagena respecto al municipio.

Ilustración 3. Ubicación de la planta compacta en el municipio.



Fuente: Google Earth, Editado Autor 2015.

³ (Bolívar, 2012)

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	18 de 130

La planta de tratamiento tipo compacta está ubicada al suroeste del municipio de Simití, precisamente en el barrio las Palmeras, aclarando que la planta se encuentra situada en un cerro ligeramente inclinado, en el cual existe un terreno rígido. Las instalaciones de la planta cuentan con un encerramiento hecho en malla de alambre, en el cual se encuentran las unidades existentes.

4.1.2. Breve descripción de la PTAP compacta y su funcionamiento.

La planta de tratamiento de agua potable, tipo compacta del municipio de Simití Bolívar, fue diseñada para un caudal de 15 L/s, (Caudal de diseño) según el operador más antiguo de la planta. Caudal proveniente de la fuente superficial Ciénaga de Simití, en la cual existe una barcaza tipo flotante que contiene el conjunto motor bomba de 75 HP y 14” respectivamente. El agua cruda es impulsada a través de tuberías en diferentes diámetros y materiales, llegando está a un pequeño floculador de flujo horizontal hecho en lámina metálica, al inicio de esta unidad es donde se le aplica el coagulante, llegando el agua floculada a un sedimentador perimetral, posteriormente el agua sedimentada es recolectada por un canal que rodea al sedimentador, luego el canal entrega por medio de un vertimiento el agua captada del sedimentador a una cámara cilíndrica que anteriormente funciono como cámara de recolección de agua filtrada. A través de un ducto ubicado en la parte superior de la cámara se conduce el agua sedimentada al tanque de almacenamiento superficial, en el cual se le adiciona el desinfectante al agua. De esta última unidad el agua es bombeada al tanque elevado y de ahí es suministrada a la red de distribución.

En las instalaciones de la PTAP tipo compacta se encuentran unidades que están fuera de servicio o funcionan de manera diferente para las que fueron diseñadas. Este es el caso de un sedimentador de flujo ascendente de placas paralelas, al igual que el sedimentador se encuentra los filtros de lechos mixtos de flujo ascendente, uno ellos en la actualidad funciona como cámara de recolección de agua sedimentada. Más adelante se detallan a fondo las unidades y el funcionamiento de las mismas.

4.2. ANTECEDENTES

4.2.1. Nivel internacional

- ✓ “En Grecia el agua utilizada se retiraba mediante sistemas de aguas residuales, a la vez que el agua de lluvia. Los griegos fueron de los primeros en tener interés en la calidad del agua. Ellos utilizaban embalses de aireación para la purificación del agua” (LENNTECH, s.f).
- ✓ “Los romanos fueron los mayores arquitectos en construcciones de redes de distribución de agua que ha existido a lo largo de la historia. Ellos utilizaban recursos de agua subterránea, ríos y agua de escorrentía para su aprovisionamiento. Los romanos construyeron presas para el almacenamiento y retención artificial del agua. El sistema de tratamiento por aireación se utilizaba como método de purificación. El agua de mejor calidad y por lo tanto más popular era el agua proveniente de las montañas”. (LENNTECH, s.f)

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	19 de 130

- ✓ “El primer sistema de suministro de agua potable a una ciudad completa fue construido en Paisley, Escocia, alrededor del año 1804 por John Gibb. En tres años se comenzó a transportar agua filtrada a la ciudad de Glasgow”. (LENNTECH, s.f)
- ✓ “En 1806 Paris empieza a funcionar la mayor planta de tratamiento de agua. El agua sedimenta durante 12 horas antes de su filtración. Los filtros consisten en arena, carbón y su capacidad es de seis horas”. (LENNTECH, s.f)

4.2.2. Nivel nacional

- ✓ “La práctica empresarial EMSERPUNAL, tiene como principio, dar a conocer el estado actual de la planta y detectar las causas que generan, que no haya un funcionamiento homogéneo de la misma”. Tomado de (BOLIVAR J. H., 2005).
- ✓ “Diagnóstico y optimización de la P.T.A.P de Floridablanca Santander, mediante este trabajo pretendemos presentar al acueducto metropolitano de Bucaramanga el estado actual de la P.T.A.P que surte de agua potable al municipio de Floridablanca, aprovechando nuestro conocimiento potencial, presentar alternativas de optimización y mejor funcionamiento de la misma”. Tomado de (JAIMES, 2005) .
- ✓ “PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE BITUIMA, CUNDINAMARCA, Por medio de un diagnóstico previo se identificaron las unidades de la planta de tratamiento para agua potable (PTAP) del municipio que presentaban problemas durante el tratamiento del agua, encontrando como puntos a enfocar el mejoramiento a: la unidad de floculación, filtros II y la ausencia de un tanque para el contacto con cloro” Tomado de (BERNAL, 2011, pág. 4).

4.2.3. Nivel regional

- ✓ Optimización del acueducto de Santa Rosa del Sur. (BOLIVAR P. D., s.f).
- ✓ Construcción de la Planta de Tratamiento de agua potable y obras complementarias para el sistema de acueducto del Municipio de San Pablo. (BOLIVAR P. D., s.f).

4.3. MARCO TEORICO

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	20 de 130

4.3.1. Calidad de la fuente y grado de tratamiento

“La calidad de la fuente debe caracterizarse de la manera más completa posible para poder identificar el tipo de tratamiento que necesita y los parámetros principales de interés en periodo seco y de lluvia. Además, la fuente debe cumplir con lo exigido en el Decreto 1594 del 26 de junio de 1984, en sus artículos 37 y 38, o en su ausencia el que lo reemplace. Los análisis de laboratorio deben realizarse de acuerdo con métodos estándar reconocidos nacional e internacionalmente y los muestreos de acuerdo con las Normas NTC-ISO 5667. En la tabla 1 se presenta el tipo de tratamiento de acuerdo a parámetros mínimos”. (RAS, 2000, pág. 20).

Tabla 1. Calidad de la fuente.

Parámetros	Análisis según		Nivel de calidad de acuerdo al grado de polución			
	Norma técnica NTC	Standard Method ASTM	1. Fuente aceptable	2. Fuente regular	3. Fuente deficiente	4. Fuente muy deficiente
DBO 5 días	3630					
Promedio mensual mg/L			≤ 1.5	1.5 - 2.5	2.5 - 4	>4
Máximo diario mg/L			1 - 3	3 - 4	4 - 6	>6
Coliformes totales (NMP/100 mL)						
Promedio mensual		D-3870	0 - 50	50 - 500	500 - 5000	> 5000
Oxígeno disuelto mg/L	4705	D-888	≥ 4	≥ 4	≥ 4	< 4
PH promedio	3651	D 1293	6.0 - 8.5	5.0 - 9.0	3.8 - 10.5	
Turbiedad (UNT)	4707	D 1889	< 2	2 - 40	40 - 150	≥ 150
Color verdadero (UPC)			< 10	10 -20	20 - 40	≥ 40
Gusto y olor		D 1292	Inofensivo	Inofensivo	Inofensivo	Inaceptable
Cloruros (mg/L - Cl)		D 512	< 50	50 - 150	150 - 200	300
Fluoruros (mg/L - F)		D 1179	< 1.2	< 1.2	< 1.2	> 1.7
GRADO DE TRATAMIENTO						
- Necesita un tratamiento convencional			NO	NO	SI, hay veces (ver requisitos para uso FLDE : literal C.7.4.3.3)	SI
- Necesita unos tratamientos específicos			NO	NO	NO	SI
- Procesos de tratamiento utilizados			(1) = Desinfección + Estabilización	(2) = Filtración Lenta o Filtración Directa + (1)	(3) = Pretratamiento + [Coagulación + Sedimentación+ Filtración Rápida] o [Filtración Lenta Diversas Etapas] + (1)	(4) = (3) + Tratamientos específicos

Fuente: RAS 2000, Título C. República de Colombia.

4.3.2. Estudios de tratabilidad

“Para la selección de los procesos de tratamiento previo o paralelo al diseño de una planta, deben realizarse ensayos en el laboratorio siendo obligatorio entre estos, el Ensayo de Jarras; y posteriormente, si se justifica, realizar ensayos en planta piloto para determinar el tratamiento al que debe ser sometida el agua. Para los niveles bajo y medio de complejidad no se recomienda la realización de los ensayos de planta piloto, a menos que se estudie un nuevo proceso o variables desconocidas que no pueden ser analizadas en el laboratorio. La prueba de jarras es obligatoria para cualquier nivel de complejidad, no solamente para los estudios de tratabilidad en el proceso de diseño, sino también diariamente, durante la operación de la planta, y cada vez que se presenten cambios en la calidad del agua”. (RAS, 2000, pág. 22)

“Los ensayos de laboratorio y planta piloto deben emplearse para determinar:

1. El grado de comportamiento de ciertos procesos de tratamiento.
2. Los criterios básicos de diseño para la planta a escala real (dosificaciones de los productos químicos, necesidad de mezcla y floculación, velocidad de filtración, tiempos de contacto, entre otros aspectos).

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	21 de 130

Estos ensayos deben realizarse con todas las muestras tomadas por lo menos un ciclo hidrológico anual, con el fin de analizar todas las posibles calidades de agua cruda que se puedan presentar; es decir, cambios en la turbiedad, color o demanda de cloro, temperatura, pH, alcalinidad, contenido de algas, hierro y manganeso, cambios en el sabor y olor, entre otros”. (RAS, 2000, pág. 22)

Ensayos de laboratorio

Prueba de Jarras

“Estas pruebas consisten en simular en vasos de precipitado o jarras, el proceso de coagulación floculación que se producirá en la planta de tratamiento y evaluar distintos parámetros durante o al final de los ensayos para caracterizar su funcionamiento”. (RAS, 2000)

“Este procedimiento debe realizarse de acuerdo a la Norma Técnica Colombiana NTC 3903, su objetivo básico es la determinación de los coagulantes y auxiliares de coagulación (metálicos o pre polimerizados), sus dosis óptimas, secuencia de adición de los mismos para una turbiedad, un color, un pH, una temperatura, una alcalinidad y una dureza dados. Estas pruebas deben repetirse no menos de 10 veces para distintas condiciones del agua cruda”. (RAS, 2000, pág. 22)

4.3.3. Ajuste de una recta por el método de mínimos cuadrado

Según (HOTMATH.COM, s.f) una recta que mejor se ajusta, es una línea recta que es la mejor aproximación del conjunto de datos dado.

Es usada para estudiar la naturaleza de la relación entre dos variables.

Una recta que mejor se ajusta puede ser determinada aproximadamente usando el método visual al dibujar una línea recta en una gráfica de dispersión para que tanto el número de puntos arriba de la recta y debajo de la recta sean casi iguales (y la línea pasa a través de tantos puntos como sea posible). (HOTMATH.COM, s.f)

Una forma más precisa de encontrar la recta que mejor se ajusta es el método de mínimos cuadrados. (HOTMATH.COM, s.f)

Use los pasos siguientes para encontrar la ecuación de la recta que mejor se ajusta para un conjunto de parejas ordenadas. (HOTMATH.COM, s.f)

Paso 1: Calcule la media de los valores de x y la media de los valores de y.

Paso 2: Realice la suma de los cuadrados de los valores de x.

Paso 3: Realice la suma de cada valor de x multiplicado por su valor correspondiente y.

Paso 4: Calcule la pendiente de la recta usando la fórmula:

$$m = \frac{\sum xy - \frac{(\sum x)(\sum y)}{n}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}$$

Donde n es el número total de puntos de los datos.

Pas 5: Calcule la intercepción en y de la recta usando la fórmula:

$$b = \bar{y} - m\bar{x}$$

Donde \bar{y} and \bar{x} son las medias de las coordenadas de x y y de los puntos de datos respectivamente.

Paso 6: Use la pendiente y la intercepción en y para formar la ecuación de la recta. (HOTMATH.COM, s.f)

4.3.4. Procesos de tratamiento

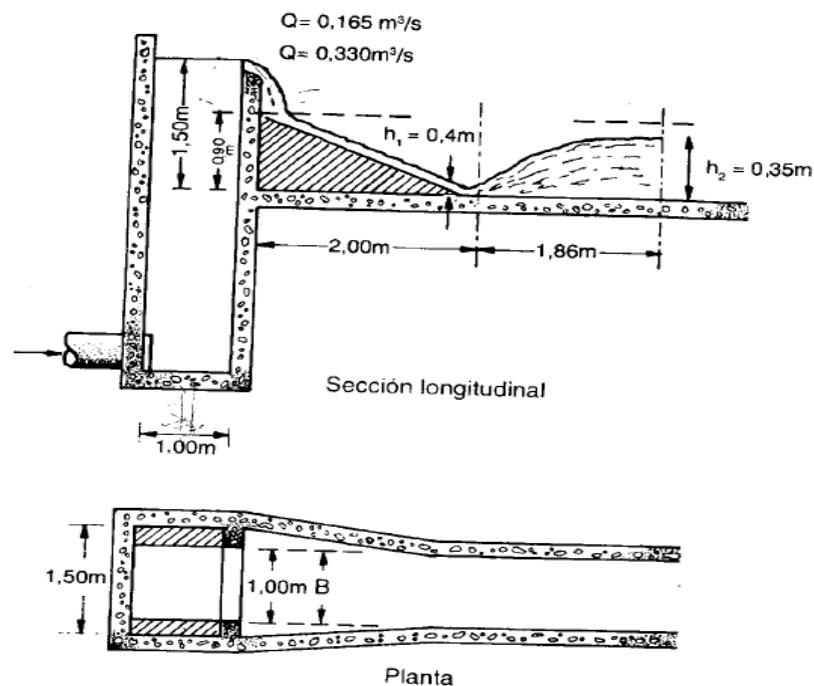
4.3.4.1 Mezcla rápida

“Es una operación empleada en el tratamiento del agua con el fin de dispersar diferentes sustancias químicas y gases. En plantas de purificación de agua el mezclador rápido tiene generalmente el propósito de dispersar rápida y uniformemente el coagulante a través de toda la masa o el flujo de agua”. (ROJAS, 2000, pág. 49)

“La mezcla rápida puede efectuarse mediante turbulencia, provocada por medios hidráulicos o mecánicos, tales como: resalto hidráulicos en canales, canaletas parshall, vertederos rectangulares, tuberías de succión de bombas, mezcladores mecánicos en líneas, rejillas difusoras, chorros químicos y tanques con equipos de mezcla rápida”. (ROJAS, 2000, pág. 49)

“En los mezcladores hidráulicos la mezcla es ejecutada como resultado de la turbulencia que existe en el régimen de flujo”. (ROJAS, 2000, pág. 49)

Ilustración 4. Mezclador rápido hidráulico.



Fuente: ROMERO ROJAS, JAIRO. Purificación del agua. 2000.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	23 de 130

4.3.4.2. Coagulación floculación

“Se llama Coagulación – Floculación al proceso por el cual las partículas que contiene el agua, se aglutinan en pequeñas masas con peso específico mayor que el del agua, llamadas floc”. (PARRA, 1981)

Aspectos de la coagulación y la floculación.

“Hay que distinguir dos aspectos fundamentales en el proceso de coagulación-floculación:

- ✓ La desestabilización de las partículas coloidales o sea la remoción de las fuerzas que las mantienen separadas.
- ✓ El transporte de ellas dentro del líquido para que hagan contacto, estableciendo puentes entre sí para formar una malla tridimensional porosa o floc.

El primer aspecto se conoce con el nombre de coagulación. El segundo aspecto como floculación”. (PARRA, 1981, pág. 41)

Coagulación

“La coagulación se efectúa por medio de coagulantes. Comienza en el instante mismo que se agregan los coagulantes, Y dura fracciones de segundo. Básicamente consiste en una serie de reacciones físicas y químicas, entre la superficie de los coloides, el coagulante, la alcalinidad (que tiene que estar presente) y el agua misma.

Dos modelos la explican:

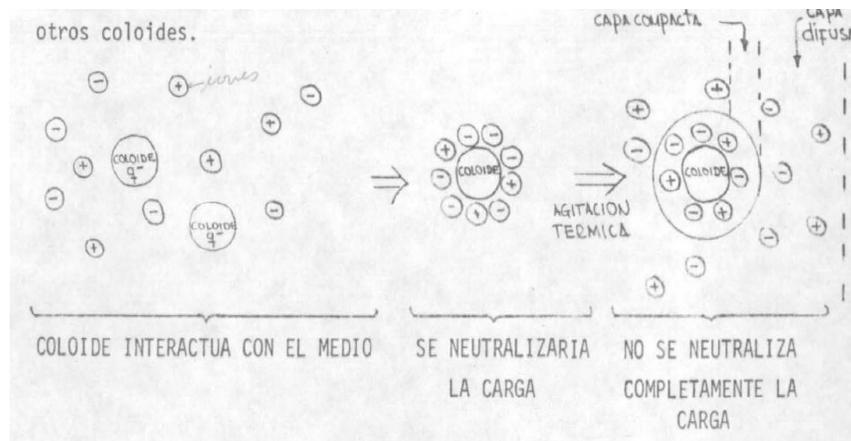
- ✓ Doble capa: Fuerzas electrostáticas de atracción y repulsión (Modelo Físico).
- ✓ Puente Químico: Establece una relación de dependencia entre las fuerzas químicas y la superficie de los coloides (Modelo Químico)”. (PARRA, 1981, pág. 42)

Modelo físico

“Explica la coagulación del agua teniendo en cuenta las fuerzas electrostáticas presentes en las partículas coloidales, las cuales se consideran rodeadas por una doble capa que interactúa con la fase acuosa y con los otros coloides”. (PARRA, 1981, pág. 42)

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	24 de 130

Ilustración 5. Modelo físico, coagulación.



Fuente: PEREZ PARRA, JORGE. Tratamiento de aguas. UNAL- Medellín 1981.

“Capa compacta: Se adhiere al coloide y transita con él por el fluido. Está en equilibrio dinámico con la capa difusa.

Capa difusa: Empieza donde termina la capa adherida y termina en el punto hasta donde influye la carga del coloide.

Modelo físico: El modelo químico complementa la explicación que da el Modelo Físico sobre la coagulación. Se considera que la carga primaria de las partículas coloidales se debe a la ionización de los grupos químicos adsorbidos sobre su superficie y que la unión y precipitación de los coloides se debe a la reacción química entre estos grupos químicos y los contra iones metálicos polivalentes agregados con el electrolito o coagulante”. (PARRA, 1981, pág. 44)

Floculación

“Se refiere a la aglomeración de partículas coaguladas en partículas floculentas; es el proceso por cual, una vez desestabilizados los coloides, se provee una mezcla suave de las partículas para aumentar la tasa de encuentros o colisiones entre ellas sin romper o disturbar los agregados preformados”. (ROJAS, 2000, pág. 79)

“De la misma manera que la coagulación, la floculación es influenciada por fuerzas químicas y físicas tales la carga eléctricas de las partículas, la capacidad de intercambio, el tamaño y la concentración del floc, el pH, la temperatura del agua y la concentración de los electrolitos”. (ROJAS, 2000, pág. 79)

“En la floculación, una vez introducido y mezclado el coagulante, las partículas diminutas coaguladas son puestas en contacto una con otra y con las demás partículas presentes, mediante agitación lenta prolongada, floculación, durante la cual las partículas se aglomeran, incrementan su tamaño y adquieren mayor densidad. El floculador es, por lo tanto, un tanque con algún medio de mezcla suave y lenta, con un tiempo de retención relativamente prolongado”. (ROJAS, 2000, pág. 79)

Tipo de floculadores

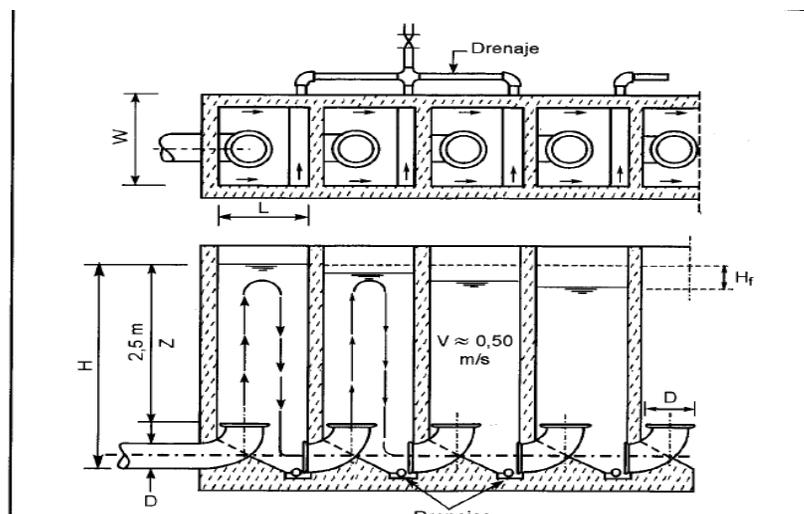


“la mezcla lenta para la floculación puede efectuarse, mecánicamente usando rotores de paletas, o hidráulicamente, como resultado del movimiento del agua”.

“Los floculadores hidráulicos más comunes son los de flujo horizontal y los de flujo vertical. El floculador de flujo horizontal consiste en un tanque de concreto dividido por tabiques, baffles o pantallas de concreto u otro material adecuado, dispuesto en tal forma que el agua haga un recorrido de ida y vuelta alrededor de los extremos libres de los tabiques. En el floculador de flujo vertical el agua fluye hacia arriba y hacia abajo, por encima y por debajo de los baffles o pantalla que dividen el tanque”. (ROJAS, 2000, pág. 80)

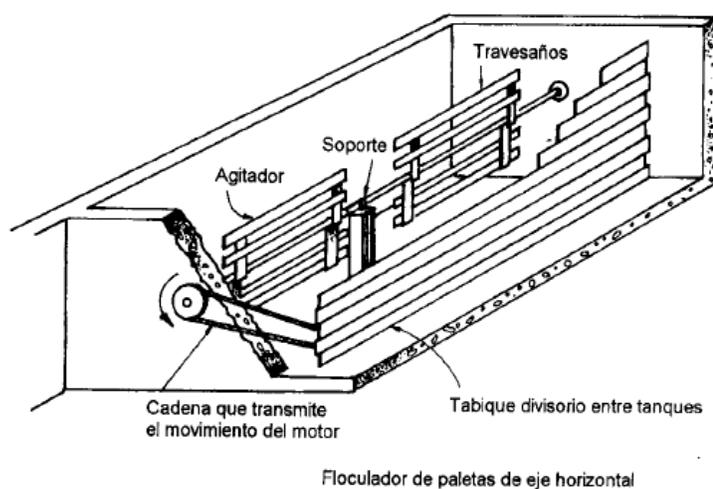
“En los floculadores mecánicos se introduce potencia al agua para asegurar una mezcla lenta mediante agitadores mecánicos. El tipo de agitador mecánico más usado es el de paletas, ya sean de eje horizontal o vertical, las cuales imparten un movimiento rotatorio al agua así como cierta turbulencia interna”. (ROJAS, 2000, pág. 80)

Ilustración 6. Floculador hidráulico tipo Alabama.



Fuente: ROMERO ROJAS, JAIRO. Purificación del agua. 2000.

Ilustración 7. Floculador mecánico de paletas de eje horizontal.



Fuente: ROMERO ROJAS, JAIRO. Purificación del agua. 2000.

4.3.4.3. Sedimentación

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	26 de 130

“Se designa por sedimentación la operación por la cual se remueven las partículas sólidas de una suspensión mediante la fuerza de gravedad; en algunos casos se denomina clarificación o espesamiento. Dos son las formas de sedimentación usadas en la purificación del agua: sedimentación simple y sedimentación después de coagulación y floculación o ablandamiento”. (ROJAS, 2000, pág. 125)

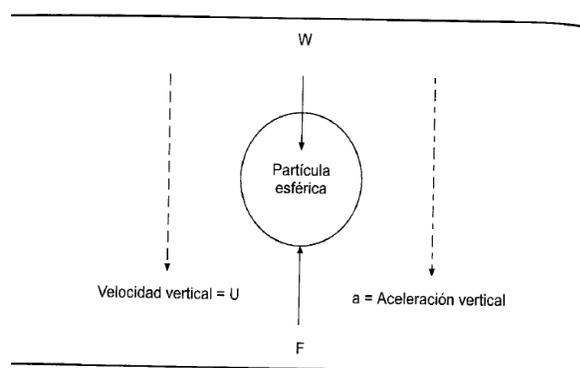
“La sedimentación simple es generalmente un tratamiento primario para reducir la carga de los sólidos sedimentables antes de la coagulación; en esos casos se le conoce como pre sedimentación. La sedimentación después de la adición de coagulante y de la floculación se usa para remover los sólidos sedimentables que han sido removidos por el tratamiento químico, como en el caso de la remoción de color y turbiedad o en el ablandamiento con cal”. (ROJAS, 2000, pág. 125)

Tipos de sedimentación

“La sedimentación ocurre de manera diferente, según la naturaleza de los sólidos, su concentración y grado de floculación”.

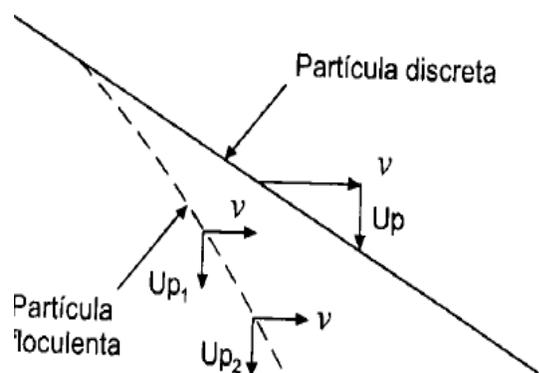
“En el agua se pueden encontrar partículas llamadas discretas, las cuales no cambian su tamaño, forma o peso cuando se sedimentan, y partículas floculentas y precipitantes en las cuales la densidad y el volumen cambian a medida que ellas se adhieren unas con otras mediante mecanismos de floculación, precipitación, arrastre o barrido”. (ROJAS, 2000, pág. 125)

Ilustración 8. Sedimentación de una partícula discreta en reposo.



Fuente: ROMERO ROJAS, JAIRO. Purificación del agua. 2000.

Ilustración 9. Trayectoria de sedimentación.



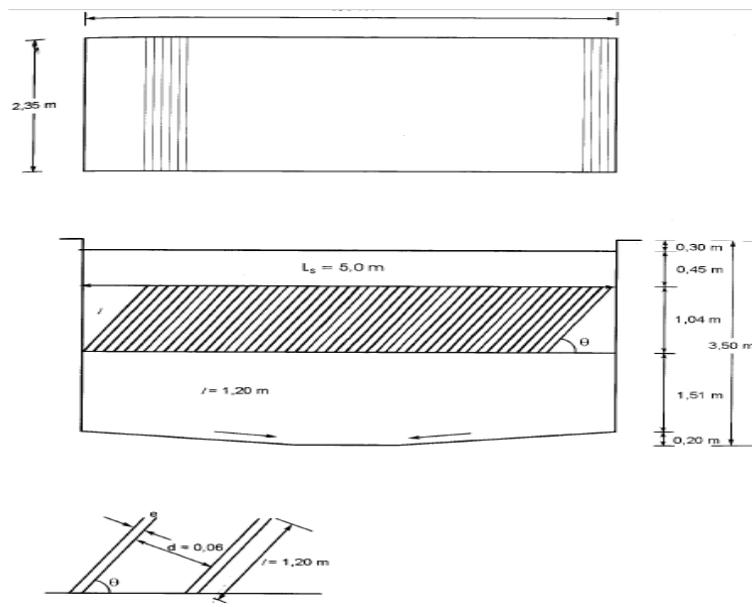
Fuente: ROMERO ROJAS, JAIRO. Purificación del agua. 2000.

Sedimentación de Tasa Alta

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	27 de 130

“Por sedimentación de tasa alta, sedimentadores de poca profundidad, se entiende sedimentación en elementos poco profundos, en módulos de tubos circulares, cuadrados, hexagonales, octogonales, de placas planas paralelas, de placas onduladas o de otras formas, en tanques pocos profundos, con tiempos de retención menores a 15 minutos”. (ROJAS, 2000, pág. 143)

Ilustración 10. Sedimentador de placas paralelas.



Fuente: ROMERO ROJAS, JAIRO. Purificación del agua. 2000.

4.3.4.4. Filtración

“Se define como el proceso en el cual se hace pasar el agua a través de un lecho poroso para separar las partículas y microorganismos objetables que no han quedado retenidos en el proceso de sedimentación”. (PARRA, 1981, pág. 136)

Mecanismos responsables de la filtración

“Cuando el agua sale de los sedimentadores puede contener aún partículas suspendidas que van desde tamaños relativamente grandes (1 mm) hasta partículas de tamaño coloidal, además de bacterias y virus”. (PARRA, 1981, pág. 136)

El proceso que se utiliza para separar del agua dichas partículas es la filtración, que ocurre en dos etapas distintas pero complementarias, a saber:

- ✓ Transporte de partículas dentro de los poros, mecanismo físico.
- ✓ Adherencia de ellas a los granos del medio filtrante, mecanismo químico.

PARRA, J.A. (1981) Sostiene los siguientes mecanismos:

Transporte

Los diferentes mecanismos del transporte, que están esquematizados en la Figura de la página siguiente, se describen a continuación.

Cernido



Cuando las partículas suspendidas son de mayor tamaño que los poros del lecho filtrante, quedan atrapados en los intersticios.

Intercepción

Parte de la remoción del floc se debe a que se establece un contacto entre las partículas floculentas y los granos del medio filtrante. Es decir, los floc se pegan a la superficie de los granos.

Difusión

Debido al movimiento browniano, existe una tendencia de las partículas pequeñas (floc o bacterias) a difundirse desde zonas de alta concentración a zonas de baja concentración. Hay que considerar que la mayoría de las partículas que llegan al filtro son menores de 10 micras.

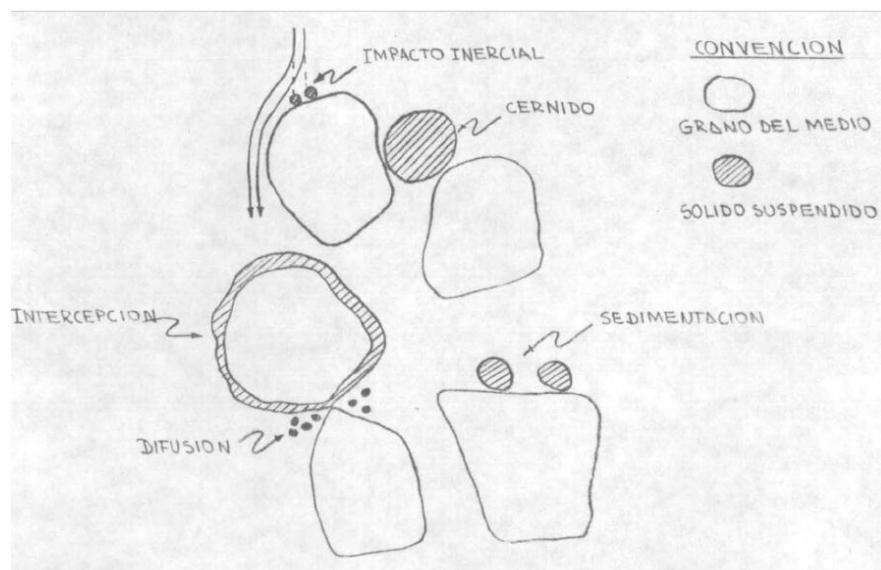
Impacto Inercial

Cuando el agua pasa alrededor de los granos del medio filtrante, la inercia de las partículas que ella contiene hace que tiendan a seguir trayectorias rectilíneas, chocando con los granos y quedando adheridas a ellos.

Sedimentación

Los granos del medio filtrante tienen un área relativamente grande donde los sólidos suspendidos pueden quedar depositados por sedimentación.

Ilustración11. Diagrama de los mecanismos de filtración.



Fuente: PEREZ PARRA, JORGE. Tratamiento de aguas. UNAL- Medellín 1981.

Tipos de filtración



“La filtración puede efectuarse en muchas formas distintas: con baja carga superficial (filtros lentos) o con alta carga superficial (filtros rápidos), en diferentes medios porosos (arena, antracita, granate, etc.) empleando solo un medio (lecho simple) o varios medios (lecho mixto), con flujo ascendente o descendente; por último, el filtro puede trabajar a presión o por gravedad, según sea la magnitud de la carga hidráulica que exista sobre el lecho filtrante”. (PARRA, 1981, pág. 138)

“En las plantas de tratamiento de agua potable, tradicionalmente han sido utilizados filtros de arena o de arena y antracita. En la actualidad son ampliamente utilizados los filtros rápidos de gravedad, de lecho doble de arena y antracita y de flujo descendente, los cuales vamos a considerar”. (PARRA, 1981, pág. 138)

Tabla 2. Tipos de filtros.

SEGUN LA VELOCIDAD DE FILTRACION	SEGUN EL MEDIO FILTRANTE USADO	SEGUN EL SENTIDO DEL FLUJO	SEGUN LA CARGA SOBRE EL LECHO
LENTOS 2-10 m ³ /m ² x d	ARENA	Ascendentes Descendentes	Por Gravedad
RAPIDOS 120-360 m ³ /m ² xd	<u>LECHO SIMPLE:</u> 1- Arena 2- Antracita	Ascendentes Descendentes	Por Gravedad Por Presión
RAPIDOS 240-480 m ³ /m ² x d	<u>LECHO MIXTO:</u> a)Lecho doble -Arena -Antracita b)Lecho Triple -Arena -Antracita -Granate	Ascendentes Descendentes	Por Gravedad Por Presión

Fuente: PEREZ PARRA, JORGE. Tratamiento de aguas. UNAL- Medellín 1981.

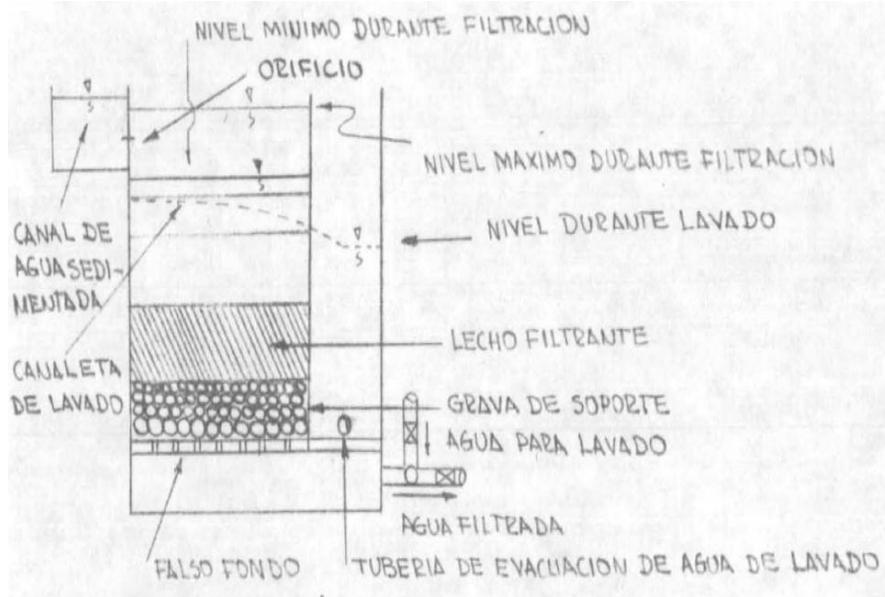
Funcionamiento de un filtro

“Supongamos el caso de una sola unidad de filtración. El agua sedimentada es conducida y repartida al filtro mediante un canal con orificios. Como el filtro inicialmente está limpio, el agua adquiere en la caja del filtro un nivel mínimo suficiente para vencer las pérdidas por fricción que se generan con el paso del agua a través del lecho filtrante, la grava de soporte y el falso fondo. Con el transcurso del tiempo, el lecho filtrante se va obstruyendo paulatinamente, generando cada vez más pérdida de carga hasta que el agua alcanza su nivel máximo dentro del filtro. Antes de que esto suceda, se procede al lavado del filtro. Para ello se cierran los orificios de entrada y la válvula de la tubería de agua filtrada, se abre la válvula de la tubería de evacuación de agua de lavado y se inyecta agua en



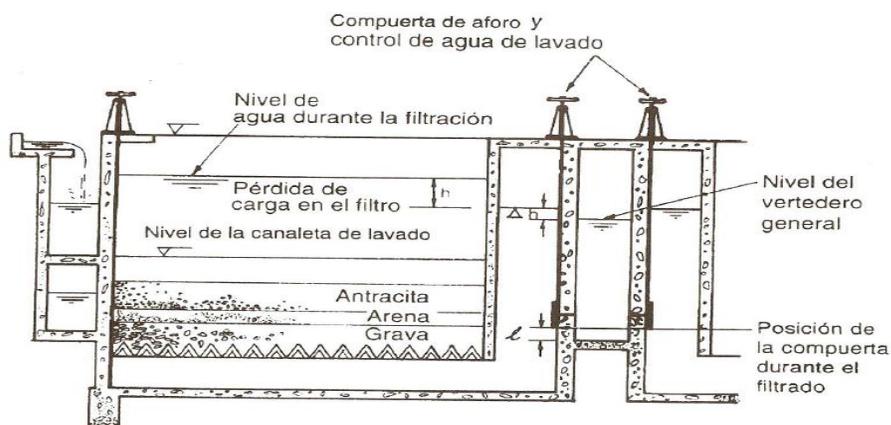
sentido contrario (ascendente) a una cierta velocidad con la cual el lecho filtrante se expande y el material retenido es arrastrado hasta las canaletas de recolección de agua de lavado. Realizada la limpieza, el filtro queda listo para otra jornada de filtración”. (PARRA, 1981, págs. 140-141)

Ilustración 12. Esquema de un filtro rápido de gravedad.



Fuente: PEREZ PARRA, JORGE. Tratamiento de aguas. UNAL- Medellín 1981.

Ilustración 13. Corte de un filtro con orificio de control.



Fuente: ROMERO ROJAS, JAIRO. Purificación del agua 2000.

4.3.4.5. Cloración

Dosificación de cloro gaseoso

“La dosificación de cloro gaseoso inicia donde el cilindro se conecta al clorador, o al múltiple de suministro de cloro si se conecta más de un cilindro. El sistema de dosificación en el punto en que la solución de cloro se mezcla con el agua que va a ser desinfectada. Los componentes básicos del sistema de dosificación son:

- Bascula
- Válvulas y tuberías
- Clorador

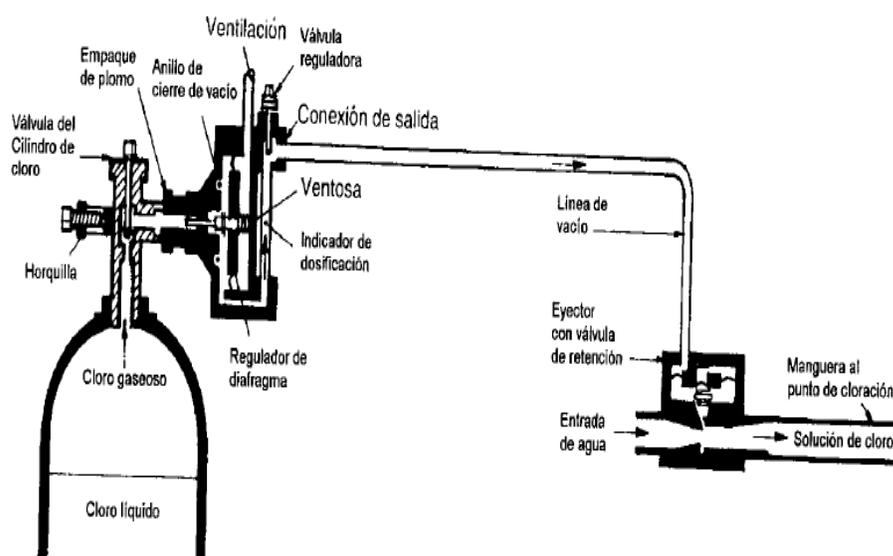


- Inyector o eyector y difusor

La báscula permite registrar la cantidad de cloro usada en la desinfección y la cantidad remanente en el cilindro. Las válvulas y tuberías, las cuales deben satisfacer los requerimientos del instituto de cloro, permiten hacer las conexiones necesarias para conducir el cloro al sitio de dosificación y para regular o suspender el suministro. El clorador puede ser una unidad simple, de montaje directo sobre el cilindro, o un gabinete de piso, que permita medir con exactitud y seguridad el flujo de cloro gaseoso desde el cilindro y entregar las dosis exactas establecidas. El clorador está dotado de reguladores de presión y vacío, accionados por diafragma y orificios que reducen la presión del cloro gaseoso. La presión reducida permite un flujo uniforme del gas, medido con exactitud por un rotámetro. Además mantiene un vacío en la línea del inyector para propósitos de seguridad. Si se presenta una fuga en la línea de vacío, el aire entrara por la línea de ventilación haciendo que la válvula reguladora de vacío se cierre y detenga el flujo de cloro gaseoso. Para cambiar la dosis de cloro, el operador ajusta manualmente el control del rotámetro. El inyector o eyector es un aditamento tipo Venturi que hala o arrastra el cloro gaseoso dentro de un flujo corriente de agua dilución, formando una solución fuerte de cloro en agua, el inyector crea también el vacío necesario para crear el vacío en el clorador”. (ROJAS, 2000, págs. 251-252)

“La solución altamente corrosiva de cloro, con pH entre 2 y 4, es transportada al punto de aplicación por tubería de material inoxidable, PVC o similar, donde se distribuye mediante un difusor. El difusor es una o más tuberías cortas, generalmente perforadas, que dispersan uniformemente y rápidamente la solución de cloro dentro del caudal de agua a tratar. Existen dos tipos principales de difusores: aquellos usados en tuberías y los usados en canales o tanques abiertos”. (ROJAS, 2000, pág. 252)

Ilustración 14. Sistema de dosificación de cloro tipo vacío.



Fuente: ROMERO ROJAS, JAIRO. Purificación del agua 2000.

4.3.4.6. Agua potable o agua para consumo humano

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	32 de 130

“Es aquella que por cumplir las características físicas, químicas y microbiológicas, en las condiciones señaladas en el decreto 1575 del 2007 y demás normas que la reglamenten, es apta para consumo humano. Se utiliza en bebida directa, en la preparación de alimentos o en la higiene personal”. (SOCIAL, 2007)

“Es importante conocer las características mencionadas anteriormente, las cuales se determinan mediante un análisis fisicoquímico de la agua tratada, dicho análisis son procedimientos de laboratorio que se efectúan a una muestra de agua”. (MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL MINISTERIO AMBIENTE, 2007, pág. 1)

De acuerdo con la Resolución 2115 de 2007, los valores máximos aceptables del agua suministrada para consumo humano son los siguientes: (MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL MINISTERIO AMBIENTE, 2007, pág. 2)

Tabla 3. Características físicas del agua para consumo humano.

Características físicas	Expresadas como	Valor máximo aceptable
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15
Olor y Sabor	Aceptable ó no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	2

Fuente: Resolución 2115. República de Colombia.

- Conductividad: El valor máximo aceptable para la conductividad puede ser hasta 1000 microsiemens/cm.
- Potencial de Hidrogeno (pH): El valor de pH del agua para consumo humano debe estar entre 6.5 – 9 unidades de pH. (MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL MINISTERIO AMBIENTE, 2007, pág. 3)

Tabla 4. Características químicas que tienen implicaciones sobre la salud humana.

Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos que tienen implicaciones sobre la salud humana	Expresados como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Carbono Orgánico Total	COT	5,0
Nitritos	NO ₂ ⁻	0,1
Nitratos	NO ₃ ⁻	10
Fluoruros	F ⁻	1,0

Fuente: Resolución 2115. República de Colombia.

“Análisis microbiológico del agua: Son los procedimientos de Laboratorio que se efectúan a una muestra de agua para consumo humano para evaluar la presencia o ausencia, tipo y cantidad de microorganismos. Dichas características se ilustran

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	33 de 130

en la tabla 5". (MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL MINISTERIO AMBIENTE, 2007, pág. 6)

Tabla 5. Características Microbiológicas

Técnicas utilizadas	Coliformes Totales	Escherichia coli
Filtración por membrana	0 UFC/100 cm ³	0 UFC/100 cm ³
Enzima Sustrato	< de 1 microorganismo en 100 cm ³	< de 1 microorganismo en 100 cm ³
Sustrato Definido	0 microorganismo en 100 cm ³	0 microorganismo en 100 cm ³
Presencia – Ausencia	Ausencia en 100 cm ³	Ausencia en 100 cm ³

Fuente: Resolución 2115. República de Colombia.

4.4. MARCO CONCEPTUAL

El RAS 2000, Título C y la Resolución 2115 de 2007⁴ sostienen las siguientes definiciones:

Análisis básicos: Es el procedimiento que se efectúa para determinar turbiedad, color aparente, pH, cloro residual libre o residual de desinfectante usado, coliformes totales y Escherichia coli.

Análisis complementarios: Es el procedimiento que se efectúa para las determinaciones físicas, químicas y microbiológicas no contempladas en el análisis básico, que se enuncian en la presente Resolución y todas aquellas que se identifiquen en el mapa de riesgo.

Análisis físico y químico del agua: Son aquellos procedimientos de laboratorio que se efectúan a una muestra de agua para evaluar sus características físicas, químicas o ambas.

Agitación hidráulica: Movimiento obtenido al aprovechar la energía del agua para producir turbulencia.

Agitación mecánica: Movimiento obtenido mediante dispositivos mecánicos (paletas, aspas, etc.) para producir turbulencia.

Agua cruda: Agua que no ha sido sometida a proceso de tratamiento.

Agua dura: Agua que contiene cationes divalentes y sales disueltas en concentraciones tales que interfieren con la formación de la espuma del jabón.

⁴ (MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL MINISTERIO AMBIENTE, 2007)

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	34 de 130

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.

Aeración: Proceso en el que se produce un contacto entre el aire y el agua con el objetivo de oxigenarla o de excluir gases o sustancias volátiles.

Alcalinidad: Capacidad del agua para neutralizar los ácidos. Esta capacidad se origina en el contenido de carbonatos (CO_3^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-), hidróxidos (OH^-) y ocasionalmente boratos, silicatos y fosfatos. La alcalinidad se expresa en miligramos por litro de equivalente de carbonato de calcio (CaCO_3).

Análisis organoléptico: Se refiere a olor, sabor y percepción visual de sustancias y materiales flotantes y/o suspendidos en el agua.

Característica: Término usado para identificar elementos, compuestos, sustancias y microorganismos presentes en el agua para consumo humano.

Calidad del agua: Conjunto de características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas propias del agua.

Capacidad de almacenamiento: Volumen de agua retenido en un tanque o embalse.

Capacidad hidráulica: Caudal que puede manejar un componente o una estructura hidráulica conservando sus condiciones normales de operación.

Capacidad máxima: Caudal máximo de diseño de una estructura hidráulica.

Carbón activado: Forma de carbón altamente adsorbente, usada para remover material orgánico disuelto causante del mal sabor, color y olor del agua.

Caudal de diseño: Caudal estimado con el cual se diseñan los equipos, dispositivos y estructuras de un sistema determinado.

Clarificación: Proceso de separación de los sólidos del agua por acción de la gravedad.

Cloro residual libre: Es aquella porción que queda en el agua después de un período de contacto definido, que reacciona química y biológicamente como ácido hipocloroso o como ión hipoclorito.

Coliformes: Bacterias Gram Negativas en forma bacilar que fermentan la lactosa a temperatura de 35 a 37°C, produciendo ácido y gas (CO_2) en un plazo de 24 a 48 horas. Se clasifican como aerobias o anaerobias facultativas, son oxidasa negativa, no forman esporas y presentan actividad enzimática de la β galactosidasa. Es un indicador de contaminación microbiológica del agua para consumo humano

Color aparente: Es el color que presenta el agua en el momento de su recolección sin haber pasado por un filtro de 0.45 micras.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	35 de 130

Cloración: Aplicación de cloro al agua, generalmente para desinfectar o para oxidar compuestos indeseables.

Coagulación: Aglutinación de las partículas suspendidas y coloidales presentes en el agua mediante la adición de coagulantes.

Coagulantes: Sustancias químicas que inducen el aglutinamiento de las partículas muy finas, ocasionando la formación de partículas más grandes y pesadas.

Coeficiente de uniformidad: Relación entre el diámetro por debajo del cual se encuentra el 60% de menor tamaño y el tamaño efectivo (10%).

Coloides: Sólidos finamente divididos (que no disuelven) que permanecen dispersos en un líquido por largo tiempo debido a su menor diámetro y a la presencia de una carga eléctrica en su superficie.

Contaminación del agua: Alteración de sus características organolépticas, físicas, químicas, radiactivas y microbiológicas, como resultado de las actividades humanas o procesos naturales, que producen o pueden producir rechazo, enfermedad o muerte al consumidor.

Desarenador: Componente destinado a la remoción de las arenas y sólidos que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación.

Desinfección: Proceso físico o químico que permite la eliminación o destrucción de los organismos patógenos presentes en el agua.

Dosificación: Acción mediante la cual se suministra una sustancia química al agua.

Dosis óptima: Concentración que produce la mayor eficiencia de reacción en un proceso químico.

Eficiencia de remoción: Medida de la efectividad de un proceso en la remoción de una sustancia específica.

Efluente: Flujo proveniente de un sistema hidráulico.

Escherichia Coli (E-Coli): Bacilo aerobio gram-negativo que no produce esporas, pertenece a la familia de los enterobacteriaceas y se caracteriza por poseer las enzimas b-Galactosidasa y b-Glucoroanidasa. Se desarrolla a 44 ± 0.5 °C en medios complejos, fermenta la lactosa liberando ácido y gas, produce indol a partir del triptófano y no produce oxidasa.

Filtración: Proceso mediante el cual se remueve las partículas suspendidas y coloidales del agua al hacerlas pasar a través de un medio poroso.

Floculación: Aglutinación de partículas inducida por una agitación lenta de la suspensión coagulada.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	36 de 130

Granulometría: Técnica para la medida del tamaño de los granos o partículas y estudio de la distribución de los mismos con arreglo a una escala de clasificación.

Lecho de filtración: Medio constituido por material granular poroso por el que se hace percolar un flujo.

Lodo: Contenido de sólidos en suspensión o disolución que contiene el agua y que se remueve durante los procesos de tratamiento.

Mezcla rápida: Agitación violenta para producir dispersión instantánea de un producto químico en la masa de agua.

Mezcla lenta: Agitación suave del agua con los coagulantes, con el fin de favorecer la formación de los flóculos.

Número de Froude: Relación entre las fuerzas inerciales y la fuerza de gravedad.

Número de Reynolds: Relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas de fricción.

Parámetros de diseño: Criterios preestablecidos con los que se diseñan y construyen cada uno de los equipos de la planta de tratamiento.

Pérdida de carga: Disminución de la energía de un fluido debido a la resistencia que encuentra a su paso.

pH óptimo: Valor de pH que produce la máxima eficiencia en un proceso determinado.

Período 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. (RAS, 2000, págs. 7-14)

4.5. MARCO LEGAL

“Las disposiciones legales nacionales aplicables al proyecto son las siguientes:

4.5.1. Constitución política de Colombia

“**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.” (BERNAL, 2011)

“**Artículo 367.** La ley fijará las competencias y responsabilidades relativas a la prestación de los servicios públicos domiciliarios, su cobertura, calidad y financiación, y el régimen tarifario que tendrá en cuenta además de los criterios de costos, los de solidaridad y redistribución de ingresos. Los servicios públicos domiciliarios se prestarán directamente por cada municipio cuando las características técnicas y económicas del servicio y las conveniencias generales lo

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	37 de 130

permitan y aconsejen, y los departamentos cumplirán funciones de apoyo y coordinación. La ley determinará las entidades competentes para fijar las tarifas.” (BERNAL, 2011)

“**Artículo 370.** Corresponde al Presidente de la República señalar, con sujeción a la ley, las políticas generales de administración y control de eficiencia de los servicios públicos domiciliarios y ejercer por medio de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, el control, la inspección y vigilancia de las entidades que los presten.” (BERNAL, 2011)

4.5.2. Recurso agua

“**Resolución 2115 de 2007.** Resolución del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial 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.” (BERNAL, 2011)

“**Decreto 1575 de 2007.** Decreto del Ministerio de Protección Social por el cual se establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano.” (BERNAL, 2011)

“**Decreto 3930 de 2010.** Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.” (BERNAL, 2011)

“**Ley 373 de 1997.** Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Modificada por la Ley 812 de 2003, publicada en el Diario Oficial No. 45.231, de 27 de junio de 2003, "Por la cual se aprueba el Plan Nacional de Desarrollo 2003-2006, hacia un Estado comunitario". (BERNAL, 2011)

“**Decreto 155 de 2004.** Por el cual se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas y se adoptan otras disposiciones.” (BERNAL, 2011)

“**Decreto 4742 de 2005.** Por el cual se modifica el artículo 12 del Decreto 155 de 2004 mediante el cual se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas.” (BERNAL, 2011)

“**Resolución 240 de 2004.** Por la cual se definen las bases para el cálculo de la depreciación y se establece la tarifa mínima de la tasa por utilización de aguas.” (BERNAL, 2011)

Ley 9 de 1979. Por la cual se dictan Medidas Sanitarias.

“**RAS – 2000.** Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Sección II. TÍTULO B, TÍTULO C Sistemas de Acueducto y Sistema de Potabilización.” (BERNAL, 2011)

4.5.3. Servicios públicos

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	38 de 130

“**Ley 142 de 1994.** Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.” (BERNAL, 2011)

“**Ley 715 de 2001.** Por la cual se dictan normas orgánicas en materia de recursos y competencias de conformidad con los artículos 151, 288, 356 y 357 (Acto Legislativo 01 de 2001) de la Constitución Política y se dictan otras disposiciones para organizar la prestación de los servicios de educación y salud, entre otros.” (BERNAL, 2011)

“**Ley 99 de 1993:** Creación del ministerio del medio ambiente y reorganización del sector público encargado del manejo del medio ambiente.” (BERNAL, 2011)

“**Resolución 2320 de 2009:** Ministerio De Ambiente Vivienda Y Desarrollo Territorial: Por la cual se modifica parcialmente la Resolución número 1096 de 2000 que adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS”. (BERNAL, 2011)

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	39 de 130

5. METODOLOGIA

5.1 FASE 1. Diagnostico actual de la fuente superficial (ciénaga de Simití), de la PTAP compacta y de la calidad del agua tratada por la misma

- ✓ **Actividad 1.** Caracterización ciénaga de Simití con información secundaria.

Descripción de la actividad 1. Inicialmente se visitó la ciénaga en motor canoa, con el fin de observar las características físicas del agua de la ciénaga, dicha visita fue con el acompañamiento de practicantes de la Universidad de la SALLE en convenio con la fundación OMASHA, los cuales tomaron y realizaron diferentes muestras de agua cruda. Gracias al acompañamiento los resultados de la caracterización fueron suministrados a la cooperativa COOAGUASIM.

Recursos necesarios, actividad 1: Investigador, practicantes OMASHA, motor canoa, apuntes, recipientes plásticos, recipientes de vidrio, papelería, bolígrafo.

Tiempo requerido, actividad 1: 15 días.

- ✓ **Actividad 2.** Inspección de la PTAP

Descripción de la actividad 2. Inicialmente se hizo el reconocimiento mediante visita de campo a las instalaciones de la PTAP tipo compacta, con el objetivo de conocer e identificar el estado de las unidades y componentes de la misma, fue necesario tomar las dimensiones de cada unidad, con lo cual corroborar la información suministrada por el operador de turno en la PTAP. Es importante mencionar que el diseño y los planos de la PTAP se extraviaron tanto de la Cooperativa de servicios públicos “COOAGUASIM”⁵ y de la Secretaria de Planeación del municipio de Simití Bolívar. Posteriormente se observó el funcionamiento correcto que cada unidad debe realizar.

De forma detallada la inspección se realizó de la siguiente manera: se inició con el recorrido a pie desde la captación (bocatoma flotante), tubería de impulsión y sus respectivos tramos hasta la llegada a la PTAP como tal. Se llevó un registro en el cual se contempló lo positivo y hallazgos encontrados de cada estructura y unidad existente, soportado mediante imágenes fotográficas. Dicho recorrido se realizó con el operador más antiguo de la PTAP tipo compacta con el propósito de conocer las modificaciones y procesos que se llevan a cabo en cada una de las unidades.

Recursos necesarios, actividad 2. Investigador, operador de la PTAP, GPS tipo GARMIN, cámara fotográfica marca SONY, hojas de bloc tamaño carta, papelería, decámetro.

Tiempo requerido, actividad 2. 3 días.

- ✓ **Actividad 3.** Recopilación de información técnica de la PTAP.

Descripción de la actividad 3. En primer lugar, se visitó la Cooperativa de servicios públicos “COOAGUASIM”, seguida de esta la Secretaria de Planeación

⁵ COOAGUASIM. ADMINISTRACION PÚBLICA COOPERATIVA DE SIMITÍ.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	40 de 130

del municipio de Simití Bolívar. La información suministrada por ambas partes, fue corta, pero sustanciosa, justificando que tanto el diseño como planos se extraviaron de sus instalaciones. La información que se pudo reunir, fue suministrada por el personal calificado y antiguo con el cual cuenta la Cooperativa “COOGUASIM”, el tecnólogo en tratamiento de agua potable y saneamiento básico, y el operador de planta con mayor experiencia fueron los informantes de la información requerida. Datos como población atendida, número de usuarios, cobertura de acueducto, se obtuvo gracias a la parte administrativa de la Cooperativa de servicios públicos. La información suministrada por el personal de la Cooperativa fue la siguiente: caudal de diseño, control de la dosificación, calidad del agua tratada por la PTAP tipo compacta, instalaciones del laboratorio, periodo de diseño de la PTAP entre otras.

Recursos necesarios, actividad 3. Investigador, personal calificado, operador con mayor experiencia, Gerente de la Cooperativa, papelería, bolígrafos, computadora, transporte dentro del municipio.

Tiempo requerido, actividad 3. 6 días.

✓ **Actividad 4.** Pruebas hidráulicas.

Descripción de la actividad 4. En esta actividad fue necesario visitar la PTAP tipo compacta, en primer lugar se conoció el funcionamiento de la planta y la dirección del flujo en la misma. Posteriormente se realizó el vaciado de cada una de las unidades, mencionando que dicha prueba se implementó el día de lavado de la planta, con el fin de no provocar retrasos en el suministro de agua potable, aclarando que la PTAP solo cuenta con un tren de tratamiento, el cual es el que está en proceso de lavado. Una vez lavada la planta, se inicia el llenado de cada una de las unidades, evaluando las características de funcionamiento, con el propósito de identificar falencias en la estructura y operación de cada unidad.

Recursos necesarios, actividad 4. Investigador, operador PTAP, fontanero, cronometro, papelería, transporte, tapa bocas, botas de caucho, guantes de caucho.

Tiempo requerido, actividad 4. 2 días.

✓ **Actividad 5.** Muestreo del agua tratada.

Descripción de la actividad 5. Fue necesario recolectar una muestra puntual del tanque de almacenamiento de agua tratada, inicialmente se tomaron 1000 ml en una botella plástica y 300 ml en una botella de vidrio, con el fin de analizar las muestras desde el punto de vista físico químico y microbiológico respectivamente, Aclarando que los recipientes fueron esterilizados previo a la toma de la muestra. De los parámetros in – situ, se analizaron el cloro residual libre y el potencial de hidrogeno (pH). La muestra de agua fue rotulada y refrigerada para su posterior cadena de custodia hasta la ciudad de Bucaramanga, en la cual se realizaron los análisis mencionados al inicio. Cabe mencionar que la PTAP tipo compacta cuenta con las instalaciones del laboratorio mas no con los equipos, materiales y reactivos necesarios para los análisis.

Recursos necesarios, actividad 5. Investigador, operador, recipiente plástico, recipiente de vidrio, guantes, cofia, tapa boca, comparador de cloro y pH colorimétrico, autoclave, hielo, nevera de icopor, papelería, transporte, bolígrafo.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	41 de 130

Tiempo requerido, actividad 5. 1 día.

5.2 FASE 2 Socialización del estado actual y operación de la PTAP compacta del municipio de Simití, complementada con la calidad del agua que esta produce.

- ✓ **Actividad 1.** Selección del material de apoyo para la presentación.

Descripción de la actividad 1. Se tuvo en cuenta documentos descargados de internet y libros, de los cuales se tomaron conceptos relacionados con la temática, Principalmente la información necesaria se tomó de los apuntes e imágenes tomadas a la PTAP en visitas anteriores.

Recursos necesarios, actividad 1. Investigador, Gerente COOAGUASIM papelería, computadora, bolígrafo, red de internet, RAS 2000 título C, Resolución 2115 de 20017.

Tiempo requerido, actividad 1. 2 días.

- ✓ **Actividad 2.** Implementación de las charlas.

Descripción actividad 2. Las charlas fueron dictadas en la cabecera municipal, dividiendo la cabecera por sectores y a entidades para así hacer eficiente la acogida de la temática. Dentro de los temas y conceptos presentados estuvieron los siguientes: agua cruda, agua potable, definición de PTAP convencional y sus componentes, descripción y funcionamiento de la PTAP tipo compacta, red de distribución, calidad del agua tratada, fuentes superficiales (énfasis en la ciénaga de Simití) y entre otras. Esto fue posible, gracias al acompañamiento y apoyo de la Cooperativa de servicio públicos de acueducto y aseo del municipio de Simití "COOAGUASIM". Principalmente se hizo énfasis en la descripción, funcionamiento y posterior comparación de cada tipo de planta, es decir de la PTAP convencional y compacta, se ilustro cada unidad existente en la planta compacta, mediante imágenes propias de la misma, también se tuvo en cuenta imágenes de plantas tipo convencionales de otro lugares. Al final de cada charla se cuestionó la temática, con el fin de evaluar los habitantes de cada sector. Por último se tomó registro de los comentarios, quejas y reclamos por parte de los usuarios del servicio de acueducto.

Recursos necesarios, actividad 2. Investigador, gerente COOAGUASIM, Secretaria, operador, fontaneros, equipo video vin EPSON, equipo de sonido, micrófono, papelería, bolígrafo, silletería, mesa, cámara fotográfica marca SONY, refrigerios.

Tiempo requerido, actividad 2. 15 días.

5.3 FASE 3 Mejoramiento de la PTAP compacta del municipio, mediante los diseños y rediseños de los módulos faltante y/o existentes siguiendo el RAS 2000.

De acuerdo a la fase del diagnóstico, se planteó la siguiente propuesta: se propone el mejoramiento de la PTAP compacta, mediante el diseño de unidades

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	42 de 130

faltantes, reforma y mejora de las unidades, accesorios y equipos existentes en la planta.

- ✓ **Actividad 1.** Recopilación de información de la normativa.

Descripción de la actividad 1. Se consultó información vigente en relación con diseños y operación de plantas de tratamiento de agua potable, ensayos de agua a nivel de laboratorios y calidad de agua.

Recursos necesarios, actividad 1. Investigador, computadora, red de internet, papelería, bolígrafo, libros.

Tiempo requerido, actividad 1. 1 día.

- ✓ **Actividad 2.** Determinación de unidades y componentes a optimizar.

Mediante un específico análisis, se determinaron los puntos críticos de cada unidad, cuya determinación fue en base al estado estructural y funcional. Paralelamente se identificaron y analizaron las unidades que requerían ser reformadas de acuerdo al periodo de diseño, estado y funcionamiento de las mismas. Es importante mencionar que en las instalaciones de la planta tipo compacta, existen unidades que están fuera de servicio, las cuales se tuvieron en cuenta para la reforma o rediseño de estas.

Recursos necesarios, actividad 2. Investigador, operador, papelería, bolígrafo, computadora.

Tiempo requerido, actividad 2. 3 días.

- ✓ **Actividad 3.** Estudio de tratabilidad a nivel de laboratorio.

Descripción de la actividad 3. Inicialmente se tomaron dos muestras puntuales de volumen considerable (40 Litros), dichas muestras fueron recolectadas en el punto donde está ubicada la boca toma flotante, esto con el fin de simular los ensayos de laboratorio de manera real con el agua captada de la fuente superficial, y así garantizar buen tratamiento al agua cruda de la ciénaga de Simití. Inmediatamente las muestras fueron llevadas al vecino municipio de San Pablo sur de Bolívar, en el cual se realizaron los diferentes ensayos de laboratorio que acoge el estudio de tratabilidad. Los ensayos se llevaron a cabo en el laboratorio de la PTAP del municipio de San Pablo.

El procedimiento para la realización de cada ensayo fue el siguiente: se analizaron las características iniciales del agua cruda, tales como: pH, turbidez y temperatura, cabe mencionar que al momento de medir las características solo se contaba con el Peachímetro, turbidímetro y termómetro. El estudio de tratabilidad comprende: dosis óptima de coagulación, pH óptimo de coagulación, concentración óptima de coagulación, ensayo para el diseño del floculador (ecuación de CAMP) y ensayo para la determinación de la carga hidráulica superficial.

Recursos necesarios, actividad 3. Investigador, laboratorista PTAP municipio de San Pablo, dos recipiente plástico de 20 litros, equipo de jarras de seis puestos, vaso de precipitado 1000ml, pipetas, jeringas, cronómetro, turbidímetro marca HANNA intrumenst, Peachímetro marca HANNA, transporte, alimentación.

Tiempo requerido, actividad 3. 8 días.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	43 de 130

✓ **Actividad 4.** Elaboración del diseño.

Descripción de la actividad 4. Conocidos los criterios de diseño y estudio de tratabilidad, se procede a diseñar las unidades faltantes y a reformar las existentes, consideradas en buen estado. El diseño fue soportado con criterios de autores reconocidos en la temática como son: JORGE ARTURO PEREZ PARRA, JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS y el RAS 2000.

Fue necesario utilizar el programa Microsoft Excel, el cual hizo fácil las operaciones matemáticas utilizadas en su respectivo diseño, también fue útil al momento de realizar ajustes estadísticos y gráficos requeridos para su posterior resultado y análisis. Es importante aclarar que los criterios de diseño, fueron tomados del RAS 2000 título C, Sistemas de potabilización, debido que es la normativa nacional vigente en cuanto al tema.

Recursos necesarios, actividad 4. Investigador, computadora, Microsoft Excel, calculadora, papelería, libros, estudio de tratabilidad, bolígrafo.

Tiempo requerido, actividad 4. 60 días.

5.4 FASE 4 Elaboración de los planos de cada unidad diseñada y reformada que harán parte de la PTAP mejorada.

✓ **Actividad 1.** Visualización del diseño.

Descripción de la actividad 1. Dimensionadas las unidades de potabilización, se procede a visualizar el diagrama y los planos de cada unidad, esto fue posible al software AutoCAD 2011. Cuyos planos son exigidos por la legislación colombiana en cuanto al diseño de plantas de potabilización se refieren. Previo a la elaboración de los planos el diseño de cada unidad debió cumplir con los criterios de diseño exigido por el RAS 2000 título C.

Recursos necesarios, actividad 1. Investigador, AutoCAD 2011, papelería, lápiz, computadora.

Tiempo requerido actividad 1. 7 días.

6. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS.

6.1 FASE 1 Diagnostico actual de la fuente superficial (ciénaga de Simití), PTAP compacta y de la calidad del agua tratada por la misma

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	44 de 130

- ✓ **Actividad 1.** Caracterización de la ciénaga de Simití con información secundaria.

Los resultados suministrados por los practicantes de la fundación OMASHA fueron analizados en los laboratorios de la Universidad de SALLE Bogotá, son los siguientes:

Tabla 6. Características físico-química y microbiológica de la ciénaga de Simití.

Parámetro	Resultado
pH	9,1
Conductividad microsiemens/cm	80
Solidos disueltos totales	30
Oxígeno disuelto mgO₂/L	2,16
Temperatura °C	29,5
Turbidez UNT	12,8
Cloruros Cl mg/L	3
Alcalinidad total CaCO₃ mg/L	47,2
Dureza total CaCO₃ mg/L	34,4
Dureza cálcica CaCO₃ mg/L	26
Magnesio mg Mg/L	2
Calcio mg Ca/L	10,4
Sulfato mg SO₄/L	2
DBO₅ mgO₂/L	18,4
DQO mgO₂/L	38,28
Fosfatos mgPO₄/L	0,027
Nitratos mg NO₃/L	0,24
Nitritos mgNO₂/L	0,01
Solidos suspendidos	23,3
Solidos disueltos	62
Coliformes Totales NMP/100 ml	528
Coliformes fecales NMP/100 ml	31
Plomo mg/L	< 0,029

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	45 de 130

Mercurio mg/L	< 0,002
Hierro mg Fe/L	0,66

Fuente: OMASHA 2014. █ Parámetros del RAS 2000

Tabla 7. Calidad de la ciénaga de Simití.

Parámetro	Resultado o ciénaga Simití	Nivel de calidad de acuerdo al grado de polución			
		1.Fuente aceptable	2.Fuente regular	3.Fuente deficiente	4.Fuente muy deficiente
DBO5 (mg/l)	18,4	1-3	3-4	4-6	>6
Coliformes totales (NMP/100 ml)	528	0-50	50-500	500-5000	>5000
Oxígeno disuelto mgO2/L	2,16	3 4	3 4	3 4	<4
pH promedio	9,1	6,0-8,5	5,0-9,0	3,8-10,5	
Turbiedad UNT	12,8	<2	2-40	40-150	>=150
Color verdadero UPC	N.D	<10	10-20	20-40	>=40
Gusto y Olor	N.D	Inofensivo	Inofensivo	Inofensivo	Inaceptable
Cloruros (mg/L-Cl)	3	<50	50-150	150-200	300
Grado de tratamiento					
Necesita tratamiento convencional		NO	NO	Sí, hay veces (ver requisitos para uso FLDE : literal C.7.4.3.3)	SI

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	46 de 130

Necesita unos tratamientos específicos	NO	NO	NO	SI
Procesos de tratamientos utilizado	(1)= Desinfeccion+Estabilizac ion	(2) = Filtración Lenta o Filtración Directa + (1)	(3) = Pretratamient o+ [Coagulación + Sedimentación + Filtración Rápida] o [Filtración Lenta Diversas Etapas] + (1)	(4) = (3) + Tratamientos específicos

Fuente: RAS 2000, titulo c. Editado Autor.

En la tabla 6, se dan a conocer los resultados de la caracterización realizada a la ciénaga de Simití con información secundaria en periodo de verano, dichos resultados fueron de gran importancia al momento de calificar el nivel de calidad de la fuente. Los parámetros como DBO5, coliformes totales, pH promedio, Turbiedad y Cloruros, fueron necesarios para determinar que la ciénaga de Simití es una fuente muy deficiente según la tabla 7, soportada por el RAS 2000, titulo C en su tabla C.2.1, el bajo nivel de oxígeno disuelto y la considerable demanda biológica de oxígeno, fueron los parámetros principales para calificarla como tal. De donde se concluye que su deficiente calidad obliga a realizar los siguientes procesos de tratamiento: pretratamiento, coagulación, sedimentación, filtración rápida y tratamientos específicos. En caso de presentarse eventos con el pH y la DBO similares a la tabla 6, se recomienda pre neutralizar y pre clorar el agua cruda, con el fin de disminuir el pH y eliminar la materia orgánica respectivamente, siendo los procesos que se recomiendan como tratamientos específicos.

✓ **Actividad 2.** Inspección de la PTAP.

Imagen 1. Visita PTAP compacta.



Fuente: Autor

Captación.

La estación de bombeo está conformada por una barcaza flotante, en la cual se encuentra instalado el sistema motor-bomba, protegido por un techo, las dimensiones de esta son de 6.3x4 metros construida en hierro. La barcaza está distanciada 75 m de la orilla de la ciénaga, cuya distancia es la misma que tiene la tubería de impulsión, la cual es de 4 pulgadas de diámetro en hierro galvanizado, luego esta se une con una tubería de 6 pulgadas en acero que tiene una longitud de 5 m, por ultimo esta tubería se une con otra del mismo diámetro que la anterior en material PVC, llegando está a la planta.

Imagen 2. Boca toma flotante.



Fuente: Autor

6.1.1 Diagnóstico de la PTAP compacta del municipio de Simití Bolívar.

Mezcla rápida: No existe unidad para tal proceso.

Floculación.

Después de la captación el agua cruda es llevada directamente a un pequeño y deteriorado floculador de flujo horizontal. En el cual se le aplica el coagulante

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	48 de 130

(Sulfato de Aluminio). El coagulante implementado acelera la corrosión de este módulo, ya que el mismo, está hecho en lámina metálica.

Se pudo evidenciar que el módulo de floculación no cumple su funcionamiento, debido que solo cuenta con tres tabiques separados cada 0,4 m, sumado a esto, dicho modulo está incompleto tanto en longitud y altura, consecuente a lo anterior el tiempo de retención hidráulico es corto. Por otro lado el floculador de flujo horizontal no tiene pendiente que facilite la recolección y evacuación de lodos, quedando estos en el fondo de la unidad, dichos lodos son re suspendidos al paso del flujo.

El floc formado en esta unidad es de pequeño tamaño, consecuencia a lo mencionado en el párrafo anterior, su pequeño tamaño no garantiza que tenga un peso suficiente para sedimentarse. Es evidente observar el floc en la unidad de sedimentación con igual tamaño al floc formado en el floculador.

Imagen 3. Floculador flujo horizontal.



Fuente: Autor

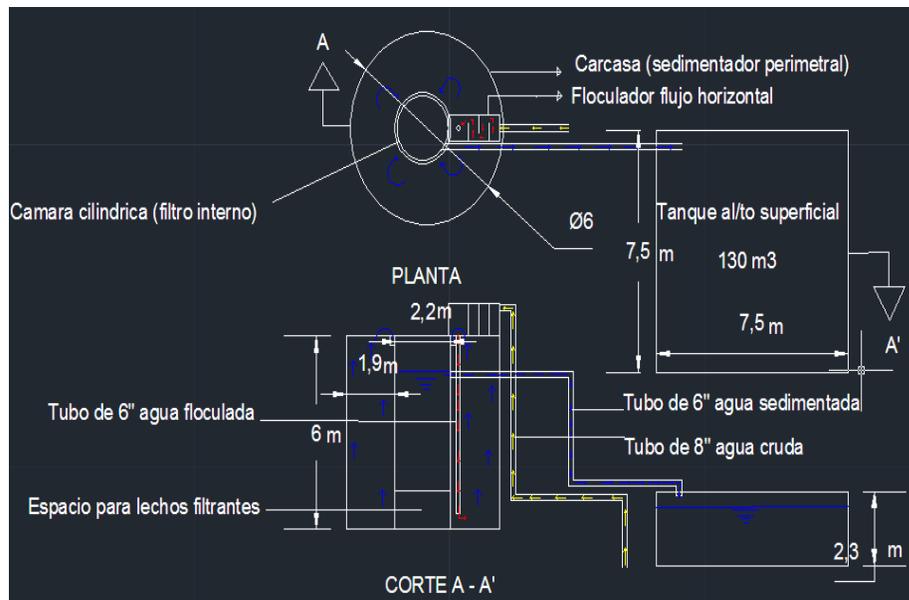
Sedimentación.

En la PTAP tipo compacta del municipio de Simití, el proceso de sedimentación se presenta muy poco, debido que la unidad existente esta fuera de servicio por su alta corrosión y deterioro (Cuadrante de placas planas). En la actualidad opera una carcasa (sedimentador perimetral), la cual rodea el antiguo filtro, este último fuera de servicio. A continuación se hace la descripción del módulo: Toda la unidad conjunta está construida en lámina metálica, el “filtro” está instalado dentro de la carcasa 1.90 m distante de la misma, dicho filtro tiene un diámetro interno de 2.20 m y una altura de 6 metros, el agua proveniente del floculador llega a la carcasa mediante un tubo ubicado en el fondo de esta, que la llena desde el fondo hacia arriba, cabe resaltar que la carcasa tiene la misma altura del filtro (6m), hasta encontrarse con cuatro vertederos rectangulares, los cuales vierten el agua a una canaleta circular, luego esta canaleta es llenada y realiza el vertimiento al “filtro”(cámara cilíndrica), de ahí al llenarse la cámara del filtro el agua es llevada al tanque de contacto de cloro a través de una tubería de 6 pulgadas de diámetro.



A finales del 2003 se construyó un tanque sedimentador en lámina metálica (cuadrante de placas) con las siguientes dimensiones 9 m de largo, 3,60 m de ancho y 3 m de profundidad. Este constaba de tres compartimientos que funcionaban como mezcla rápida, decantación y cámara de agua decantada.

Ilustración 15. Plano y funcionamiento actual de la PTAP compacta.



Fuente: Autor

Con el objeto de entender el funcionamiento descrito en el plano, se describen los símbolos citados en el mismo: Flechas color amarillo (agua cruda ciénaga de Simití), flechas rojas (agua floculada), flechas azules (agua sedimentada).

Imagen 4. Carcasa (Sedimentador perimetral).



Fuente: Autor

Filtración.

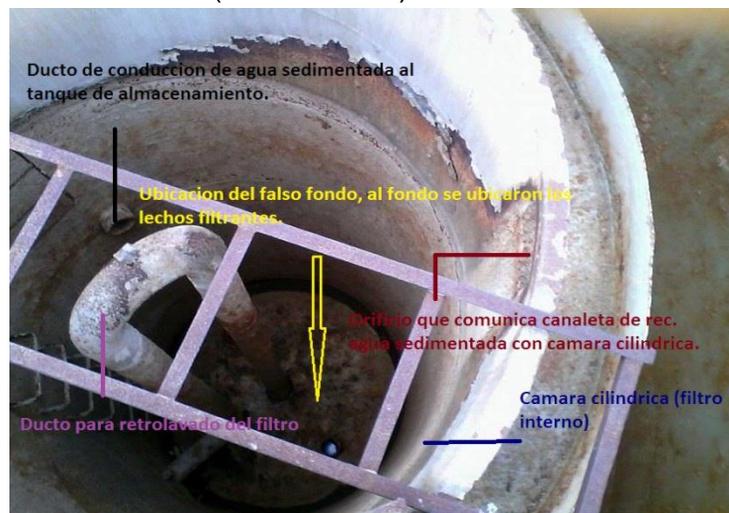
Este proceso en la planta no se realiza, puesto que la unidad como tal dejó de funcionar como filtro, quedando en la actualidad como cámara de recolección de agua “sedimentada” (cámara cilíndrica). En su momento la unidad de filtración operaba de la mejor manera, dicha unidad en la actualidad no funciona para tal fin, producto de la mala operación y mantenimiento, lo que ocasionó la colmatación de los lechos de antracita, arena y grava, deterioro considerable de la lámina metálica y alta corrosión. Cabe mencionar que el filtro está diseñado para operar con el

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	50 de 130

flujo ascendente. El filtro tiene un diámetro interno de 2.20 metros y una altura de 6 metros, la ubicación de los lechos está en el fondo de la cámara cilíndrica, en un compartimiento de altura igual a 1.20 m y diámetro equivalente al filtro.

Los filtros fueron intervenidos por medio del vaciado de los lechos filtrantes viejos y cambiados por un único lecho de grava de soporte (piedras recolectadas de las orillas de un Rio cercano). Según los operadores de la planta el trabajo del cambiado de los lechos fue perdido, debido que el agua no era filtrada por el nuevo material incorporado, lo que produjo de nuevo, sacar los filtros de operación.

Imagen 5. Cámara cilíndrica (Filtro interno).



Fuente: Autor

La alcaldía construyó un filtro adicional con el objeto de mejorar y ampliar la capacidad de la planta de tratamiento. Este tanque también está construido en lámina metálica de acero galvanizado de $\frac{1}{4}$ ", con las siguientes dimensiones: diámetro de 3 metros y altura de 6 metros, el falso fondo para el almacenamiento de los lechos tiene una altura de 1.20 metros, por lo tanto la altura interna del tanque para almacenamiento del agua filtrada es de 4.80 metros, tanto el funcionamiento como la estructura es similar al filtro inmerso en la carcasa.

Imagen 6. Funcionamiento del filtro adicional fuera de servicio.



Fuente: Autor

Cloración.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	51 de 130

En el caso de la PTAP tipo compacta del municipio de Simití el sistema de dosificación de cloro no se presenta de manera eficiente, debido que en la planta se aplica una solución de Hipoclorito de calcio al 70%, dicha solución se dosifica a través de una pequeña manguera que sale del tanque de preparación, vertiendo el chorro al tanque de almacenamiento superficial, el cual tiene un volumen aproximado de 130 m³, construido en concreto reforzado y su estado es pésimo, el tiempo de contacto en este no se presenta, debido que el tanque no cuenta con tabiques o baffles que orienten el flujo interno para que disminuya los puntos muertos, las dimensiones de dicho tanque son las siguientes: 7.5 m de largo, 7.5 m de ancho y 2.3 m de altura útil. Es importante mencionar que al instante que el flujo de agua clorada llega a esta unidad, es bombeada al tanque de almacenamiento elevado.

Imagen 7. Tanque de almacenamiento superficial 130 m³.



Fuente: Autor

De acuerdo al diagnóstico se pudo identificar y evaluar que tanto las unidades actuales de tratamiento y las que se encuentran fuera de servicio están en pésimo estado. Es evidente la apreciable corrosión e incompleto funcionamiento de todas unidades y sus componentes, el proceso de corrosión en la PTAP tipo compacta está íntimamente relacionado con la alta temperatura del agua de la ciénaga de Simití en épocas de verano, dosificaciones sin control técnico, correcto e inoportuno mantenimiento.

La unidad fuera de servicio que puede ser reformada sería el sedimentador de placas planas (cuadrante), debido que este presenta las mejores condiciones estructurales y funcionales respecto a la tarea que debe realizar. La otra unidad que podrá ser reformada serán los filtros. Caso contrario se observa en el floculador de flujo horizontal, sedimentador perimetral, debido que la alta corrosión ha debilitado la estructura metálica hasta el punto de desprenderse partes por sí sola.

✓ **Actividad 3.** Recopilación de información técnica de la PTAP.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	52 de 130

La siguiente información fue suministrada por la Cooperativa de servicios públicos de acueducto y aseo “COOAGUASIM” correspondiente al área administrativa y operativa:

Tabla 8. Información técnica, área administrativa

Ítem	Resultado
Población atendida	8250 habitantes
Número de usuarios	1789
Cobertura del servicio de acueducto	95%

Fuente: Autor

Respecto a la población atendida, se puede observar que el municipio de Simití Bolívar está ubicado en un nivel de complejidad medio, según la tabla A.3 del RAS 2000 Titulo A. De lo anterior se puede decir que el municipio es pequeño en la cabecera urbana de acuerdo a la población atendida por el servicio de acueducto. La poca población es evidente en el número de usuarios, categorizando a la empresa COOAGUASIM como pequeños prestadores. En cuanto a la cobertura del servicio de acueducto la empresa COOAGUASIM abarca casi el cien por ciento (100%), lo que indica que gran parte de la población atendida cuenta con este servicio.

Tabla 9. Información técnica, área operativa

Ítem	Resultado
Año de construcción PTAP tipo compacta	1973
Periodo de diseño PTAP compacta	30 año
Caudal de diseño PTAP compacta	15 L/s
Coagulante implementado	Sulfato de aluminio tipo B
Desinfectante implementado	Hipoclorito de calcio granulado al 70%
Control de la dosificación	Llave de paso, chorro a manguera
Calidad del agua tratada	Mala
Equipos, materiales y reactivos de laboratorio	Vasos de precipitado, pipetas, comparador de cloro y pH colorimétrico, ortotolidina, rojo fenol.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	53 de 130

Periodo de lavado de la PTAP tipo compacta	Cada 15 - 20 días
---	-------------------

Fuente: Autor

Se pudo determinar que la PTAP tipo compacta cumplió su periodo de diseño en el año 2003, año en el cual se construyó unidades adicionales como son: sedimentador de placas planas (cuadrante) y filtro mixto de flujo ascendente. Con las unidades adicionales se buscó mejor la calidad del agua y atender la considerable demanda de agua potable en la época.

En la actualidad el caudal de diseño es una limitante para los conceptos de calidad del agua y oferta de la misma, de tal manera que el poco caudal no satisface con la demanda actual por parte de la población, generando la sectorización del servicio de acueducto. Los equipos de laboratorio existentes no son utilizados, ya que están averiados y el conocimiento de estos es mínimo, por tal razón no se realizan pruebas de tratabilidad al agua, lo que genera la dosificación empírica y tanteada de los productos químicos. Lo anterior tiene una consecuencia significativa, la cual es la producción de agua de mala calidad.

✓ **Actividad 4.** Pruebas hidráulicas.

Se pudo identificar que el flujo de agua cruda, llega a la planta gracias a la impulsión de las bombas ubicadas en captación. Posteriormente llega al floculador de flujo horizontal mediante la boca de un tubo de 6", entregando 18 L/s en un vertimiento tipo chorro a tubo lleno, mencionando que la cota batea del tubo que entrega el agua cruda al floculador esta distanciado 0,8 m desde el fondo del mismo. Es importante mencionar que el máximo caudal impulsado por la bomba en boca toma es de 30 L/s, aforado por el método volumétrico en el registro del desague del caudal de exceso y lavado. Los 18 L/s son regulados por el número de vueltas en sentido de cerrar, aplicado a una válvula de 6", ubicada 0,7 m a la salida de la bomba (impulsión), al no controlarse el número de vueltas en la válvula llegarían a la planta los 30 L/s, caudal no deseado por el rango de tratabilidad de la planta compacta. Los 18 L/s satisfacen la demanda y la poca tratabilidad de agua producida por la planta, sobrepasando el caudal de diseño de la planta (15 L/s), a esto se le atribuye la poca tratabilidad al agua.

Se pudo observar a simple vista que el tiempo de retención hidráulico y el brusco movimiento de flujo en cada unidad no cumple con los criterios de diseño citados en el RAS 2000, título C. Dicho incumplimiento se presenta en floculador de flujo horizontal, sedimentador perimetral (carcasa) y tanque de contacto (tanque de almacenamiento superficial).

El poco tiempo en el floculador produce un floc muy pequeño, por ende, poco peso, llegando este floc al sedimentador perimetral con insuficiente tamaño y peso para decantar en esta unidad, luego este floc pasa a las unidades de cloración, almacenamiento y distribución, adicional la gran energía de flujo producto de alturas considerables re suspenden y perturban el mínimo proceso que llega a presentar en el agua. Por eso es importante que el correcto tiempo de retención y flujo del agua cumplan con los criterios establecidos, para poder garantizar el óptimo funcionamiento de cada unidad y por ende buena calidad del agua.



Imagen 8. Vaciado PTAP compacta.



Fuente: Autor

Imagen 9. Medición de caudal PTAP



Fuente: Autor

Imagen. No10. Llegada 18 L/s floculador. **Imagen11.** Pruebas hidráulicas PTAP.



Fuente: Autor



Fuente: Autor

✓ **Actividad 5.** Muestreo del agua tratada.

La muestra de agua tratada fue analizada en el laboratorio departamental de salud pública de Santander, estos son los resultados arrojados por dicho análisis:

Tabla 10. Resultados análisis físico químico y microbiológico del agua tratada por PTAP compacta.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	55 de 130

República de Colombia



LABORATORIO DEPARTAMENTAL DE SALUD PUBLICA

Gobernación de Santander

Muestra No:1750		Fecha de Toma:18/11/2014		
Solicitante: COOAGUASIM	CEL:3125326199	Fecha de Recepción: 19/11/2014		
Dirección: CALLE LA SOLEDAD N 11-56		Fecha de Analisis:19/11/2014		
Departamento: BOLIVAR		Municipio:SIMITI		
Lugar/Pto: PTAP BARRIO LAS PALMERAS		Tomada por: RAUL DE LA HOZ MENDOZA		
Dir. Lugar: CALLE DEL HOSPITAL		Desinfectante: Cloro	Coagulante: NR	
Analisis: Físicoquímico- Microbiológico	Muestra para: CALIDAD	Agua: TRATADA		
PARAMETRO	RESULTADO	VALORES ACEPTABLES	UNIDADES	DIAGNOSTICO
Sustancias Flotantes	Ausencia	Ausencia	****	APTA
Color	10,3	Menor o igual a 15	UPC	APTA
Turbiedad	2,770	Menor o igual a 2	UNT	NO APTA
Conductividad	110,90	HASTA 2400	u siemens/cm	APTA
pH	6,80	6,5 - 9,0	Uinidades de pH	APTA
Cloro Residual	1,20	Mayor a 0,1 y Menor a 2	mg/Cl ₂ /L	APTA
Dureza Total	52,78	Menor o igual a 300	mgCaCO ₃ /L	APTA
Calcio	12,42	Menor o igual a 60	mgCa/L	APTA
Sulfatos	27,42	Menor o igual a 250	mg SO ₄ -/L	APTA
Fosfatos	****	Menor o igual a 0.5	mg PO ₄ 3-/L	****
Hierro Total	0,50	Menor o igual a 0.3	mg Fe/L	NO APTA
Cloruros	0,29	Menor o igual a 250	mg Cl ⁻ /L	APTA
Nitratos	****	Menor o igual a 10	mg NO ₃ /L	****
Nitritos	0,00	Menor o igual a 0.1	mg NO ₂ /L	APTA
Fluoruros	****	Menor o igual a 1	mg F ⁻ /L	APTA
Coliformes Totales	0,0	Menor a 0	UFC/100 CM ₃	APTA
E Coli	0,0	Menor a 0	UFC/100 CM ₃	APTA
Alcalinidad	32,00	Menor o igual a 200	mgCaCO ₃ /L	APTA
Magnesio	9,69	Menor o igual a 36	mgMg/L	APTA
Aluminio	0,23	Menor o igual 0,2	mg Al+3/L	NO APTA

Observaciones: Ph y Cloro medido in situ

La muestra de agua Potable es NO APTA para consumo humano según Resolución 2115/2007.



Analista Físicoquímico



Analista Bacteriológico



Coordinador del Laboratorio

Fuente: COOAGUASIM. 2015.

Según la tabla 10, la turbiedad, hierro y aluminio no cumplen con los valores aceptables según la resolución 2115 del 2007, lo cual califica la muestra de agua como agua no apta para consumo humano de acuerdo a la misma resolución. Este resultado es uno de los que mensualmente la ADMINISTRACION PÚBLICA COOPERATIVA DE SIMITI "COOAGUASIM" realiza en cada uno de los puntos de concertación, siendo la PTAP compacta uno de estos puntos. Cabe resaltar que la mayoría de las muestras analizadas cada mes arrojan los mismos resultados respecto a los parámetros no aceptables. Estos resultados reflejan el mal estado de las unidades y deficiente operación y mantenimiento de la PTAP compacta. La turbiedad es el parámetro que en cada muestra está por fuera del valor aceptable, debido al mínimo proceso de floculación y sedimentación que se da en la planta, el resultado de aluminio está relacionado con la dosificación del sulfato de aluminio aplicada sin criterio técnico, lo que indica que la dosificación de aluminio es significativa y por ende deja un residual de aluminio en el agua tratada por la planta. La coagulación – floculación son procesos fundamentales para la remoción del hierro, dichos procesos no se dan con eficiencia en la planta, adicional la PTAP compacta está construida en lámina metálica (hierro). Los procesos y el

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	56 de 130

material en el cual está construida la planta pueden ser consecuentes a la alta concentración de hierro en el agua tratada.

Con el fin de corroborar la calificación del agua tratada por parte del laboratorio departamental de salud pública de Santander, se determinó el IRCA (Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano) en cuál es el instrumento de control básico de calidad de agua para consumo humano. Para el cálculo del IRCA se tuvo en cuenta el cuadro número 6 del artículo 13 de la Resolución 2115 de 2007, en dicho cuadro se le asigna el puntaje de riesgo a cada característica del agua, también se acogió el procedimiento citado en la misma resolución. El resultado del IRCA se da a conocer (ANEXO A).

6.2. Socialización del estado actual y operación de la PTAP compacta del municipio de Simití, complementada con la calidad del agua que esta produce.

- ✓ **Actividad 1.** Selección del material de apoyo para la presentación.

El material principalmente seleccionado fue el estado de la planta tipo compacta, su funcionamiento y calidad de agua producida por esta misma. Derivando temas y subtemas de la temática principal, dentro de los cuales se citaron los siguientes: agua cruda, agua floculada, agua sedimentada, agua filtrada, agua tratada, definición de PTAP y sus componentes de acuerdo a la planta tipo compacta, red de distribución, uso ahorro eficiente del agua, distribución del agua en el planeta, productos químicos incorporados en el tratamiento del agua (caso Simití, sulfato de aluminio e hipoclorito de calcio). Todo lo anterior con imágenes tomadas DE la planta compacta.

- ✓ **Actividad 2.** Implementación de las charlas.

La temática y conceptos seleccionados fueron entendidos por parte de la población de manera clara y precisa, generando las inquietudes pertinentes a cada concepto expuesto, las cuales fueron aclaradas por el equipo de trabajo de COOAGUASIM. La presentación de la temática expuesta fue ilustrativa, ya que la comunidad Simiteña pudo evidenciar con claridad cada una de las diapositivas y su contenido, dentro de la presentación también se ilustró imágenes de la planta tipo compacta, generando impacto visual a la población, quedando claro lo expuesto, como son los procesos que se llevan a cabo en la planta. Muchos de los usuarios y habitantes de cada sector presentaron inconformidad y dudas con la prestación del servicio de acueducto, en lo que refiere a calidad y continuidad del mismo. Dichos usuarios aclararon dudas e inconformidad con lo expuesto, ya que pudieron entender y visualizar el porqué de la mala calidad y continuidad del agua tratada por la PATP tipo compacta. A continuación se enseñan las evidencias.

Imagen 12. Implementación charlas **imagen 13.** Implementación de charlas.



Fuente: Autor

Imagen 14. Implementación charlas.



Fuente: Autor

Imagen 15. Implementación charlas.



Fuente: Autor



Fuente: Autor

6.3 FASE 3 Mejoramiento de la PTAP tipo compacta del municipio, mediante los diseños y rediseños de los módulos faltante y/o existentes siguiendo el RAS 2000.

- ✓ **Actividad 1.** Recopilación de información de la normativa.

La información que se tuvo en cuenta, fue la normativa colombiana vigente, relacionada con diseño, operación y funcionamiento de plantas de tratamiento de agua potable. Dentro de estas normativas estuvieron las siguientes: Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000 título C, resolución 2115 del 2007. Es importante mencionar que se adoptaron criterios de autores reconocidos el tema de diseño de PTAP.

- ✓ **Actividad 2.** Determinación de unidades y componentes críticos a mejorar.

De acuerdo a la fase de diagnóstico los puntos críticos son los siguientes: floculador de flujo horizontal, tubería de conducción de agua floculada, sedimentador perimetral, canaleta de recolección de agua sedimentada, filtros rápido de lechos mixtos de flujo ascendente.

Las unidades a reformar, se identificaron de acuerdo a su ligero deterioro, las cual son, el sedimentador de placas planas construido en lámina metálica y los filtros rápidos de lechos mixtos, recalcando que ambas unidades están fuera de

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	58 de 130

servicio. Otro criterio a tener en cuenta para la reforma de las unidades fue la gran capacidad y por ende las dimensiones apreciable de estas.

✓ **Actividad 3.** Estudios de tratabilidad a nivel de laboratorio.

Para garantizar un buen diseño y correcto funcionamiento de una planta de tratamiento de agua potable, se hace necesario determinar parámetros fundamentales mediante ensayos de laboratorio. Los ensayos del laboratorio son relevantes desde diferentes puntos de vista, uno de los puntos más importante es la eficiencia de remoción de cada unidad, íntimamente relacionada con el buen diseño de las mismas, dependiendo de confiables resultados que se le hayan realizado al agua a tratar. Los ensayos realizados son los siguientes:

- ✓ Determinación de la dosis optima de coagulación.
- ✓ Determinación del pH óptimo de coagulación.
- ✓ Determinación de la concentración optima de coagulación.
- ✓ Determinación del tiempo óptimo de mezcla rápida.
- ✓ Determinación del tiempo óptimo de mezcla lenta.
- ✓ Determinación del número de CAMP.
- ✓ Determinación de la carga hidráulica superficial.

Determinación de la dosis optima de coagulación.

Características físico química iniciales que se midieron al agua cruda de la ciénaga de Simití:

- ✓ **Turbiedad = 12,8 UNT** (Unidades nefelométrías de turbiedad).
- ✓ **Potencial de hidrogeno (pH) = 7,72** unidades de PH.
- ✓ **Temperatura = 29 ° C**

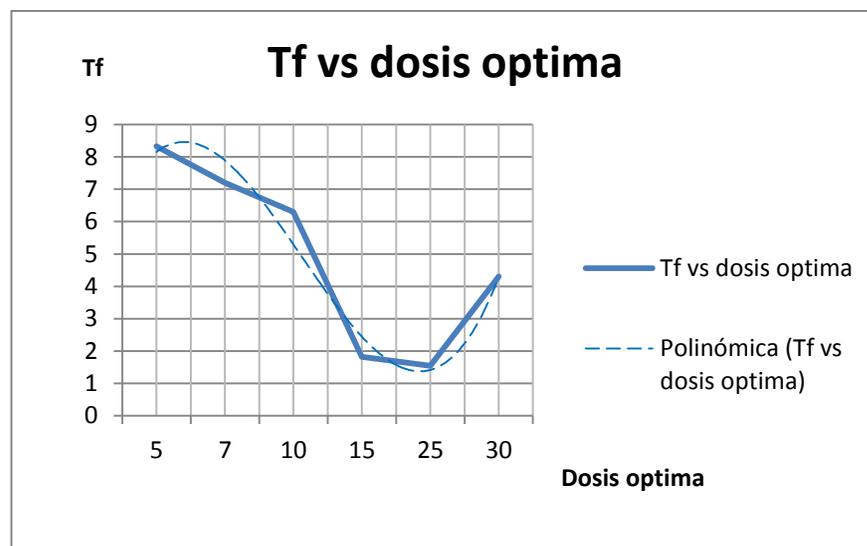
Para realizar esta prueba se tuvieron en cuenta 6 jarras de 1000ml, se adoptaron dosis de acuerdo a la turbiedad inicial del agua cruda, las cuales fueron: 5, 7, 10, 15, 25 y 30 mg/l, aclarando que a cada jarra se adiciono una dosis. Es importante mencionar que el coagulante con el cual se realizaron los ensayos fue el sulfato de aluminio tipo BE, debido a los buenos resultados observados en la PTAP compacta. Los datos se observan en la tabla 11 y grafico 1.

Tabla 11. Dosis óptima.

Dosis (mg/l)	Tf (UNT)
5	8,33
7	7,2
10	6,3
15	1,82
25	1,54
30	4,3

Fuente: Autor

Grafico 1. Turbiedad final Vs Dosis óptima.



Fuente: Autor

La tabla 11 da a conocer los resultados de la prueba de jarra, con la cual se determinó la dosis óptima de coagulación a partir de las dosis adoptadas, en dicha tabla se resalta la dosis en miligramos por litro (mg/l) que menor resultado de turbiedad final arrojo respecto a la turbiedad inicial. Esta dosis se corrobora con el respectivo ajuste realizado al grafico 1, donde se observa una dosis óptima de 25 mg/l para obtener 1,54 UNT de turbiedad final.

Determinación del pH óptimo de coagulación.

Para conocer el Potencial de hidrogeno (PH) con el cual el agua cruda coagula y flocula mejor, fue necesario realizar una prueba de jarras similar al ensayo de dosis optima, siendo la dosis optima un parámetro fundamental para determinar el pH óptimo de coagulación. Cabe resaltar que esta prueba es similar, pero diferente al ensayo de la dosis óptima, ya que el pH del agua cruda tuvo que ser modificado en cada jarra, quedando solo una jarra con el pH natural del agua de la ciénaga de Simití. En la tabla 12 y grafico 2 se observan los resultados del ensayo pH óptimo.

Tabla 12. Potencial de hidrogeno óptimo (pH).

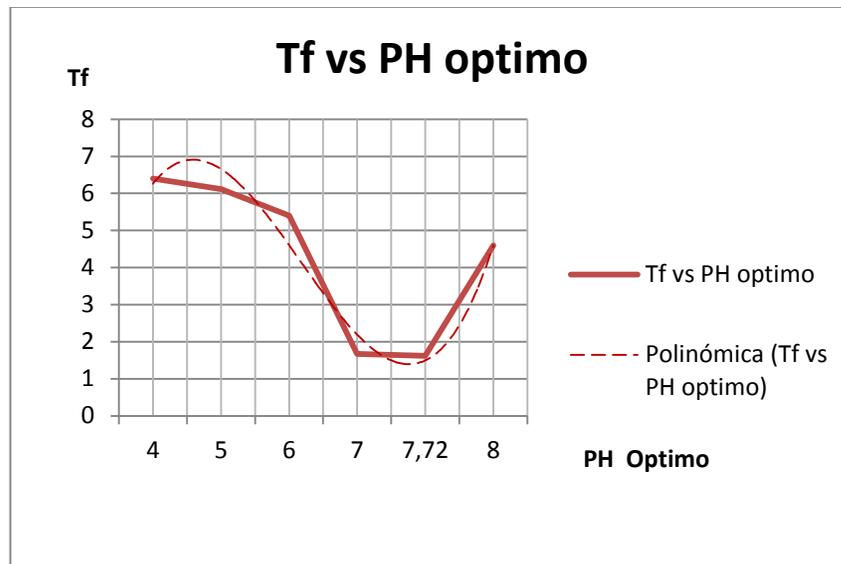
PH	Tf (UNT)
4	6,4
5	6,12
6	5,4
7	1,67
7,72	1,62
8	4,6

Fuente: Autor

En la tabla 12 se observa los valores de pH al cual fue llevada cada muestra de agua en su respectiva jarra (columna izquierda), como también se reflejan los resultados de turbiedad final de cada pH. Se resalta que la jarra número 5 con pH 7,72 obtuvo menor turbiedad final de 1,62 UNT respecto a la turbiedad inicial (12,8 UNT).



Grafico 2. Turbiedad final Vs pH óptimo.



Fuente: Autor

Con el grafico 2 de los datos obtenidos en la prueba anterior (pH optimo) y su posterior ajuste, se pudo corroborar que el pH con el cual, el agua cruda de la ciénaga de Simití coagula y flocula de manera óptima, es el pH natural promedio de la misma (7,72), teniendo como resultado una turbiedad final de 1,62 UNT, aclarando que esta turbiedad se obtendrá en el proceso de sedimentación, ya que es el último proceso simulado en la prueba de jarras, faltándole a el agua sedimentada el proceso de filtración.

Concentración óptima de coagulación.

Una vez determinada la dosis optima de coagulacion y pH optimo de coagulacion, se determina mediante ensayo de jarras la concentracion optima del coagulante, con este ensayo fue posible determinar la concentracion a la cual el agua cruda de la cienaga de Simití tendra mejor proceso de coagulacion y floculacion. Tambien se modificaron las concentraciones que se aplicarian a cada jarra. A continuacion se enseña los resultados:

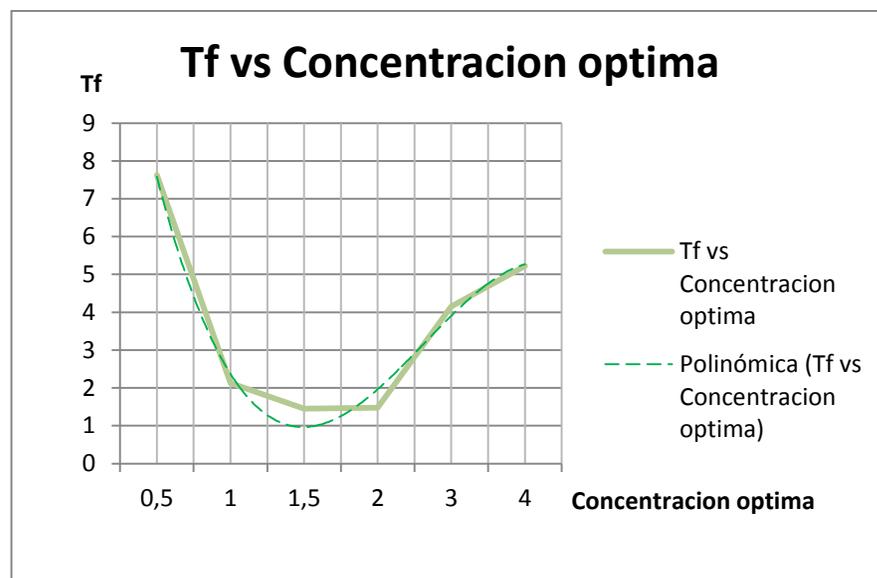
Tabla 13. Concentracion optima.

Concentra (%)	Tf (UNT)
0,5	7,63
1	2,13
1,5	1,45
2	1,48
3	4,15
4	5,22

Fuente: Autor

Según la tabla 13 la concentracion que obtiene una turbiedad baja respecto a la inicial es la del 1,5%.

Grafico 3. Turbiedad final Vs Concentracion optima.



Fuente: Autor

Según el comportamiento del gráfico 3 y su respectivo ajuste, se puede observar que la turbiedad más baja es aproximadamente 1 UNT, obtenida de la concentración de 1,5 %, dato muy cercano a la turbiedad en la tabla 13. Lo anterior quiere decir que la concentración a la cual el agua de la cienaga de Simití tendrá una óptima coagulación- floculación es de 1,5%.

Tiempo óptimo de mezcla rápida (TOPMR).

Conociendo la dosis óptima, pH óptimo y concentración óptima de coagulación que requiere el agua cruda de la cienaga de Simití para un buen tratamiento, se procede a la determinación del Tiempo óptimo de mezcla rápida. Para determinar este parámetro se hizo necesario realizar una prueba de jarras en la cual se seleccionaron diferentes tiempos en segundos para cada jarra, teniendo en cuenta los resultados de los ensayos de jarras previos. En la tabla 14 se enseñan los resultados para cada tiempo de mezcla rápida adoptado, y en el gráfico 4 se determina el comportamiento de la turbiedad final respecto al tiempo de mezcla rápida.

Tabla 14. Tiempo óptimo de mezcla rápida

TMR (seg)	Tf (UNT)
10	6,47
20	8,35
30	5,32
40	1,86
50	1,42
60	5,27

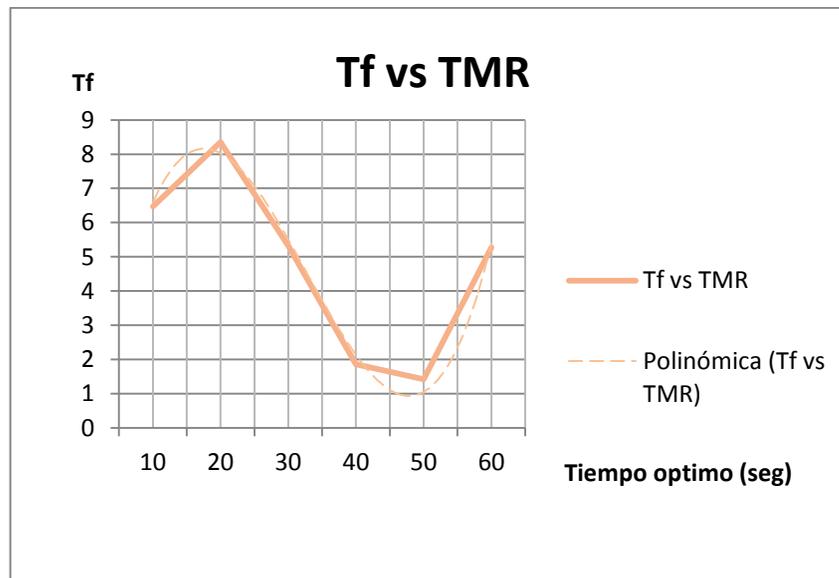
Fuente: Autor

En la tabla 14 se observan los diferentes tiempos de mezcla rápida que se asignó a cada jarra, arrojando el tiempo de 50 segundos una turbiedad final de 1,42 UNTN. Se aclara que la medición de turbiedad final se realizó después de que la muestra de agua fuera sometida a los diferentes tiempos citados en la prueba de jarra,



dentro de estos tiempos encuentra el de mezcla rapida, luego el de mezcla lenta y por ultimo el de sedimentacion.

Grafico 4. Turbiedad final Vs Tiempo de mezcla rapida.



Fuente: Autor

Del grafico 4 se obtuvo un tiempo optimo de mezcla rapida de 48 segundos con una turbiedad final de 1 UNT respecto a la turbiedad del agua cruda (12,8 UNTN). Se tendra buen proceso de coagulacion- floculacion con un tiempo de mezclado rapido de 48 segundos, produciendo una turbiedad final de agua sedimentada de 1 UNT. Lo anterior se considera muy buena remocion de turbiedad.

Tiempo optimo de mezcla lenta (TOPML).

Al igual que el TOPMR, se determio el tiempo optimo de mezcla lenta, dicho tiempo se presenta en los floculadores. Mediante ensayo de jarra y con las dosis y parametros anteriormente calculado, se procedio a determnr el TOPML, se adoptaron tiempos de 5, 10, 15, 20, 25 y 30 min. Aclarando que cada tiempo es para una jarra en orden ascendente, con lo cual se puede determinar cual de ellos realiza un optimo proceso de coagulacion floculacion. En la tabla 15 se observan los resultados para cada tiempo de mezcla lenta, y en el grafico 5 se determina el TOPML respecto al ajuste de los resultados obtenidos en el laboratorio.

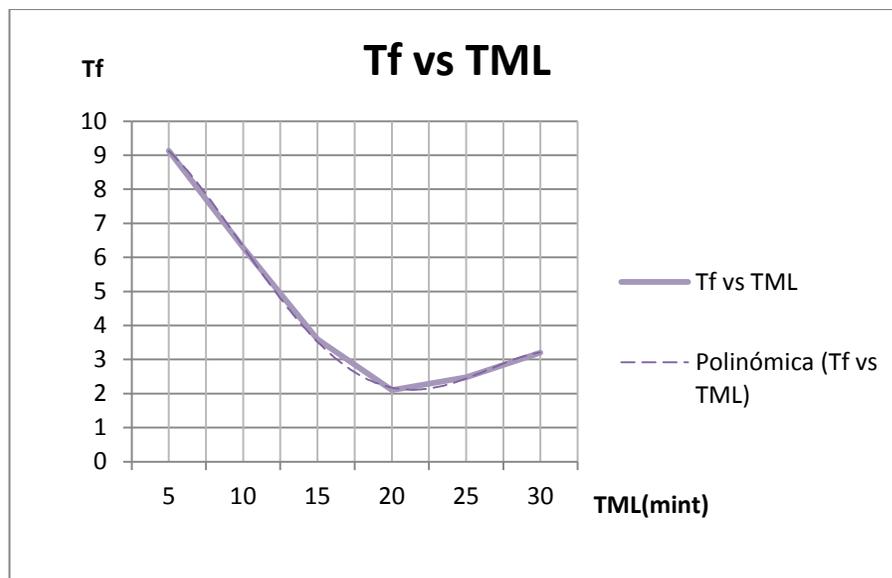
Tabla 15. Tiempo optimo de mezcla lenta.

TML (min)	Tf (UNT)
5	9,13
10	6,28

15	3,6
20	2,1
25	2,48
30	3,2

Fuente: Autor

Grafico 5. Turbiedad final Vs Tiempo optimo de mezcla lenta.



Fuente: Autor

El comportamiento del ajuste del grafico 5, tiende a caer en un TOPML de 21 minutos generando una turbiedad final de 2,1 UNT. Lo anterior quiere decir que el tiempo de mezcla lenta al cual el agua cruda de la cienaga de Simití tendra buen proceso de floculacion sera de 21 minutos.

Ecuacion de CAMP con la cual se diseñan los floculadores.

Los resultados obtenidos en todas los ensayos anteriormente determinados, fueron fundamentales para hallar la ecuacion mencionada. Para hallar la ecuación de CAMP fue necesario realizar varios ensayos de jarras, en los cuales se tomaron diferentes tiempos de mezcla lenta y diferentes revoluciones por minutos reguladas en el aprato de jarra. A continuacion se observan los resultados para llegar a la ecuacion de CAMP:

Tabla 16. Turbiedad final y turbiedad final/turbiedad inicial a diferentes tiempos y distintas revoluciones.

To	12,8	5'		10'		15'		20'		25'		30'	
RPM	G	Tf	Tf/To	Tf	Tf/To	Tf	Tf/T	Tf	Tf/T	Tf	Tf/T	Tf	Tf/To



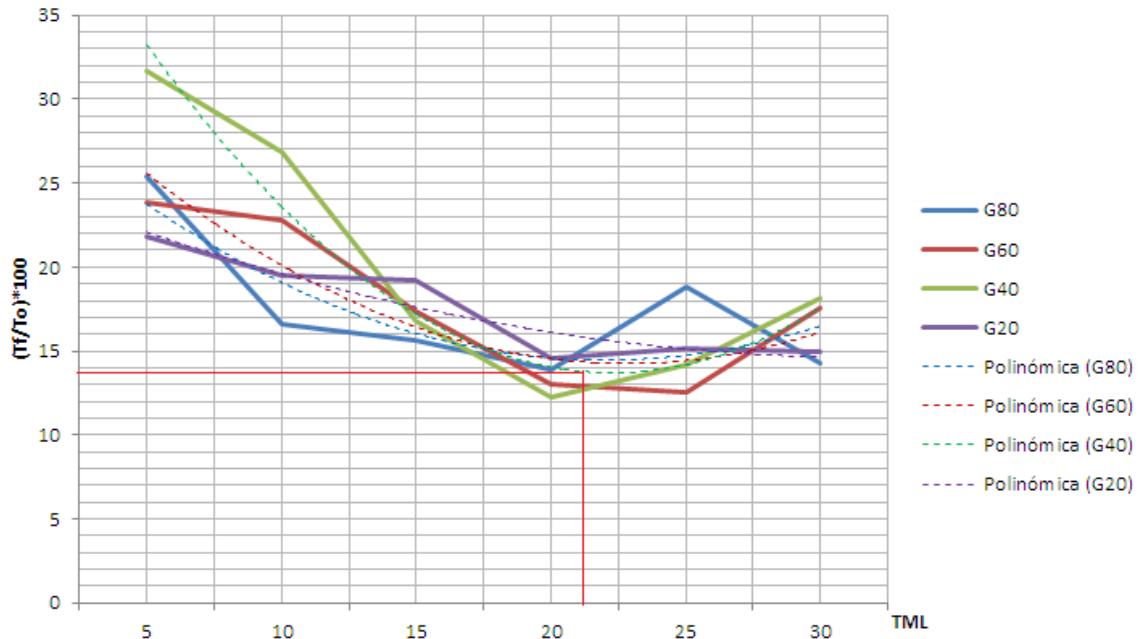
							o		o		o		
120	80	3,25	25,4	2,13	16,6	2	15,6	1,78	13,9	2,4	18,8	1,83	14,3
80	60	3,05	23,8	2,92	22,8	2,22	17,3	1,67	13,1	1,6	12,6	2,25	17,6
40	40	4,05	31,6	3,43	26,8	2,15	16,8	1,57	12,7	1,8	14,3	2,32	18,2
20	20	2,79	21,8	2,5	19,5	2,46	19,2	1,86	14,5	1,9	15,5	1,91	14,9

Fuente: Autor

En la tabla 16 se observan los resultados de las cuatro pruebas de jarra a diferentes revoluciones por minuto (RPM) y tiempos de mezcla lenta a los que fue sometida la muestra de agua cruda de la cienaga de Simití, para así poder determinar a cuantas revoluciones por minuto y tiempo de mezcla lenta coagula y flocula mejor el agua cruda. Es importante aclarar que los tiempos de mezcla lenta están expresados en minutos (5', 10', 15', 20', 25' Y 30') y los valores de las RPM comprenden 120, 80, 40 y 20. A continuación, En el gráfico 6 se evidencia las curvas de cada una de las cuatro pruebas o ensayos de jarras.

Grafico 6. Porcentaje de turbiedad removida Vs TML

$(Tf/To)*100$ Vs TML



Fuente: Autor

En el gráfico 6 se observa que para un tiempo de mezcla lenta de 21,125 minutos y con un gradiente de 40 seg⁻¹, se logra obtener un porcentaje parcial de 14% de remoción. Conociendo que la turbiedad del agua cruda es 12,8 UNT, dicha turbiedad representa el cien por ciento previo a la prueba de jarra. una vez terminada la prueba 3 (40 RPM) se midió la turbidez o turbiedad final en la jarra número 4 (1,57 UNT), de ahí se conoce el 14% de remoción parcial. Se aclara que los valores se tomaron de las curvas ajustadas (Polinómicas), es de ahí que los resultados tienen un desfase ligero respecto a la tabla 16. Con lo anterior se determinó el porcentaje total de turbiedad removida en dicha prueba, de la siguiente manera se obtuvo el porcentaje Total: %T=(100%-14%)= 86%. De lo anterior se concluye que para un gradiente de 40 seg⁻¹ (40 RPM) y un tiempo de mezcla

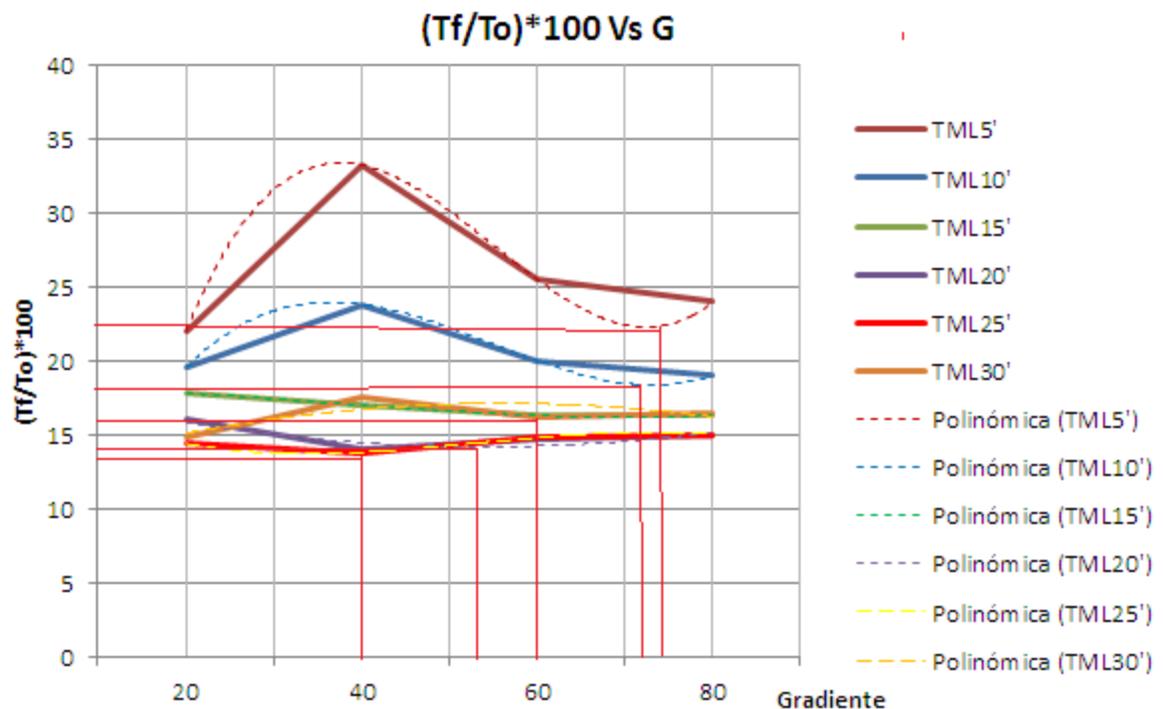


lenta de 21,125 minutos se remueve del agua cruda de la cienaga el 86% de la turbiedad presente en la misma.

En el grafico 6 tambien se observan los porcentajes de remocion de los gradientes 20, 60 y 80 seg-1 con sus respectivos tiempos de mezcla lenta.

Respecto a los tiempo de mezcla lenta del grafico 6 se tomaron porcentaje de turbiedad removida con respecto a cada gradiente de velocidad. Acontinuacion se observa el comportamiento del porcentaje de turbiedad removida respecto a los gradientes de velocidad:

Grafico 7. porcentaje de turbiedad removida Vs G s-1.



Fuente: Autor

Del grafico 7 se observa que cada tiempo de mezcla lenta tiene como resultado un gradiente de velocidad respecto al porcentaje de turbiedad removida. Los tiempos de 20 y 25 ´(minutos) con gradientes comprendio en 40 y 53 s-1 tienen resultados benificiosos de acuerdo al porcentaje de remocion de turbiedad entre el 85 % y 87% según el grafico. Del grafico 7 se obtiene la la tabla 17, la cual se enseña a continuacion:

Tabla 17. Tiempo de mezcla lenta con sus respectivoa gradientes de velocidad.

TML (Min)	5	10	15	20	25	30
G (S-1)	75	73	60	53	40	40

Fuente: Autor

En la tabla 17 se da a connocer el gradiente señalado de acuerdo al tiempo de mezcla lenta y porcentaje de turbiedad removida.

Los datos obtenidos en la tabla 17 provinen del laboratorio y procesos matematicas, por esto, se hace necesario realizar el ajuste a dichos datos, con el fin de minizar errores en las mediciones y/o calculos matematicos. El ajuste

realizado se llevo a cabo por el metodo de Minimos cuadrados, a continuacion se conocen los resultados:

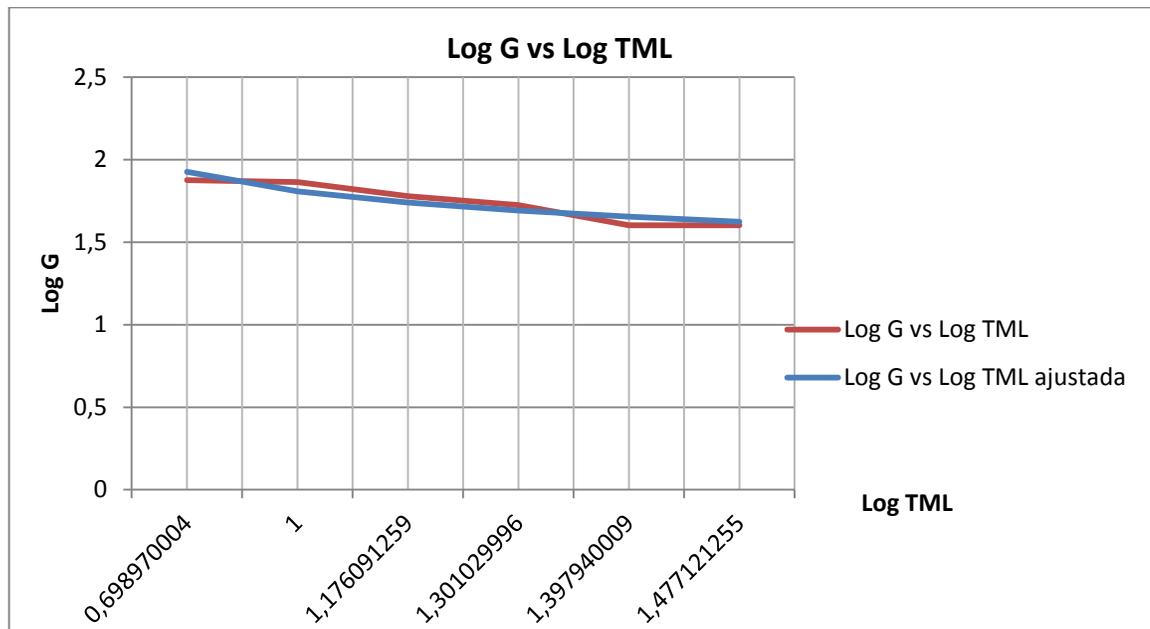
Tabla 18. Ajuste por mininos cuadrados.

TML		G			
TML	LOG(Xi)	G	LOG(Yi)	Xi^2	Xi*Yi
5	0,69897	75	1,87506126	0,48855907	1,31061158
10	1	73	1,86332286	1	1,86332286
15	1,17609126	60	1,77815125	1,38319065	2,09126814
20	1,30103	53	1,72427587	1,69267905	2,24333463
25	1,39794001	40	1,60205999	1,95423627	2,23958376
30	1,47712125	40	1,60205999	2,1818872	2,36643686
	7,05115252		10,4449312	8,70055224	12,1145578

Fuente: Autor

Para obtener cada una de las variables, se tuvo en cuenta paso a paso el procedimiento citado por el metodo de minimos cuadrados, este procedimiento tiene una serie de operaciones matematicas que deden seguirse rigidamente para determinar las variables requeridas y asi poder hallar las constantes de la recta, de esto depende el confiable resultado del ajuste y posterior determinación de la ecuacion de CAMP.

Gráfico 8. Logaritmo del Gradiente de velocidad Vs logaritmo Tiempo de mezcla lenta.



Fuente: Autor

Ecuacion de la recta:

$$y = bx + a$$

Donde:

b: Pendiente de la recta.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	67 de 130

a: Punto Intercepción en el eje y.

$$a = \frac{222 * 222^2 - 222 * 222 * 22}{2 * 22^2 - (22)^2}$$

$$a = \frac{2(222 * 22) - 222 * 222}{2(222^2) - (222)^2}$$

Entonces: **a= 2,19558851; b= -0,3869**

Para obtener la ecuacion de CAMP se realizaron los siguientes calculos:

$$y = -0,3869x + 2,19558;$$

$$\text{Log } G = (-0,3869)\text{Log TML} + 2,19558$$

$$\frac{\text{Log } G}{0,3869} = \frac{(-0,3869)\text{Log TML}}{0,3869} + \frac{2,19558}{0,3869}$$

$$2,5846\text{Log } G = -\text{Log TML} + 5,6747$$

$$2,5846\text{Log } G + \text{Log TML} = 5,6747$$

ECUACIÓN DE CAMP.

$$2,5846 * 222 = 22^{2,5846}$$

$2 = \left(\frac{22^{2,5846}}{222}\right)^{\frac{1}{2,5846}}$; Con la ecuacion de CAMP determinada, se procedio al calaculo de los gradientes de velocidad en cada compartio del floculador. En la siguiente actividad (Actividad 4. Elaboracion de los diseños) se detalla el diseño de los floculadores de acuerdo al gradiete de velocidad determinado por la ecuacion de CAMP.

DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DE SEDIMENTACION.

Para determinar la velocidad de sedimentacion para el diseño de los sedimentadores, se realizo a nivel de laboratorio una prueba de sedimentacion critica, teniendo encuesta los ensayos realizados anteriormente, sin incluir la ecuacion de CAMP. Los resultados son los siguientes:

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	68 de 130

Tabla 19. Datos requeridos para el ensayo de velocidad de sedimentación.

Datos obtenidos laboratorios	
Temperatura (°C)	29
Turbidez (UNT)	12,8
PH	7,72
Dosis optima (mg/l)	25
PH optimo	7,72
Concentra óptima (%)	1,5
Top MR (seg)	48
TopML (min)	21
Altura toma de muestra h(cm)	6

Fuente: Autor

Tabla 20. Resultados ensayo de sedimentacion con la prueba de jarras.

Muestra No	Tiempo (min)	Turbiedad final Tf (U.N.T)
1	0,5	5,42
2	1	5,27
3	1,5	4,36
4	2	3,58
5	3	3,29
6	4	2,97
7	5	2,54
8	6	2,22
9	8	1,98
10	10	1,95

Fuente: Autor

- Velocidad de asentamiento= Espacio/Tiempo=h/T (cm/s)
- Calculo del porcentaje de remocion de la turbiedad.

$C = t_f/t_o =$ fracción de turbiedad residual.

Tabla 21. Calculo del porcentaje de remoción de turbiedad.

Muestra No	Vs (cm/seg)	Vs (cm/seg)*10 ⁻²	C(Tf/To)
1	0,2	20	0,4234375
2	0,1	10	0,41171875
3	0,066666667	6,666666667	0,340625

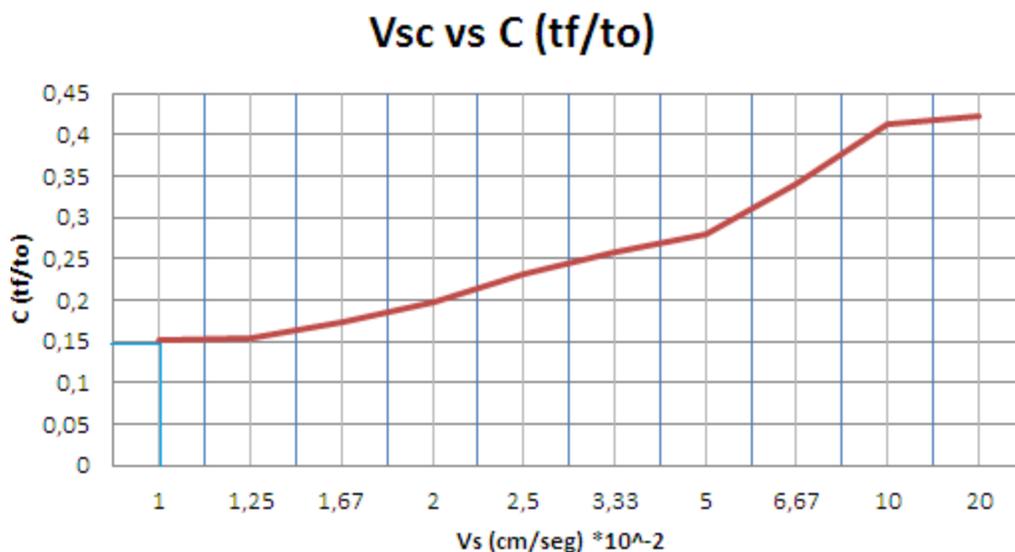


4	0,05	5	0,2796875
5	0,033333333	3,333333333	0,25703125
6	0,025	2,5	0,23203125
7	0,02	2	0,1984375
8	0,016666667	1,666666667	0,1734375
9	0,0125	1,25	0,1546875
10	0,01	1	0,15234375

Fuente: Autor

En la tabla 21 se observa la fracción de turbiedad residual para cada muestra (jarra) Y su respectiva velocidad de sedimentación. También se puede observar que la velocidad de sedimentación es inversamente proporcional al tiempo, lo anterior se refleja en las fracciones de turbiedad residual, como ejemplo se tomó la muestra No 10, esta representa el tiempo de 10 minutos con una velocidad de $1 \cdot 10^{-2}$ cm/s, el dato a comparar es la muestra No 1, esta representa el tiempo de 0,5 minutos con una velocidad de $20 \cdot 10^{-2}$ cm/s, con lo que se concluye que a mayor tiempo menor velocidad de sedimentación por ende mayor es la remoción de la turbiedad. A continuación se realiza el grafico 9 Con los datos de la tabla 21:

Grafico 9. Velocidad de sedimentación crítica (Vsc) Vs C (tf/to).



Fuente: Autor

Del grafico 9 se obtiene $a=1 \cdot 10^{-2}$ cm/s, y $C_f=0,15$ parametros para determinar la remocion total de turbiedad, a, hece referencia a la velocidad de sedimentacion y C_f al porcentaje parcial de remocion. En el grafico 9 tambien se observa el comportamiento de la V_{sc} respecto a la remocion parcial. Es evidente que al tener una minima velocidad de sedimentacion se obtiene mayor remocion de turbiedad.

Según J.A. Pérez la remoción total de la turbiedad se calcula mediante la fórmula:

$$R_t = 1 - (C - C_f) + \frac{(a + V_{sc})}{2} * \frac{(C - C_f)}{V_{sc}}$$

Donde:

Rt: Remoción total, C: Fracción de remoción residual, Cf: Porcentaje de remoción parcial, Vsc: Carga superficial, a: Velocidad de sedimentación parcial.

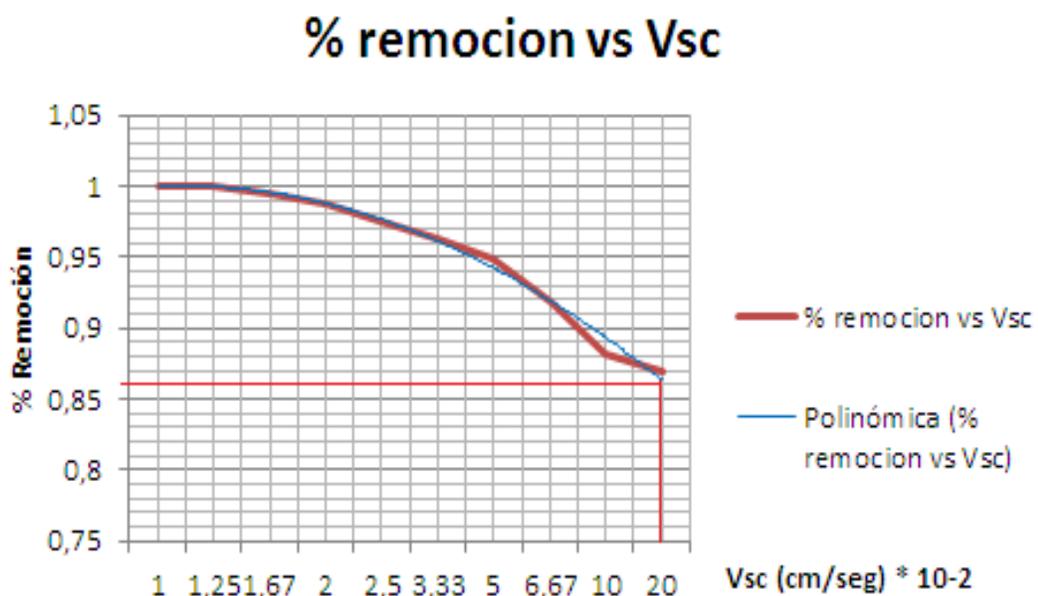
Como no se conoce la carga superficial $V_{sc} = Q/A$, entonces para los diferentes valores de Vs calculamos la remoción total, tomando los respectivos valores (Cf/to) de la tabla 21. A continuación se muestran los resultados de la remoción total:

Tabla 22. Porcentaje de remoción total.

Muestra	Rt
No	%
1	0,87011719
2	0,88222656
3	0,91898438
4	0,948125
5	0,96253906
6	0,97539063
7	0,98789063
8	0,9953125
9	0,99953125
10	1

Fuente: Autor

Gráfico 10. Porcentaje de remoción total Vs Velocidad de sedimentación crítica (Vsc).



Fuente: Autor

Del ajuste a la curva del gráfico 10, se obtuvo la velocidad de sedimentación crítica de laboratorio, asumiendo en el sedimentador un porcentaje de remoción del 86% $V_{sc} \text{ Laboratorio} = 20 * 10^{-2} \text{ cm/s}$

$$V_{sc} \text{ Labo} = 20 * 10^{-2} \frac{\text{cm}}{\text{s}} * \frac{86400 \text{ s}}{1 \text{ día}} * \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} = 173 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 - \text{día}}$$

$$V_{sc} = \frac{V_{sc} \text{ Labo}}{V}$$

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	71 de 130

Donde:

F: Factor de correlacion

Según J.A. Pérez F es un factor de seguridad igual a 1.3 usado para tener en cuenta el hecho de que el ensayo fue efectuado en condiciones ideales.

$$QII = \frac{173 \frac{m^3}{m^2 - día}}{1,3} = QII \frac{QII}{QII - QII}$$

De acuerdo a lo anterior y para efectos del diseño del sedimentador de alta tasa, se deben cumplir todos los requerimientos del RAS 2000, por esta razón se adopta un carga superficial de diseño de 133 m3/m2/día (RAS 2000: 120 - 185 m3/m2/día Cumple) para placas angostas.

Con la velocidad de sedimentación crítica determinada, se procede al diseño del sedimentador de alta tasa flujo ascendente, dicho diseño se detalla en la siguiente actividad (Actividad 4. E laboracion de los diseños).

✓ **Actividad 4.** Elaboracion de los diseños.

Se determino que el caudal de diseño de la PTAP sera de 30L/s, caudal maximo impulsado por la bomba existente de 75 HP ubicada en la captacion, medido en planta por metodo volumetrico. La proyeccion de la poblacion y el calculo del caudal de diseño (Anexo B) dieron como resultado un caudal maximo diario (QMD) de 45,3 L/s, de acuerdo a los 30 L/s que llegan a la PTAP podra satisfacer la demanda en 2/3 del QMD, es decir que se podra ofertar agua tratada a un poco mas de la mitad del area urbana del municipio de Simití, aclarando que la PTAP mejorada estara como plan coningencia respecto a la PTAP actual

DISEÑO DE LA UNIDADES.

✓ **CAMARA DE LLEGADA O AQUIETAMIENTO**

Para el diseño de esta unidad se adoptaron los siguientes parametros:

- Velocidad asencional (cm/s) –Vasc= 6cm/s.
- Tiempo de retencion hidraulico en la camara (Seg)= 35 seg.

Ecuaciones fundamentales para el diseño:

$$QII = Vasc * A$$

donde: QII= Caudal de llegada a la PTAP (m3/s); Vasc= Velocidad asencional

(m/s); A= Area de la camara (m2)

$$QII = Vasc * L^2$$

se recomienda una cama cuadrada, de ahí el L²; entonces el ancho y largo de la camara:

$$L = \sqrt{\frac{QII}{Vasc}} ;$$

$$QII = \frac{V}{TRH} ;$$

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	72 de 130

donde: v= Volumen util (m3); TRH= Tiempo de retencion hidraulico (seg), de ahí se determina la altura de la camara, de la siguiente manera:

$$Q_{II} = \frac{L^2 * v}{TRH} ;$$

donde: Hc= Altura lamina de agua en la camara (m)

Con la altura de lamina de agua calculada se asume un borde libre y determina la altura total de la camara. A continuacion se muestran los resultados de los calculos de la cámara de aquietamiento:

Tabla 23. Diseño camara de aquietamiento.

DISEÑO CAMARA DE AQUIETAMIENTO			
DATOS			
caudal (L/s)- Q	30	0,03	m3/s
Velocidad ascensional (cm/s)-Vasc	6	0,06	m/s
Tiempo de retención hidráulico (seg)- TRH	35		
CALCULOS			
Lado (m)-L	0,70710678	Lado aprox (m)	0,7
Altura lámina de agua(m)-Hc	2,14285714		
Altura total cámara (m)-HTc	2,24285714		

Fuente: Autor

La tabla 23 muestra las dimensiones de la camara de aquietamiento, los datos sombreados con color azul, son adoptados o asumidos. A continuacion se muestran los planos de esta unida:

Ilustracion 16. Plano captura en planta y perfil camara de aquietamiento.



Fuente: Autor

✓ **CANAL DE APROXIACION A MEZCLA RAPIDA**

Ecuaciones fundamentales para el diseño, en el presnte diseño se tuvo en cuenta la ecuacion de MANNIG para determinar la altura de lamina de agua en el canal (Hc) y posterior altura total del canal (HTcn)

$$Q = \frac{Hc * Bc}{n} * \left(\frac{Hc * Bc}{2 * Hc + Bc} \right)^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	73 de 130

Donde: H_c = altura lamina de agua dentro del canal (m); B_c = Ancho del canal (m); n = Coeficiente de rugosidad de MANING (Concreto); S = Pendiente del canal (%).

Conociendo el H_c se asumió un borde libre y se determinó la altura total del canal, dicho canal debe tener una pendiente que garantice una velocidad considerable, ya que esta unidad está antes de la mezcla rápida y pueda servir como punto de aplicación del alcalinizante y/o neutralizante. Este canal se diseñó en material de concreto, con el fin que soporte la presión hidrostática en esta unidad.

Tabla 24. Diseño canal de aproximación a mezcla rápida.

DISEÑO CANAL DE APROXIMACION			
Ancho canal (m)- B_c	0,4		
Rugosidad concreto - n	0,013		
Pendiente (S)	0,005	0,5	%
Perdida de carga (m)- ΔH_c	0,005		
CALCULOS			
H_c (m)	0,09		
Caudal para H_c (m^3/s)	0,03069685		
Altura Total del canal (m)- H_{Tcn}	0,2		
Longitud del canal (m)	1		

Fuente: Autor

El canal tendrá una longitud de un metro (1m), con un ancho de 0,4 m y una pendiente de 0,5%, su altura total será de 0,2 m, con una lamina de agua de 0,09 m. En esta unidad se determinará el caudal de llegada a la PTAP midiendo la altura de lamina de agua en la misma. Los planos se enseñan a continuación:

Ilustración 17. Plano captura en planta y perfil canal de aproximación a mezcla rápida.



Fuente: Autor

✓ **MEZCLA RAPIDA (CANAL CON CAIDA ESCALONADA).**

Se diseñará un canal con caída escalonada, el tipo de flujo antes de la caída de este canal debe ser subcrítico y el resalto hidráulico formado después de la caída se utilizará para la aplicación del coagulante.

El RAS 200 plantea los siguientes parámetros de diseño:

Resalto hidráulico.

- Número de Froude debe estar entre 4,5 – 9. (tipo de flujo supercrítico)

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	74 de 130

- Gradiente de velocidad debe estar entre 1000 y 2000 Seg-1.
- Tiempo de mezcla rapida debe ser menor de 1 seg.

Para el diseño de esta unidad fue necesario ubicar cuatro puntos a lo largo de la misma, dichos puntos son los siguientes:

➤ **Canal de entrada (Hc)**

El numero de Froude en este punto debe ser subcritico (menor a 1), se aclara que el canal de entrada sera el mismo canal de aproximacion a mezcla rapida, por tal razón la altura de lamina de agua en el canal de entrada sera misma a la unidad anterior a este. Ecuaciones fundamentales:

$$Q = V * A$$

donde: Q= Caudal que pasa por el canal (m³/s); V= Velocidad en el canal (m/s); A= Area del canal (m²). Conociendo la velocidad en el canal, se determinó el número de Froude en el mismo, con siguiente ecuación:

$$\#F = \frac{V}{\sqrt[2]{g * h_0}}$$

Donde: #F= Número de Froude; V= Velocidad en el canal (m/s); g= Aceleración de la gravedad (m/s²); h₀= Altura de la lamina de agua en el canal de entrada (m).

➤ **Altura critica (Yc)**

Es la altura al final del canal de entrada, es decir la altura antes de la caída del flujo de agua. Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$Y_c = \sqrt[3]{\frac{(Q_c * B_c)^2}{g}}$$

Donde: Y_c= Altura critica (m); Q_c= Caudal critico (m³/s); B_c= Ancho del canal (m); g= Aceleración de la gravedad (m/s²). Conociendo el Y_c y el B_c se determinó el area critica util del canal (A_c), con el area determinada se halla la velocidad critica (V_c), con la V_c se determina el número de Froude en el punto critico con la siguiente ecuación:

$$\#F_c = \frac{V_c}{\sqrt[2]{g * Y_c}}$$

Se aclara que este punto el tipo de flujo debe ser critico, es decir igual a 1.

➤ **Altura inmediatamente antes del resalto (h1)**

Para determinar el h₁ se asumió una altura de caída, también se tuvo en cuenta el Y_c=h_c del punto anterior. La ecuación con la cual se determinó el h₁ es la siguiente:

$$h_1 = 0,54 * h * \left(\frac{h_c}{h}\right)^{1,275}$$

Donde: h₁= Altura lamina de agua (m) ; h= Altura de caída (m); h_c=Altura critica(m). conocido el h₁ se calculó el area de la seccion de mezcla rapida (A₁), posteriormente se determinó la velocidad en el punto(V₁), con lo anterior se

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	75 de 130

determino el número de Froude, el cual debe ser mayor a 1. el número de Froude se determino con la siguiente ecuación:

$$\#F1 = \frac{V1}{\sqrt{g * h1}}$$

➤ **Altura de agua la lamina de agua en el canal de salida (h2)**

Similar que el h1, se asumio igual altura de caida y se tuvo en cuenta la altura critica (Yc=hc). La ecuación con la cual se determino la altura de agua en el canal es:

$$h2 = 1,66 * h * \left(\frac{hc}{h}\right)^{0,81}$$

Otras dimensiones y parametros del mezclador rapido.

➤ **Longitud del resalto (Lr)**

$Lr = 6 * (h2 - h1)$; donde : h1= Altura inmediatamente antes del resalto (m); h2= Altura de la lamina de agua en el canal de salida.

➤ **Longitu de caida (Lc)**

$Lc = 4,3 * h * \left(\frac{hc}{h}\right)^{0,81}$; donde: hc= Altura critica (m); h= Altura de caida (m).

➤ **Altura del agua junto al muro de caida (hp)**

$hp = h * \left(\frac{hc}{h}\right)^{0,66}$; donde: hc= Altura critica (m); h= Altura de caida (m).

➤ **Perdidad de carga total (ΔH)**

$\Delta H = Hc + h - h2$

➤ **Gradiente de velocidad (G)**

$$G = \sqrt{\frac{\rho * \Delta H}{\mu * TopMR}}$$

Donde: ρ = Densidad del agua (Kg/m³); ΔH =Perdida de carga total (m); μ = Viscosidad dinamica a 23 °C (Pa.s); TopMR= Tiempo optimo de mezcla rapida. Según el RAS 200 el gradiente de velocidad en el resalto to hidraulico debe estar comprendido en 1000 y 2000 s⁻¹.

Simití presenta una temperatura minma ambiente de 27 °C(Alcaldia de Simití,2015), y ademas:

$$Tw \approx Tamb - 4^{\circ}C = 27 - 4 = 23^{\circ}C$$

Para $Tw \approx 23^{\circ}C$ se identificaron las propiedades fisicas en la tabla A del libro Purificacion del agua de JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS.

Tabla 25. Propiedades fisicas del agua a 1 atmosfera.



Temperatura °C	Densidad ρ kg/m ³	Peso específico γ kN/m ³	Viscosidad dinámica μ·10 ³ Pa.s	Viscosidad cinemática ν·10 ⁶ m ² /s
0	999,842	9,805	1,787	1,787
3,98	1000,00	9,807	1,567	1,567
5	999,967	9,807	1,519	1,519
10	999,703	9,804	1,307	1,307
12	999,500	9,802	1,235	1,235
15	999,103	9,798	1,139	1,140
17	998,778	9,795	1,081	1,082
18	998,599	9,793	1,053	1,054
19	998,408	9,791	1,027	1,029
20	998,207	9,789	1,002	1,004
21	997,996	9,787	0,998	1,000
22	997,774	9,785	0,955	0,957
23	997,542	9,783	0,932	0,934
24	997,300	9,781	0,911	0,913
25	997,048	9,778	0,890	0,893
26	996,787	9,775	0,870	0,873
27	996,516	9,773	0,851	0,854
28	996,236	9,770	0,833	0,836
29	995,948	9,767	0,815	0,818
30	995,650	9,764	0,798	0,801
35	994,035	9,749	0,719	0,723
40	992,219	9,731	0,653	0,658
45	990,216	9,711	0,596	0,602
50	988,039	9,690	0,547	0,554
60	983,202	9,642	0,466	0,474
70	977,773	9,589	0,404	0,413

Fuente: Autor

De la tabla 25 se tomo el valor ρ=997,542 kg/m³; μ=0,932*10⁻³ Pa.s y ν=0,934*10⁻⁶ m²/s.

➤ **Tiempo optimo de mzcla rapida (TopMr).**

$$TopMR = \frac{Lr}{\left(\frac{V1 + V2}{2}\right)} ;$$

Donde: Lr= Longitud del resalto (m); V1= Velocidad en el punto 1(m/s); V2= Velocidad en el punto 2 (m/s)

A continuación se enseñan los datos necesarios y resultado del diseño del mezclador rapido hidraulico, caída escalonada:

Tabla 26. Datos para el diseño del mezclador rapido hidraulico.

Datos de entrada			
Caudal(L/s)-Q	30	0,03	m ³ /s
Hc	9	0,09	m
Ancho canal	40	0,4	m
Altura de caída	75	0,75	m
Densidad T° 23°C (Kg/m ³)	997,542		
Viscosidad dinámica(pa.s)-μ	0,000932		

Fuente: Autor

Tabla 27. Diseño mezclador rapido hidraulico (Caída escalonada).

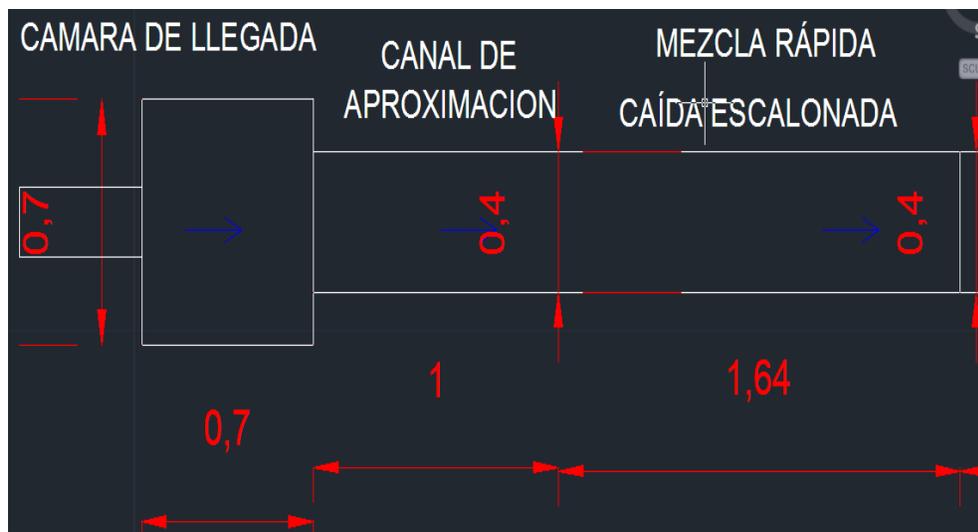


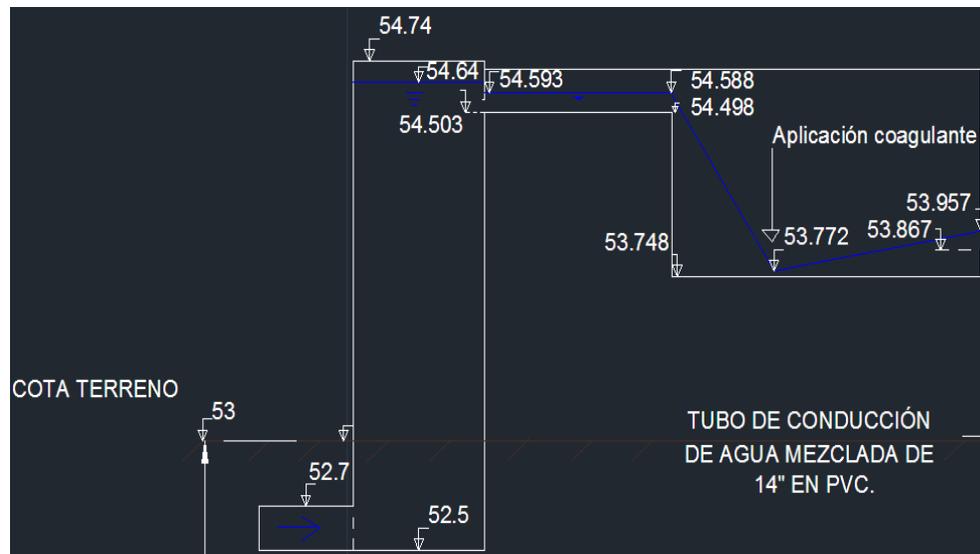
Punto 0.		Punto crítico		Punto H1		Observación	Punto H2	
Area(m2)-A0	0,036	Yc(m)	0,083077708	H1(m)	0,02449597		H2(m)	0,2094846
Velocidad(m/s)-V	0,8333333	Area(m2)	0,033231083	Area(m2)	0,00979839		Area(m2)	0,0837939
Número de froude-F1	0,8868762	Velocidad(m/s)	0,902769248	Velocidad(m/s)	3,061728	Cumple RAS 2000	Velocidad(m/s)	0,3580215
		Número de froude-F2	1	Número de froude-F3	6,24575253	Cumple RAS 2000	Número de froude-F	0,249746
Otras dimensiones		Observacion						
Longitud de caída(m)-Lc	0,5426409							
hp(m)	0,1755418							
Longitud del resalto(m)-Lr	1,109932							
Top Mr(seg)	0,6491306	Cumple RAS 200						
Perdida total(m)-ΔH	0,6305154							
Gradiente(seg-1)-G	1019,6226	Cumple RAS 200						
Alt. Murete de salida(m)	0,1194846							

Fuente: Autor

Según Jairo A. Romero Rojas un resalto hidráulico es estable cuando el Número de Froude (NF) sea: $20 < NF^2 < 80$, en el caso de la PTAP de Simití el resalto hidráulico es estable, debido que Froude en H1(resalto hidráulico) es de 6,24 y elevado al cuadrado es 40, es el criterio para concluir que el resalto es estable. A continuación se muestran los planos de esta unidad, se aclara que el plano se observará desde las unidades anteriormente diseñadas, con el objeto que se entienda y visualice la dirección del flujo en cada unidad.

Ilustración 18. Plano captura en planta y perfil del mezclador rápido.





Fuente: Autor

✓ **CANAL DE AGUA COAGULADA O MEZCLADA.**

Este canal se ubica despues del mezclador rapido hidraulico, y se le llama canal de agua coagulada o mezclada ya que la masa de agua viene mezclada con el coagulante. La función de este canal es comunicar el flujo de agua con el sistema de entrada a floculadores. Las ecuaciones fundamentales para el diseño de esta unidad se enseñan a continuación:

MANNIG

$$Q = \frac{Hc * Bc}{n} * \left(\frac{Hc * Bc}{2 * Hc + Bc} \right)^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} ;$$

$$V = V * \left(\frac{V}{V} \right)^{0,5} * \rho^{-0,67} * \mu^{1,5}$$

Dónde: G=gradiente en el cana l(s-1); ρ= Densidad del agua (kg/m3); RH= Radio hidráulico del canal (m); V= Velocidad en el canal (m/s)

Para T = 23° (Temperatura del agua del mes más frio en Simití) se tiene: μ = 0,932X10⁻³ y un ρ = 997,542 Kg/m³

En este canal el gradiente de velocidad debe ser mayor al gradiente en el primer compartimiento de floculación y menor al generado por el mezclador rápido. En la tabla 28 y 29 se muestran los datos requeridos y diseño del canal de agua coagulada:

Tabla 28. Datos para el diseño del canal de agua coagulada

Datos de entrada			
caudal (m ³ /s)-Q	30	0,03	m ³ /s
viscosidad dinámica(Pa.s)-u	0,000932		
densidad(kg/m ³)-ρ	997,542		
ancho canal(m)-Bc	0,4		
pendiente(%)-S	2,0%	0,02	m/m
Rugosidad-n concreto	0,013		
Hc (m)	0,056		
Longitud canal (m)-Lc	1		

Fuente: Autor

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	79 de 130

Los datos sombreados en color azul fueron adoptados para llevar a cabo el posterior diseño.

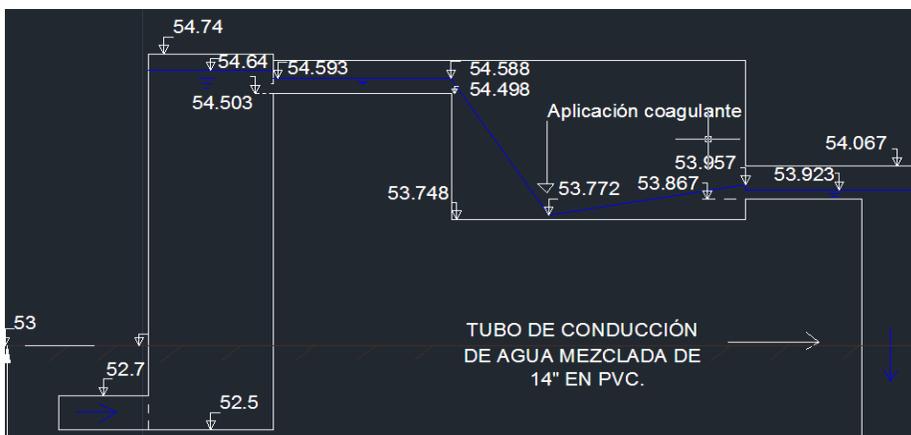
Tabla 29. Diseño del canal de agua coagulada.

CALCULOS		
Q para Hc(m ³ /s)	0,03025555	
Área canal(m ²)	0,0224	
Velocidad canal (m/s)	1,33928571	OK > 0.1 m/s cumple RAS 2000 no se presentará sedimentación
Gradiente canal(s ⁻¹)	169,650658	OK > 1er compart-floculación, pero < mezclador rápido
Perdida en el canal(m)	0,02	

Fuente: Autor

Este canal tendrá una longitud de 1 m, el cual no presentará sedimentación debido a la gran velocidad que en este se tiene. Los planos de esta unidad se ilustran a continuación:

Ilustración 19. Plano captura en planta y perfil del canal de agua mezclada.



Fuente: Autor

✓ **SISTEMA DE ENTRADA A FLOCULADORES.**

Se propone un ducto sumergido de 14" de diámetro en PVC, ubicado al final del canal de agua coagulada, por donde desciende, gira y sigue una trayectoria horizontal hasta llegar a la primera cámara de floculación. El codo será en hierro galvanizado. En el sistema se determinaron parámetros como velocidad y pérdidas tanto por fricción y accesorio, con el fin de evaluar el buen funcionamiento del mismo y la altura de la lámina de agua en el primer

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	80 de 130

compartimiento de floculación. Las ecuaciones utilizadas para el diseño son las siguientes:

Según DARCY WEISBACK la perdida de carga por fricción se determina mediante la ecuación:

$$H_f = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2 * g}$$

Dónde: H_f = Perdida de carga por fricción (m); f = Factor de fricción; L = Longitud de tubería por donde se transporta el flujo (m); D = Diámetro de la tubería (m); V = Velocidad en la tubería (m/s); g = Aceleración de la gravedad (m/s²).

Se determinó la velocidad teniendo en cuenta el caudal que pasa por a tubería y el área de la misma, siendo el área:

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

Dónde: A = Área transversal de la tubería (m²); D = Diámetro de la tubería.

Posteriormente se determinó el régimen de flujo (número de REYNOLDS) mediante la ecuación:

$$\#Re = \frac{V * D}{\nu}$$

Dónde: $\#Re$ = Número de Reynolds; V = Velocidad en la tubería (m/s); D = Diámetro de la tubería (m); ν = Viscosidad cinemática (T 23°C temperatura del mes frio en Simití) (m²/s).

Se tuvo en cuenta la rugosidad absoluta del PVC para determinar la rugosidad relativa, hallada la rugosidad relativa y con el $\#Re$ se determina en el diagrama de Mody el factor de fricción f para el posterior cálculo de la perdida de carga.

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{D}$$

Dónde: ϵ_r = Rugosidad relativa; ϵ = Rugosidad absoluta (mm); D = Diámetro de la tubería (mm)

La pérdida de carga por accesorio se determinó mediante la ecuación:

$$h_{facc} = k * \frac{(V)^2}{2 * g}$$

Dónde: h_{facc} = Perdida de carga por accesorio (m); K = Coeficiente de perdida; V = Velocidad en la tubería (m/s); g = Aceleración de la gravedad (m/s²).

A continuación se enseñan los resultados del diseño del sistema de entrada a floculadores.

Tabla 30. Datos para el diseño del sistema de entrada a floculadores.

SISTEMAS DE ENTRADA A FLOCULADORES			
Datos de entrada			
Caudal(m ³ /s)	30	0,03	m ³ /s
Viscosidad cinematica (m ² /s)	9,34E-07		
Diámetro del ducto sumergido(pulg)	14	0,35	m
Rugosidad absoluta PVC (mm)	0,0015		
Coeficiente K codo de 90 °	0,75		

Fuente: Autor



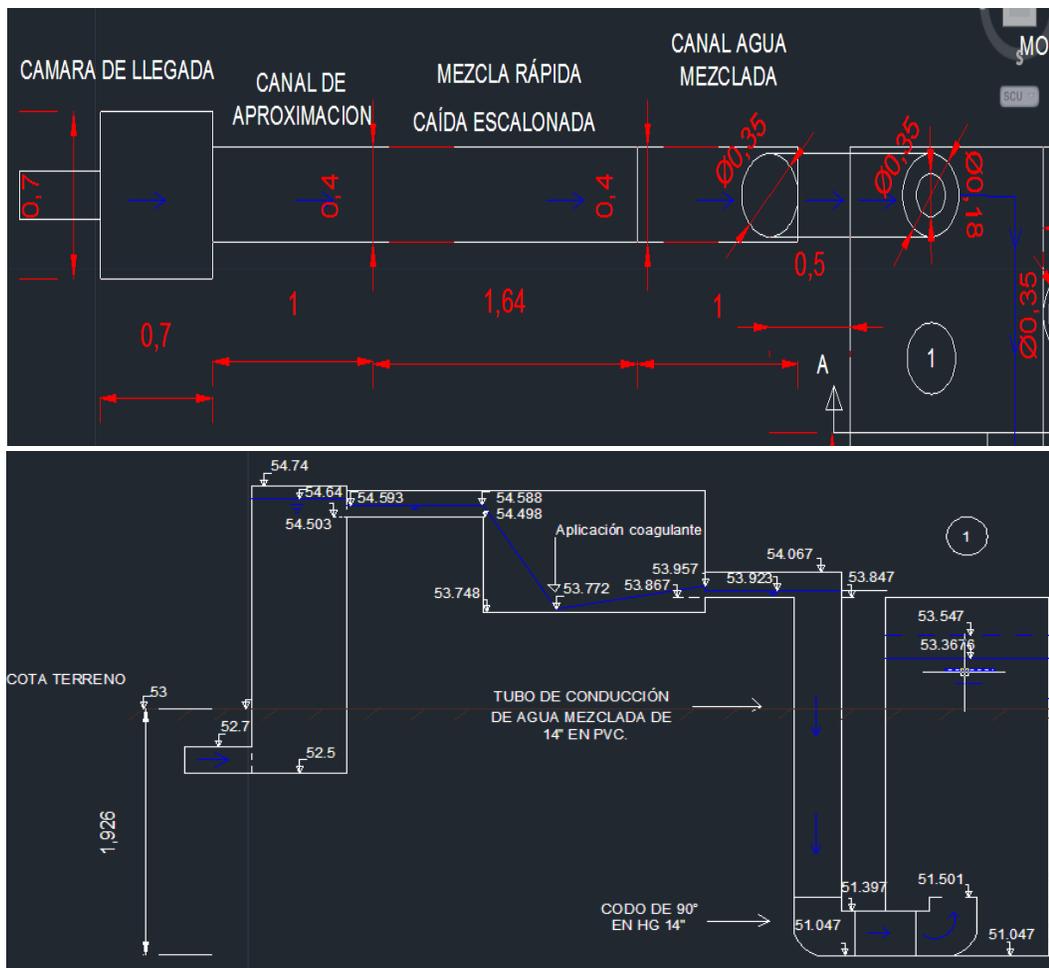
Tabla 31. Diseño del sistema de entrada a floculadores

CALCULOS					
AREA DUCTO SUMERGIDO(m ²)	0,096212				
VELOCIDAD EN EL DUCTO (m/s)	0,311813	OK > 0.1 m/s no se presentara sedimentacion			
RUGOSIDAD RELATIVA	4,29E-06				
NUMERO DE REYNOLDS	1,17E+05				
SEGÚN DIAGRAMA DE MODY-f	1,749E-02				
LONGITUD DEL TUBO VERTICAL QUE DESIENDE EL AGUA (m)	2,8				
LONGITUD HORIZONTAL-DESPUES DEL CODO DE 90° (m)	0,5				
LONGITUD HORIZONTAL TOTAL (m)	3,3				
PERDIDA DE CARGA POR FRCCION TUBO VERTICAL, CODO Y ALARGUE(m) hf.	0,000817	Darcy-weisbach.			
PERDIDA DE CARAGA POR ACESORIO CODO DE 90° (m)hfacc	0,003717				
PERDIDA TOTAL SIST. DE ENTRADA A FLOCULADORES(m).Hf	0,004534				

Fuente: Autor

De la tabla 31 se observa que la velocidad en el ducto es mayor a 0,1 m/s, esto indica que el agua coagulada no presentará sedimentación en el sistema. La pérdida total en el sistema será de 0,0046 m. La ilustración 19 enseña los planos del sistema de entrada a floculadores y unidades previas a este:

Ilustración 20. Plano captura en planta y perfil del sistema de entrada a floculadores.



Fuente: Autor

✓ FLOCULADOR HIDRÁULICO TIPO ALABAMA

En los floculadores Alabama debe ubicarse un codo en cada cámara para impulsar el fluido hacia arriba. Los codos deben colocarse de forma alternada, en una cámara a la derecha y en la que sigue a la izquierda; en el fondo debe dejarse un desagüe conectado a un múltiple para permitir la extracción de los lodos. En cada cámara debe dejarse una boca de drenaje.

El RAS 2000 establece los siguientes criterios de diseño:

- El gradiente medio de velocidad debe estar entre 20 s-1 y 70 s-1.
- El tiempo de retención hidráulico debe estar entre 20 y 40 minutos.
- El número mínimo de cámaras serán 8.
- La velocidad en los codos debe estar entre 0,4 y 0,2 m/s. Se recomienda colocar un dispositivo a la salida del codo, como una platina de orificio para regular el gradiente de velocidad.

En el área urbana de Simití se registró una temperatura media del agua de 21°C en el mes más frío, luego la viscosidad cinemática $\nu = 0,934 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

De los ensayos de tratabilidad se determinó el número de CAMP, por ende el gradiente en cada compartimiento de floculación, a continuación se enseña la ecuación:

$$G = \left(\frac{2,2222 \times 10^6}{T} \right)^{0,2222}$$

Dónde: G = Gradiente de velocidad (s-1); **TML= 21 minutos (Tiempo de mezcla lenta)**

Para el caso de la PTAP de Simití se adoptaron 10 cámaras o compartimientos de floculación.

Respecto a la ecuación de CAMP se obtiene:

Tabla 32. Gradientes de floculación (Gradientes teóricos).

GRADIENTES DE FLOCULACIÓN		
COMPARTIMIENTO (No)	TIEMPO ACULADO (Min)	GRADIENTE (Seg ⁻¹)
1	2,1	119,4697866
2	4,2	91,13144276
3	6,3	77,78262541
4	8,4	69,51498028
5	10,5	63,71224818
6	12,6	59,33251474
7	14,7	55,86523965
8	16,8	53,02596268
9	19,9	49,63185611
10	21	48,599644
		68,80663004
	TOPML 20-40 MINUTOS CUMPLE RAS 2000.	G MEDIO 20-70 S-1 CUMPLE RAS 2000

Fuente: Autor

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	83 de 130

De la tabla 32 se concluye que el tiempo de mezcla lenta y el gradiente medio de velocidad cumplen con los criterios establecido por el RAS 2000.

Para llevar a cabo el diseño del floculador Alabama se tuvieron en cuenta los siguientes datos:

Tabla 33. Datos requeridos para el diseño del floculador Alabama.

Datos de entrada	
Caudal(L/s)-Q	30
Temperatura del agua(°C)	23°C
Viscosidad Cinemática(m ² /s)	9,34E-07
Número de compartimientos	10
Cd _{niple}	0,8
K _{codo}	0,4
Cd _{orificio}	0,65
TML(min)	21

Fuente: Autor

Los datos sombreados en color azul fueron adoptados o consultados en tablas.

Las ecuaciones fundamentales para el diseño del floculador hidráulico tipo Alabama, son las siguientes:

- Área del codo, $A = \frac{\pi}{4} * D^2$; Donde; D= Diámetro del codo (m)
- Velocidad en el codo, $V = \frac{Q}{A}$; Donde; Q= Caudal en el codo (m³/s); A= Área del codo (m²)

Para el cálculo del área y velocidad en el orificio de platina, se implementó las mismas ecuaciones utilizadas en el codo, con la diferencia del diámetro del orificio de la platina y el caudal que pasa por esta.

- Pérdida de carga en el niple; $h_{fniple} = \frac{Q^2_{niple}}{(2 * g * Cd^2_{niple} * A^2_{niple})}$;

Dónde: h_{fniple} = Pérdida de carga en el niple (m); Q= Caudal que pasa por niple m³/s); g= Aceleración de la gravedad (m/s²); Cd= Coeficiente de descarga para niple; A= Área del niple

- Pérdida de carga en el codo; $h_{fcodo} = k_{codo} * \frac{(V_{codo})^2}{2 * g}$;

Dónde: h_{fcodo} = Pérdida de carga en el codo (m); K_{codo} = Coeficiente de pérdida en el codo; V_{codo} = Velocidad en el codo (m/s); g= Aceleración de la gravedad (m/s²).

- Pérdida de carga en el orificio; $h_{forificio} = \frac{Q^2_{orificio}}{(2 * g * Cd^2_{orificio} * A^2_{orificio})}$

Dónde: $h_{forificio}$ = Pérdida de carga en el orificio (m); Q= Caudal que pasa por el orificio (m³/s); g= Aceleración de la gravedad (m/s²); Cd= Coeficiente de descarga para orificios; A= Área del orificio

- Pérdida de carga total; $h_f = h_{fniple} + h_{fcodo} + h_{forificio}$

- Gradiente de velocidad; $G = \sqrt{\frac{g * h_f}{v * t_o}}$

Dónde: G = Gradiente de velocidad en el compartimiento (s⁻¹); g= Aceleración de la gravedad (m/s²); h_f = Pérdida total (m); v= Viscosidad cinemática (m²/s); t_o = Tiempo de retención en cada compartimiento (minuto).

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	84 de 130

A continuación se enseña el procedimiento de cálculo que se realizó con la ayuda de Microsoft Excel, la tabla 34 se detalla dicho procedimiento:

Tabla 34. Diseño primer compartimiento de floculación.

CALCULOS			
COMPART#1			
TML cada/comp(min)	2,1		
Diámetro niple-codo(pul)	14	0,3556	
Área niple-codo(m ²)	0,099311737		
Velocidad-codo(m/s)	0,302079099	0,4-0,2 m/s Cumple RAS2000	
Diámetro orificio-platina(pul)	7,1	0,18034	18,034
Área orificio-platina(m ²)	0,025542371		Cm
Velocidad orificio-platina(m/s)	1,174519013		
hfniple(m)	0,007267121		
hfcodo(m)	0,001860383		
orificio(m)	0,166415735		
hftotal(m)	0,175543238		
Gradiente(seg ⁻¹)	120,9672606	Cumple G real=G teórico (Labo/rio)	

Fuente: Autor

La tabla 34, muestra que la velocidad en el codo del primer compartimiento de floculación, cae en el rango establecido por el RAS 2000. También se observa, que el gradiente real el cual fue calculado en base al diámetro del codo y orificio en la platina, es igual al gradiente teórico determinado en el laboratorio. Lo que concluye, que en el primer compartimiento o cámara del floculador, se presentará un proceso de floculación similar al presentado en los ensayos de tratabilidad.

El procedimiento de cálculo que se utilizó para determinar el gradiente de velocidad en los demás compartimientos, es igual al enseñado en la tabla 34, con la diferencia que se modificó el diámetro del orificio ubicado en cada platina. Los diez compartimientos contarán con codos de 14" de diámetro en hierro. A continuación se enseñan los resultados de cada gradiente con su respectivo compartimiento:

Tabla 35. Diseño de los compartimientos de floculación.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	85 de 130

Compart No	TRH/camara(min)	G teorico(s-1)	Ø Codo (pul)	Vel codo(m/s)	Ø Platina (pul)	hftotal(m)	G real (s-1)
1	2,1	119,4697866	14	0,302	7,1	0,17554324	120,967261
2	2,1	91,13144276	14	0,302	8,2	0,10266212	92,5083444
3	2,1	77,78262541	14	0,302	9	0,07358267	78,3183571
4	2,1	69,51498028	14	0,302	10	0,05141654	65,4677197
5	2,1	63,71224818	14	0,302	10,3	0,04670076	62,3932756
6	2,1	59,33251474	14	0,302	11	0,03801148	56,2902537
7	2,1	55,86523965	14	0,302	11,3	0,03506416	54,0639185
8	2,1	53,02596268	14	0,302	11,8	0,03093972	50,7848258
9	2,1	49,63185611	14	0,302	12,3	0,02760348	47,9686716
10	2,1	48,599644	14	0,302	12,5	0,02644909	46,9549283
		68,80663004		0,302		0,60797327	67,5717555
		G medio		V media		hf Total	G medio

Fuente: Autor

Según la tabla 35, los gradientes teóricos de velocidad son casi iguales a los gradientes reales, lo que indica que el proceso de floculación se presentará en la PTAP de forma ideal. También se observa que a medida que se agranda el diámetro del orificio en la platina disminuyen las pérdida y por ende los gradientes reales.

La pérdida de carga total representa el nivel de la lámina de agua al final de la estructura de floculación, respecto al nivel en la entrada de la unidad. Como también se observa que el gradiente medio de velocidad está comprendido en lo establecido por RAS 2000.

Las dimensiones de cada compartimiento de floculación se enseñan a continuación:

Tabla 36. Dimensiones de las cámaras de floculación.

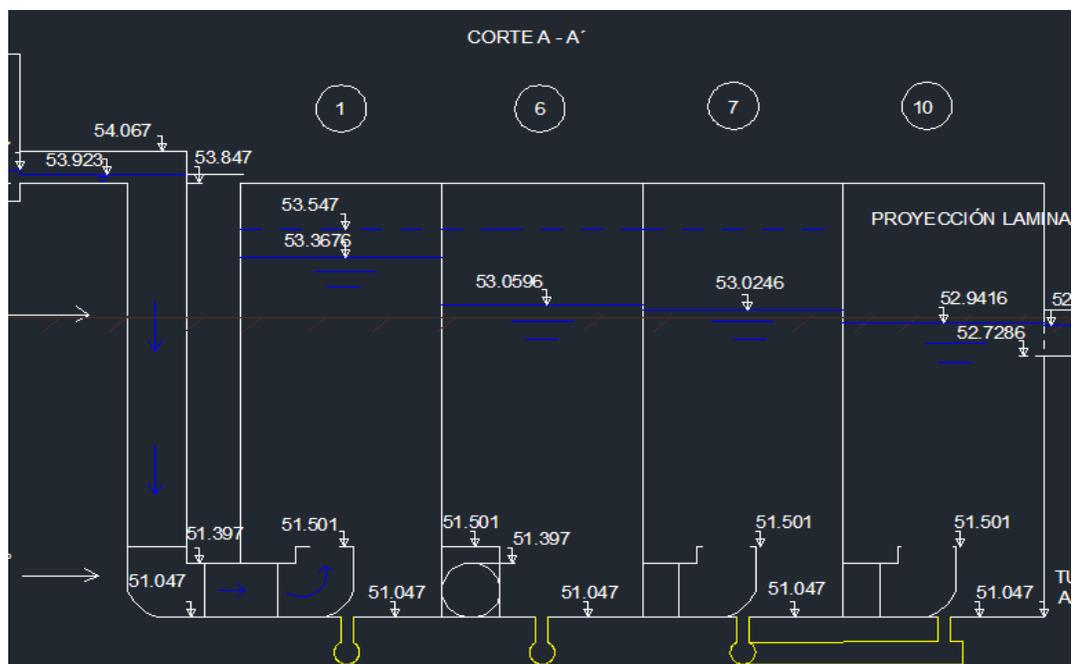
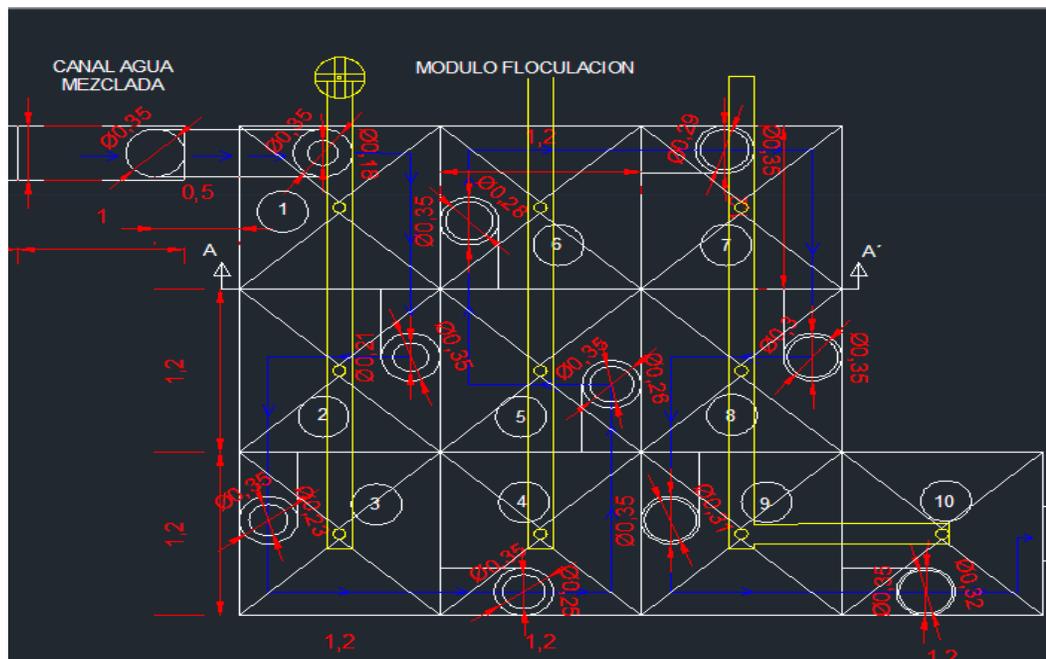
DIMENSIONES DE CADA CAMARA		
Volumen de la cámara (m ³)	3,78	
Altura. Lámina de agua en la cámara (m)	2,5	Asumida
Área de cada cámara (m ²)	1,512	
Largo de la cámara(m)	1,229634092	1,2
Ancho de la cámara (m)	1,23	1,2

Fuente: Autor

Cada cámara o compartimiento de floculación tendrá un largo de 1,20 m, y un ancho igual. Con altura de lámina de agua en cada cámara de 2,5 m, reducida esta por las pérdidas en los accesorios como niple, codo y orificio.

Los planos del módulo de floculación se enseñan a continuación:

Ilustración 21. Plano captura en planta y perfil del floculador Alabama.



Fuente: Autor

Cada cámara contará con un tubo de 3" para el desague y evacuación de lodos, los lodos serán recolectados por un tubo de 6" de diámetro, el cual funciona como colector principal de cada compartimiento.

✓ **ORIFICIO DE SALIDA DEL ÚLTIMO COMPARTIMIENTO DE FLOCULACIÓN.**

Este orificio será el encargado de comunicar el agua floculada con el canal que conducirá la misma hacia el sistema de entrada al sedimentador. Las ecuaciones fundamentales para el diseño de este componente se enseñan a continuación:

Según JORGE ARBOLEDA VALENCIA 2000 el gradiente en el orificio se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$G = \left(\frac{f \cdot V_o^3}{v \cdot 8 \cdot RH} \right)^{0,5}$$

; Donde: G= Gradiente en el orificio (s⁻¹); f= Coeficiente de fricción; V_o= Velocidad en el orificio (m/s); v= Viscosidad cinemática (m²/s); RH= Radio hidráulico (m).

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	87 de 130

La pérdida de carga en el orificio se determina mediante la siguiente ecuación:

$$h_{\text{orificio}} = \frac{Q^2_{\text{orificio}}}{(2 * g * C_d^2_{\text{orificio}} * A^2_{\text{orificio}})} ;$$

Dónde: h_{orificio} = Pérdida de carga en el orificio (m); Q= Caudal que pasa por el orificio (m³/s); g= Aceleración de la gravedad (m/s²); C_d = Coeficiente de descarga para orificios; A= Área del orificio

Con las dos fórmulas anteriores para los orificios se calcularon el gradiente de velocidad y la pérdida de carga en el componente, en las tablas 37 y 38 se enseñan los datos y resultados del diseño del orificio.

Tabla 37. Datos necesarios para el diseño

Datos de entrada:			
Caudal (L/s)	30	0,03	m ³ /s
Viscosidad Cinemática (m ² /s)T 23° C	9,34E-07		
f	0,017		
Coeficiente de descarga- C_d	0,74		
Ancho (m)-B	0,4		
Alto (m)-h	0,2		

Fuente: Autor

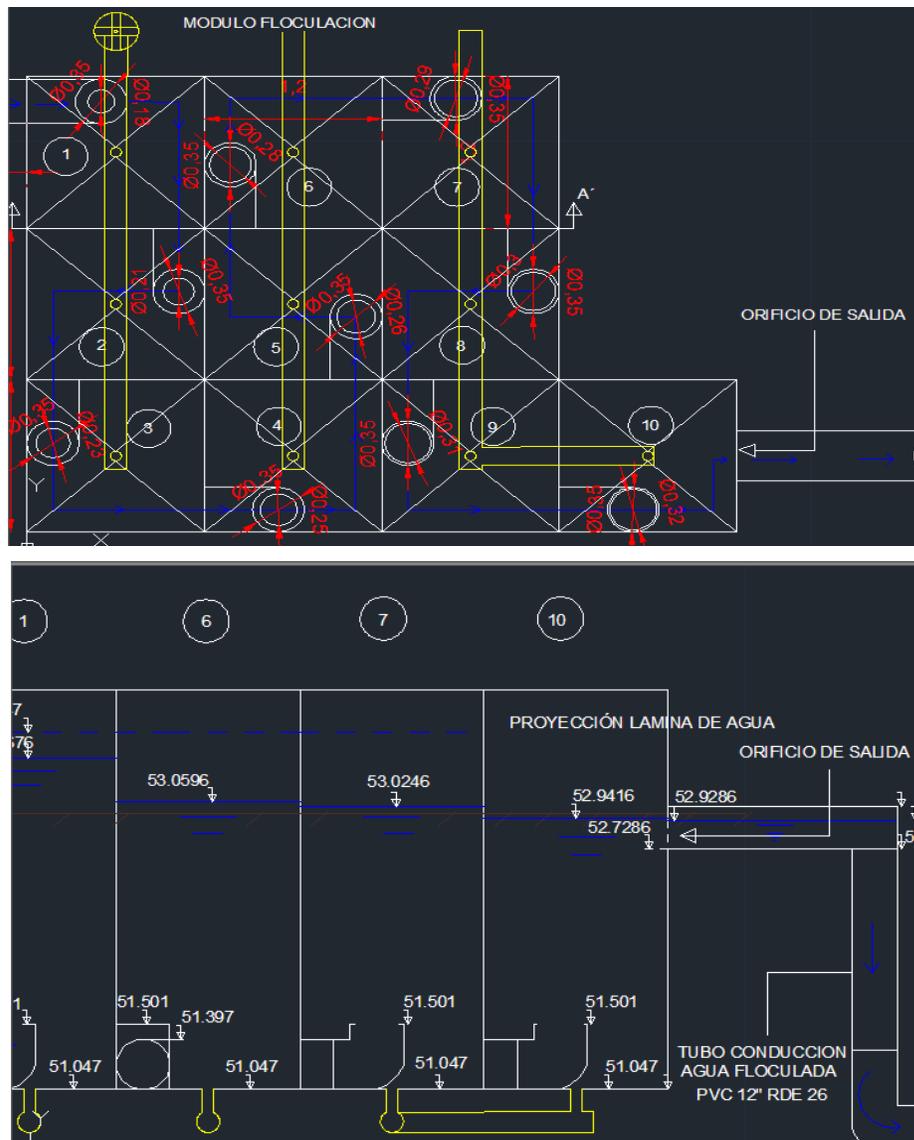
Tabla 38. Resultado diseño del orificio del último compartimento de floculación.

CALCULOS		
Área mojada (m ²)- A_m	0,08	
Perímetro mojado (m)- P_m	1,2	
Radio Hidráulico(m)- R_H	0,066666667	
Velocidad en el orificio (m/s)- V_o	0,375	ok $V_o > 0,1$ m/s
Gradiente en el orificio (s ⁻¹)- G	42,42272485	OK < $G_{ult.comp.floc}$ 46,9s ⁻¹
Pérdida de carga en el orificio (m)- h_f	0,013088808	

Fuente: Autor

En el orificio de paso tendrá un ancho de 0,4 m y una altura de 0,2 m, se aclara que los datos de la tabla 37 sombreados en color azul son adoptados o tomados de tabla. De acuerdo a la velocidad en el orificio no se presentará sedimentación ya que esta es mayor a 0,1 m/s, el floc ya formado en los floculadores no se romperá debido que el gradiente en el orificio es menor que el gradiente de velocidad en el último compartimento de floculación.

Ilustración 22. Plano captura en planta y perfil del orificio de salida de floculación.



Fuente: Autor

Se determinó la pérdida de carga en el orificio con el objeto de conocerá ubicación del mismo, respecto a la pared del ultimo comportamiento de floculación, y así poder ubicar el canal de recolección y conducción de agua floculada.

✓ CANAL DE RECOLECCIÓN Y CONDUCCIÓN DE AGUA FLOCULADA.

El agua floculada proveniente del orificio de salida del último compartimiento de floculación, es recolectada y conducida por este canal al sistema de entrada al sedimentador. Para el diseño de este componente fueron necesarias las siguientes ecuaciones:

MANING

$$Q = \frac{H_c * B_c}{n} * \left(\frac{H_c * B_c}{2 * H_c + B_c} \right)^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} ;$$

$$G = n * \left(\frac{\rho}{\mu} \right)^{0,5} * RH^{-0,67} * V^{1,5}$$

Dónde: G=gradiente en el cana l(s⁻¹); ρ= Densidad del agua (kg/m³); RH= Radio hidráulico del canal (m); V= Velocidad en el canal (m/s)

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	89 de 130

Para $T = 23^{\circ}$ (Temperatura del agua del mes más frío en Simití) se tiene:
 $\mu = 0,932 \times 10^{-3}$ y un $\rho = 997,542 \text{ Kg/m}^3$

La pérdida de carga en el canal se determina mediante la siguiente ecuación:

$$S = \Delta H * L$$

Dónde: S= Pendiente del canal (m/m); ΔH = Diferencia de altura en el canal (m);
L= Longitud del canal (m).

Con respecto a las ecuaciones anteriores se realizó en el siguiente diseño:

Tabla 39. Datos necesarios para el diseño.

DATOS	
Caudal (m^3/s)-Q	0,03
Viscosidad dinámica(Pa.s) T23°C- μ	0,000932
Densidad (kg/m^3)- ρ	997,542
Ancho del canal (m)-Bc	0,4
Pendiente (m/m)- S	0,0005
Rugosidad concreto-n	0,013

Fuente: Autor

Tabla 40. Diseño del canal recolector y conductor de agua floculada.

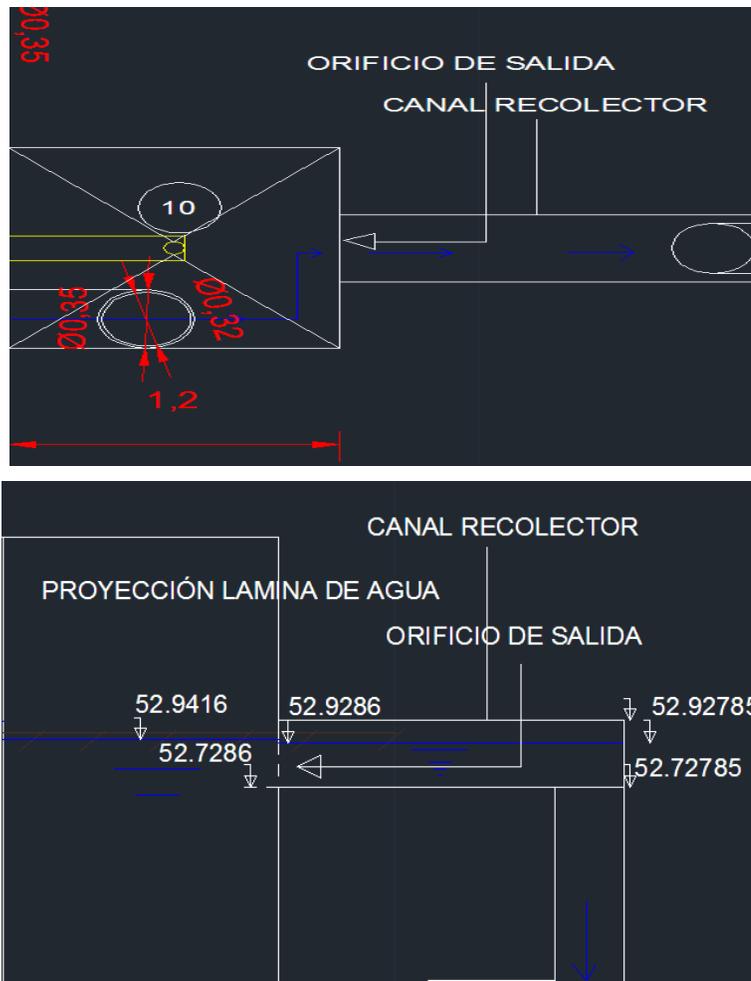
CALCULOS		
Hc (m)	0,2	
Caudal para Hc (m^3/s)-Q	0,02964592	
Área del canal(m^2)-A	0,08	
Velocidad del canal (m/s)-Vc	0,375	Ok > 0,1 m/s
Gradiente en el canal (s^{-1})-G	14,4460094	ok< G ult comp Flo=46,9 s^{-1} RAS2000
Longitud del canal recolector (m)-L	1,5	
Perdida en el canal (m)- Hf	0,00075	

Fuente: Autor

Según la tabla 40, el gradiente de velocidad en el canal no permitirá que floc se rompa, ya que el gradiente es menor al generado en último compartimiento de floculación, cumpliendo con lo estipulado por el RAS 2000. En el canal tampoco se presentará sedimentación, ya que la velocidad es mayor a 0,1 m/s. todo lo anterior concluye que el agua floculada será conducida por el canal sin afectar el proceso de floculación previo al canal de recolección y conducción de agua floculada.

El canal tendrá una altura de lámina de agua de 0,2 m, un borde libre de 0,1 m, lo que suma una altura total de 0,3m. La longitud de este componente será de 1,5 m con una pendiente de 0,05%. El canal fue diseñado con un coeficiente de rugosidad de Mannig ($n = 0,013$) para concreto.

Ilustración 23. Plano captura en planta y perfil canal recolector y conductor de agua floculada.



Fuente: Autor

✓ **SISTEMA DE ENTRADA AL SEDIMENTADOR.**

Se propone un ducto sumergido de 12" de diámetro en PVC, ubicado al final del canal recolector de agua floculada, por donde desciende, gira y sigue una trayectoria horizontal hasta llegar al sedimentador de alta, el codo será en PVC. En el sistema se determinaron parámetros como velocidad y pérdidas tanto por fricción y accesorio, con el fin de evaluar el buen funcionamiento del mismo y la altura de la lámina de agua entre el sistema y el sedimentador. Las ecuaciones utilizadas para el diseño son las siguientes:

Según DARCY WEISBACK la pérdida de carga por fricción se determina mediante la ecuación:

$$H_f = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2 * g}$$

Dónde: H_f = Pérdida de carga por fricción (m); f = Factor de fricción; L = Longitud de tubería por donde se transporta el flujo (m); D = Diámetro de la tubería (m); V = Velocidad en la tubería (m/s); g = Aceleración de la gravedad (m/s^2).

Se determinó la velocidad teniendo en cuenta el caudal que pasa por la tubería y el área de la misma, siendo el área:

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

Dónde: A = Área transversal de la tubería (m^2); D = Diámetro de la tubería.

Posteriormente se determinó el régimen de flujo (número de REYNOLDS) mediante la ecuación:

$$\#Re = \frac{V * D}{\nu}$$

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	91 de 130

Dónde: #Re= Número de Reynolds; V= Velocidad en la tubería (m/s); D= Diámetro de la tubería (m); ν = Viscosidad cinemática (T 23°C temperatura del mes frío en Simití) (m²/s).

Se tuvo en cuenta la rugosidad absoluta del PVC para determinar la rugosidad relativa, hallada la rugosidad relativa y con el #Re se determina en el diagrama de Mody el factor de fricción f para el posterior cálculo de la pérdida de carga.

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{D}$$

Dónde: ϵ_r = Rugosidad relativa; ϵ = Rugosidad absoluta (mm); D= Diámetro de la tubería (mm)

La pérdida de carga por accesorio se determinó mediante la ecuación:

$$hf_{acc} = k * \frac{(V)^2}{2 * g}$$

Dónde: hf_{acc}= Pérdida de carga por accesorio (m); K= Coeficiente de pérdida; V= Velocidad en la tubería (m/s); g= Aceleración de la gravedad (m/s²).

A continuación se enseñan los cálculos para el diseño del sistema de entrada al sedimentador de alta tasa:

Tabla 41. Datos necesarios para el diseño.

Datos de entrada							
Caudal(L/s)-Q	30	0,03	m ³ /s				
Viscosidad cinemática (m ² /s)-V	9,34E-07						
Diámetro del ducto sumergido(pulg)-Ø	12	0,3	m	30	cm	300	mm
Rugosidad absoluta PVC (mm)- ϵ	0,0015						
Coeficiente K codo de 90 °	0,75						

Fuente: Autor

Los datos sombreados con el color azul son adoptados o tomados de tabla, los de color diferente son las respectivas unidades de cada dato necesario en el cálculo de diseño.

En la tabla 42 se enseñan los resultados del cálculo de diseño del sistema entrada al sedimentador: los resultados son los siguientes:

Tabla 42. Resultados del diseño del sistema de entrada al sedimentador.

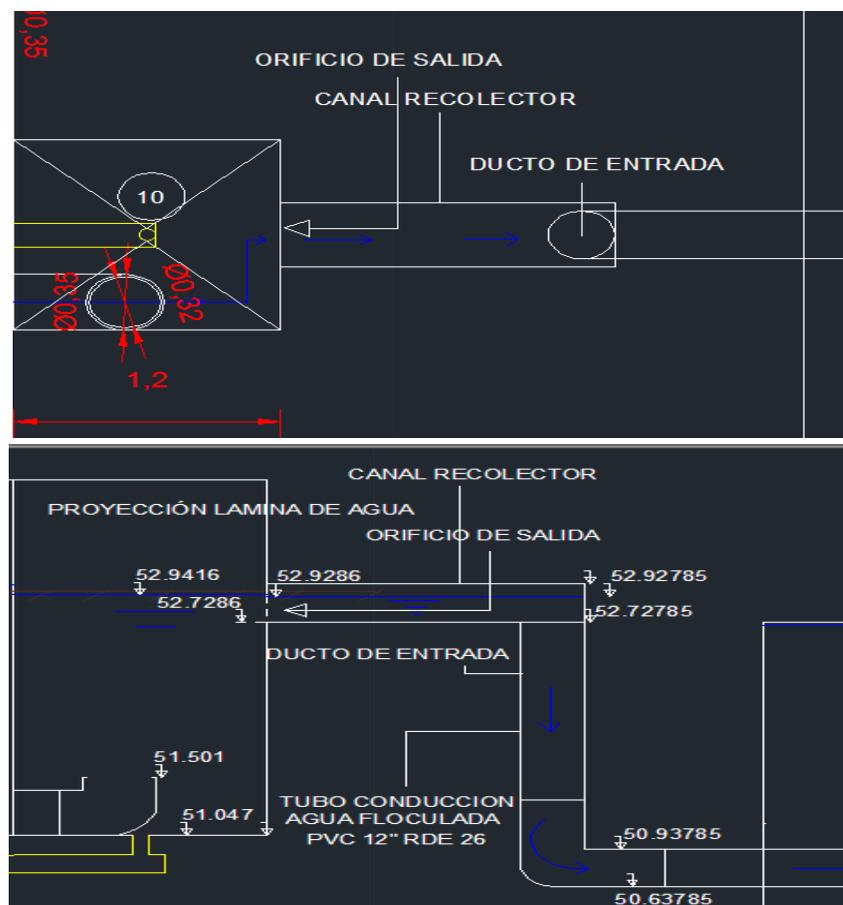
CALCULOS							
AREA DUCTO SUMERGIDO(m ²)-A	0,070686						
VELOCIDAD EN EL DUCTO (m/s)-V	0,42441219	OK no se presentará sedimentación en el ducto > 0,1 RAS 2000					
RUGOSIDAD RELATIVA- ϵ_r	0,000005						
NUMERO DE REYNOLDS	1,36E+05						
SEGUN DIAGRAMA DE MODY-f	0,0135						
LONGITU DEL TUBO VERTICAL QUE DESIENDE EL AGUA (m)- Lv	1,79						

LONGITUD HORIZONTAL-DESPUES DEL CODO DE 90° (m)-Lh	1					
PERDIDA LOCALIZADA (LE) CODO DE 90° RADIO CORTO	9,5					
PERDIDA DE CARGA TUBO VERTICAL, CODO Y TUBO HORIZONTAL (m)	0,0050774	Darcy-weisbach.				
PERDIDA EN EL ACCESORIO CODO DE 90° (m)	0,00688554					
PERDIDA TOTAL EN EL SISTEMA DE ENTRADA A SEDIMENTADORES (m)	0,01196294	1,19629359	cm	11,9629359	mm	

Fuente: Autor

De acuerdo a la tabla 42, la velocidad en el ducto no permitirá que el floc formado sedimente en este, debido a la velocidad mayor a 0,1 m/s. la pérdida total en el sistema será de 1,2 cm aproximadamente, parámetro que podrá ser medido en el sedimentador de alta tasa. El ducto en su tramo vertical tendrá una altura de 1,79 m y 1 metro en el tramo horizontal.

Ilustración 24. Plano captura en planta y perfil del sistema de entrada al sedimentador.



Fuente: Autor

El gradiente de velocidad fue omitido en el diseño de este componente, ya que fue determinado en el sistema de distribución de agua floculada en el sedimentador,

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	93 de 130

resaltando que el diámetro del ducto de distribución es igual al diámetro ducto de entrada al decantador. Por seguridad se propone que el ducto tenga una relación diámetro espesor (RDE) igual a 26, con el cual pueda resistir la presión en el mismo ducto y tanque sedimentador.

✓ **SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA FLOCULADA EN EL SEDIMENTADOR.**

Se propone que el sedimentador cuente con un ducto de 12" de diámetro. El ducto estará ubicado 0,91 m del fondo del sedimentador y a la entrada del mismo, dicho ducto podrá distribuir el agua floculada de manera uniforme, de tal forma que no rompa ni re suspenda el floc formado y depositado en el sedimentador. El ducto de 12" tendrá forma troncocónica, al inicio del sedimentador tendrá el mismo diámetro del ducto y al final se reducirá a 8" de diámetro. Otra de las características del ducto de distribución, será los 7 orificios de 6" de diámetro que estarán ubicados a lo largo del ducto, precisamente en su coa batea.

Cabe recordar que el gradiente y velocidad del agua floculada dentro del ducto de distribución deberá cumplir con lo establecido por el RAS 2000. Lo anterior con el fin de evitar el rompimiento y sedimentación del floc en el sistema de distribución de agua floculada en el sedimentador. Para mayor claridad el gradiente de velocidad en el ducto deberá ser menor al gradiente del último compartimiento de floculación, y la velocidad debe estar por encima de 0,1 m/s.

Las ecuaciones fundamentales para el diseño del presente sistema se enseñan a continuación:

Según JORGE A. PEREZ el gradiente instantáneo de velocidad en el ducto:

$$G = n * \left(\frac{\rho}{\mu}\right)^{0,5} * RH^{-0,67} * V^{1,5}$$

Dónde: G=gradiente en el ducto; l(s⁻¹); ρ= Densidad del agua (kg/m³); RH= Radio hidráulico del ducto $RH = \frac{D}{4}$ (m); V= Velocidad en el ducto (m/s)

El gradiente de velocidad en el orificio se determinó con la siguiente ecuación:

$$G = \left(\frac{f * V_o^3}{v * 8 * RH}\right)^{0,5}$$

Dónde: G= Gradiente en el orificio (s⁻¹); f= Coeficiente de fricción; V_o= Velocidad en el orificio (m/s); v= Viscosidad cinemática (m²/s); RH= Radio hidráulico (m).

Implementando las ecuaciones anteriores se tienen los siguientes resultados:

Tabla 43. Datos necesarios para el diseño.

DATOS

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	94 de 130

Caudal (m ³ /s)	30	0,03	
Densidad-ρ T 23°C (kg/m ³)	997,542		
Viscosidad dinámica o absoluta-μ T 23°C (Pa.s)	9,32E-04		
Viscosidad cinemática -ν T 23° C (m ² /s)	9,34E-07	0,00934	Cm ² /s
Gradiente ult. Compartimiento floculador -G10 (S ⁻¹)	46,95		
Diámetro del ducto de distribución - (pulg)	12	0,3	m
Coeficiente de rugosidad PVC - n	0,009		

Fuente: Autor

Tabla 44. Diseño sistema de distribución de agua floculada en el sedimentador.

GRADIENTES EN EL DUCTO DE DISTRIBUCIÓN					
Tramo	Q Tramo (m³/s)	Ø Tramo (pul)	Ø Tramo (m)	V Tramo (m/s)	G (s⁻¹)
1	0,03	12	0,3	0,424412189	14,4757501
2	0,025714286	12	0,3	0,363781876	11,4873775
3	0,021428571	12	0,3	0,303151564	8,73874416
4	0,017142857	12	0,3	0,242521251	6,25293632
5	0,012857143	12	0,3	0,181890938	4,06140127
6	0,008571429	12	0,3	0,121260625	2,21074684
7	0,004285714	8	0,2	0,136418204	3,45670222

Fuente: Autor

En la tabla 44, se observa que todos los tramos cumplen con el gradiente y velocidad establecidos por el RAS 2000, siendo evidente que todos los gradientes son menores al gradiente en el último compartimiento de floculación, y las velocidades están por encima de 0,1. Lo que concluye que el ducto de distribución de agua floculada de la PTAP de Simití no presentará rompimiento y sedimentación del floc.

El cálculo de los gradientes en los orificios ubicados a lo largo del ducto se enseña en la tabla 45:

Tabla 45. Calculo de los gradientes en los orificios del ducto.

CALCULO DE LA VELOCIDAD Y GRADIENTE EN LOS 7 ORIFICIOS DE SALIDA				
Diámetro del orificio -D _o (pulg)	6	0,15	m	15
Caudal en cada orificio - Q _o (m ³ /s)	0,00428571			
Área de cada orificio-A _o (m ²)	0,0176715			
Velocidad en cada orificio- V _o (m/s)	0,24252101	24,25210084	cm/s	OK> 0,1 m/s RAS200
Radio hidráulico para orificios	3,75	cm		
Coeficiente - f	0,04			

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	95 de 130

Gradiente en cada orificio de salida - G_o (S^{-1})	45,1252871	OK < G10 46,95	
---	------------	-------------------	--

Fuente: Autor

Se observa que igual que en el ducto no se presentará rompimiento y sedimentación en los 7 orificios del ducto de distribución de agua floculada, cumpliendo con lo establecido en el RAS 2000.

Los planos de este componente se enseñan junto a los planos del sedimentador de alta tasa, debido que se puede visualizar tanto la unidad y el componente en un solo plano.

✓ **SEDIMENTADOR DE ALTA TASA DE FLUJO ASCENDENTE.**

Como se había mencionado en la fase de diagnóstico, esta es una de las unidades a rediseñar, Esto con el fin de minimizar costos constructivos. El sedimentador existente (cuadrante) está construido en lámina metálica, con 9 m de longitud y 3,60 m de ancho dimensiones suficientes para la mejora, diseño y reforma de esta unidad. Es importante mencionar que el sedimentador existente no cuenta con tolvas para la recolección y evacuación de lodos, el fondo es plano con tuberías de desague de 6" de diámetro.

Según el RAS 2000, los criterios de diseño son los siguientes:

- Tiempo de detención debe estar entre 10 min y 15 min.
- La profundidad del tanque debe estar entre 4 m y 5,5 m.
- La carga superficial de la unidad debe estar entre 120 y 185 $m^3 / (m^2 \cdot día)$ para placas angostas.
- El sistema de salida debe cubrir la totalidad del área de sedimentación acelerada y debe constar de tuberías perforadas o canaletas que trabajen con un tirante de agua no inferior a 8 cm.
- El número de Reynolds (Re) debe ser menor a 500, se recomienda un Reynolds menor a 250.
- Para sedimentadores con placas debe tenerse en cuenta además lo siguiente:
 1. La inclinación de las placas debe ser de 55° a 60°.
 2. El espacio entre las placas debe ser de 5 cm.

Las ecuaciones fundamentales para el diseño del sedimentador de alta tasa, son las siguientes:

- Separación entre placas, se adopta $\frac{l}{e} = 24$; como $l=1,20m$, entonces $e = \frac{1,20}{24} = 0,05m$; se aclara que las placas serán en acrílico, con dimensiones igual a 1,20 m de largo y 1,20 m de ancho. La resistencia a la alta corrosión, fácil limpieza e instalación, son las razones por la cual se adoptan las placas en acrílico.

- La velocidad del flujo entre placas se determina con la siguiente ecuación:



$$V_o = \frac{V_{sc} * (\text{sen } \theta + L \text{ Cos } \theta)}{1 + \left(\frac{0,058 * e * \text{cos } \theta * V_{sc}}{\mu} \right)}$$

Dónde: V_o = Velocidad entre placas (cm/s); V_{sc} = Velocidad de sedimentación crítica obtenida del laboratorio (cm/s); L = relación separación entre placas; θ = Angulo de inclinación de la placa ($^\circ$); e = Separación entre placas (cm); μ = Viscosidad cinemática T 23°C (cm²/s).

- Tipo de flujo $\#Re = \frac{V * e}{\mu}$; Donde: $\#Re$ = Tipo de flujo; e = Separación entre placas (cm); μ = Viscosidad cinemática T 23°C (cm²/s).
- Caudal entre placas $Q_o = V_o * A_o$; Dónde: Q_o = Caudal entre placas (L/s); V_o = Velocidad entre placas (m/s); A_o = Área interna entre placas (m²).
- Número de ductos $\#Ductos = \left(\frac{Q_d}{Q_o} \right)$; Donde: Q_d = Caudal de diseño (L/s); Q_o = Caudal entre placas (L/s)
- Número de placas según el número de ductos $\#placas = \# \text{ de ductos} + 1$
- La ecuación que define la longitud del sedimentador es la siguiente:

$$L_{sed} = L_{mto} + l * \text{cos } \theta + \left(\frac{\#ductos * e + \#placas * e_{placa}}{\text{sen } \theta} \right)$$

Dónde: L_{sed} = Longitud del sedimentador (cm); L_{mto} = Longitud zona de mantenimiento (cm); $\#ductos$ = Número de ductos; e = Separación entre placas (cm); $\#placas$ = Número de placas; e_{placa} = Espesor de la placa (cm).

- Volumen útil de sedimentación:

$$V_{util \text{ sedi}} = (L_{sed} - L_{mto}) * 1,04 * B_{sed}$$

Dónde: $V_{util \text{ sedi}}$ = Volumen útil de sedimentación (m³); L_{sed} = Longitud del sedimentador (m); L_{mto} = Longitud zona de mantenimiento (m); 1,04= Altura de la lámina de acrílico inclinada (m); B_{sed} = Ancho del sedimentador (m).

- Volumen de lodo $V_{lodo} = 20\% * V_{util \text{ sedi}}$; Dónde: V_{lodo} = Volumen de lodo (m³); $V_{util \text{ sedi}}$ = Volumen útil de sedimentación (m³).
- Determinación de la altura de lodo; El cálculo del volumen se tomó como rectángulo, debido que sedimentador del municipio de Simití es un cuadrante sin tolva. La altura se determinó con la siguiente ecuación:

$$h = \frac{V_{lodo}}{(B_{sed} * L_{util \text{ sedi}})}$$

Dónde: h = Altura de lodo en el sedimentador (m); V_{lodo} = Volumen de lodo (m³); B_{sed} = Ancho del sedimentador (m); $L_{util \text{ sedi}}$ = Longitud útil del sedimentador (m).

- Altura de la canaleta de recolección de agua sedimentada:

$$h_{max} = \left(\frac{73 * q}{b} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Dónde: h_{max} = Altura de la calatea de recolección. (cm); q = Caudal de diseño (L/s); b = Ancho de la canaleta (cm).

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	97 de 130

- Altura lámina de agua en el vertedero de la canaleta de recolección.

$$Q = 1,84 * Lv * (Hv)^{\frac{3}{2}}$$

Dónde: Q= Caudal en el vertedero (m³/s); Lv= Longitud del vertedero (m); Hv= Altura lámina de agua en el vertedero (m).

- Relación Litros por metro lineales de canaleta (2-3 L/ml)

$$\text{Relacion} = \left(\frac{Q}{2 * L_{\text{utilised}}} \right)$$

Dónde: Q= Caudal en cada vertedero (L/s); L_{utilised}= Longitud útil del sedimentador (m).

- Altura total del sedimentador (HTsed)

$$HT_{\text{sed}} = z + h_{\text{mto}} + 1,04 + h_{\text{seg}} + h_{\text{max}} + Hv + B.L$$

Dónde: H_{tsed}= Altura total del sedimentador (m); h_{mto}= Altura de mantenimiento (m); 1,04= Altura de la lámina de acrílico inclinada (m); h_{seg}= Altura de seguridad (m); h_{max}= Altura de la canaleta de recolección de agua sedimentada (m); Hv= Altura de lámina de agua en el vertedero (m); B.L= Borde libre (m).

A continuación se enseñan los datos necesarios y resultados de los cálculos para el diseño:

Tabla 46. Datos necesarios para el diseño del sedimentador.

DATOS			
Caudal (L/s)-Q _d	30	0,03 m ³ /s	
Factor correlación -F	1,3		
V _{sc} Laboratorio (m ³ /m ² -dia)	173		
V _{sc} Diseño (m ³ /m ² -dia)	133,0769231	0,154024217	Cm/s
Dimensiones placas			
Largo (m)	1,2	120	
Ancho (m)	1,2	120	
Espesor (mm)	6	0,006m	0,6cm
Angulo de inclinación placas (°)	60	OK RAS 2000	
Viscosidad cinemática - T 23° (m ² /s)-μ	9,34E-07	0,00934	Cm ² /s
Relación separación entre placas (l/e)	24		
separación entre placas (m)-e	0,05	5	OKRAS2000
sen 60	0,866025403		
cos 60	0,5		
Ancho sed existente (m)-Bsed	3,6		

Fuente: Autor

Tabla 47. Diseño sedimentador de alta tasa de flujo ascendente.

CALCULOS			
Velocidad del flujo entre placas - Vo (cm/s)	0,5844		



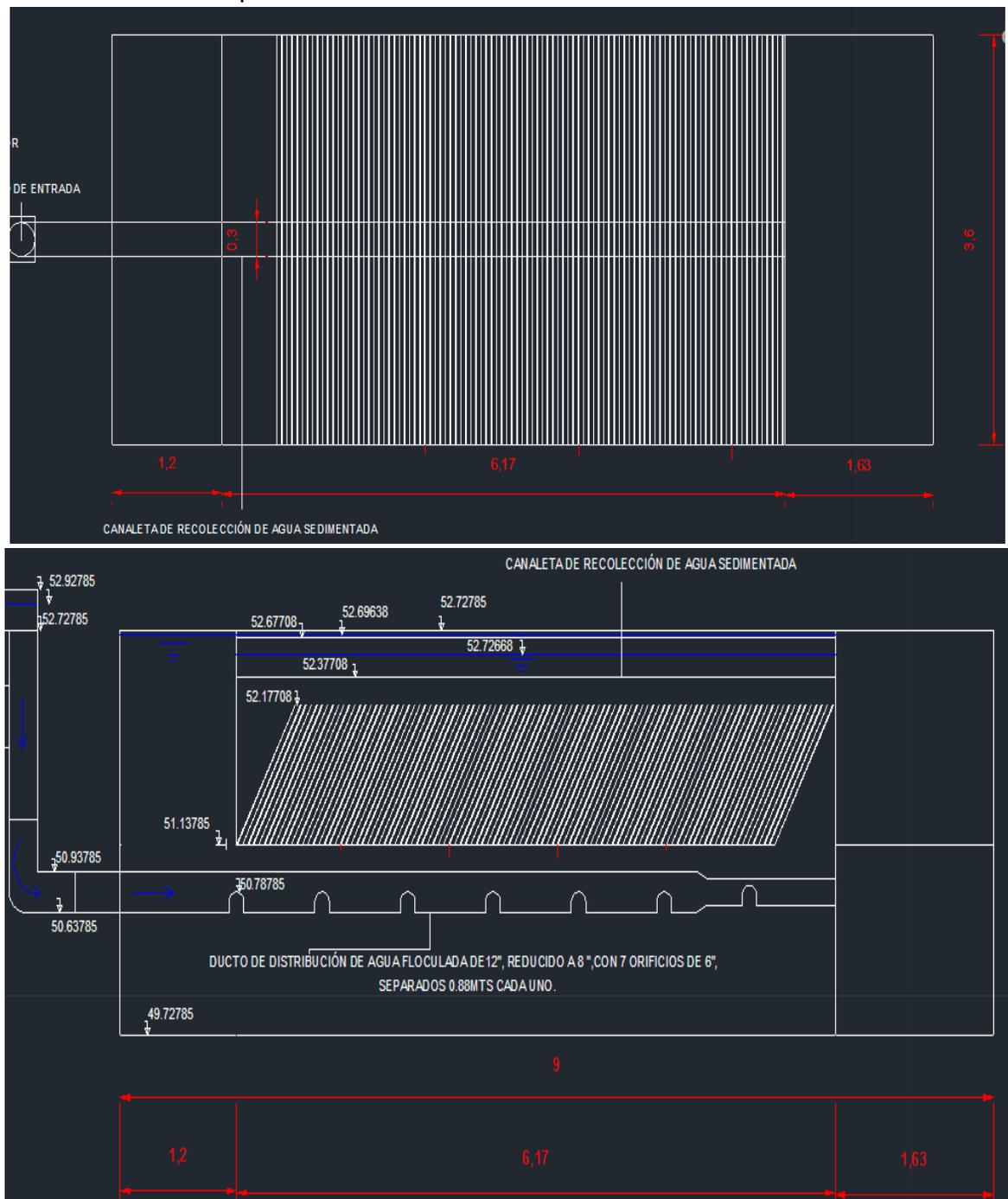
	Tipo de flujo - REYNOLDS	312,82	OK < 500 RAS200 (flujo laminar)	
	Área del orificio - A_o (cm ²)	600		
	Caudal entre placas - Q_o (cm ³ /s)	350,7		
	Caudal entre placas - Q_o (L/s)	0,3506		
	Número de ductos	85,56		
	Número de ductos aproximado	86		
	Número de placas según el número de ductos	87		
	Longitud zona mantenimiento (m)	1,2	120 cm	
	Longitud del sedimentador - L_{sed} (cm)	736,8	7,37	
	Longitud útil sedimentador - L_{utted} (m)	6,167		
	Volumen útil de sedimentación - V_{utted} (m ³)	23,09		
	Volumen de lodo - V_{lod} (m ³)	4,62		
	Calculo altura de lodo - Z (m)	0,208		
	Calculo altura de lodo aproximado - Z_{aprox} (m)	0,21		
	Altura. Lámina de agua en la canaleta de recolección de agua sedimentada- h_{maxcan} (cm)	17,46	Aprox	17,5
	Borde libre canaleta de recolección agua sedimentada- B.L (cm)	12,5	0,125	m
	Altura total canaleta rec. Agua sedimentada- A_t (cm)	30	0,3	
	Lámina de agua en el vertedero de la canaleta de recolección Para el caudal de diseño(m ³ /s)	0,0304	OK	
	H_v (m)	0,0193		
	Longitud de la canaleta de recolección Por dos	12,33		
	Litros por metros lineales de canaleta (L/ml)	2,43	OK (2-3 l/ml)	
	Borde libre (m)	0,0307		
	Altura de mantenimiento- h_{mto} (m)	1,2		
	altura de seguridad- h_{seg} (m)	0,2		
	Altura total sedimentador- H_{tsed} (m)	3	Ok Cumple RAS 2000 Htse 4-5,5 m	

Fuente: Autor

Según la tabla 47 el sedimentador existente en la PTAP compacta del municipio de Simití cumple con los criterios establecido por el RAS 2000. Específicamente la altura del sedimentador rediseñado se acoge a la altura de la estructura existente, el ancho y largo del sedimentador satisfacen el tratamiento respectivo de la

unidad, en total acuerdo con el ensayo de carga hidráulica superficial. Realizado para el rediseño de esta unidad. El sedimentador contara con una canaleta de recolección de agua sedimentada en la parte superior del mismo. Se propone modificar el diámetro de los ductos de evacuación de lodos a 8" por los existentes de 6", con el fin de desaguar y purgar el lodo de manera rápida. A continuación se enseña los planos de las siguientes unidades: Ducto de distribución de agua floculada, sedimentador de alta tasa de flujo ascendente y canaleta de recolección de agua sedimentada o clarificada:

Ilustración 25. Plano captura en planta y perfil de las unidades y componentes mencionadas en el párrafo anterior.



Fuente: Autor

Para mejor entendimiento de las alturas en cada plano se citan las cotas, también se observa el nivel de agua respecto a cada componente y unidad de la PTAP. El rediseño del nuevo sedimentador da como resultado un largo menor que la unidad

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	100 de 130

de sedimentación existente, por tal razón se aprovechara el largo excedente para ubicar la cámara de agua sedimentada.

✓ **CÁMARA DE AGUA SEDIMENTADA O CLARIFICADA.**

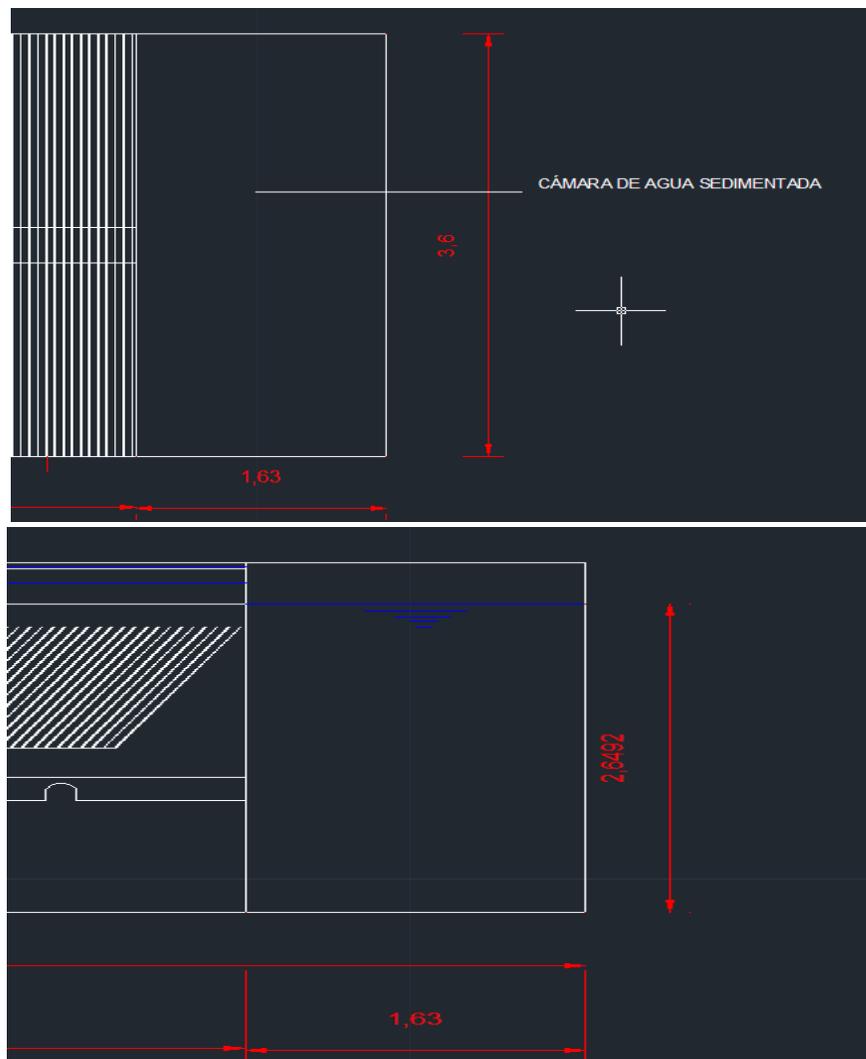
Esta cámara almacenará el agua sedimentada proveniente de la canaleta de recolección del sedimentador. Es importante aclarar que dicha cámara se ubicara inmediatamente después del sedimentador en el espacio sobrante del mismo. Posteriormente el agua almacenada en la cámara será bombeada hacia los filtros rápidos de lechos mixtos existentes que fueron rediseñados. El volumen de la cámara se determinó de acuerdo a las dimensiones excedentes del tanque sedimentador, el cual tiene el siguiente volumen:

Adoptando una altura de lámina de agua en la cámara de 2,65 m, altura a la cual está ubicada la base de la canaleta.

$$V = W * L * H \text{ Entonces; } V = 3,60m * 1,63m * 2,65m = 15,5 m^3$$

A continuación se enseñan los planos de la cámara:

Ilustración 26. Plano captura en planta y perfil de la cámara de agua sedimentada.



Fuente: Autor.

La cámara en su cara exterior tendrá ubicada un conjunto motor bomba que llevará el agua sedimentada a filtros, en el diseño del siguiente componente se

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	101 de 130

explica el sistema de bombeo. La tubería de succión de la bomba se instalará en la parte inferior de la cámara, con el fin de evitar la cargada de la misma.

✓ **SISTEMA DE BOMBEO DEL AGUA SEDIMENTADA A FILTROS.**

Para entender el sistema es necesario tener claridad en dos conceptos fundamentales en esta temática, siendo el primero tubería de succión, la cual se encuentra ubicada antes de la bomba, y su tarea es succionar el agua sedimentada. El segundo, es la tubería de impulsión, la cual esta ubicada después de la bomba, su función es impulsar el agua succionada a filtros.

De acuerdo a las instalaciones existentes en lo que respecta a filtros y sedimentador, se propuso el diseño del bombeo de agua sedimentada. Dicho sistema está conformado por una serie de tubería de succión e impulsión y accesorios hidráulicos en PVC, diseñado de acuerdo a las longitudes existentes en la PTAP compacta. El cálculo de los diámetros de cada tramo de tubería, estuvieron estrictamente relacionado con el caudal que requiere cada filtro de acuerdo a su área, resaltando que los dos filtros existentes son circulares con áreas diferentes.

Para determinar la potencia de la bomba que llevará el caudal de diseño a los filtros, se realizó una serie de cálculos hidráulicos, en los cuales se consideraron alturas, perdida de carga por ficción y perdidas de carga por accesorios.

Las ecuaciones fundamentales para los cálculos hidráulicos fueron las siguientes:

- Caudal en la tubería; $Q = V * A$; Dónde: Q= caudal en la tubería (m^3/s); V= Velocidad en la tubería (m/s); A= Área de la tubería (m^2)
- Área de la tubería; $A = \frac{\pi}{4} (D)^2$; Donde: D= Diámetro de la tubería (m)
- La perdida por fricción se determinó mediante la ecuación de Hazem Williams:

$$Q = 0,778 * C * D^{2,63} S^{0,54} S$$

Dónde: Q = Caudal en la tubería (m^3/s); C= Coeficiente de fricción HASEN WILIANS; D= Diámetro de la tubería (m); S= Pendiente piezometrica (m/m)

- $h_f = S * L$; Dónde: h_f = Perdida por ficción (m); S= Pendiente piezometrica (m/m); L= Longitud dela tubería recorrida por el flujo (m)
- Perdida por accesorio $h_{facc} = \sum k * \frac{(V)^2}{2 * g}$; Donde: $\sum k$ = Sumatoria de las perdidas locales; V= Velocidad en la tubería (m/s); g= Aceleración de la gravedad (m/s^2)
- Altura dinámica total (HDT): $HDT = HDI + HDS$; Dónde: HDI= Altura dinámica en la impulsión (m); HDS= Altura dinámica en la succión (m)
- La potencia de la bomba se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$P = \frac{\rho * Q * HDT * n}{76 * n}$$

Dónde: P= Potencia de la bomba (HP); ρ = Densidad del agua (kg/m^3); HDT= Altura dinámica total (m); Q= Caudal de bombeo (m^3/s); n= Eficiencia de la bomba (%)

Aplicando las ecuaciones anteriores se tienen los siguientes resultados:

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	102 de 130

Los datos sombreados en color azul fueron adoptados o tomados de tablas y/o calculados con anterioridad.

Tabla 48. Datos necesarios para el diseño del sistema de bombeo.

Datos de entrada		
Caudal total(L/s)-Qd	30	0,03
Velocidad de impulsión Adoptada(m/s)-VI	1,5	
Valor de π	3,14159265	
Velocidad de succión Adoptada(m/s)-Vsucc	0,8	0,6- 0,9(m/s)
Caudal requerido por el filtro 1(L/s)-Qf1	10,5	0,0105
Caudal requerido por el filtro 2(L/s)-Qf2	19,5	0,0195
Coeficiente de rugosidad C HAZEM-WILIANNS PVC	150	
Perdida local en una válvula de compuerta abierta-K	0,2	
Perdida local en una reducción gradual-K	0,15	
Perdida local en un codo de 90 °-K	0,9	
Perdida local en una Tee de paso lateral-K	1,3	
Perdida local en una ampliación gradual-K	0,3	
Perdida local en una válvula de retención-K	2,5	
Densidad del agua(Kg/m ³)- ρ	1000	
Eficiencia de la bomba(%)-n	65	0,65

Fuente: Autor

Las tablas citadas en la tabla 49 enseñaran de manera resumida el cálculo para el diseño del sistema de bombeo de agua sedimentada a filtros.

Tabla 49. Diseño del sistema de bombeo de agua sedimentada

CALCULOS			
TUBERIA DE IMPULSION HASTA LA TE			
Área de la tubería de Impulsión (m ²)-ATImp	0,02		
Diámetro de la tubería de Impulsión(m)- \varnothing Timp	0,15957691	6,38307649	Pulg
Diámetro de la tubería de Impulsión corregido(m)- \varnothing Timp	0,15	6	Pulg
Área de la tubería de Impulsión corregida(m ²)-ATImp	0,01767146		
Velocidad de impulsión corregida(m/s)-VI	1,69765273	1,7	Aprox

TUBERIA DE SUCCION			
Área de la tubería de succión (m ²)-Atsucc	0,0375		
Diámetro de la tubería de succión(m)- \varnothing tsucc	0,21850969	8,74038744	Pulg
Diámetro de la tubería de succión corregido(m), \varnothing tsucc	0,2	8	Pulg
Área de la tubería de succión corregida(m ²)- ATIsucc	0,03141593		
Velocidad de succión corregida(m/s)-Vsucc	0,95492966		



TUBERIA DE IMPULSION PARA EL FILTRO 1 CAUDAL 10,5 L/s			
Área de la tubería de Impulsión (m ²)-ATImp	0,007		
Diámetro de la tubería de Impulsión(m)-ØTimp	0,09440697	3,77627898	Pulg
Diámetro de la tubería de Impulsión corregido(m)-ØTimp	0,1	4	Pulg
Área de la tubería de Impulsión corregida(m ²)-ATImp	0,00785398		
Velocidad de impulsión corregida(m/s)-VI	1,33690152		

TUBERIA DE IMPULSION PARA EL FILTRO 2 CAUDAL 19,5 L/s			
Área de la tubería de Impulsión (m ²)-ATImp	0,013		
Diámetro de la tubería de Impulsión(m)-ØTimp	0,13	5,15	Pulg
Diámetro de la tubería de Impulsión corregido(m)-ØTimp	0,15	6	Pulg
Área de la tubería de Impulsión corregida(m ²)-ATImp	0,018		
Velocidad de impulsión corregida(m/s)-VI	1,11		

PERDIDAS POR FRICCION EN LA IMPULSION			
Longitud recorrida por el flujo entre la impulsión de la bomba y el filtro 1(m)-Limpf1	22,23		
Perdida por fricción para el filtro 1(m)-hf1	0,35693868	0,36	Aprox
Longitud recorrida por el flujo entre la impulsión de la bomba y el filtro 2(m)-Limpf2	19,38		
Perdida por fricción para el filtro 2(m)-hf2	0,13590642	0,14	Aprox
Longitud recorrida por el flujo entre la impulsión de la bomba y la Te(m)-LimpfB-Te	13,3		
Perdida por fricción entre la bomba y la Te(m)-hfB-Te	0,20710691	0,21	Aprox

PERDIDAS POR ACCESORIOS EN LA SUCCION			
Sumatoria de las perdidas locales en la succión	0,35		
Perdida por accesorio en la tubería de succión(m)-hfacc,succ	0,01626716	0,165	Aprox

PERDIDAS POR ACCESORIOS EN LA IMPULSION	
sumatorio de perdidas locales para el filtro 1	11,85
Pérdida por accesorio para el filtro 1(m)-hfacc,Imp	1,74
sumatorio de perdidas locales para el filtro 2	10,8
Pérdida por accesorio para el filtro 2(m)-hfacc,Imp	1,6

PERDIDAS POR FRICCION EN LA SUCCION	
Longitud recorrida por el flujo en la succión(m)-Lsucc	2
Perdida por fricción en la succión(m)-hfsucc	0,0077

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	104 de 130

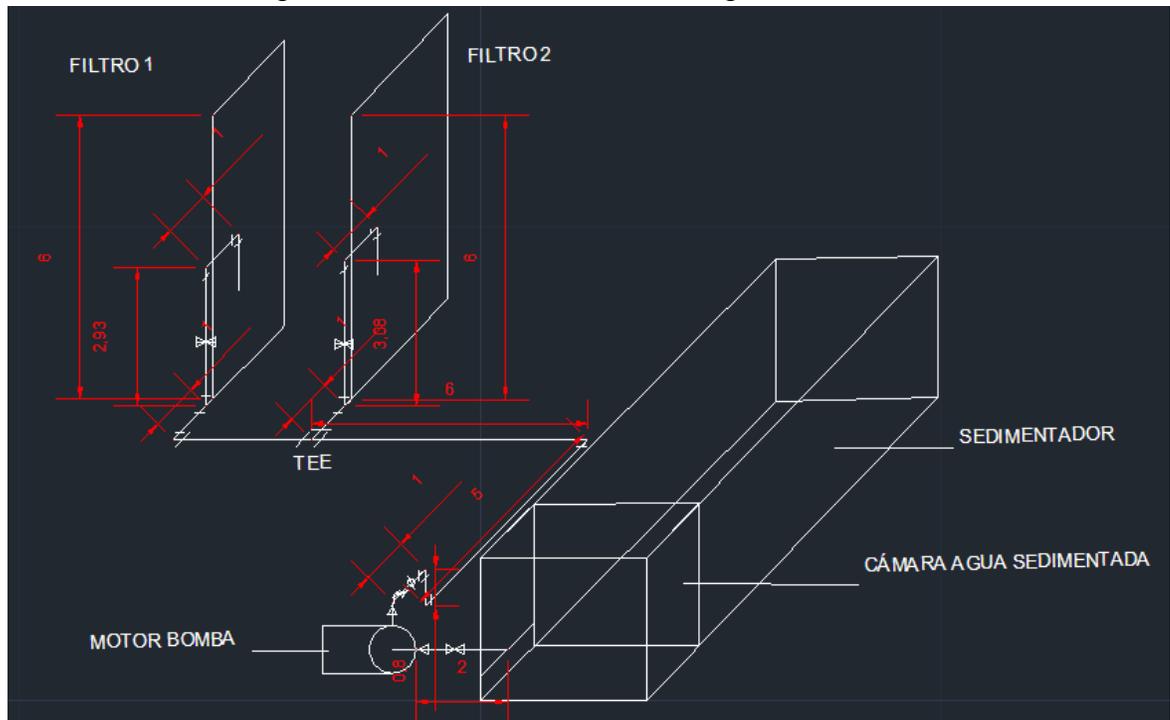
CALCULO DE LA ALTURA A ALTURA DINAMICA TOTAL	
Altura dinámica de succión(m)-HDS	0,02393857
Perdidas por fricción en la impulsión(m)-Hfimp	0,71
Perdidas por accesorios en la impulsión(m)-Hfaccimpul	3,33631498
Pérdida total en la impulsión(m)-HfTI	4,04631498
Altura estática de impulsión(m)-HEI	3,08
Altura dinámica de Impulsión(m)-HDI	7,12631498
Altura dinámica total(m)-HDT	7,15025355

CALCULO DE LA POTENCIA DE LA BOMBA PARA FILTROS	
Potencia de la bomba(HP)-p	4,34225924
Potencia bruta de la bomba(HP)-p	5,21071109
Potencia Comercial de la bomba(HP)-p	6

Fuente: Autor

Según la tabla 49 la potencia de la bomba será de 6 HP (caballo de fuerza), con la cual podrá vencer todas las pérdidas en el sistema, y así impulsar a cada filtro su caudal requerido, sumando ambos caudales el caudal de diseño de 30 L/s. A continuación se enseña el diagrama que da a conocer el sistema de bombeo:

Ilustración 27. Diagrama sistema de bombeo de agua sedimentada a filtros.



Fuente: Autor

En la ilustración 27 se observa los accesorios y dimensiones de las tuberías tanto de succión e impulsión, como también se evidencia la ubicación del tanque sedimentador y cámara de agua sedimentada respecto los filtros. La ubicación del motor bomba será en la cámara de agua clarificada, es de mencionar que no se realizaron cálculos respecto a gradientes de velocidad ya que el agua en esta unidad es considerablemente clara, por ende no habrá floc que pueda romperse ni sedimentarse

✓ **FILTROS RÁPIDOS DE LECHOS MIXTOS DE FLUJO DESCENDENTE.**

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	105 de 130

En la fase de diagnóstico se evaluó que los filtros existentes están fuera de servicio, su estructura es en lámina metálica y están diseñados para trabajar de forma ascendente, resaltando que la forma de cada filtro es circular con lechos de antracita, arena y grava en el fondo de los mismos.

En el rediseño de los filtros se propuso modificar la dirección del flujo en el proceso de filtración. El nuevo proceso de filtración será con flujo descendente (por gravedad), aprovechando la estructura existente de cada filtro. Es de mencionar que en la PTAP compacta existen dos unidades de filtración con diámetros diferentes, 2,20 m y 3 m para el filtro 1 y 2 respectivamente. El caudal de diseño para cada filtro se determinó de acuerdo al porcentaje de área de cada unidad respecto al área total (área de ambos filtros), posteriormente se determinó la tasa de filtración respecto al caudal de total (30 L/s). Según los cálculos realizados, el caudal de los filtro es 10,5 L/s y 19,5 L/s para el filtro 1 y 2 respectivamente. Los cálculos se enseñan más adelante en el diseño de la unidad.

El diseño de la unidad de filtración, se fundamenta en el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS 2000) y algunas recomendaciones y especificaciones en literatura relacionada con el tema.

El RAS 2000 cita los siguientes parámetros:

- En el diseño de la unidad deben considerarse los siguientes componentes:
 - ✓ Sistema de entrada de agua
 - ✓ Medio filtrante
 - ✓ Caja del filtro
 - ✓ Sistema de drenaje
 - ✓ Sistema efluente
 - ✓ Sistema de lavado del filtro
- El espesor del material de soporte varía entre 0,4 y 0,55 m.
- Para lechos de antracita sobre arena y profundidad estándar, la tasa máxima de filtración es de 300 m³/ (m².día).
- Velocidad de lavado entre 0,6-1,20 m/min.

Otros parámetros serán nombrados en el transcurso del diseño.

Las ecuaciones fundamentales para el diseño de las unidades de filtración son las siguientes:

- Número de filtros; $N = 0,044\sqrt{Q}$ Dónde: N= Número de filtros; Q= Caudal total de filtración (m³/día).
- Área de cada filtro; $A = \frac{\pi}{4}(D)^2$; Dónde: D= Diámetro del filtro (m).
- Porcentaje de área de cada filtro $\frac{Af1}{AfT} * 100$; Dónde: Af1=Área del filtro 1 (m²); AfT= Área total de filtración (m²)
- Caudal para cada filtro de acuerdo al porcentaje de área de los mismos:

$$Q_c/\text{filtro} = \left(\frac{Af1}{AfT} * 100 \right) * Q_d$$



Dónde: Q_c/filtro = Caudal de cada filtro (L/s); $\frac{Af_1}{A_{ft}} * 100$ = Porcentaje de área de cada filtro (%); Q_d = Caudal de diseño (Caudal total de filtración) (L/s).

- Tasa de filtración se determinó con la siguiente ecuación:

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

Dónde: v_f = Velocidad de filtración (m^3/m^2 -día); Q = Caudal de filtración (m^3/s); A = Área del filtro (m^2).

- La pérdida por filtración se determinó por la siguiente ecuación:

$$h_f = h_A + h_a + h_G + h_o + h_{ds}$$

Dónde: h_f = Pérdida por filtración total (m); h_A = Pérdida en lecho de antracita (m); h_a = pérdida en lecho de arena (m); h_G = pérdida en el lecho de grava (m); h_o = pérdida en los orificios de drenaje (m); h_{ds} = pérdida en el ducto de salida de filtros (m)

- Pérdida por filtración en los lechos de antracita y arena

$$h_{fA,a} = \frac{f * \mu * v_f}{g} * \frac{(1 - P_{o,A,a})^2}{(P_{o,A,a})^3} * \frac{36}{(C_e)^2} * X_{A,a} * \sum \left(\frac{X_i}{d_i^2} \right)$$

Dónde:

$h_{fA,a}$ = Pérdida por filtración en los lechos de arena y antracita (m)

f = Constante de permeabilidad.

μ = Viscosidad cinemática (cm^2/s)

v_f = Velocidad de filtración (cm/s).

G = Aceleración de la gravedad (cm/s^2)

$P_{o,A,a}$ = Porosidad de la antracita y arena (mm).

C_e = Coeficiente de esfericidad de la antracita y arena.

$X_{A,a}$ = Espesor del lecho de antracita y arena (cm)

$\sum \left(\frac{X_i}{d_i^2} \right)$ = Sumatoria del porcentaje retenido en los tamices.

- Pérdida para la grava de soporte $h_G = \frac{v_f * X_G}{3}$;

Dónde:

h_G = Pérdida por filtración en la grava (m)

v_f = Velocidad de filtración (m/min).

X_G = Espesor del lecho de grava (m).

- Pérdida en los orificios de drenaje $h_o = K * \frac{v_o^2}{2 * g}$;

Dónde:

h_o = Pérdida en los orificios de drenaje (m)

K = Coeficiente de pérdida.

v_o = Velocidad en cada orificio (m/s).

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

- Pérdida en el ducto de salida $h_{ds} = K * \frac{v_{ds}^2}{2 * g}$

Dónde:

h_{ds} = Pérdida en el ducto de salida (m)

K = Coeficiente de pérdida.

v_{ds} = Velocidad en el ducto de salida (m/s).

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

- El Espesor de los lechos se determinó con las siguientes ecuaciones:



$$X_a + X_A = 0,6$$

$$\frac{TE_a}{X_a} = \frac{TE_A}{X_A}$$

TE_a = Tamaño efectivo de la arena (mm)

TE_A = Tamaño efectivo de la antracita (mm)

X_a = Porcentaje en volumen de arena

X_A = Porcentaje en volumen de antracita

Para el cálculo de los lechos se empezó despejando X_A .

$$X_A = \frac{TE_A}{TE_a} X_a$$

- Las pérdidas durante el lavado se determinaron de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$h_{fLav} = h_{de} + h_o + h_G + h_a + h_A$$

Dónde:

h_{fLav} = Perdida carga durante el lavado (m).

h_{de} = Perdida en el ducto de entrada (m).

h_o = Perdida en los orificios de drenaje (m).

h_G = Perdida en la grava (m).

h_a = perdida en el lecho de arena (m).

h_A = Perdida en el lecho de antracita (m)

- Perdida en el ducto de entrada $h_{de} = K * \frac{V_{de}^2}{2 * g}$

Dónde:

h_{de} = Perdida en el ducto de entrada (m)

K = Coeficiente de perdida.

V_{de} = Velocidad en el ducto de entrada (m/s).

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

- Perdida en los orificio de drenaje $h_o = K * \frac{V_o^2}{2 * g}$

Dónde:

h_o = Perdida en los orificios (m)

K = Coeficiente de perdida.

V_o = Velocidad en cada orificio (m/s).

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

- Perdida de la grava de soporte $h_G = \frac{V_f * X_G}{3}$

Dónde:

h_G = Perdida por lavado en la grava (m)

V_f = Velocidad de lavado (m/min).

X_G = Espesor del lecho de grava (m).

- Según PEREZ, CEPIS 1983 sugiere el cálculo de la Perdida durante el lavado en los lechos de arena y antracita por las siguientes ecuaciones:

$h_a = (S_s a - 1)(1 - P_{oa}) * X_a$; P_{oa} según J. Arboleda 0.42 – 0.48

$h_A = (S_s A - 1)(1 - P_{oA}) * X_A$; P_{oA} según J. Arboleda 0.48 – 0.55

Dónde:

h_a = Perdida de carga durante el lavado de la arena (m).

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	108 de 130

h_A = Perdida de carga durante el lavado de la Antracita (m).

S_{sa} = Gravedad especifica de la arena.

S_{sA} = Gravedad especifica de la Antracita.

$P_{o,A,a}$ = Porosidad de la arena y antracita.

$X_{A,a}$ = Espesor de los lechos de arena y antracita (m).

- Expansión total de los lechos de arena y antracita

$$\epsilon_T = \frac{\epsilon_{arena} * X_{arena} + \epsilon_{antracita} * X_{antracita}}{X_{arena} + X_{antracita}}$$

Dónde:

ϵ_T = Expansión total de los lechos (m)

ϵ_{arena} = Expansión Parcial del lecho de arena (m).

$\epsilon_{antracita}$ = Expansión parcial del lecho de antracita (m).

X_{arena} = Espesor lecho de arena (m)

$X_{Antracita}$ = Espesor lecho de arena (m)

Aplicando las ecuaciones anteriores, parámetros y recomendaciones de algunos autores se tienen los siguientes resultados:

Tabla 50. Datos necesarios para el diseño de filtros.

Datos de entrada			
Q(L/s)	30	2592	m3/dia
Diámetro filtro 1(m)	2,2		
Diámetro filtro 2(m)	3		
Valor de π	3,14159265		
Tamaño efectivo arena(mm)-TE	0,55	0,5-0,6 J.Triana&CiaLTDA	
Coeficiente de uniformidad arena(mm)-CU	1,6	1,5- 1,7J.Triana&CiaLTDA	
Porosidad arena- P_o	0,46	0,42-0,48 Arboleda	
Gravedad especifica arena- S_s	2,65	Generica	
Tamaño efectivo Antracita(mm)-TE	0,85	0,8- 1,0J.Triana&CiaLTDA	
Coeficiente de uniformidad Arena(mm)-CU	1,5	1,5 J.Triana&CiaLTDA	
Porosidad Antracita- P_o	0,52	0,48-0,55 Arboleda	
Gravedad especifica Antracita- S_s	1,4	Generica	
Altura total de los lechos de Antracita y arena	0,6	0,6-0,8 m	
Espesor grava d soporte(m)-XG	0,4	J.A, Pérez Parra	
Constante de permeabilidad- f	5		
Viscosidad cinemática(cm ² /s) T 23 °C	0,00934		
Coefiente de esfericidad arena- C_e	0,82	Generica	
Coefiente de esfericidad Antracita- C_e	0,73	Generica	
Numero de orificio filtro 1	75		
Diámetro de los orificios(Pulg)	0,75	0,01875	m
Diámetro ducto de salida filtro 1(pulg)	6	0,15	m
Numero de orificios filtro 2	90		
Diámetro de los orificios(Pulg)	0,75	0,01875	m
Diámetro ducto de salida filtro 2(pulg)	6	0,15	m

Fuente: Autor

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	109 de 130

Con los datos consultados en Jorge Triana y Cía. Ltda., se calculó los parámetros de diámetros promedios y porcentajes retenido para la arena y antracita, los cuales se enseñan en la tabla 51 y 52.

Tabla 51. Diámetro promedio y porcentaje retenido para la arena

Diámetro promedio y porcentaje retenido para la arena							
Numero de tamiz		d1[cm]	d2[cm]	di[cm]	di^2[cm2]	xi	xi/di^2[cm-2]
12	16	0,168	0,119	0,14139307	0,019992	0,09	4,50180072
16	20	0,119	0,084	0,09998	0,009996	0,35	35,0140056
20	30	0,084	0,059	0,07039886	0,004956	0,37	74,65698144
30	40	0,059	0,042	0,04977951	0,002478	0,19	76,67473769
					Suma/ría	1	190,8475255

Fuente: Autor

Tabla 52. Diámetro promedio y porcentaje retenido para la antracita.

Diámetro promedio y porcentaje retenido para la Antracita							
Numero de tamiz		d1[cm]	d2[cm]	di[cm]	di^2[cm2]	xi	xi/di^2[cm-2]
10	12	0,2	0,168	0,18330303	0,0336	0,09	2,678571429
12	16	0,168	0,119	0,14139307	0,019992	0,36	18,00720288
16	20	0,119	0,084	0,09998	0,009996	0,35	35,0140056
20	30	0,084	0,059	0,07039886	0,004956	0,2	40,3551251
					Suma/ría	1	96,05490501

Fuente: Autor

Dela tabla 51 y 52 se tomaron las relaciones entre el porcentaje de cada material retenido entre tamices y los diámetros de los mismos $\sum \left(\frac{xi}{di^2} \right)$, dicho resultado fue fundamental para el cálculo de las perdidas por filtración en los lechos de arena y antracita.

Tabla 53. Perdidas por filtración en el filtro 1 y 2.

CALCULOS		Conversión de unidades y/o Aproximaciones	
Número de filtros	2,24011428	2	
Área filtro 1(m ²)-Af1	3,80132711		
Área filtro 2(m ²)-Af2	7,06858347		
Área total(m ²)-ATf	10,8699106		
Porcentaje Af1 (%)	34,9710983		
Porcentaje Af2 (%)	65,0289017		
Caudal para el filtro 1 respecto al % Af1 y Q(L/s)	10,4913295	906,450867	m3/día
Caudal para el filtro 2 respecto al % Af2 y Q(L/s)	19,5086705	1685,54913	m3/día
Tasa de filtración para el filtro 1(m3/m ² -día)-Vf1	238,456423	0,27599123	cm/seg ok RAS 2000 300m3/m2-dia
Tasa de filtración para el filtro 2(m ³ /m ² -día)-Vf2	238,456423	0,27599123	cm/seg ok RAS 2000 300m3/m2-dia
PERDIDAS POR FILTRACION			
Espesor lecho de arena (m)-Xaf1	0,23571429	0,24	24
Espesor lecho de Antracita (m)-Xaf1	0,36	36	cm
Espesor grava d soporte(m)-XGf1	0,4		



Perdida en el lecho de Antracita(cm)-hfAf2	5,02914814		
Perdida en el lecho de arena(cm)-hfaf1	9,65227645		
Perdida en la Grava (m)-hfGf1	0,0220793	2,20792985	cm
Caudal por orificio(m ³ /s)-Qof1	0,00013988		
Área de cada orificio(m ²)-Aof1	0,00027612		
Velocidad en cada orificio(m/s)-Vof1	0,50661359		
Perdida en los orificio(m)-hfof1	0,00784885	0,78488481	cm
Área del ducto de salida(m ²)-Adsf1	0,01767146		
Velocidad en el ducto de salida(m/s)-Vdsf1	0,5936878		
Perdida en el ducto de salida(m)-hfdsf1	0,01077875	1,07787525	cm
Pérdida total por filtración (cm)-Filtro1	18,7521145		
Espesor lecho de arena (m)-Xaf2	0,23571429		
Espesor lecho de Antracita (m)-Xaf2	0,36		
Espesor grava d soporte(m)-XGf2	0,4		
Perdida en el lecho de Antracita(cm)-hfAf2	5,02914814		
Perdida en el lecho de arena(cm)-hfaf2	9,65227645		
Perdida en la Grava (m)-hfGf2	0,0220793	2,20792985	cm
Caudal por orificio(m ³ /s)-Qof2	0,00021676		
Área de cada orificio(m ²)-Aof2	0,00027612		
Velocidad en cada orificio(m/s)-Vof2	0,78504172		
Perdida en los orificio(m)-hfof2	0,0188468	1,88468045	cm
Área del ducto de salida(m ²)-Adsf2	0,01767146		
Velocidad en el ducto de salida(m/s)-Vdsf2	1,10396492		
Perdida en el ducto de salida(m)-hfdsf2	0,03727029	3,72702921	cm
Pérdida total por filtración (cm)-Filtro2	22,5010641		

Fuente: Autor

Según la tabla 53 la tasa de filtración para cada filtro cumple con lo establecido por el RAS 2000, siendo la tasa de filtración para cada filtro de 238 m³/m²-día por debajo de 300 m³/m²-día, el cual es el criterio establecido por la normativa RAS 2000. Se determinó que el caudal para el filtro 1 es de 10,5 L/s, y para el filtro 2 de 19,5 L/s, caudales de acuerdo al área de los mismos.

Se determinó que los lechos de antracita, arena y grava tendrán el mismo espesor en ambos filtros. El número de orificio de drenaje en el filtro 1 serán 75 y 90 para el filtro 2. Por tal razón se evidencia que las pérdidas en los orificios del filtro 2 son mayores a las pérdidas en los orificios del filtro 1. Todo lo anterior concluye en decir que el filtro 2 tendrá mayores pérdidas durante la filtración que el filtro 1, esto de acuerdo al mayor porcentaje de área y orificios de drenaje ubicados en el mismo.

Para el caudal de diseño (30L/s) se requieren aproximadamente dos (2) unidades de filtración para la PTAP mejorada de Simití, número de unidades existentes en las instalaciones de la planta compacta, por tanto no se tendrá inconveniente para filtrar el caudal mencionado.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	111 de 130

Las características de los lechos filtrantes fueron tomadas de los rangos recomendados, seguido de las características adoptadas para implementar en las unidades de filtración, garantizando la correcta operación respaldada con datos consultados en Jorge Triana & Cía. LTDA, lo anterior con el objeto de realizar los cálculos de diseño con características disponibles en el mercado. A continuación se enseñan los rangos de las características disponibles en el mercado:

Tabla 54. Rangos de características de lechos filtrantes dobles.

Material	Altura [cm]	TE [mm]		Peso específico		CU		
		Usual	Máximo	Usual	Máximo	Usual	Máximo	Usual
Antracita	45-50	45	0,8-1,4	0,8-1,0	1,65	1,4	1,8	1,5
Arena	15-45	15-30	0,45-0,6	0,5-0,6	2,65	2,6	1,3-1,7	1,5-1,7

Fuente: Jorge Triana y Cía. Ltda. 2015.

Con base en las características consultadas y genéricas de lechos filtrantes, se determinó la expansión parcial de cada lecho al momento del retrolavado de los mismos, en la tabla 55 y 56 se enseñan las expansiones de los lechos de antracita y arena:

Tabla 55. Expansión del lecho de arena.

EXPANSIÓN DEL LECHO DE ARENA												
Numero de tamiz	d1[cm]	d2[cm]	di[cm]	Ga	Re	Vs[cm/s]	$\beta^*(Re)^\theta$	Pe	ϵ_c	Xi	ΔL_c	
12	16	0,168	0,119	0,141	52450	223	14,7	0,36	0,4	0,13	0,09	0,0024
16	20	0,119	0,084	0,1	18544	125	11,7	0,32	0,5	0,01	0,35	0,003
20	30	0,084	0,059	0,07	6474	69,6	9,24	0,29	0,5	0,15	0,37	0,008
30	40	0,059	0,042	0,05	2289	39,1	7,33	0,26	0,6	0,35	0,19	0,012
											Σ	0,0254

Fuente: Autor

Tabla 56. Expansión del lecho de antracita.

EXPANSIÓN DEL LECHO DE ANTRACITA												
Numero de tamiz	d1[cm]	d2[cm]	di[cm]	Ga	Re	Vs[cm/s]	$\beta^*(Re)^\theta$	Pe	ϵ_c	Xi	ΔL_c	
10	12	0,2	0,168	0,183	27704	144	7,36	0,30	0,5	0,06	0,09	0,0021
12	16	0,168	0,119	0,141	12715	89	5,91	0,28	0,6	0,20	0,36	0,026
16	20	0,119	0,084	0,100	4495	47	4,42	0,26	0,7	0,46	0,35	0,057
20	30	0,084	0,059	0,07	1569	24	3,29	0,25	0,7	0,85	0,2	0,061
											Σ	0,147

Fuente: Autor

De la tabla 55 y 56 se tomó la expansión parcial de los lechos de arena y antracita para el cálculo de la expansión total de los mismos.

Tabla 57. Datos necesarios para el cálculo de las pérdidas durante el lavado-Filtro 1.

Datos de entrada			
Velocidad de lavado(m/min)	0,6	0,01	m/s
Diámetro ducto de entrada (m)	0,1	4	"

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	112 de 130

Valor de π	3,14159265		
Números orificio filtro 1	75		
Diámetro de los orificios(")	0,75	0,01875	
Espesor grava(m)-XG	0,4		
Coeficiente C PVC	150		

Fuente: Autor

Los valores sombreados en color azul son adoptados o tomados de tablas, el número de orificios por donde entrará el agua para efectuar el retrolavado del filtro 1 serán 75 y la velocidad de lavado fue la establecida por el RAS 2000 (0,6m/min). El espesor de la grava de soporte fue adoptó de acuerdo a los criterios citados por Jorge Arboleda Valencia (Cepis 1975). ANEXO C

Tabla 58. Datos necesarios para el cálculo de las pérdidas durante el lavado-Filtro 2

Datos de entrada			
Velocidad de lavado(m/min)	0,6	0,01	m/s
Diámetro ducto de entrada (m)	0,15		
Valor de π	3,14159265		
Número de orificio filtro 1	90		
Diámetro de los orificios(")	0,75	0,01875	
Espesor grava(m)-XG	0,4		
Coeficiente C PVC	150		

Fuente: Autor

El filtro numero dos contara con 90 orificios de 3/4" ubicado en una malla de tubería ubicada en el fondo del mismo.

Tabla 59. Pérdidas durante el lavado del filtro1 y 2.

Pérdida de lavado			
Cálculos Filtro 1			
$Q_{lav} (m^3/s)-f1$	0,03801327		
Área ducto de entrada(m^2)-Adef1	0,00785398		
Velocidad en el ducto de entrada(m/s)-Vdef1	4,84		
Perdida ducto de entrada(m)-hdef1	0,7163792	71,6379205	cm
Caudal de lavado en cada orificio(m^3/s)-QLavof1	0,00050684		
Área de cada orificio(m^2)-Aof1	0,00027612		
Velocidad en cada orificio(m/s)-Vof1	1,83561481		
Perdida en los orificios(m)-hof1	0,10304226	10,3042255	cm
Perdida en la grava(m)-hGf1	0,08	8	cm
Perdida en la arena(m)-haf1	0,21384	21,384	cm
Perdida en la Antracita(m)-hAf1	0,06912	6,912	cm
Perdida total por lavado filtro 1(m)-hfLav	1,18238146	118,238146	cm
Calculo del diámetro de la tubería de lavado para el filtro 1			
Longitud vertical respecto al tanque elevado(m)	24		
Longitud horizontal desde T.Elev. Hasta el filtro(m)	30		
Longitud más larga dentro del filtro(m)	3,6		

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	113 de 130

Longitud vertical + horizontal+ dentro filtro(m)-LT	57,6		
Pendiente piezometrica-S	0,02052746		
Diámetro de la tubería de lavado filtro1(m)-Df1	0,15497089	6,1988355	Pulgadas
Calculo Filtro 2			
Qlav (m ³ /s)-f2	0,07068583		
Área ducto de entrada(m ²)-Adef2	0,01767146		
Velocidad en el ducto de entrada(m/s)-Vdef2	4		
Perdida ducto de entrada(m)-hdef2	0,48929664	48,9296636	cm
Caudal de lavado en cada orificio(m ³ /s)-QLavof2	0,0007854		
Área de cada orificio(m ²)-Aof2	0,00027612		
Velocidad en cada orificio(m/s)-Vof2	2,84444444		
Perdida en los orificios(m)-hof2	0,24742704	24,742704	cm
Perdida en la grava(m)-hGf2	0,08	8	cm
Perdida en la arena(m)-haf2	0,21384	21,384	cm
Perdida en la Antracita(m)-hAf2	0,06912	6,912	cm
Pérdida total por lavado filtro 2(m)-hfLav	1,09968368	109,968368	cm
Calculo del diámetro de la tubería de lavado para el filtro 2			
Longitud vertical respecto al tanque elevado(m)	24		
Longitud horizontal desde T.Elev. Hasta el filtro(m)	33		
Longitud más larga dentro del filtro(m)	4,16		
Longitud vertical + horizontal+ dentro filtro(m)-LT	61,16		
Pendiente piezometrica-S	0,01798044		
Diámetro de la tubería de lavado filtro1(m)-Df1	0,20160241	8,06409659	Pulgadas

Fuente: Autor

La pérdida durante el lavado en los lechos filtrantes tiene un valor igual en ambos filtros, debido que las características de los lechos son las mismas. Según la tabla 59 la pérdida en los orificios del filtro 2 es mayor a la pérdida en los orificios del filtro 1, esto es debido a la mayor cantidad de orificios en el filtro 2 y su área de filtración, la cual está estrictamente relacionada con el caudal y velocidad de lavado, siendo mayor estos dos parámetros en el filtro 2.

En la tabla 59 también se observa que la pérdida total por lavado en el filtro 1 es mayor a la pérdida total por lavado en el filtro 2, lo anterior fundamenta en los diámetros de la tubería de lavado, dichos diámetros fueron corregidos con las perdidas por lavado, longitudes hasta el tanque de lavado, longitudes internas más largas en cada filtros y la pendiente piezometrica respecto al tanque de lavado. El diámetro de la tubería de lavado del filtro 1 es de 6" y del filtro 2 de 8", los cuales interfieren directamente en la velocidad en cada tubería, presentándose mayor velocidad en la tubería de 6" y menor en la de 8", ya que el área de la tubería de 6" es pequeña de acuerdo al área de la tubería de 8".

La expansión total de los lechos filtrantes en la PTAP mejorada será de 0,1 m, por encima de esta, se adoptó una altura de seguridad de 0,4 metros, la cual pueda compensar una expansión mayor durante el lavado y evitar el arrastre de los lechos.

En la tabla 60 se enseña el diseño de la canaleta de lavado del filtro 1 y 2, recordando que cada filtro tiene un caudal de lavado diferente por ende la altura de la canaleta difieren en ambos filtros.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	114 de 130

Tabla 60. Diseño de la canaleta de lavado de los filtros 1 y 2.

Canaleta de lavado filtro1			
Ancho(cm)-b		30	
Caudal de lavado filtro 1(m³/s)-Qlavf1		0,03800133	38,001327
Altura lámina de agua dentro la canaleta(cm)-hmax		20,4487569	0,20448757
Longitud del vertedero(m)-Lv		2,2	
Caudal por vertedero(m³/s)-Qv		0,01900066	
Altura lámina de agua en el vertedero(m)-Hv		0,13	
Caudal respect al Hv(m³/s)-Qv		0,18973853	
Borde libre entre de la canaleta(m)-B.L		0,075	
Altura total de la canaleta(m)-Htcta		0,27948757	
Canaleta de lavado filtro2			
Ancho(cm)-b		35	
Caudal de lavado filtro 1(m³/s)-Qlavf1		0,07068583	70,68583
Altura lámina de agua dentro la canaleta(cm)-hmax		27,9077475	0,27907748
Longitud del vertedero(m)-Lv		3	
Caudal por vertedero(m³/s)-Qv		0,03534292	
Altura lámina de agua en el vertedero(m)-Hv		0,16	
Caudal respect al Hv(m³/s)-Qv		0,35328	
Borde libre entre de la canaleta(m)-B.L		0,1	
Altura total de la canaleta(m)-Htcta		0,37907748	

Fuente: Autor

El ancho de la canaleta del filtro 1 tendrá 0,3 m y 0,35 m del filtro 2, cada uno con una altura de lámina de agua dentro de la canaleta de 0,2m y 0,28 respectivamente, la canaleta se ubicara en el centro del filtro con una compuerta rectangular de control para lavado de filtros.

Conocidas las alturas de los componentes de cada filtro se calculó la altura total de las unidades de filtración, teniendo en cuenta que los filtros existentes tienen una altura total de 6m, altura favorable para el rediseño de la unidad. Se aclara que las canaletas de lavado tendrán registros para conducir las aguas de lavado de cada unidad de filtración, mencionando que las instalaciones existentes en la PTAP compacta cuenta con tuberías y registros de aguas de lavado consideradas en buen estado. Dichas tuberías y registros se aprovecharan para el planteo de evacuación de agua de lavado de la PATP mejorada.

En la tabla 61 se muestran los resultados de la altura total de cada filtro:

Tabla 61 .Altura de los filtros 1 y 2.

Altura total filtro 1			
Datos de entrada Resultados			
Diámetro tubería perforada(m)	0,15	6	Pulg
Altura de la Grava de soporte(m)-XG	0,4		
Espesor lecho de arena(m)-Xa	0,24		
Espesor lecho de Antracita(m)-XA	0,36		
Expansión de los lechos de Antracita	0,1		



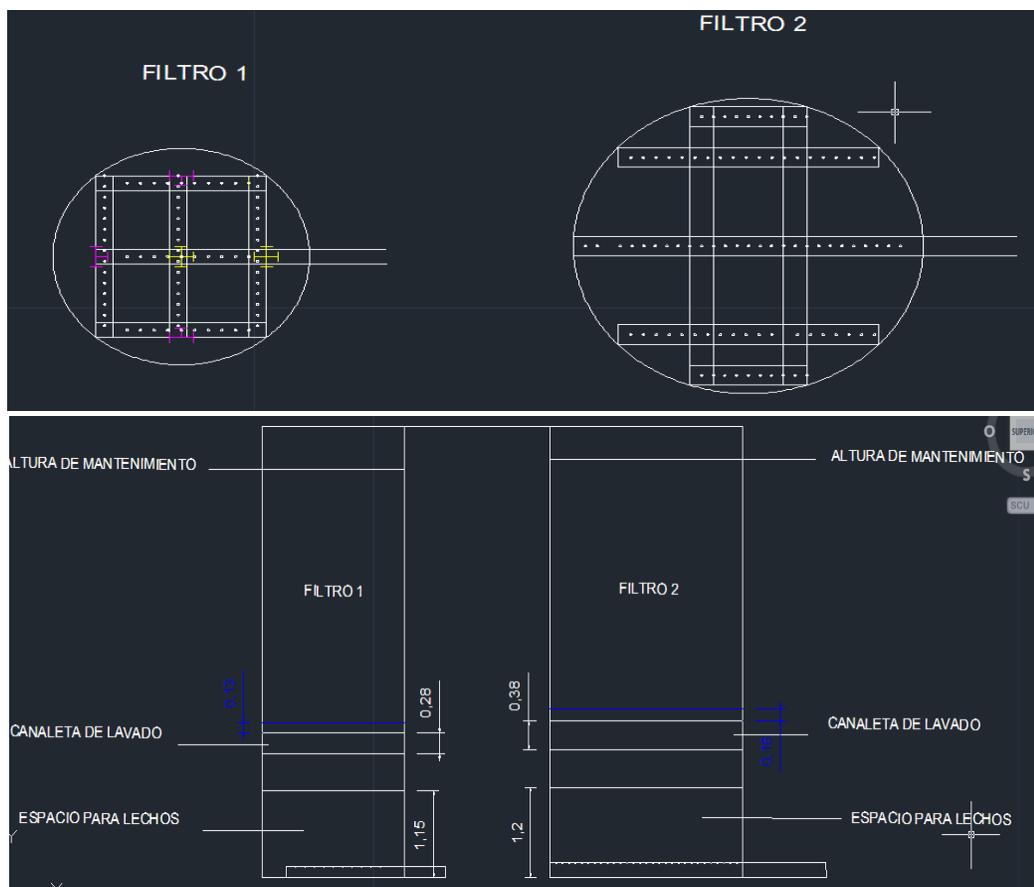
y arena(m)-ET			
Altura de seguridad(m)-Hseg	0,4		
Altura de la canaleta de lavado(m)-Hcan	0,28		
Lámina de agua en el vertedero(m)-Hv	0,13		
Pérdida total por lavado(m)-Hlav	1,18		
Pérdida total por filtración(m)-Hf	0,19		
Altura de mantenimiento(m)-Hmto	2		
Borde libre(m)-B.L	0,57		
Cálculos			
Altura total del filtro 1(m)-HT	6		
Altura total filtro 2			
Datos de entrada Resultados			
Diámetro tubería perforada(m)	0,2	8	Pulg
Altura de la Grava de soporte(m)-XG	0,4		
Espesor lecho de arena(m)-Xa	0,24		
Espesor lecho de Antracita(m)-XA	0,36		
Expansión de los lechos de Antracita y arena(m)-ET	0,1		
Altura de seguridad(m)-Hseg	0,4		
Altura de la canaleta de lavado(m)-Hcan	0,38F		
Lámina de agua en el vertedero(m)-Hv	0,16		
Pérdida total por lavado(m)-Hlav	1,1		
Pérdida total por filtración(m)-Hf	0,225		
Altura de mantenimiento(m)-Hmto	2		
Borde libre(m)-B.L	0,435		
Cálculos			
Altura total del filtro 2(m)-HT	6		

Fuente: Autor

El filtro 1 tendrá una malla en tubería de 6" de diámetro perforada con 75 orificios de 3/4". El filtro 2 tendrá el mismo sistema con tubería de 8" de diámetro. Según la tabla 61, los filtros existentes tienen suficiente altura para manejar el caudal de diseño y las condiciones del agua a filtrar, de acuerdo a lo establecido por el RAS 2000. La altura de manteamiento normalmente se adopta de 1,20 m, en el caso de los filtros rediseñados de la PTAP de Simití se adopta 2 m de altura de mantenimiento, debido que sobró altura suficiente para esta.

La tubería afluyente de los filtros se instalara un metro (1) por encima de la parte superior de la canaleta de lavado en cada filtro, altura cercana a la perdida durante el lavado.

Ilustración 28. Plano captura en planta y perfil de los filtros 1 y 2.



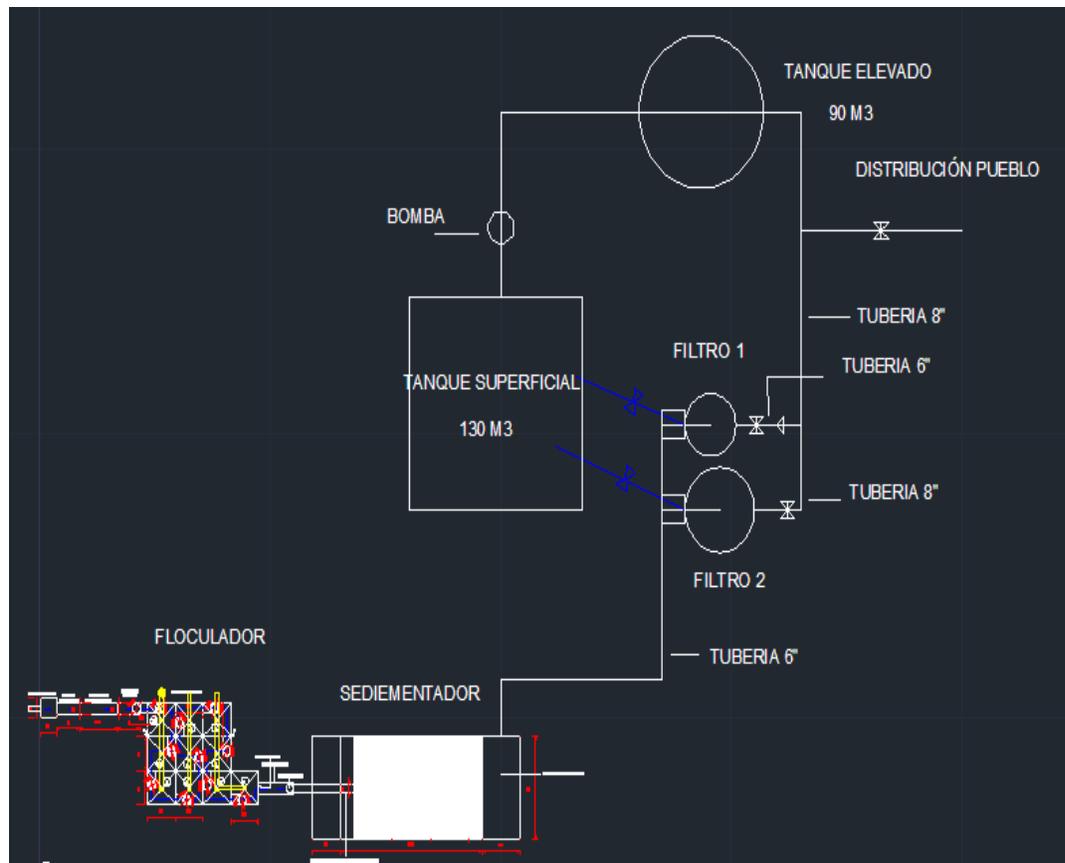
Fuente: Autor

6.4 FASE 4 Elaboración de los planos de cada unidad diseñada y reformada que harán parte de la PTAP mejorada.

✓ **Actividad 1.** Visualización del diseño

En la actividad 4 (elaboración de diseño) de la Fase 6.3 se dieron a conocer los planos de cada unidad de acuerdo a su diseño y funcionamiento. En la presente fase se muestra el diagrama general de la PTAP mejorada del municipio de Simití bolívar. En la ilustración 29 se detalla el diagrama:

Ilustración 29. Diagrama PTAP mejorada.



Fuente: Autor.

La ilustración 29 da a conocer el diagrama de la PTAP mejorada mediante el diseño de la antigua PTAP compacta del municipio de Simití Bolívar.

CONCLUSIONES

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	118 de 130

Después de haber realizado el diagnóstico, diseño y rediseño de la PTAP compacta del municipio de Simití Bolívar se puede concluir que:

- Todas las unidades de la PTAP compacta no cumplen con el funcionamiento respectivo al diseño de las mismas, produciendo mala calidad de agua para la población urbana del municipio.
- Existen unidades de tratamiento fuera de servicio que cumplen con los criterios de diseño y tratamiento establecido por RAS 2000, las cuales pueden ser aprovechadas con el objeto producir agua potable de buena calidad.
- El rediseño de los filtros con diferentes áreas es bastante complejo, debido que normalmente se diseñan con áreas y caudales iguales para cada unidad, caso contrario sucedió en el diseño de los filtros existentes de la PTAP compacta.
- Existen componentes y unidades que deben cumplir con exigentes criterios establecidos por el RAS 2000, para así realizar buen diseño y funcionamiento de toda una PTAP.
- Es necesario realizar pruebas a nivel de laboratorio para el correcto diseño y funcionamiento de unidades y componentes de una PTAP.
- La población del área urbana del municipio es consciente de la mala calidad del agua producida por la PTAP compacta, que de acuerdo a el inconveniente, también proponen la mejora de la planta así se encuentre fuera de servicio en la actualidad, resaltando que la planta sea el plan contingencia en caso de un evento natural o antrópico que afecte la nueva PTAP convencional.
- El caudal máximo bombeado de captación (caudal de diseño) puede satisfacer más del 50% de la población urbana del municipio en turnos de 12 horas día.
- Los planos de cada unidad son fundamentales para observar con claridad las dimensiones y funcionamiento de la PTAP en general.

RECOMENDACIONES

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	119 de 130

El lavado de filtros debe ser en horas de poco consumo, preferiblemente en la madrugada, y con el tanque elevado totalmente lleno, ya que se requieren 42 m³ para el lavado del filtro 2, el cual demanda mayor caudal de lavado. Con lo anterior se desea mantener la continuidad del servicio de acueducto en la red de distribución del municipio de Simití.

La capacitación al personal operativo de la PATP debe ser prioridad, para el buen control, seguimiento y mantenimiento de cada unidad y su respectivo componente, con lo que se dese alargar la vida útil de la PTAP mejorada.

Diseño e implementación de un tanque de contacto de cloro, en el cual el desinfectante logre tener el tiempo necesario para la inactivación de microorganismos presente en el agua filtrada.

Adquisición e implementación de bombas dosificadoras de coagulante y desinfectante para lograr dosificaciones exactas y así obtener mejores resultados de tratamiento

Adquirir y aprender a manipular equipos de laboratorio como aparato de jarras, equipos y reactivos con los cuales se le haga seguimiento y control al agua tratada.

Por las altas temperaturas presentadas en la zona, se recomienda el entechado a las unidades de floculación y sedimentación, con lo cual se desea evitar la re suspensión del floc ya formado y por ende alteraciones en la calidad del agua filtrada y tratada.

Alinear y ajustar los postes que sostienen el cableado de suministro eléctrico a la captación, con el objeto de minimizar riesgos en la boca toma flotante.

BIBLIOGRAFIA

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	120 de 130

BERNAL, S. M. (s.f de s.f de 2011). *PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE*. Obtenido de *PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE*: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/15022/T41.11%20S55p.pdf?sequence=2>

Bolivar, A. d. (10 de marzo de 2012). *Alcaldia de Simití Bolivar*. Obtenido de http://www.simiti-bolivar.gov.co/informacion_general.shtml

BOLIVAR, J. H. (s.f de s.f de 2005). *DIAGNOSTICO Y OPTIMIZACION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE, MUNICIPIO DE PUENTE NACIONAL*. Obtenido de *DIAGNOSTICO Y OPTIMIZACION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE, MUNICIPIO DE PUENTE NACIONAL*: <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/1694/2/118089.pdf>

BOLIVAR, P. D. (s.f de s.f de s.f). *SOCIALIZACION*. Obtenido de *PROYECTOS VIABILIZADOS*: www.aguasdebolivar.gov.co

economico, M. d. (2000). *RAS 2000, SECCION II, TITULO C, SISTEMAS DE POTABILIZACION*. BOGOTA D.C: N.R.

HOTMATH.COM. (s.f de s.f de s.f). *HOTMATH.COM*. Obtenido de Recta que mejor se ajusta (Método de mínimos cuadrados): http://hotmath.com/hotmath_help/spanish/topics/line-of-best-fit.html

JAIMES, A. C. (s.f de s.f de 2005). *EVALUACION, DIAGNOSTICO Y OPTIMIZACION DE LOS PROCESOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE FLORIDABLANCA (ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A E.S.P)*. Obtenido de *EVALUACION, DIAGNOSTICO Y OPTIMIZACION DE LOS PROCESOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE FLORIDABLANCA (ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A E.S.P)*: <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/1708/2/118683.pdf>

LENNTech. (s.f de s.f de s.f). *Historia del tratamiento de agua potable*. Obtenido de *Historia del tratamiento del agua potable*: <http://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/historia/historia-tratamiento-agua-potable.htm>

MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL MINISTERIO AMBIENTE, V. Y. (2007). *Resolución 2115 de 2007*. Bogota D.C: Republica de Colombia.

PARRA, J. A. (1981). *TRATAMIENTO DE AGUAS*. Medellin: UNAL- Medellin.

ROJAS, J. A. (2000). *PURIFICACIÓN DEL AGUA*. Bogotá: Escuela colombiana de ingeniería.

SOCIAL, M. D. (2007). *DECRETO 1575*. BOGOTA: Republica de Colombia.



Propuesta trabajo de grado para optar por el título
de Ingeniero Ambiental

Código 1.1 00

Página 121 de 130

ANEXOS

ANEXO A. Resultado índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA).

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	122 de 130

CALCULO DEL IRCA BASICO (General)

IRCA POR MUESTRA

$$IRCA(\%) = \frac{15 + 1.5 + 3}{6 + 15 + 1.5 + 15 + 1 + 1 + 1 + 1.5 + 1 + 3 + 15 + 25 + 1 + 1 + 3} * 100$$

$$IRCA(\%) = 21,43 \%$$

NOTA: De acuerdo a los parámetros analizados la muestra se clasifica en el nivel de riesgo: MEDIO. Agua no apta para el consumo humano. Respecto a parámetros físico-químicos y microbiológicos según la resolución 2115 del 2007 de MPS/MAVDT.

INDICE DE RIESGO DE CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO IRCA

Parámetros analizados: 15 **IRCA BASICO:** 21,43 %
NIVEL DE RIESGO: MEDIO.

IRCA BASICO: según cuadro 6 Art 13. Res 2115 del 2007

CALCULO DEL IRCA BASICO (Microbiológico)

IRCA POR MUESTRA.

$$IRCA(\%) = \frac{0}{15 + 25} * 100$$

$$IRCA(\%) = 0 \%$$

NOTA: De acuerdo a los parámetros analizados la muestra se clasifica en el nivel de riesgo: SIN RIESGO. Agua apta para el consumo humano. Respecto a parámetros microbiológico Según la resolución 2115 del 2007 de MPS/MAVDT.

INDICE DE RIESGO DE CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO IRCA

Parámetros analizados: 2 **IRCA BASICO:** 0 % **NIVEL DE RIESGO:** SIN RIESGO.

IRCA BASICO: según cuadro 6 Art 13. Res 2115 del 2007

ANEXO B. proyección de la población y caudal de diseño.

DETERMINACION DE LA POBLACION PROYECTADA

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	123 de 130

Los datos de los censos fueron tomados del POT del municipio, soportado con datos del grupo de estudios urbanos regionales del Magdalena Medio (GEURM), y datos del DANE consultados en la internet.

CENSOS	POBLACION CABECERA MUNICIPAL, SIMITÍ BOLIVAR. (HABITANTES)
1938	847
1951	1742
1964	2825
1985	4028
1993	3991
2005	6684

METODOS SELECCIONADOS PARA EL CÁLCULO DE LA POBLACION.

- ✓ Método aritmético.
- ✓ Método geométrico.
- ✓ Método exponencial.

DETERMINACIÓN DE LA POBLACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO ARITMÉTICO.

Periodo de diseño = 25 años. ; 2015+25= **2040 + 2años= 2042**

NOTA: los dos años adicionales, se considera el tiempo que el proyecto tarda en estudio y posterior ejecución.

Ecuaciones:

$$PF = PU.C + Ka(TF - TU.C) \quad ; \quad Ka = \frac{PF - PU.C}{TU.C - TC.I}$$

Dónde:

PF: Población final entre periodos de censo, PU.C: Población último censo.

Ka: Tasa de crecimiento, TF: Periodo de diseño, TU.C: Tiempo último censo.

PC.I: Población censo inicial, TC.I: Tiempo censo inicial.

Tasa de crecimiento y población respectiva para cada periodo censado.

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	124 de 130

$$P5 = \frac{6684-847}{2005-1938} = 87.1 ; PF = 6684 + 87.1 (2042 - 2005) = 9907,41$$

$$P4 = \frac{6684-1742}{2005-1951} = 91.5 ; PF = 6684 + 91.5 (2042 - 2005) = 10070,18$$

$$P3 = \frac{6684-2825}{2005-1964} = 94.1 ; PF = 6684 + 94.1 (2042 - 2005) = 10166,51$$

$$P2 = \frac{6684-4028}{2005-1985} = 132.8 ; PF = 6684 + 132.8 (2042 - 2005) = 11597,6$$

$$P2 = \frac{6684-3991}{2005-1985} = 224.4 ; PF = 6684 + 224.4 (2042 - 2005) = 14987,41$$

$$P = \frac{9907,41 + 10070,18 + 10166,51 + 11597,6 + 14987,41}{5} = 11345,82$$

DETERMINACION DE LA POBLACION MEDIANTE EL METODO GEOMETRICO.

Periodo de diseño = 25 años. ; 2015+25= **2042 + 2=2042.**

Ecuaciones:

$$Pf = P.u.c * (1 + r)^{tf-t.u.c} ; P = \left(\frac{P.f}{P.u.c} \right)^{\frac{1}{tf-t.u.c}} - 1$$

DONDE:

Pf: población final entre periodos de censo, P.u.c: Población último censo.

r: Tasa de crecimiento, tf: Periodo de diseño, t.u.c: Tiempo último censo.

P.c.i: población censo inicial, t.c.i: Tiempo censo inicial.

Tasa de crecimiento y población respectiva para cada periodo censado.

$$P5 (2005 - 1938) = \left(\frac{6684}{847} \right)^{\frac{1}{2005-1938}} - 1 = 0.031$$

$$Pf5 = 6684 * (1 + 0.031)^{2042-2005} = \mathbf{20916.}$$

$$P4 (2005 - 1951) = \left(\frac{6684}{1742} \right)^{\frac{1}{2005-1951}} - 1 = 0.025$$

$$Pf4 = 6684 * (1 + 0.025)^{2042-2005} = \mathbf{16794.}$$

$$P3 (2005 - 1964) = \left(\frac{6684}{2825} \right)^{\frac{1}{2005-1964}} - 1 = 0.021$$



$$Pf3 = 6684 * (1 + 0.021)^{2042-2005} = 14540.$$

$$r2 (2005 - 1985) = \left(\frac{6684}{4028}\right)^{\frac{1}{2005-1985}} - 1 = 0.025$$

$$Pf2 = 6684 * (1 + 0.025)^{2042-2005} = 17058.$$

$$r1 (2005 - 1993) = \left(\frac{6684}{3991}\right)^{\frac{1}{2005-1993}} - 1 = 0.043$$

$$Pf1 = 6684 * (1 + 0.043)^{2042-2005} = 32776.$$

$$P_{total} = \frac{20916 + 16794 + 14540 + 17058 + 32776}{5} = 20422$$

DETERMINACION DE LA POBLACION MEDIANTE EL METODO EXPONENCIAL.

Periodo de diseño = 25 años. ; 2015+25= 2040+ 2=2042.

Ecuaciones:

$$Pf = P.c.i * e^{kgpro(t.f-t.c.i)} ; r = \frac{\ln \frac{P.f - P.c.i}{P.c.i - P.i}}{t.f - t.c.i}$$

Tasa de crecimiento entre periodos censales, para obtener una tasa promedio con la cual se estimara la población final para este metodo.

$$r5(1938 - 1951) = \frac{\ln \frac{1742 - 847}{847 - 1742}}{1951 - 1938} = 0.055.$$

$$r4(1951 - 1964) = \frac{\ln \frac{2825 - 1742}{1742 - 2825}}{1964 - 1951} = 0.037.$$

$$r3(1964 - 1985) = \frac{\ln \frac{4028 - 2825}{2825 - 4028}}{1985 - 1964} = 0.016.$$

$$r2(1985 - 1993) = \frac{\ln \frac{3991 - 4028}{4028 - 3991}}{1993 - 1985} = 0.0011.$$

$$r1(1993 - 2005) = \frac{\ln \frac{6684 - 3991}{3991 - 6684}}{2005 - 1993} = 0.043.$$

$$P_{total} = \frac{2.0422 + 2.0422 + 2.0422 + 2.0422 + 2.0422}{5} = 2.0422$$

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	126 de 130

$$Pf = 847 * e^{0.030(2042-1938)} = 20037Hab.$$

POBLACION FINAL PROMEDIO, RESPECTO A CADA METODO SELECCIONADO PARA SU CÁLCULO.

$$P_{promedio} = \frac{P_{metodo1} + P_{metodo2} + 20037 Hab}{3} = P_{promedio}$$

Población flotante = 5% de la población final promediada.

$$Población\ flotante = 0.05 * 17266\ Hab = 863\ Hab.$$

POBLACION FINAL= 17266 Hab+863 Hab= 18130 Hab.

NOTA: el porcentaje de la población flotante (5%) se tomó de acuerdo a la cantidad de personas que llegan desde la zona rural a la cabecera municipal los fines de semana, a realizar compras y planes recreativos.

DOTACION NETA.

La dotación neta corresponde a la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante sin considerar las pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto.

Según la población proyectada (19534 Hab) para el periodo de diseño (2044), el nivel de complejidad es medio alto, según la tabla A.3.1 del RAS. TITULO A.

Nivel de complejidad.	Población.
Bajo	< 2500
medio	2501-12500
Medio alto	12501-60000
Alto	> 60000

Fuente: RAS. TITULO A. De la hoz R.

Para el nivel de complejidad se adopta una dotación neta de 135 L/Hab-día, según la Resolución 2320 de 2009.



Nivel de complejidad del sistema	Dotación neta máxima para poblaciones con Clima Frio o Templado (L/hab.día)	Dotación neta máxima para poblaciones con Clima Cálido (L/hab.día)
Bajo	90	100
Medio	115	125
Medio alto	125	135
Alto	140	150

Fuente: Resolución 2320 de 2009

DOTACION BRUTA

$$Q_{\text{bruta}} = \frac{Q_{\text{neta}}}{1 - \% \text{P}} \quad \text{Donde } Q_{\text{bruta}} = \text{Dotación Bruta (L/hab.día)}$$

Para el cálculo de la dotación bruta se tomó un porcentaje de pérdidas técnicas del 25 % de la tabla B.2.4 del RAS título B según el nivel de complejidad (Medio alto), ya que no existen registros de las perdidas en el sistema de acueducto. Es importante mencionar que las pérdidas técnicas no se pueden calcular realizando la diferencia entre el volumen de agua tratada medida a la salida de la panta y el volumen de agua registrado en los micro medidores ubicados en las acometidas, ya que el macro medidor que está ubicado a la salida de la planta se encuentra dañado, como también se resalta que el municipio cuenta aproximadamente con el 70 por ciento de cobertura de micro medición.

Calculo de la dotación bruta.

$$Q_{\text{bruta}} = \frac{135}{1 - 0.25} = \frac{180}{0.75} = 240 \text{ L/hab.día}$$

CAUDAL MEDIO DIARIO (Qmd)

Es el caudal promedio que corresponde al promedio de consumos diarios en un periodo en un periodo de un año.

$$Q_{\text{md}} = \frac{Q_{\text{bruta}} * P}{86400}$$

$$Q_{\text{md}} = \frac{19534 * \frac{180}{0.75}}{86400} = 37,7 \text{ l/s}$$

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	128 de 130

CAUDAL MAXIMO DIARIO (QMD)

Es el mayor consumo registrado durante un día en un periodo de un año.

$$Q_{max} = K_1 * Q_1 ;$$

Donde K1 es el coeficiente de consumo máximo diario, el cual se tomó de la tabla B.2.5 del RAS TITULO B. de acuerdo al nivel de complejidad, el cual es K1= 1.20.

$$Q_{max} = \frac{Q_1, Q_2}{Q} * K_1 = \frac{Q_1, Q_2}{Q}$$

CAUDAL DE DISEÑO

Según en el numeral B.6.4.2 en el inciso 2 del RAS TITULO B, cita que el nivel de complejidad medio alto, a la hora de calcular el caudal de diseño debe tener en cuenta el caudal máximo diario (QMD), las perdidas en aducción el consumo en planta e industrial.

Perdidas en aducción: 2% =0,02.

Consumo en planta: 3% =0,03.

Consumo industrial: 4,2 L/s.

$$Q_2 = \frac{Q_{max}}{Q} + (Q_1 * K_1) + (Q_2 * K_2) + \frac{Q_3, Q_4}{Q} = \frac{Q_{max}}{Q}$$

NOTA: Es importante aclarar que el consumo industrial (4,2 L/s) es proyectado de acuerdo al registro en los micro medidores de dos empresas que existen en el municipio de simití, dicho consumo se proyecta ya que se conoce que a futuro llegaran nuevas empresas como son: un hospital de mayor tamaño que el actual entre otras. El consumo de las dos empresas existentes se conoce a continuación:

Consumo de las empresas HOSPITAL y OCAÑERITA (empresa de lácteos) al mes:

HOSPITAL= 150 m3/mes

$$\frac{150 \text{ m}^3}{30 \text{ días}} = \frac{5 \text{ m}^3}{\text{día}} * \frac{1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} * \frac{1 \text{ día}}{86400 \text{ s}} = 0,06 \text{ l/s}$$

OCAÑERITA (EMPRESA DE LACTEOS)= 200 m3/mes.

$$\frac{200 \text{ m}^3}{30 \text{ días}} = \frac{6,6 \text{ m}^3}{\text{día}} * \frac{1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} * \frac{1 \text{ día}}{86400 \text{ s}} = 0,076 \text{ l/s}$$

La suma de ambos caudales es la siguiente:

$$0,06+0,076 = 0,136 \text{ L/S.}$$

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	129 de 130

Se puede observar que el consumo industrial actual (0,136 L/s) es pequeño respecto al proyectado (4,2 L/s), considerando que a futuro la llegada de nuevas empresas es evidente.

ANEXO C. Espeso de la grava de soporte

POSICION	ESPESEOR (cm)	TAMAÑO (pulg)
En el fondo	12	2 a 1
segunda capa	7	1 a 0,5
tercera capa	7	0,5 a 0,25
cuarta capa	7	0,25 a 0,125
capa superficial	7	0,125 a 0,083

	Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental	Código	1.1 00
		Página	130 de 130

Fuente: PEREZ. P J. A.