

**EVALUACION Y OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE TENA EN EL DEPARTAMENTO DE
CUNDINAMARCA**

**WENDY TATIANA DIAZ BAUTISTA
CODIGO ESTUDIANTIL: 504192**

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERA CIVIL
TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
BOGOTA D.C.
2017**

**EVALUACION Y OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE TENA EN EL DEPARTAMENTO DE
CUNDINAMARCA**

**WENDY TATIANA DIAZ BAUTISTA
CODIGO ESTUDIANTIL: 504192**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL**

**DIRECTOR
JESUS ERNESTO TORRES QUINTERO
INGENIERO CIVIL**

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
BOGOTA
2017**



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)
Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



Sin Obras Derivadas — No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

Nota de Aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	15
1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	16
1.1 Antecedentes	16
1.2 Justificación.....	17
2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	18
3. OBJETIVOS	19
3.1. General.....	19
3.2. Específicos	19
4. DELIMITACIÓN.....	20
4.1. Tiempo.....	20
4.2. Alcance.....	20
4.3. Limitaciones.....	20
5. METODOLOGÍA.....	21
6. MARCO DE REFERENCIA.....	22
6.1. Marco Teórico.....	22
6.2. Marco Conceptual.....	25
6.3. Marco Historico	26
6.3.1 Historia Tratamiento De Agua Potable	26
6.3.2 Municipio De Tena	27
6.4. Marco Legal	28
6.4.1 Constitución Política	28
6.4.2 Recursos Hidricos.....	29
7. RESULTADOS	29
7.1. Fase I Recoleccion De Informacion.....	29
7.2. Fase II Diagnostico	37
7.2.1 Caracterización Del Afluente.....	37
7.2.1.1 Características Físicoquímicas Y Microbiológicas Del Afluente	39

7.2.1.2	Diagnostico Hidraulico	42
7.3.	Fase III: Optimización	53
7.3.1	Calculo De Unidades Y Rediseños	53
7.3.1.1	Proyección Población	53
7.3.1.1.1	Proyección Por El Metodo Aritmetico.....	55
7.3.1.1.2	Proyección Por El Metodo Geometrico	56
7.3.1.1.3	Proyeccion Por El Metodo Exponencial	56
7.3.1.1.4	Proyeccion Por Otros Metodos	57
7.3.1.1.5	Dotacion Neta Maxima Y Bruta.....	60
7.3.1.1.6	Caudales De Diseño.....	61
7.3.1.2	Diseño Unidad De Floculación.....	62
7.3.1.3	Porcentaje De Perdidad Tecnicas.....	64
7.3.1.4	Modificación Difusor De Cloro	65
8.	CONCLUSIONES.....	67
9.	RECOMENDACIONES	68
	BIBLIOGRAFIA.....	69
	ANEXOS	73

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1. PTAP Municipio de Tena – Cundinamarca.....	16
Figura 2. Ubicación Municipio de Tena	22
Figura 3. Crecimiento municipio de Tena.....	27
Figura 4 Esquema general de la PTAP de Tena.....	37
Figura 5 Perfil Quebrada las Delicias.....	38
Figura 6. Dimensiones del medidor Parshall	43
Figura 8. Difusor para canal abierto.....	66

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1. Metodología utilizada para el desarrollo del proyecto	21
Tabla 2 Aforo realizado en la Quebrada las Delicias	37
Tabla 3 Resultados laboratorio calidad del agua, punto de toma Entrada PTAP del 05 de diciembre de 2016	40
Tabla 4 Resultados laboratorio calidad del agua, punto de toma Salida PTAP del 05 de diciembre de 2016.	41
Tabla 5 índice de floculación de Willcomb	45
Tabla 6 Memoria de cálculo unidad de floculación existente	47
Tabla 7 Chequeo características del filtro.....	51
Tabla 8 Cálculos chequeo de sistema de filtración	51
Tabla 9. Datos Censo 2005 Municipio de Tena	53
Tabla 10 Población Servida por el acueducto urbano de Tena 2011	54
Tabla 11. Asignación del nivel de complejidad	54
Tabla 12. Datos para proyección de población	55
Tabla 13 Estimación de población actual (2017) por el método exponencial	57
Tabla 14 Proyección DANE de la población de Tena	58
Tabla 15 Proyección de la población por el método aritmético y geométrico	59
Tabla 16 Asignación dotación neta máxima	60
Tabla 17 Calculo consumo total (L/Ha*día).	61
Tabla 18 Calculo caudales de diseño.	61
Tabla 19. Resumen Propuesta Floculador.....	64

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Plano Ubicación General	73
Anexo 2. Vista en planta PTAP Tena.....	74
Anexo 3. Plano Optimización Unidad de Floculación.....	75
Anexo 4. Registro fotográfico no incluido anteriormente.....	76

GLOSARIO

- **Acueducto:** Sistema de abastecimiento de agua para una población.
- **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 físico-químico del agua:** Pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar sus características físicas, químicas o ambas.
- **Análisis microbiológico del agua:** Pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar la presencia o ausencia, tipo y cantidad de microorganismos.
- **Calidad del agua:** Conjunto de características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas propias del agua.
- **Estructuras de entrega:** Estructuras utilizadas para evitar daños e inestabilidad en el cuerpo de agua receptor de aguas lluvias o residuales.
- **Macromedición:** Sistema de medición de grandes caudales, destinados a totalizar la cantidad de agua que ha sido tratada en una planta de tratamiento y la que está siendo transportada por la red de distribución en diferentes sectores.
- **Micromedición:** Sistema de medición de volumen de agua, destinado a conocer la cantidad de agua consumida en un determinado periodo de tiempo por cada suscriptor de un sistema de acueducto.
- **Optimización:** Proceso de diseño y/o construcción para lograr la mejor armonía y compatibilidad entre los componentes de un sistema o incrementar su capacidad o la de sus componentes, aprovechando al máximo todos los recursos disponibles.
- **Tratamiento de agua:** Se trata de un conjunto de operaciones físicas, químicas o biológicas que tiene como objetivo mínimo la reducción y como propósito básico la eliminación de la contaminación y los residuos de las aguas, sean naturales o residuales.

RAE No. 01

FICHA TOPOGRÁFICA

TITULO: EVALUACION Y OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE TENA EN EL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA

AUTOR: WENDY TATIANA DIAZ BAUTISTA

ALTERNATIVA: Trabajo de investigación, intervención por parte del estudiante en el desarrollo de un proyecto de investigación a través de la cátedra impartida dentro del proceso académico actualmente existente.

PAGINAS: 75

TABLAS: 19

FIGURAS: 8

ANEXOS: 4

CONTENIDO:

INTRODUCCION

JUSTIFICACION

OBJETIVOS

ANTECEDENTES

MARCO DE REFERENCIA

METODOLOGIA

RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BILBIOGRAFIA

ANEXOS

PALABRAS CLAVE: Tratamiento de agua, Agua potable, PTAP.

DESCRIPCIÓN: Esta investigación se enfoca en la optimización de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Tena Cundinamarca. A partir del análisis de la información e inspecciones realizadas en la PTAP, se identificó las necesidades y prioridades de la planta potabilizadora, generando un diseño de alternativas de optimización con el cual se pretende mejorar la calidad de vida de los habitantes y el buen uso del recurso hídrico.

METODOLOGIA: La metodología utilizada se describe con detalle en el capítulo 5 del presente documento.

CONCLUSIONES: A través de esta investigación se determinaron aspectos técnico - operativos de la planta de tratamiento de agua potable, de acuerdo a este análisis realizado se logró desarrollar tres alternativas de optimización que consisten en el rediseño del floculador, la instalación de un macromedidor y la modificación del difusor de cloro; con estas tres alternativas mejorara la calidad de agua y se aprovechara mejor el recurso.

FUENTES:

ARBOLEDA Valencia, J. (2000.). *Teoría y práctica de la purificación del agua.* . Bogotá D.C. : Editorial Mc Graw Hill.

Arlandis , O., & Sanz Valero, J. (1997). *Cancer por contaminación química del agua de consumo humano en menores de 19 años.*

AVILA JIMENEZ, C. (24 de Marzo de 2015). *EL TIEMPO*. Obtenido de ¿Cómo es el avance en la cobertura de acueducto en Colombia?: <http://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/agua-potable-en-colombia-/15445939>

Basico, M. d. (2000). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS.* Bogota.

BV, L. (2016). *Historia del tratamiento de agua potable.* Obtenido de Water Treatment Solutions: <http://www.lennotech.es/procesos/desinfeccion/historia/historia-tratamiento-agua-potable.htm>

CAR, C. A. (2016). *Diagnostico Esquema de Ordenamiento Territorial.* Obtenido de Observatorio de agendas interinstitucionales y conflictos ambientales: <http://www.observatorioambientalcar.co/archivos/1390808554diagnosticoteritorialporsubsystemaseottena.pdf>

CARDENAS, Y. A. (26 de Septiembre de 2000). *Tratamiento de agua coagulación y floculación.* Obtenido de http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154

- Cundinamarca, A. T. (28 de Septiembre de 2016). *Nuestro municipio*. Obtenido de http://www.tena-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml
- Cundinamarca, C. A. (2009). *Proyecto de preinversión para la preparación del programa de manejo ambiental de la cuenca del río Bogotá convenio de cooperación técnica no reembolsable ATN/OC-102008-CO*. Bogotá.
- Emmanuel, G. (2016). Sistemas de agua potable r urales. Instituciones,. *Sistema de Información Científica Redalyc*, 18-34.
- FANDIÑO PIAMONTE, J. S. (2016). *Evaluación y optimización de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de purificación en el departamento del Tolima*. Bogotá: Repositorio Insitucional Tesis Base de Datos.
- GUEVARA ALDANA, R. (2007). *Plan de desarrollo 2006 - 2007*. Cundinamarca: Municipio de Tena.
- LOPEZ CUALLA, R. A. (1997). *Elementos de Acueductos y Alcantarillados* . Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Luis, M. C. (2017). Suministro de agua potable en México:.. *Sistema de Información Científica Redalyc*, 21-33.
- Martinez Menes, M., Fernadez Reynoso, D., Castillo Vega, R., & Uribe Chavez, D. Y. (26 de Septiembre de 2016). *Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación*. Obtenido de Lineas de Conduccion por Gravedad:
http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/noticias/2012/Documents/FICHAS%20TECNICAS%20E%20INSTRUCTIVOS%20NAVA/FICHA%20TECNICA_L%C3%8DNEA%20DE%20CONDUCCI%C3%93N.pdf
- Ministerio del Desarrollo Economico. (2000). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS 2000*. Bogotá.
- Mora Alvarado, D., Guevara Rodríguez, E., & Cruz Chaves, A. (2007). Producción de investigaciones científicas sobre agua potable y saneamiento publicadas e indexadas en línea en América Latina y el Caribe 1990 - 2006. *Revista Costarricense de Salud Pública*, Vol 16.

Pereira, A. y. (2014). *Captación y aducción del agua*. Obtenido de http://www.aguasyaguas.com.co/calidad_agua/index.php/es/home-es-es/10-contenido/12-captacion-y-aduccion-del-agua

ROMERO ROJAS, J. A. (1999). Potabilizacion del Agua. En J. A. ROMERO ROJAS. Mexico DF: Alfaomega Grupo Editor SA.

Salud, O. O. (Noviembre de 2016). *Organización Mundial de la Salud, OMS* . Obtenido de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/>

SANTAMARIA, F. (2016). Plantas de Tratamiento de Agua Residual y Laboratorio. *Apuntes tomados en clase*. Bogota.

SISTEC, A. (s.f.). *Solucioin en tratamientos de agua*. Obtenido de Planta de tratamiento de agua potable: [http://www.aguasistec.com/planta-de-tratamiento-de-agua-potable.php\(2016\)](http://www.aguasistec.com/planta-de-tratamiento-de-agua-potable.php(2016))

social, M. d. (s.f.). *Decreto Número 1575 de 2007*. Obtenido de <http://www.minvivienda.gov.co/DecretosAgua/1775%20-%202007.pdf>

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Plano Ubicación General

Anexo 2. Vista en planta PTAP Tena

Anexo 3. Plano Optimización Unidad de Floculación

Anexo 4. Registro Fotografico no incluido anteriormente

INTRODUCCIÓN

El agua contaminada, de acuerdo a datos de la OMS, puede transmitir enfermedades gastrointestinales que provocan la muerte a cerca de 502.000 habitantes en el mundo por año (Salud, 2016). De acuerdo con esto el objetivo del este documento es lograr mejorar la calidad de vida de los habitantes del municipio de Tena a través del mejoramiento de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP). Actualmente Tena cuenta con una PTAP que ha prestado un servicio oportuno, sin embargo, el sistema de tratamiento implementado podría ser optimizado, mejorando no solo la calidad de vida de los habitantes, sino también evitando gastos innecesarios haciendo un buen uso del recurso consiguiendo que cuenten con un sistema de agua potable que perdure en el tiempo y tenga la capacidad de abastecer el municipio con la mejor calidad de agua.

Para el desarrollo de este proyecto se desarrollaron tres fases de este modo: La primera fase un diagnóstico, donde se realizaron visitas periódicas a la planta con el fin de recoger la información necesaria y verificar el funcionamiento de la planta. La segunda fase consiste en el análisis de la información recolectada y diagnóstico técnico. La tercera y última fase el diseño de las alternativas que permitirán mejorar la calidad del agua, el sistema de potabilización y el uso del recurso.

Al finalizar el documento se exponen conclusiones y recomendaciones de acuerdo al diagnóstico realizado y las alternativas de optimización planteadas para esta planta.

1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

1.1 ANTECEDENTES



Figura 1. PTAP Municipio de Tena – Cundinamarca

Antes de implementar el Plan Departamental de Agua y Saneamiento, más del 50% de las enfermedades reportadas por los hospitales del departamento de Cundinamarca provenían del no abastecimiento de agua potable, creando así la necesidad de implementar infraestructura adecuada para garantizar la prestación del servicio apropiado y oportuno. El plan departamental de agua y saneamiento para el año 2008, garantizó un alcance del 74.2% de cubrimiento de las necesidades del departamento¹.

Actualmente la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Tena se encuentra en funcionamiento y hasta el momento ha prestado el servicio sin contratiempos, se encuentra ubicada en una de las zonas más altas del municipio y tiene un área aproximada de 500 a 700 metros cuadrados, conformada por las siguientes estructuras hidráulicas: la entrada de agua se hace a través de una tubería de diámetro de 8 pulgadas, la cual proviene de un nacimiento y a simple vista esta no presenta mayores factores

¹ Cundinamarca garantiza cobertura y calidad de agua, 05 de Octubre de 2010, El Espectador, Disponible en: <http://www.elespectador.com/noticias/nacional/cundinamarca-garantiza-cobertura-y-calidad-de-agua-articulo-228009>

contaminantes, esta continua su recorrido hasta la canaleta parshall la cual fue mejorada en el año 2015, se puede resaltar que por las características que presenta el agua captada no se aplica floculante en este punto; continua su recorrido a través del desarenador, floculador hidráulico horizontal de pantallas en concreto, sedimentador de alta tasa tipo colmena, filtros y finalmente a través de un vertedero conecta a los tanques de almacenamiento, la turbulencia generada por el vertedero es aprovechada para aplicar cloro por medio de goteo como sistema de desinfección.

La PTAP cuenta con un macro medidor ubicado en la captación del agua y tres micromedidores que fueron instalados en el año 2015 ubicados en los tanques que permiten controlar el volumen de agua entregado a los suscriptores. La planta cuenta con un laboratorio en donde se revisa la calidad del agua con el test de jarras.

1.2 JUSTIFICACION

De acuerdo con un artículo publicado por El Tiempo el pasado 24 de marzo de 2015 cerca del 28 por ciento de la población colombiana presentan problemas por la falta de un acueducto teniendo así que buscar el recurso por sus medios, consumiendo desde pozos y ríos, exponiéndose constantemente a una enfermedad. El problema no solo es la falta de acueductos sino también la mala calidad del agua que reciben los colombianos², esto también se debe al cambio climático y factores de contaminación a los recursos hídricos.

Con la problemática que se presenta no solo en el municipio de Tena sino en toda la extensión del territorio colombiano, se hace necesario buscar soluciones que permitan a la población tener acceso a un servicio confiable que es de primera necesidad. Dicho esto lo que se busca con el desarrollo de este trabajo investigativo es ofrecer un propuesta de mejoramiento al sistema de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Tena en el departamento de Cundinamarca, que no solo beneficiara a la población elevando su calidad de vida sino también al recurso hídrico y quien lo administra ya que con la alternativa de optimización es posible minimizar impactos en el medio ambiente.

² ¿Cómo es el avance en la cobertura de acueducto en Colombia?, 24 de Marzo de 2015, Cristian Avila Jiménez, El Tiempo, Disponible en: <http://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/agua-potable-en-colombia-/15445939>

2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El acueducto del municipio de Tena se surte de la quebrada las Delicias por medio de una bocatoma de fondo, de allí es llevada a un desarenador que está a escasos metros de la bocatoma, luego es enviada por medio de una tubería galvanizada de 3 pulgadas en aproximadamente un kilómetro de recorrido a un tanque de almacenamiento No 1 el cual surte a la planta de tratamiento que se encuentra en la cabecera municipal , de esta planta sale la red de distribución en tubería PVC de 3 pulgadas que en algunos sectores se reduce a 2 pulgadas llegando con este diámetro a cada domicilio. (CAR, 2016).

En síntesis, la cobertura del servicio, para el área rural puede ser mejorada, no existe un manejo adecuado y racional del líquido. Se hace evidente entrar a solucionar el problema del suministro de agua utilizando un sistema funcional en su captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución, y así eliminar el desequilibrio social existente en el municipio (CAR, 2016).

¿Actualmente la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) del municipio de Tena se encuentra funcionando adecuadamente? ¿Es posible durante el avance del proyecto desarrollar un sistema o modelo óptimo que logre mejorar no solo el funcionamiento de la planta, sino también los costos de mantenimiento y calidad del agua?

3. OBJETIVOS

3.1. GENERAL

- Evaluar técnicamente la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) del municipio de Tena - Cundinamarca para su posterior optimización.

3.2. ESPECÍFICOS

- Realizar inspección visual y técnica a la actual PTAP con el fin de analizar y recolectar información necesaria
- Verificar con qué plazo se hace mantenimiento a la infraestructura de la planta.
- Verificar los resultados de Calidad del afluente y del efluente de la PTAP.
- Diagnostico Hidráulico de las estructuras de la PTAP.
- Presentar alternativas de optimización que permitan, hacer un buen aprovechamiento del recurso hídrico y mejora la calidad de vida para los habitantes de Tena.

4. DELIMITACIÓN

4.1. Tiempo

El tiempo destinado para el desarrollo del proyecto fue en total de ocho (8) meses de los cuales los primeros cuatro (4) meses se destinaron a la formulación del anteproyecto y los siguientes cuatro (4) meses para la realización del diagnóstico, diseño de alternativa de optimización y la verificación de la mejor alternativa para la PTAP del municipio de Tena durante el periodo 2017-1.

4.2. Alcance

- Diagnóstico de los componentes de la planta de tratamiento desde la bocatoma hasta el tanque de almacenamiento.
- Diseño de alternativa(s) de optimización de acuerdo a lo recolectado en la primera fase.
- Selección de la alternativa que mejor se adapta a la PTAP del municipio de Tena.

4.3. Limitaciones

- Poca información acerca del prestador del servicio empresa de servicios públicos de Tena ACUATENA.
- Adquisición de la información como planos, calidad del agua, mantenimiento y operación de la PTAP.

5. METODOLOGÍA

ACTIVIDAD	DESCRIPCION	SEMANA
Recopilación información técnica PTAP	Solicitud de información existente sobre la PTAP del municipio de Tena	1
Visita a la PTAP	Inspección visual de las estructuras, verificar componentes de la planta (procesos implementados para la potabilización), funcionamiento de los mismos, solicitud de información como planos, caudal captado y dosificaciones de químicos aplicados.	2
Análisis de información recolectada	Identificar el diseño actual que tiene la planta con la información recolectada en la CAR y en la PTAP	3-4
Pruebas Hidráulicas	2da Visita a la PTAP donde se observará el funcionamiento de cada uno de los componentes de la planta, con el fin de verificar el funcionamiento adecuado o si por el contrario presenta falencias. (Verificar dimensiones)	5
Muestreo	Dentro de la visita anterior se pretende recoger muestras en el lugar donde se hace la captación (fuente) y del agua entregada al municipio (efluente) Y TOMAR RESULTADOS DEL LABORATORIO DEL MUNICIPIO	5
Análisis fisicoquímico de la muestra	Con la muestra recolectada se realizará un análisis que comprende los siguientes ensayos: pH, turbiedad, color, temperatura, conductividad, alcalinidad, acidez, solidos totales, solidos volátiles, solidos suspendidos, cantidad de hierro, cantidad de aluminio, test de jarras.	6-7-8-9
Elaboración de alternativas	Con la información recolectada durante el tiempo se diseñará las alternativas de optimización.	10-11-12
Descripción de alternativas	Describir si lo anteriormente diseñado para la PTAP.	13-14
Entrega proyecto final	Entregar de manera escrita y sustentar el proyecto	15
Proceso de entrega a la universidad		16

Tabla 1. Metodología utilizada para el desarrollo del proyecto
Fuente: La Autora

6. MARCO DE REFERENCIA

6.1. MARCO TEÓRICO

INFORMACION GENERAL MUNICIPIO DE TENA

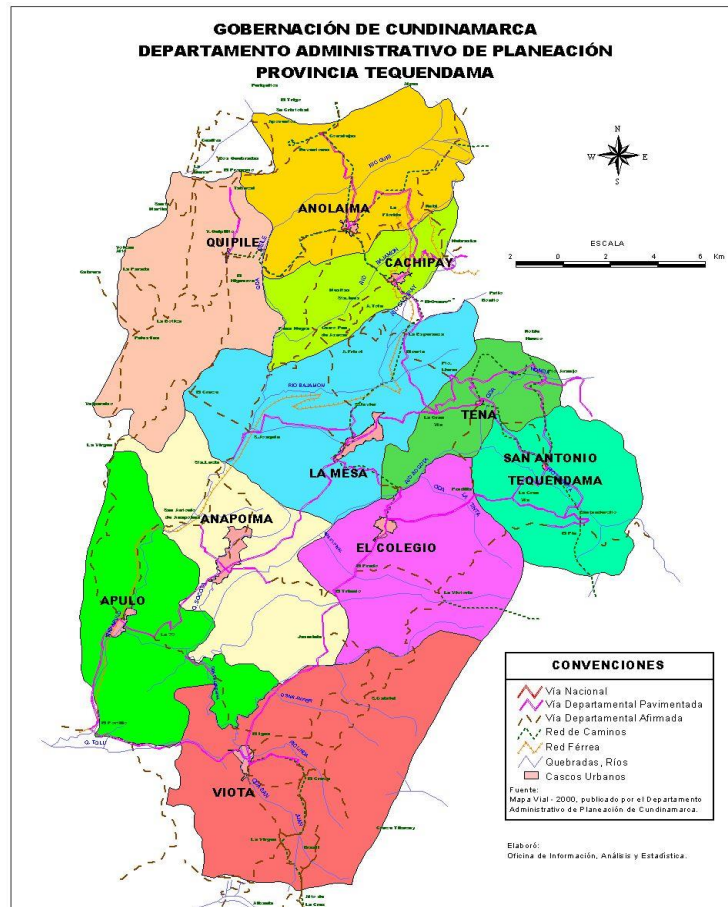


Figura 2. Ubicación Municipio de Tena

El municipio de Tena se encuentra ubicado en la cordillera oriental y lo baña el río Bogotá en la parte sur del Municipio, cuenta con la quebrada la honda que cruza por el cerro Santo Domingo A nivel geográfico se ubica a 4° 40' de Latitud Norte, 74° 24' de longitud y una altitud de 1.384 MSNM; dentro del Departamento de Cundinamarca, ocupa una sección en su parte occidental, en la cordillera oriental, correspondiendo al sur occidente de Bogotá. Altura sobre el nivel del mar: Máxima: 2.200 msnm, Media: 1200 msnm, Minina: 850 msnm. Casco urbano 1.350 m - Centro Poblado la Gran Vía: 1.100 msnm.

Área: el municipio de Tena se encuentra distribuido de la siguiente manera:

Total: 52 km² (5.223,31 Ha) Casco Urbano: 5.175,24 Ha Centro Poblado la Gran Vía: 20.65 Ha. Temperatura media: 22 °C, posee los tres pisos térmicos: Frio, templado y caliente³

LIMITES: Norte: Municipios de Bojacá y San Antonio del Tequendama, Este: Municipios de San Antonio del Tequendama y Bojacá, Sur: Municipios de El Colegio y La Mesa Oeste: Municipio de La Mesa.

TIPOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE⁴

CONVENCIONALES: Es un sistema de tratamiento integrado que incluye todos los procesos para la obtención de agua potable, como los son: coagulación, mezcla rápida, floculación, sedimentación, clarificación, filtrado y desinfección.

Dependiendo de las características del agua podemos obtener un sistema de filtración simple o doble el cual es recomendable cuando el agua tiene alto color o contenidos altos de hierro y manganeso.

Cada planta se debe diseñar de acuerdo al análisis de agua y trazabilidad y se debe hacer con sistema modular que incorpore las etapas del tratamiento. Estas debe tener su tanque en acero o fibra de vidrio y contener lechos filtrantes para la grava, arena, antracita, carbón activado y/o resinas especializadas. Si el agua tiene alto contenido de hierro se requiere un tratamiento de oxidación previo hecho mediante torres de aireación o pre-cloración

COMPACTAS: La planta modular es un sistema integrado de tratamientos en varias etapas que incluye todos los procesos requeridos para obtener agua potable. Ocupan poco espacio y se pueden ampliar fácilmente añadiendo módulos de clarificación y de filtración.

Adecuadas para: aguas de pozo profundo con alto contenido de color, hierro y manganeso; y muy eficientes con aguas de quebradas de montaña con parámetros que van de mediano a bajo contenido de sólidos en suspensión (SST) y con contenidos de color, que presentan picos pasajeros de alta turbiedad y color cuando hay lluvias fuertes.

De acuerdo con las características del agua a tratar, se incorpora procesos de pre-aireación y oxidación, arenas especiales para eliminar hierro y manganeso o post-tratamiento con carbón activado cuando hay elementos orgánicos.

³ Alcaldía de Tena - Cundinamarca. (05 de Febrero de 2016). Nuestro Municipio. 28 de Septiembre de 2016, de Alcaldía de Tena - Cundinamarca Sitio web: http://www.tena-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml

⁴ Aguas SISTEC, Solución en Tratamientos de agua. (2016). Planta de Tratamiento de Agua Potable – PTAP. 29 Septiembre de 2016, de Aguas SISTEC, Solución en Tratamientos de agua Sitio web: <http://www.aguasistec.com/planta-de-tratamiento-de-agua-potable.php>

PROCESOS DE PURIFICACION DEL AGUA⁵

TRATAMIENTO PRINCIPAL

Aireación: Dispositivo o equipo que permite transferir aire al agua.

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

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

Sedimentación: Decantación. Proceso en el cual los sólidos suspendidos en el agua o partículas floculadas se separan por gravedad, previa adición de químicos coagulantes.

Ablandamiento: Remoción de la dureza (calcio y/o magnesio) del agua.

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

Adsorción: Transferencia de una masa gaseosa, líquida o de material disuelto a la superficie de un sólido.

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

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

Cloro residual: Concentración de cloro existente en cualquier punto del sistema de abastecimiento de agua, después de un tiempo de contacto determinado analizada en el cálculo de la acción de control por aplicar.

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

$$Fr = \frac{v^2}{(L \times g)}$$

Donde V es la velocidad, L es la longitud característica y g la constante de la gravedad.

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

$$Re = \frac{\rho \times V \times L}{\mu}$$

Donde ρ es densidad, V velocidad, L longitud característica y μ viscosidad absoluta del agua.

⁵ Básico, D. d. (2000). Reglamento técnico del sector de Agua potable y Saneamiento básico, RAS2000. Bogotá: Ministerio de desarrollo.

6.2. MARCO CONCEPTUAL

- **Aducción:** es la conducción o transporte de agua desde la cuenca hasta la planta de tratamiento, tanque de regulación o directamente a la red ya sea por tubería, canal o túnel.
- **Agua Bruta:** Agua que no ha recibido tratamiento de ningún tipo o agua que entra en una planta para su tratamiento.
- **Agua Dulce:** Agua natural con una baja concentración de sales, generalmente considerada adecuada, previo tratamiento, para producir agua potable.
- **Agua Potable:** es el agua que puede ser consumida por personas y animales sin riesgo de contraer enfermedades.
- **Captación:** Recolección y almacenamiento de agua proveniente de diferentes fuentes para su uso benéfico.
- **Coagulación:** Proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado.
- **Conducción:** Conjunto integrado por tuberías y dispositivos de control que permiten el transporte del agua, en condiciones adecuadas de calidad, cantidad y presión desde la fuente de abastecimiento hasta su destino.
- **Desinfección:** Destrucción de los microorganismos patógenos.
- **Efluente:** Líquido que sale de una planta de tratamiento de aguas.
- **Filtración:** Mecanismo de tamizado o micro-cribado por acción conjunta de aspectos físicos, químicos y hasta biológicos.
- **Floculación:** Es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad.
- **Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP):** Se denomina estación de tratamiento de agua potable (ETAP) al conjunto de estructuras en las que se trata el agua de manera que se vuelva apta para el consumo humano.
- **Sedimentación:** Proceso natural por el cual las partículas más pesadas que el agua, que se encuentran en suspensión, son removidas por la acción de la gravedad.

6.3. MARCO HISTORICO

6.3.1 HISTORIA TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

Los seres humanos han almacenado y distribuido el agua durante siglos. En la época en que el hombre era cazador y recolector el agua utilizada para beber era agua del río. Cuando se producían asentamientos humanos de manera continuada estos siempre se producen cerca de lagos y ríos. Cuando no existen lagos y ríos las personas aprovechan los recursos de agua subterráneos que se extrae mediante la construcción de pozos. Cuando la población humana comienza a crecer de manera extensiva, y no existen suficientes recursos disponibles de agua, se necesita buscar otras fuentes diferentes de agua.

Hace aproximadamente 7000 años en Jericó (Israel, figura 1) el agua almacenada en los pozos se utilizaba como fuente de recursos de agua, además se empezó a desarrollar los sistemas de transporte y distribución del agua. Este transporte se realizaba mediante canales sencillos, excavados en la arena o las rocas y más tarde se comenzarían a utilizar tubos huecos. Por ejemplo, en Egipto se utilizan árboles huecos de palmera mientras en China y Japón utilizan troncos de bambú y más tarde, se comenzó a utilizar cerámico, madera y metal. En Persia la gente buscaba recursos subterráneos. El agua pasaba por los agujeros de las rocas a los pozos.

Alrededor del año 3000 a.C., la ciudad de Mohenjo-Daro (Pakistán) utilizaba instalaciones y necesitaba un suministro de agua muy grande. En esta ciudad existían servicios de baño público, instalaciones de agua caliente y baños.

En la antigua Grecia el agua de escorrentía, agua de pozos y agua de lluvia eran utilizadas en épocas muy tempranas. Debido al crecimiento de la población se vieron obligados al almacenamiento y distribución (mediante la construcción de una red de distribución) del agua.

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.

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.

Los acueductos son los sistemas utilizados para el transporte del agua. A través de los acueductos el agua fluye por miles de millas. Los sistemas de tuberías en las ciudades utilizan cemento, roca, bronce, plata, madera y plomo. Las fuentes de agua se protegían de contaminantes externos.

Después de la caída del imperio Romano, los acueductos se dejaron de utilizar. Desde el año 500 al 1500 d.C. hubo poco desarrollo en relación con los sistemas de tratamiento del agua. Durante la edad media se manifestaron gran cantidad de problemas de higiene en el agua y los sistemas de distribución de plomo, porque los residuos y excrementos se vertían directamente a las aguas. La gente que bebía estas aguas enfermaba y moría. Para evitarlo se utilizaba agua existente fuera de las ciudades no afectada por la contaminación. Esta agua se llevaba a la ciudad mediante los llamados portadores.

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.

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.

En 1827 el inglés James Simplón construye un filtro de arena para la purificación del agua potable. Hoy en día todavía se considera el primer sistema efectivo utilizado con fines de salud pública.⁶

6.3.2 MUNICIPIO DE TENA

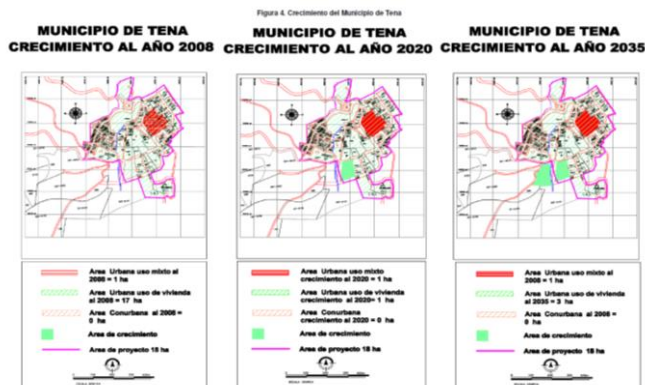


Figura 3. Crecimiento municipio de Tena

⁶ Lenntech BV. (2016). Historia del tratamiento de agua potable. 27 Septiembre de 2016, de WATER TREATMENT SOLUTIONS Sitio web: <http://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/historia/historia-tratamiento-agua-potable.htm>

Para el año 2009 la PTAP se encontraba en buen estado con una capacidad nominal de 6.0 l/s. Es una planta tipo convencional con mezcla rápida y floculación hidráulicas, sedimentación de alta tasa y filtración con autolavado. La desinfección se hace con hipoclorito de calcio. La capacidad instalada supera las necesidades futuras esperadas 2035 de 4.5 l/s. Por lo tanto para tratamiento tampoco se requiere considerar alternativas.⁷ A mediano plazo se busca aportar el proyecto de evaluación y optimización para la planta de tratamiento de agua potable con el fin de que este estudio pueda implementarse o sea una herramienta al momento de querer hacer algún tipo de modificación o adecuaciones que busquen mejorar la calidad del agua entregada a los suscriptores.

6.4. MARCO LEGAL

6.4.1 CONSTITUCIÓN POLÍTICA

- **Artículo 366.** “El bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida de la población son finalidades sociales del Estado. Sera objetivo fundamental de su actividad la solución de las necesidades insatisfechas de salud, de educación, de saneamiento ambiental y de agua potable. Para tales efectos, en los planes y presupuestos de la Nación y de las entidades territoriales, el gasto público social tendrá prioridad sobre cualquier otra asignación”.
- **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 permitan y aconsejen, y los departamentos cumplirán funciones de apoyo y coordinación. La ley determinará las entidades competentes para fijar las tarifas".

⁷ Corporacion Autonoma Regional de Cundinamarca. (2009). Proyecto de preinversion para la preparacion del programa de manejo ambiental de la cuenca del rio bogota convenio de cooperacion tecnica no reembolsable ATN/OC-102008-CO, Bogota.

6.4.2 RECURSOS HIDRICOS

- **Decreto 1575 de 2007.** Del Ministerio de la Protección Social. Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.
- **Resolución 2115 de 2007.** Ministerio de la Protección Social Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Por medio del cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.
- **Decreto 1541 de 1978.** Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973.
- **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.
- **RAS 2000.** Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Por el ministerio de desarrollo económico.

7. RESULTADOS

7.1. FASE I RECOLECCION DE INFORMACION

Visita PTAP municipio de Tena

La planta de tratamiento, ubicada en una de las zonas más altas del municipio, cuenta con un área aproximada de 500 a 700 m². El sistema de tratamiento de agua potable consiste en una planta de tratamiento de tipo convencional, la cual incluye procesos y operaciones unitarias. Dentro de sus instalaciones se pudo observar que cuenta con una entrada de agua en tubería de diámetro 8 pulgadas, cuya agua proviene de un nacimiento, la cual a simple vista no presenta presencia de materiales contaminantes que disminuya su calidad. Luego de la entrada de agua, el flujo pasa por una canaleta Parshall para posteriormente entrar en el Floculador Hidráulico de flujo horizontal. Debido a la buena calidad del agua proveniente de la fuente profunda, en el paso por la canaleta Parshall no se le agrega ningún agente floculante, razón por la cual el Floculador no cumple una verdadera función, sino únicamente podría servir como sedimentador de algún material pesado que pueda llegar de la entrada de agua. Posterior a al floculador se encuentran tres (3) filtros con una profundidad aproximada de 4 metros, en donde son removidas las partículas más pequeñas, continuado por el proceso de filtración, el agua sale por un vertedero en el que, aprovechando la turbulencia generada por la caída, se agrega por medio de goteo Cloro, para su desinfección. Finalizando el proceso el

agua tratada llega a tres tanques de almacenamiento, los cuales se van llenando a medida que el agua va completando la capacidad del tanque anterior.

La planta de tratamiento de agua potable PTAP, en su entrada de agua, cuenta con un macromedidor, y a la salida de los tanques de almacenamiento cuenta con tres micromedidores, con los cuales se controla el flujo y volumen de agua entregados a la comunidad. Además de esto, se observó un laboratorio de pruebas, con los equipos necesarios para realizar Test de Jarras al agua, para asegurar la calidad de agua deseada.

A continuación, se presenta el registro fotográfico:



A la entrada del tanque se encuentra una ampliación artesanal con un amarre de tela y tubo de PVC lo cual genera pérdidas significativas de volumen de Agua. Posteriormente, a la salida del tanque se observa una reducción (artesanal también), aparentemente hecha con concreto y en la cual el diámetro del ducto no cambia gradual sino drásticamente, lo cual puede generar pérdidas considerables de energía en la corriente de flujo.

El conducto de abastecimiento presenta a lo largo del recorrido, grietas en la tubería por donde escapan chorros de agua de hasta 5cm de altura, además se observan uniones externas, aparentemente desviaciones ilegales de caudal. El desperdicio de líquido es evidente, pues el suelo se ve empantanado en la extensión de territorio cercana al sistema hidráulico.



La bocatoma se encuentra abastecida por la quebrada las delicias. Cuenta con un caudal experimental de 8 litros por segundo.



El sistema de rejilla consta de 24 varillas de 1 pulgada de diámetro ubicadas en un espacio de 49x79cm. Se observa flujo constante, caudal controlado sin creciente y no es posible medir en campo la profundidad de la bocatoma debido a la gran cantidad de materia orgánica acumulada en la base de la bocatoma, puesto que a pesar de que se ha diseñado un techo protector, al sistema caen hojas y ramas que

obstruyen el paso de agua a través de la rejilla y a su vez se acumulan sobre la base inferior de la bocatoma.



La infraestructura consta de una cámara de entrada, una cámara de quietamiento, el desarenador y un tubo de salida que permite evacuar el exceso de caudal que ingresa al sistema. Las paredes externas del desarenador y la cámara de quietamiento son de 30 cm de grosor, separados por una pantalla de 14cm. Todo el sistema presenta fallas en su construcción y mantenimiento que ocasionan pérdidas considerables de volumen de agua; puesto que, aunque las profundidades son de 1,65m para la cámara de quietamiento y 0,4m para el canal de entrada, la estructura de concreto se encuentra inclinada de tal manera que gran cantidad del afluente sale del desarenador. Este fenómeno se puede deber al asentamiento de la cimentación producto a el nivel de porosidad del suelo donde fue construida. El desarenador, además, se encuentra cubierto por una polisombra que evita la caída de hojas en el agua. La pantalla del desarenador es de fondo o paso sumergido.



Fotografía 6: Malla que cubre el desarenador para evitar que caiga materia orgánica.



Fotografía 7: Canal de entrada.







Fotografía 8: Floculador hidráulico horizontal de pantallas en concreto.



Fotografía 9: Canaleta Parshall

Está compuesto por cuatro cámaras, que en su interior tiene pantallas de cemento que se encargan de flocular las partículas del agua, a través de la modificación de la corriente de agua, el choque entre las pantallas genera que estas se conviertan en floculos.

	
<p>Fotografía 10: Pantallas Floculador.</p>	<p>Fotografía 11: Paso del Floculador al acelerador.</p>
	
<p>Fotografía 12: Sedimentador de Tasa Alta</p>	<p>Fotografía 12: Cámara de sedimentos</p>

Se le conoce como de tasa alta porque el paso del sedimentador es sumergido. En la siguiente cámara de aceleración tipo panel se almacenan las partículas sedimentadas.

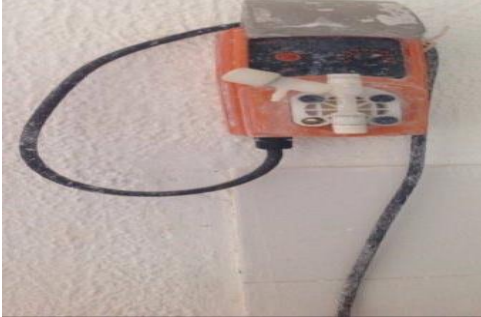



Fotografía 13: Válvulas para lavado de filtros

Diariamente para eliminar las partículas sedimentadas y sólidos suspendidos se realiza un retro lavado que consiste en la limpieza del floculador al abrir cuatro válvulas. Las válvulas son de tipo globo. La salida del agua conduce a una quebrada cerca de la planta.



Fotografía 14: Laboratorio PTAP Tena

	
<p>Fotografía 15: Dosificador</p>	<p>Fotografía 16: Macromedidor de entrada.</p>

Es la primera fase a donde llega el agua proveniente de la captación, está compuesto por varias válvulas que se encargan de controlar y medir el caudal. Tiene integrado un sistema de bypass, para permitir la circulación durante el mantenimiento de la tubería principal. Los aditamentos o accesorios hidráulicos que la integran generan pérdidas, sin embargo, por la diferencia de alturas el agua es elevada hasta la canaleta Parshall. La elevación es de 1.366 metros sobre el nivel del mar.



7.2. FASE II DIAGNOSTICO

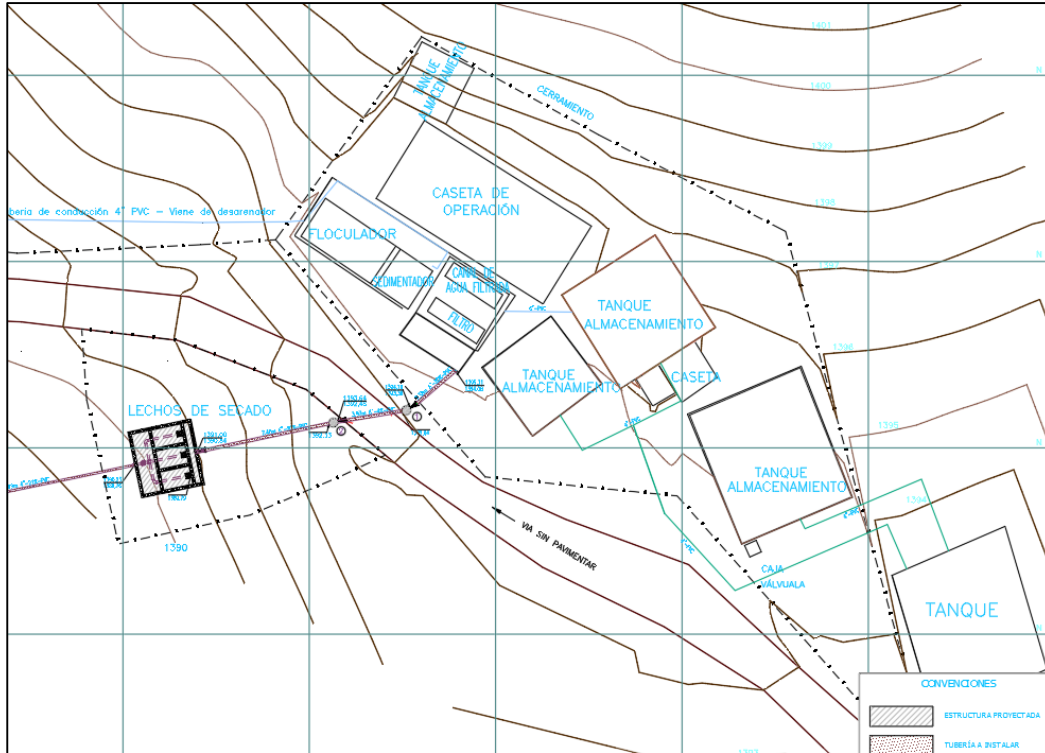


Figura 4 Esquema general de la PTAP de Tena
Fuente: Consorcio acueductos y alcantarillados para Cundinamarca

7.2.1 CARACTERIZACIÓN DEL AFLUENTE

El municipio de Tena se abastece de la quebrada Las Delicias esta corriente se forma a partir de manantiales o afloramiento naturales, 20 metros aguas arriba de su captación, a continuación, muestras realizadas:

Caudal Quebrada las Delicias

BASE (m)	PROFUNDIDAD (m)	VELOCIDAD (m/s)
0	0	0
0.4	0.03	1.6
0.8	0.02	1.2
1.2	0	0

Tabla 2 Aforo realizado en la Quebrada las Delicias
Fuente: Autora

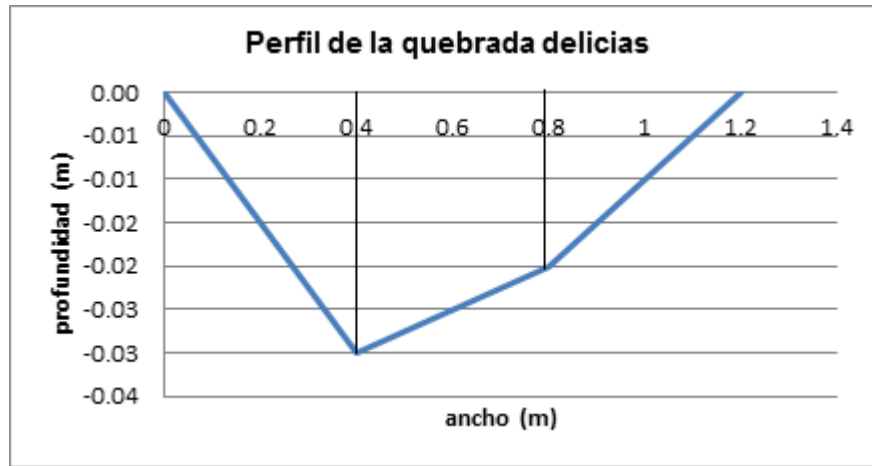


Figura 5 Perfil Quebrada las Delicias
Fuente: Autora

Para los cálculos se procede a encontrar los caudales por cada área del perfil. Para que la suma de

$$Q_{total} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q_1 = A_1 v_1 = \frac{b * h}{2} * v_1 = \frac{0.4m * 0.03m}{2} * \frac{1.6m}{s} = \frac{0.0096m^3}{s}$$

$$v_2 = \frac{1.6m/s + 1.2m/s}{2} = 1.4m/s$$

$$Q_2 = A_2 v_2 = \left(\left(\frac{b * h}{2} \right) + (b * h) \right) * v_1 = \left(\left(\frac{0.4m * 0.01m}{2} \right) + (0.4m * 0.02m) \right) * 1.4m/s$$

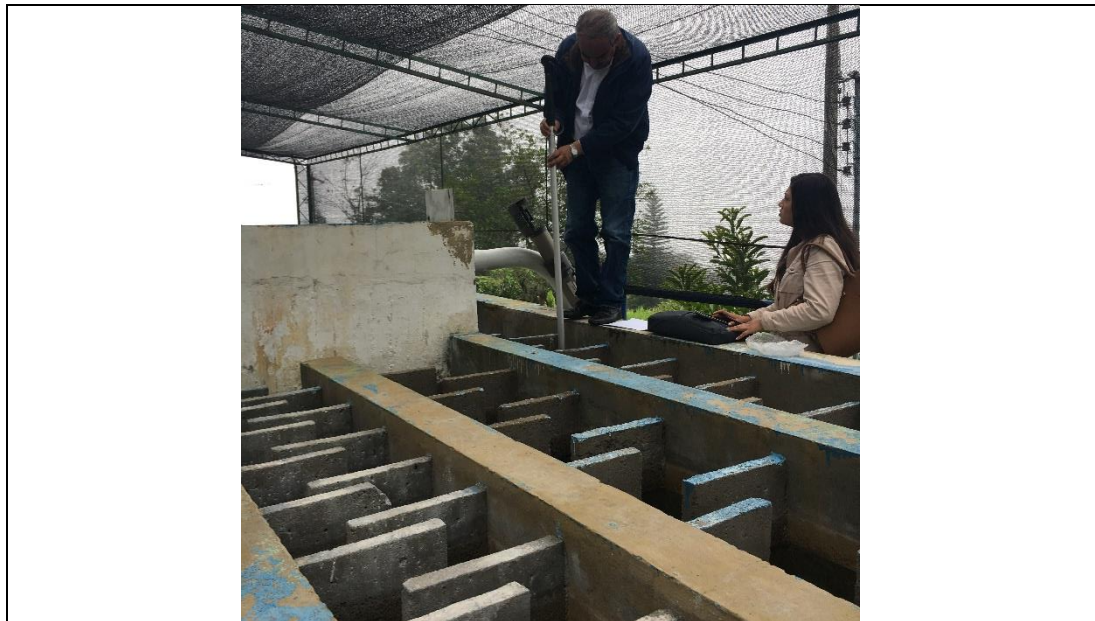
$$Q_2 = 0.014 \frac{m}{s}$$

$$Q_3 = A_3 v_3 = \frac{b * h}{2} * v_3 = \frac{0.4m * 0.02m}{2} * \frac{1.2m}{s} = \frac{0.0072m^3}{s}$$

$$Q_{total} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0.0096 + 0.014 + 0.072 = 0.182m^3/s$$

El caudal total de la quebrada es de 182 litros por segundo. Durante el diagnóstico se evidenció que la bocatoma capta mucha más agua de la que se entrega para consumo, esto debido a pérdidas durante todo el recorrido de potabilización ya que la infraestructura carece de mantenimiento.

Caudal aforado en el floculador



Fotografía 18: Aforo mediante caudalímetro en el floculador de la PTAP

El caudal obtenido en este aforo es de 7 litros por segundo, la toma se hace en el floculador y en la canaleta parshall con un caudalímetro.

7.2.1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DEL AFLUENTE

De acuerdo al Decreto número 1575 de 2007 por el cual se establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano, junto con el decreto 1594 de 1984 por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos, artículo 38 y 39 que constituye los valores de calidad admisibles para el agua de consumo humano y se toma también la resolución 2115 de 2007 por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

Parámetro	Unidades	Resultado laboratorio Entrada PTAP	Valores admisibles Decreto 1594/1984
Alcalinidad	mg/L CaCo3	121,18	-
Cloruros	mg/L Cl ⁻	7,5	250
Cobre	-	<0,10	1
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	110	2000
Coliformes totales	NMP/100 ml	300	20000
Color	UPC	<3,0	-
Cromo	-	<0,05	60,05
Fenoles	-	<0,03	0,002
Mercurio	-	<1,00	0,002
Nitrógeno Amoniacal	mg/L N	0,22	1
Nitrógeno Nitratos	mg/L N	0,9	10
Nitrógeno Nitritos	mg/L N	0,007	10
Plata	-	<0,01	0,05
Plomo	-	<0,20	0,05
Sulfatos	mg/L SO4-2	23,74	4400
Tensoactivos	-	<0,12	0,5
Turbiedad	NTU	2,9	-
Zinc	-	<0,05	15
PH	Unidades	7,26	5
Temperatura	°C	19	-

Tabla 3 Resultados laboratorio calidad del agua, punto de toma Entrada PTAP del 05 de diciembre de 2016

Fuente: Laboratorio Analquim Ltda. Resolución de acreditación No. 1215 del 14 de junio de 2016 IDEAM.

Los resultados de la tabla anterior muestran que la calidad del agua cumple de acuerdo al decreto 1594 de 1984, teniendo en cuenta que el punto de toma es la entrada a la planta de tratamiento de agua potable. Aunque el decreto 1594 de 1984 fue derogado por el decreto 3930 de 2010 este no establece valores máximos permisibles para agua superficial por lo cual sigue en vigencia el 1594.

Parámetro	Unidades	Resultado laboratorio Salida PTAP	Valores máximo admisibles Resolución 2115/2007
Acidez		5,83	-
Alcalinidad	mg/L	116,2	200
Calcio	mg/L	53,69	60
Cloruro residual	mg Cl ₂ /L	<0,10	0,3-2,0
Cloruros	mg/L	4,17	250
Sustancias flotantes		Ausentes	Ausentes
Cobre	Cu	<0,10	1
Coliformes fecales	NMP	<2	0
Coliformes totales	UFC/100 cm ³	<2	0
Color verdadero	UPC	<3,0	15
Conductividad		308	1000
Cromo Hexavalente	Cr+6	<0,05	0,05
Dureza total	mg/L	151,9	300
Fenoles totales		<0,03	-
Fluoruros	mg/L	0,35	1
Fosfatos	mg/L	0,67	0,5
Grasas y aceites		<0,5	-
Hierro total	mg/L	<0,10	0,3
Magnesio	mg/L	3,54	36
Manganeso	mg/L	<0,05	0,1
Nitratos	mg/L	0,92	10
Nitritos	mg/L	<0,007	0,1
Olor y sabor	-	Aceptable	Aceptable
PH	Unidades	6,61	6,5-9
Solidos Totales		192	-
Sulfatos	mg/L	25	250
Temperatura	°C	20	-
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	<0,12	-
Turbiedad	UNT	3	2
Zinc	mg/L	<0,05	3

Tabla 4 Resultados laboratorio calidad del agua, punto de toma Salida PTAP del 05 de diciembre de 2016.

Fuente: Laboratorio Analquim Ltda. Resolución de acreditación No. 1215 del 14 de junio de 2016 IDEAM.

Con los resultados de laboratorio de esta toma se evidencian que la cantidad de cloruro residual es muy poca respecto al valor admisible y se pueden disminuir parámetros como los coliformes fecales y totales y fosfatos los cuales no están cumpliendo con los valores máximos permisibles. Con lo dicho anteriormente se deduce que se requiere de una mayor dosificación de cloro ya que esta permite la disminución de coliformes presentes.

La determinación del pH en campo se realizó con Aquachek test strips el cual incluye una escala, para las muestras tomadas el pH es de aproximadamente 6 unidades.



Fotografía 19: Determinación de pH en campo.

7.2.1.2 DIAGNOSTICO HIDRAULICO

A continuación, un diagnostico hidráulico de las estructuras presentes en la planta de tratamiento de agua potable, de aquí las alternativas de optimización a diseñar.

CANALETA PARSHALL

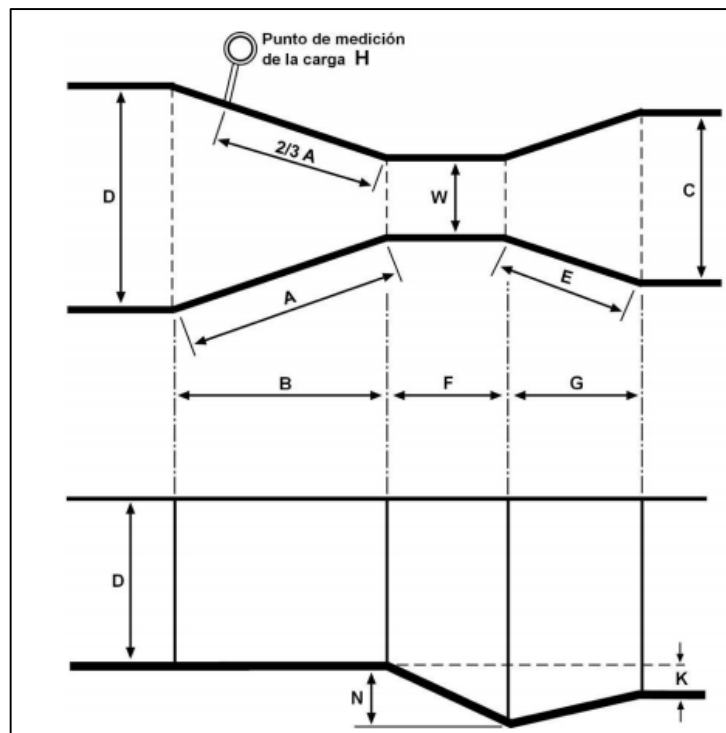


Figura 6. Dimensiones del medidor Parshall
Fuente: J.M. de Azevedo y Guillermo Acosta, Manual de Hidraulica pag. 47

En el aforo realizado con el caudalímetro y envases de medición con graduación milimétrica se verifico que la canaleta parshall esta calibrada y su estructura no presenta fallas, el medidor tiene un W de 9" y funciona bajo la siguiente ecuación.

$$Q = KxHa^n$$

DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO



Fotografía 21: Aplicación del sulfato de aluminio

Se realiza antes del inicio el resalto hidráulico con el fin de que se distribuya uniformemente sobre el inicio del resalto, la dosificación de este se hace a través de la prueba de jarras. La dosis óptima se escoge seleccionando el vaso de precipitado que produzca un número de índice igual a 10. El operador tiene en cuenta la siguiente tabla.

# índice	Descripción
0	Flóculo coloidal. Ningún signo de aglutinación.
2	Visible. Flóculo muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado
4	Disperso. Flóculo bien formado pero uniformemente distribuido (Sedimenta muy lentamente o no sedimenta)
6	Claro. Flóculo de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud.
8	Bueno. Flóculo que se deposita fácil pero no completamente.
10	Excelente. Flóculo que se deposita completamente, dejando el agua cristalina.

Tabla 5 índice de floculación de Willcomb

Fuente: Tomado de Arboleda, V.J. Teoría y práctica de la purificación del agua. 2000

La bomba dosificadora se encuentra en buen estado, sin embargo el equipo de prueba de jarras no funciona y la dosificación se hace de manera empírica.

FLOCULADOR



Fotografía 21: Unidad de floculación



Fotografía 22: Unidad de floculación

El floculador es de flujo horizontal, dividido por tabiques o pantallas entre las cuales circula con una velocidad fija entre 0.1 y 0.6 m/s que produce turbulencia en cada cambio de dirección del flujo, a medida que avanza el flujo el espacio entre pantallas va aumentando con el fin de disminuir el gradiente de mezcla y evitar la ruptura del floc (ARBOLEDA Valencia, 2000.). Actualmente presenta erosión en sus pantallas como se nota en la primera foto y en la segunda se observa medición del caudal con el caudalímetro.

CAMARA 1	
DIMENSIONES	
Largo (m)	3,95
Ancho (m)	0,42
Profundidad flujo (m)	0,73
Borde Libre (m)	0,1
Profundidad total (m)	0,83
Número de cámaras	1
Ancho cámaras (m)	0,42

CÁMARA 2	
DIMENSIONES	
Largo (m)	3,95
Ancho (m)	0,43
Profundidad flujo (m)	0,68
Borde Libre (m)	0,10
Profundidad total (m)	0,78
Número de cámaras	1
Ancho cámaras (m)	0,43

Ancho canales (espaciamiento) (m)	0,16	Ancho canales (espaciamiento) (m)	0,16
Espesor tabiques (m)	0,045	Espesor tabiques (m)	0,045
Ancho real canales (sin espesor) (m)	0,113	Ancho real canales (sin espesor) (m)	0,12
Numero tabiques/ cámara	24	Numero tabiques/ cámara	23
Distancia del muro tabiques	0,12	Distancia del muro tabiques	0,13
Número total tabiques	24	Número total tabiques	23
Longitud de tabiques (m)	0,3	Longitud de tabiques (m)	0,30
Altura de tabiques (m)	0,83	Altura de tabiques (m)	0,78
N	0,013	N	0,013

CALCULOS	
Volumen (m3)	0,975
Tiempo de Retención (min)	3,2
Velocidad canales (m/s)	0,062
Área (m2)	0,082
Perímetro mojado (m)	1,573
Perdidas por fricción (m)	0,000
Perdidas adicionales (m)	0,014
Perdida de carga total (m)	0,014
G (s-1)	25
% Cruce de muros	60%

CALCULOS	
Volumen (m3)	0,944
Tiempo de Retención (min)	3,1
Velocidad canales (m/s)	0,063
Área (m2)	0,081
Perímetro mojado (m)	1,480
Perdidas por fricción (m)	0,000
Perdidas adicionales (m)	0,014
Perdida de carga total (m)	0,014
G (s-1)	26
Cruce de muros	57%

CÁMARA 3

DIMENSIONES	
Largo (m)	3,95
Ancho (m)	0,55
Profundidad flujo (m)	0,63
Borde Libre (m)	0,10
Profundidad total (m)	0,73
Número de cámaras	1
Ancho cámaras (m)	0,55
Ancho canales (espaciamiento) (m)	0,219
Espesor tabiques (m)	0,045
Ancho real canales (sin espesor) (m)	0,17
Numero tabiques/ cámara	17
Distancia del muro tabiques	0,25

CAMARA 4

DIMENSIONES	
Largo (m)	3,95
Ancho (m)	0,52
Profundidad flujo (m)	0,58
Borde Libre (m)	0,10
Profundidad total (m)	0,68
Número de cámaras	1
Ancho cámaras (m)	0,52
Ancho canales (espaciamiento) (m)	0,19
Espesor tabiques (m)	0,045
Ancho real canales (sin espesor) (m)	0,14
Numero tabiques/ cámara	20
Distancia del muro tabiques	0,22

Número total tabiques	17	Número total tabiques	20
Longitud de tabiques (m)	0,30	Longitud de tabiques (m)	0,30
Altura de tabiques (m)	0,73	Altura de tabiques (m)	0,68
N	0,013	N	0,013

CALCULOS		CALCULOS	
Volumen (m3)	1,224	Volumen (m3)	1,035
Tiempo de Retención (min)	4,0	Tiempo de Retención (min)	3,4
Velocidad canales (m/s)	0,046	Velocidad canales (m/s)	0,061
Área (m2)	0,110	Área (m2)	0,083
Perímetro mojado (m)	1,434	Perímetro mojado (m)	1,303
Perdidas por fricción (m)	0,000	Perdidas por fricción (m)	0,000
Perdidas adicionales (m)	0,006	Perdidas adicionales (m)	0,012
Perdida de carga total (m)	0,006	Perdida de carga total (m)	0,012
G (s-1)	14	G (s-1)	22
Cruce de muros	17%	Cruce de muros	27%

Tabla 6 Memoria de cálculo unidad de floculación existente

Fuente: Empresas públicas de Cundinamarca SA ESP

De acuerdo a estos cálculos es fácil observar que no todos los parámetros se cumplen como la velocidad en el canal en la cámara 3 ya que disminuye de manera considerable respecto a la que viene de la cámara dos y si bien debe disminuir, este lo debe hacer gradualmente y no como está pasando en la unidad de floculación cámara 4 en donde vuelve a aumentar la velocidad, otro parámetro que no cumple es el gradiente y tiempos de retención. Por este motivo la unidad de floculación es una propuesta de optimización que se presentara en el siguiente capítulo.

SEDIMENTADOR ALTA TASA



Fotografía 23: Sedimentador alta tasa de módulos hexagonales.

La estructura del Sedimentador es de alta tasa rectangular de flujo ascendente módulos hexagonales a 60° construido en un material plástico, la estructura de paso del floculador al sedimentador es un canal en seguida el sedimentador y continuo un canal colector distribuye el agua al sistema de filtración.

En el lugar se identificó las zonas del sedimentador; la zona de entrada se encarga de distribuir uniformemente el flujo de agua, la zona de sedimentación es donde los flocs caen al fondo del sedimentador visible en las fotografías 12 y 23, la zona de lodos funciona a través del sistema de drenaje controlada por válvulas (ver plano anexo) y la zona de salida donde se ejerce control sobre el flujo de agua y a partir de allí se regula el nivel de agua en el tanque.

Dimensiones

Ancho (metros)	2,5
Largo (metros)	1,05
Profundidad (metros)	4,05

Carga superficial actual:

$$CS = \frac{Q}{A} = \frac{604.8}{4.05 \times 1.05} = 142.2 \text{ m/d}$$

$$V_0 = \frac{Q}{A \text{ Sen } \theta} = \frac{604.8 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{4.05 \times 1.05 \times \text{sen } 60} = 164.2 \frac{\text{m}}{\text{d}} = 0.12 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

Utilizando una separación entre placas de 5 cm y placas planas de 1.13m la longitud relativa de sedimentación es:

$$L = \frac{l}{d} = \frac{113}{5} = 23$$

$$L' = \frac{0.013V_0 d}{v} = \frac{0.013 \times 0.12 \times 0.05}{60 \times 0.937 \times 10^{-6}} = 1.32$$

$$L' < L \Rightarrow L_c = L - L' = 23 - 1.32 = 21.3$$

La velocidad critica de asentamiento o carga superficial de sedimentación de alta tasa será, según la ecuación de Yao,

$$V_{sc} = \frac{S_c v_0}{\text{Sen } \theta + L_c \text{ Cos } \theta} = \frac{1 \times 164.2}{\text{Sen } 60 + 21.3 \text{ Cos } 60} = 14.2 \frac{m}{d}$$

El número de Reynolds será.

$$N_{RE} = \frac{v_0 d}{\vartheta} = \frac{164.2 \times 0.05}{86400 \times 0.937 \times 10^{-6}} = 101$$

El tiempo de retención en las celdas será:

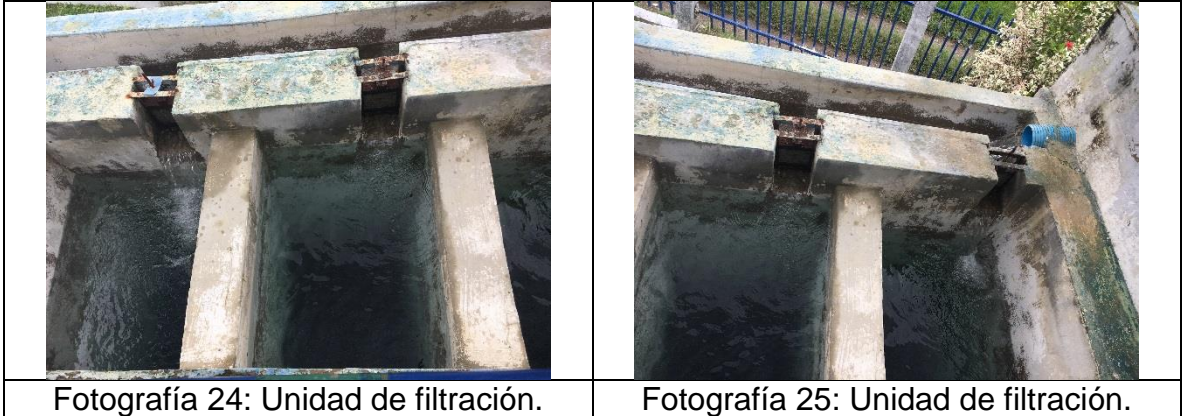
$$t = \frac{l}{v_0} = \frac{1.13}{0.12} = 9 \text{ min}$$

El tiempo de retención en el tanque de sedimentación será:

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{4.05 \times 2.5 \times 1.05}{0.007 \times 60} = 25 \text{ min}$$

Los valores son adecuados por lo que se determina que el sedimentador funciona de forma correcta.

FILTRACIÓN



El sistema de filtración de la planta de tratamiento de agua potable es filtración rápida convencional con cuatro filtros rápidos de flujo descendente, cada filtro tiene un falso fondo medio de soporte de grava medio filtrante de arena y antracita, De espesores grava 0.30 metros, arena 0.30 metros y antracita 0.40 metros. Cada estructura de estas cuenta con su estructura de contención en concreto, medio filtrante descrito anteriormente, sistema de drenaje con el cual se recolecta, conduce y distribuye el agua filtrada y válvulas de retro lavado y de drenaje.

Calculo sobre tasa de filtración de acuerdo a los datos obtenidos en campo:

$$T_{filtración} = \frac{Q}{A} = \frac{151.2 \text{ m}^3/\text{día}}{0.72 \text{ m}^2}$$

$$T_{filtración} = 210 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{día}$$

Donde:

$$Q = 0.007 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{86400 \text{ s}}{1 \text{ día}} = 604.8 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

$$Q = \frac{604.8 \text{ m}^3/\text{d}}{4 \text{ unidades filtración}} = 151.2 \text{ m}^3/\text{d}$$

Y el área se determina así:

$$A = 0.75\text{m} \times 0.96 \text{ m} = 0.72 \text{ m}^2$$

Característica	Filtros de alta tasa	Filtro PTAP	Chequeo
Tasa de filtración	180 - 480 m/d	235	cumple
Medio	Arena y antracita	Arena y antracita	cumple
Distribución del medio	Estratificado: grueso a fino	Grava, arena y antracita	cumple
Duración carrera	12 - 36 horas	24 horas	cumple
Pérdida de carga	Inicial: 0,3 m		cumple
	Final: 2,4 - 3 m		cumple
Agua de lavado	6% del agua filtrada	6%	cumple
Profundidad del medio	Antracita 0,4 - 0,6 m	0,4 m	cumple
	Arena 0,15 - 0,3 m	0,3 m	cumple
Profundidad de grava	0,30 - 0,45 m	0,3 m	cumple
Drenaje	Tubería perforada / falsos fondos	falso fondo	cumple

Tabla 7 Chequeo características del filtro.

Fuente: Potabilización del agua de Jairo Alberto Romero, pagina 199.

DATOS

CAUDAL	0.007 m ³ /s
CAUDAL	604,8 m ³ /d
Tasa de filtración	235 m/d
Tiempo de lavado	15 min
Duración carrera	24 horas

CALCULOS

No. Filtros	3,42
Qd	151,2
Area superficial	0,64
LxL	0,8
Vol. Agua filtrada	189

Tabla 8 Cálculos chequeo de sistema de filtración

Fuente: autora

En los cálculos realizados se afirma que el sistema de filtración es adecuado, cumple parámetros y se encuentra en buen estado.

CLORACIÓN



Fotografía 26: Cloración por medio de goteo.

La planta posee una bomba dosificadora para solución líquida la cual dosifica la solución de hipoclorito de calcio posterior al proceso de filtración por medio de goteo, una de las propiedades del cloro es que es un compuesto volátil, fácilmente se convierte en un gas al contacto con la atmósfera, esto se ve demostrado en el análisis de calidad del agua ya que presenta menos de 1 mg/L de cloro residual en la salida de la planta. Es uno de los procesos que se pretende optimizar con el fin de cumplir con los parámetros establecidos en la resolución 2115 de 2007.

MANEJO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LODOS

En las unidades de filtración y sedimentación se producen lodos, por este motivo se hace necesario evacuarlos, tratarlos y hacer una disposición en un sitio adecuado. La planta de potabilización cuenta con cuatro válvulas, una en la zona de sedimentación y otras tres en la zona de filtración, una vez se hace lavado de esto se abren las válvulas las cuales conducen estos lodos al lecho de secado.

Allí por medio del sol y el aire se deshidratan reduciendo su tamaño, estos lechos se componen de un lecho de grava y arena los cuales drenan el agua mediante un sistema de tubería perforada. Generalmente estos lodos son retirados hacia un relleno sanitario. Actualmente la planta no cuenta con lecho de secados está en proceso de implementación.

7.3. FASE III: OPTIMIZACIÓN

De acuerdo a la información recolectada y posterior análisis se diseñaran tres alternativas de optimización que comprenden 1) el floculador en el que se identificó que no cumplía con diferentes parámetros, 2) la conexión de un micromedidor al tanque que distribuye agua a una vereda cercana y 3) estructura de inyección de cloro.

7.3.1 CALCULO DE UNIDADES Y REDISEÑOS

7.3.1.1 PROYECCIÓN POBLACIÓN

El siguiente estudio de población se realiza para la cabecera municipal de Tena, teniendo en cuenta los lineamientos del título b del RAS 2000. Para su desarrollo se tuvo en cuenta la información de estudios previos y la recopilada en campo suministrada por la empresa Acuatena SA ESP.

1. Datos del Censo 2005		2. Indicadores del Censo 2005	
1.1 Población		2.1 Habitante por Vivienda de Uso Permanente	
1.1.1 Urbana	703	2.1.1 Urbana	4.45
1.1.2 Resto	6,766	2.1.2 Resto	3.47
1.1.3 Total	7,469	2.1.3 Total	3.54
1.2 Viviendas			
1.2.1 Viviendas Totales			
1.2.1.1 Urbanas	215		
1.2.1.2 Resto	2,413		
1.2.1.3 Total	2,628		
1.2.2 Viviendas de uso permanente		2.2 Viviendas uso permanente por viviendas Totales (%)	
1.2.2.1 Urbanas	158	2.2.1 Urbana	73%
1.2.2.2 Resto	1,952	2.2.2 Resto	81%
1.2.2.3 Total	2,110	2.2.3 Total	80%
1.2.3 Viviendas de uso Temporal		2.2 Porcentaje de viviendas de uso temporal (%)	
1.2.3.1 Urbana	57	2.2.1 Urbana	27%
1.2.3.2 Resto	461	2.2.2 Resto	19%
1.2.3.3 Total	518	2.2.3 Total	20%
1.2.4 Viviendas Urbanas con Servicios		2.3 Indicador de cobertura el área urbana (%)	
1.2.4.1 Acueducto	158	2.3.1 Acueducto	100.0%
1.2.4.2 Alcantarillado	154	2.3.2 Alcantarillado	97.5%

Tabla 9. Datos Censo 2005 Municipio de Tena

Fuente: DANE

Zona de Servicio	Sector	Usuarios	Índice de ocupación (hab/viv)	Población 2011 (hab)
Urbana	Barrio centro	121	4.33	524
	Barrio Santander	80	4.33	346
	TOTAL	201		870
Conurbana	Sueños del castillo	47	4.33	204
	Alto de la cruz	35	4.33	152
	Inspección de la gran vía	3	4.33	13
	Betulia	11	4.33	48
	TOTAL	96		416
Rural	Vereda guasimal	47	3.3	155
	Vereda el rosario	9	3.3	30
	TOTAL	56		185
Usuarios y población servida		353		1471

Tabla 10 Población Servida por el acueducto urbano de Tena 2011

Fuente: Secretaria de planeación, infraestructura y servicios públicos del municipio de Tena.

Adicionalmente el acueducto de cabecera municipal sirve una población infantil de 1086 personas entre alumnos, docentes y administrativos de los colegios Betulia, Fidel Cano, Antonia Santos entre otros. Con base en el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS -, se tiene:

TABLA A 3.1
Asignación del nivel de complejidad

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana (habitantes)	Capacidad económica de los usuarios
Bajo	< 2500	Baja
Medio	2501 a 12500	Baja
Medio Alto	12501 a 60000	Media
Alto	> 60000	Alta

Nota: (1) Proyecto al periodo de diseño, incluida la población flotante.
(2) Incluye la capacidad económica de la población flotante. Debe ser Evaluada según metodología del DNP.

Tabla 11. Asignación del nivel de complejidad
Fuente: RAS 2000

Para la proyección de la población se utilizan los métodos que adopta el RAS de acuerdo a los datos recolectados de los censos realizados en el municipio de Tena y analizados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Año	Población en la cabecera (hab)	Población Resto (hab)	Población Total (hab)
1938	-	-	4510
1951	308	4005	4313
1964	426	4761	5187
1973	361	3859	4220
1985	788	5852	6640
1993	299	5233	5532
2005	703	6872	7575

Tabla 12. Datos para proyección de población
Fuente: DANE

Se observa que en los años 1973 y 1993 la población se redujo considerablemente, esto debido a posibles errores en el censo, desplazamientos forzados u otros factores. El año de proyección es 2042 de acuerdo al periodo de diseño que establece el RAS 2000, para este caso 25 años.

7.3.1.1.1 PROYECCIÓN POR EL METODO ARITMETICO

El método aritmético supone un comportamiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración. La ecuación para calcular la población proyectada es la siguiente:

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

Dónde,

P_f = Población en habitantes correspondiente al año para el que se quiere proyectar la población.

P_{uc} = Población en habitantes correspondiente al último año censado con información.

P_{ci} = Población en habitantes correspondiente al censo inicial con información.

T_{uc} = Año correspondiente al último año censado con información.

T_{ci} = Año correspondiente al primer año censado con información.

T_f = Año para el que se requiere proyectar la información.

Población futura calculada con el método aritmético para el año 2042 es de: 964 habitantes.

7.3.1.1.2 PROYECCIÓN POR EL METODO GEOMETRICO

Este método es útil en poblaciones que muestren una importante actividad económica que genere un apreciable desarrollo con importantes áreas de expansión. La ecuación para calcular la población proyectada es:

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

Donde,

P_f = Población en habitantes correspondiente al año para el que se quiere proyectar la población.

P_{uc} = Población en habitantes correspondiente al último año censado con información.

r = Tasa de crecimiento anual en forma decimal.

T_{uc} = Año correspondiente al último año censado con información.

T_f = Año para el que se requiere proyectar la información.

La tasa de crecimiento anual se calcula como: $r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}}\right)^{\frac{1}{(T_{uc} - T_{ci})}} - 1$

Donde,

r = Tasa de crecimiento anual en forma decimal.

P_{uc} = Población en habitantes correspondiente al último año censado con información

P_{ci} = Población en habitantes correspondiente al censo inicial con información.

T_{uc} = Año correspondiente al último año censado con información.

T_{ci} = Año correspondiente al primer año censado con información.

Población futura calculada con el método geométrico para el año 2042 es de: 1.237 habitantes.

7.3.1.1.3 PROYECCION POR EL METODO EXPONENCIAL

Este método se recomienda para poblaciones que muestren apreciable desarrollo y posean abundantes áreas de expansión. Se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$P_f = P_{ci}e^{kx(T_f - T_{ci})}$$

Donde,

P_f = Población en habitantes correspondiente al año para el que se quiere proyectar la población.

P_{ci} = Población en habitantes correspondiente al censo inicial con información.

k = Tasa de crecimiento de la población

T_{ci} = Año correspondiente al primer año censado con información.

T_f = Año para el que se requiere proyectar la información.

La tasa de crecimiento de población utilizada para realizar las proyecciones por el método exponencial debe ser el promedio de no menos de dos tasas de crecimiento para periodos diferentes, por lo cual su utilización requiere por lo menos de tres censos con información. La ecuación para estimar la tasa de crecimiento es:

$$k_g = \frac{\ln P_{cp} - \ln P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}}$$

Donde,

k = Tasa de crecimiento de la población

P_{cp} = Población en habitantes del censo posterior

P_{ca} = Población en habitantes del censo anterior

T_{cp} = Año correspondiente al censo posterior

T_{ca} = Año correspondiente al censo anterior

Periodo censal	Tasa	Población 2017
1951-1964	0,025	1598
1964-2005	0,012	814
Promedio	0,019	1206

Tabla 13 Estimación de población actual (2017) por el método exponencial

Fuente: Autora

7.3.1.1.4 PROYECCION POR OTROS METODOS

Proyecciones DANE 2005-2020

El DANE dispone de proyecciones de población para la cabecera municipal y el resto del municipio, durante el periodo 2005-2020. Estas proyecciones fueron realizadas tomando como base los resultados ajustados de población del censo 2005 y la conciliación censal 1985 – 2005, así como los análisis sobre el

comportamiento de las variables determinantes de la evolución demográfica, las hipótesis y algunos comentarios sobre sus resultados.

AÑO	TOTAL	CABECERA	RESTO
2005	7569	703	6872
2010	8249	765	7484
2015	8941	835	8106
2020	9638	905	8733

Tabla 14 Proyección DANE de la población de Tena
Fuente: DANE

A continuación se presenta la tabla elaborada en base a los censos con información DANE, es de tener en cuenta que la proyección se hace a partir de los datos de población rural para quienes apunta este proyecto y no incluye la población mencionada anteriormente en la tabla No. 8.

AÑO	ARITMETICO			GEOMETRICO			EXPONENCIAL			DANE		
	TOTAL	RURAL	URBANA	TOTAL	RURAL	URBANA	TOTAL	RURAL	URBANA	TOTAL	RURAL	URBANA
2017	8300	7509	791	9100	8255	845	16147	14941	1206	9223	8360	863
2018	8360	7562	798	9240	8382	858	16450	15221	1229	9359	8482	877
2019	8421	7615	805	9382	8511	871	16758	15507	1252	9507	8615	892
2020	8481	7668	813	9527	8643	884	17073	15798	1275	9638	8733	905
2021	8542	7721	820	9673	8776	898	17393	16094	1299	9769	8851	918
2022	8602	7775	827	9822	8911	912	17719	16396	1323	9900	8969	931
2023	8662	7828	835	9974	9048	926	18052	16703	1348	10031	9087	944
2024	8723	7881	842	10127	9187	940	18390	17017	1374	10162	9205	957
2025	8783	7934	849	10283	9329	954	18735	17336	1399	10293	9323	970
2026	8844	7987	857	10441	9472	969	19087	17661	1426	10424	9441	983
2027	8904	8040	864	10602	9618	984	19445	17992	1452	10555	9559	996
2028	8964	8093	871	10766	9766	999	19809	18330	1480	10686	9677	1009
2029	9025	8146	879	10931	9917	1014	20181	18674	1507	10817	9795	1022
2030	9085	8199	886	11100	10070	1030	20559	19024	1536	10948	9913	1035
2031	9146	8252	893	11271	10225	1046	20945	19381	1564	11079	10031	1048
2032	9206	8306	901	11444	10382	1062	21338	19744	1594	11210	10149	1061
2033	9266	8359	908	11620	10542	1078	21738	20115	1624	11341	10267	1074
2034	9327	8412	915	11799	10704	1095	22146	20492	1654	11472	10385	1087
2035	9387	8465	922	11981	10869	1112	22561	20876	1685	11603	10503	1100
2036	9448	8518	930	12166	11037	1129	22984	21268	1717	11734	10621	1113
2037	9508	8571	937	12353	11207	1146	23416	21667	1749	11865	10739	1126
2038	9568	8624	944	12543	11379	1164	23855	22073	1782	11996	10857	1139
2039	9629	8677	952	12736	11554	1182	24302	22487	1815	12127	10975	1152
2040	9689	8730	959	12932	11732	1200	24758	22909	1849	12258	11093	1165
2041	9750	8783	966	13132	11913	1219	25222	23339	1884	12389	11211	1178
2042	9810	8836	974	13334	12096	1237	25696	23776	1919	12520	11329	1191

Tabla 15 Proyección de la población por el método aritmético y geométrico

Fuente: Autora

Por otra parte de acuerdo a estudios realizados por la empresa Acuatena SA ESP el sistema de acueducto urbano de Tena abastece, además de la población de la cabecera municipal, un conjunto de usuarios localizados en la denominada zona conurbana, que comprende el barrio Sueños del Castillo, los sectores de alto de la cruz y Para el desarrollo del proyecto la población adoptada es de 2543 habitantes dadas las consideraciones descritas anteriormente y que las proyecciones calculadas por el método geométrico y aritmético solo incluyen la población urbana por lo cual no es un dato confiable ni con el que se pueda estimar un caudal de consumo. Con estos datos y bajo lineamientos RAS 2000 la complejidad del sistema sería medio.

7.3.1.1.5 DOTACION NETA MAXIMA Y BRUTA

Con base en la Resolución 2320 de 2009 por el cual modifica parcialmente la Resolución que adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS, se define dotación máxima neta como la cantidad máxima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante sin considerar las pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto.

Para definir la dotación neta máxima y bruta se hace uso de la tabla número 9 de la Resolución 2320 de 2009 por el cual modifica parcialmente la Resolución que adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS.

TABLA NÚMERO 9

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

Tabla 16 Asignación dotación neta máxima
Fuente: RAS 2000

El municipio se encuentra a 1.384 metros sobre el nivel del mar; por ende, la dotación neta máxima es de 115 litros por habitante al día. Con base en la definición de la resolución 2320 de 2009 dotación bruta es la cantidad máxima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante considerando para su cálculo el porcentaje de pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto. La dotación bruta para el diseño de cada uno de los componentes que conforman un sistema de acueducto, indistintamente del nivel de complejidad, se debe calcular conforme a la siguiente ecuación:

$$D_{bruta} = \frac{d_{neta}}{1 - \%p}$$

El porcentaje de pérdidas técnicas máximas admisibles en la ecuación anterior no deberá superar el 25%. (Ministerio del Desarrollo Económico, 2000)

Y haciendo uso de pérdidas técnicas máximas admisibles del 25%, se obtiene:

Año	Población (Hab)	Incremento Población %	Incremento Consumo (10%)	Consumo Neto	%Pérdidas	Consumo Total (L/Ha*Día)
2017	1760.00			115.00	25	153.33
2029	2098.00	16.1%	0.16	115.18	25	153.58
2042	2543.00	17.5%	0.17	115.38	25	153.84

Tabla 17 Calculo consumo total (L/Ha*día).

Fuente: Autora

7.3.1.1.6 CAUDALES DE DISEÑO

Los coeficientes K1=1.3 y K2=1.7 se tomaron según RAS 2000.

Año	Población (Hab)	Consumo Total (L/Ha*Día)	Qmd (L/S)	Qmd (L/S)	Qmh (L/S)	K1	K2
2017	1760.00	153.33	3.12	4.06	6.90	1.3	1.7
2029	2098.00	153.58	3.73	4.85	8.24	1.3	1.7
2042	2543.00	153.84	4.53	5.89	10.01	1.3	1.7

Tabla 18 Calculo caudales de diseño.

Fuente: Autora

Con el cálculo realizado se obtiene un caudal de diseño de 5.89 litros por segundo (año 2042). Con esta información se procede al desarrollo de las alternativas de optimización.

7.3.1.2 DISEÑO UNIDAD DE FLOCULACIÓN

Caudal m ³ /s	0,007
Caudal m ³ /d	604,8
G l ⁻¹	30
Tiempo floc. (min)	21
Temperatura °C	23
Viscosidad Agua	0,000933
Coefficiente fricción	0,7
Long. Floculador (m)	10

El volumen del floculador será:

$$V = Qxt$$

$$V = \frac{604.8 \times 21}{1440} = 8.82 \text{ m}^3$$

El ancho del floculador para una profundidad de flujo de 0.3 metros

$$W = \frac{8.82 \times 0.3}{10} = 2.94 \text{ m}$$

Para dos cámaras iguales, el ancho de cada cámara.

$$W = 1.47 \text{ m}$$

El número de pantallas en la primera sección del floculador para $G=30 \text{ s}^{-1}$

$$N = \left\{ \left[\frac{2\mu t}{\rho(1.44 + f)} \right] \left(\frac{HLG}{Q} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{3}}$$

N= 48, la distancia entre pantallas.

$$e = \frac{10}{48} = 0.21$$

Distancia libre entre el extremo de cada pantalla y la pared de la cámara de floculación

$$d = 1.5xe = 0.31m$$

La pérdida de energía en la primera sección del floculador:

$$h = \frac{\mu t G^2}{\rho g}$$
$$h = \frac{0.00114 \times 10.5 \times 30^2}{1000 \times 9.8} = 0.065 \text{ m}$$

Velocidad de flujo.

$$V = \frac{Q}{A}$$
$$V = \frac{604.8m^3}{86400 \times 0.3 \times 0.21} = 0.11 \text{ m/s}$$

Se repite el mismo procedimiento para la cámara No. 2 que tiene los siguientes datos:

Volumen floculador= 8.82 m³

W= 2.94 metros

W para cada cámara= 1.47 metros

Numero de pantallas para floculador de $G=25 \text{ s}^{-1} = 43$

La distancia entre pantallas será = 0.24 metros

Perdida de energía segunda sección del floculador= 0.045 metros

Velocidad de flujo= 0.10 m/s

Distancia libre entre el extremo de cada pantalla y la pared de la cámara de floculación = 0.35 metros.

Perdida de energía total del floculador

$$h = 0.065 + 0.045 = 0.112 \text{ m}$$

Resumen

	Cámara 1	Cámara 2
Caudal m ³ /s	0,007	0,007
Caudal m ³ /d	604,8	604,8
G1 ⁻¹	30	25
Tiempo floc. (min)	21	21
Temperatura °C	23	23
Viscosidad Agua	0,000933	0,000933
Coeficiente fricción	0,7	0,7
Long. Floculador (m)	10	10
V=Qt (m ³)	8,82	8,82
W (m)	2,94	2,94
W/2 (m)	1,47	1,47
μ=	0,00114	0,00114
ρ	1000	1000
N	48	43
e=L/N	0,208105302	0,235002
H (m)	0,065957143	0,045804
Velocidad del flujo	0,11	0,10
dist=1,5xe	0,312157954	0,35

Tabla 19. Resumen Propuesta Floculador

Fuente: Autora

7.3.1.3 PORCENTAJE DE PERDIDA TÉCNICAS

En el desarrollo del proyecto se evidencio que no era posible calcular las pérdidas técnicas en la planta, ya que para esto se debe conocer el volumen de agua producido en la planta por mes y el volumen de agua facturado en el mismo periodo de tiempo. El porcentaje de pérdidas técnicas en el sistema (%p) puede establecerse a partir de la expresión:

$$\%p = \frac{V_p + V_c - V_f}{V_p + V_c} \times 100$$

Donde,

V_p = Volumen producido

V_c = Volumen comprado

V_f = Volumen facturado

Ya que el municipio no compra agua la expresión queda de la siguiente manera.

$$\%p = \frac{V_p - V_f}{V_p} \times 100$$

El sistema de acueducto actualmente dispone de macromedidores que permiten obtener información sobre el volumen de agua producido y existen micromedidores instalados en la totalidad de los usuarios, hasta hace poco tiempo se realiza su lectura, sin embargo este sistema solo está disponible para la zona rural del municipio de Tena.

A consecuencia de que el acueducto no solo abastece la zona rural del municipio, sino que contempla algunas veredas y zonas cercanas se hace necesaria la instalación de un macromedidores para el tanque que abastece a la Vereda el Rosal y Vereda Guasimal junto con micromedidores que permitan la facturación por consumos reales.

7.3.1.4 MODIFICACIÓN DIFUSOR DE CLORO

La dosis de cloro óptima obedece a los requerimientos de demanda de cloro diariamente, la cual dependen del caudal de la planta, la calidad físico-química y microbiológica del agua, y la cantidad de cloro residual que se debe quedar después de aplicado el desinfectante. Dicha dosis debe cumplir con el requisito de calidad de agua tratada como se especifica en la Resolución 2115 de 2007, la cual define que se debe mantener un la concentración de cloro residual libre en cualquier punto de red de distribución de 0,3-2,0 mg/l.

Así mismo, para la estimación de cloro es indispensable tener en cuenta los siguientes parámetros:

1. Cuáles son los organismos que se desean destruir.
2. Cuál es el tiempo de contacto mínimo que debe garantizarse entre el momento en que se aplica el cloro al agua y el momento en que el agua es consumida.
3. Cantidad de cloro que debe agregarse para destruir el organismo índice en el tiempo de contacto disponible.
4. Tipo de desinfectante que se forma en el agua.

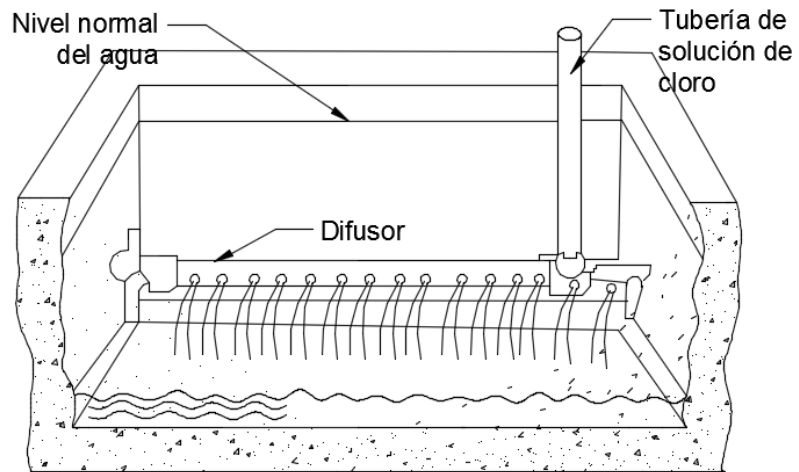


Figura 7. Difusor para canal abierto
Fuente: Potabilización del agua, 3ra edición, Jairo Alberto Romero.

Para canales se utiliza generalmente dos tipos: una tubería perforada o una serie de toberas suspendidas de una manera flexible (ROMERO ROJAS, 1999). Con esto se busca no permitir que el cloro se volatilice hacia la atmosfera, la propuesta es adaptar un difusor en el fondo del canal, con orificios de aproximadamente 6" que permitan la distribución uniforme en todo el ancho del canal y con esto garantizar un aprovechamiento óptimo.

8. CONCLUSIONES

- A través del diagnóstico técnico e hidráulico del estado actual de la PTAP, evaluación de características del afluente y efluente se identificaron los aspectos técnicos que presenta la PTAP del municipio de Tena – Cundinamarca.
- De acuerdo a los resultados obtenidos con las pruebas realizadas en campo, laboratorio y visitas técnicas se elaboró tres alternativas de optimización que contribuyen con el buen funcionamiento de la planta, con una mejor calidad de agua y con un mejor aprovechamiento del recurso; estas son:
 - a. Diseño unidad de floculación.
 - b. Porcentaje de pérdidas técnicas.
 - c. Modificación difusor de cloro.
- Se verifico el caudal de diseño con los métodos de proyección que propone el RAS y también teniendo en cuenta estudios realizados con anterioridad por la empresa de servicios públicos ACUATENA SA ESP y en campo con la ayuda de un caudalímetro el caudal que actualmente está operando, estos valores se encuentran entre 5 y 7 litros por segundo.
- Los resultados obtenidos de calidad de agua del efluente y afluente dejan ver que el agua captada es buena, en este, el parámetro de pH está un poco alto. El agua entregada para consumo presenta varias características, lo primero que podemos notar es que no cumple con los parámetros de cloro residual, los resultados de coliformes muestran un valor menor a 2, estos deben estar en cero, sin embargo para el laboratorio este resultado no presenta ningún riesgo y también excede los valores máximos de fosfatos.
- Las alternativas de optimización propuestas cumplen con el objetivo del proyecto, mejorar la calidad de vida de los habitantes del municipio de Tena y con la implementación de un macromedidor se lograra medir las pérdidas técnicas de la planta, que permitirán a los operadores del servicio calcular consumos reales.
- Con la implementación del difusor con orificios disminuyen los microorganismos presentes y cumple con la resolución 2115 de 2007 en las que establece que el cloro residual debe estar entre 0.3 y 2.0 mg/L.

9. RECOMENDACIONES

1. Realizar mantenimiento periódico de acuerdo a la guía manual de operación que realizo el consorcio acueductos y alcantarillados para Cundinamarca.
2. Capacitar un operario que realice control de calidad.
3. Realizar mantenimiento a las unidades de la planta potabilizadora, como resanes y limpiezas.
4. Verificar capacidad de carga de los filtros para verificar que estos no se saturen y generen turbiedad o se realicen el proceso de lavado cuando no es necesario aumentando innecesariamente las pérdidas de la planta.
5. Instalar el difusor de cloro para aumentar la cantidad de cloro requerida y cumplir con la resolución 2115 de 2007.
6. Adecuar el floculador al optimizado ya que el actual no cumple con los parámetros de velocidad de flujo, gradientes y tiempos de retención.
7. Completar dotación de laboratorio de calidad de agua según requerimientos de la lista de equipos mínimos de laboratorio estipulados en el numeral C.14.4.7.3 del RAS – 2000.

BIBLIOGRAFIA

- ARBOLEDA Valencia, J. (2000.). *Teoría y práctica de la purificación del agua.* . Bogotá D.C. : Editorial Mc Graw Hill.
- Arlandis , O., & Sanz Valero, J. (1997). *Cancer por contaminación química del agua de consumo humano en menores de 19 años.*
- AVILA JIMENEZ, C. (24 de Marzo de 2015). *EL TIEMPO*. Obtenido de ¿Cómo es el avance en la cobertura de acueducto en Colombia?: <http://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/agua-potable-en-colombia-/15445939>
- Basico, M. d. (2000). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS*. Bogota.
- BV, L. (2016). *Historia del tratamiento de agua potable*. Obtenido de Water Treatment Solutions: <http://www.lennotech.es/procesos/desinfeccion/historia/historia-tratamiento-agua-potable.htm>
- CAR, C. A. (2016). *Diagnostico Esquema de Ordenamiento Territorial*. Obtenido de Observatorio de agendas interinstitucionales y conflictos ambientales: <http://www.observatorioambientalcar.co/archivos/1390808554diagnosticoteritorialporsubsystemaseotena.pdf>
- CARDENAS, Y. A. (26 de Septiembre de 2000). *Tratamiento de agua coagulación y floculación*. Obtenido de http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154
- Cundinamarca, A. T. (28 de Septiembre de 2016). *Nuestro municipio*. Obtenido de http://www.tena-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml
- Cundinamarca, C. A. (2009). *Proyecto de preinversión para la preparación del programa de manejo ambiental de la cuenca del río Bogotá convenio de cooperación técnica no reembolsable ATN/OC-102008-CO*. Bogota.
- Emmanuel, G. (2016). Sistemas de agua potable rurales. Instituciones,. *Sistema de Información Científica Redalyc*, 18-34.

- FANDIÑO PIAMONTE, J. S. (2016). *Evaluación y optimización de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de purificación en el departamento del Tolima*. Bogota: Repositorio Insitucional Tesis Base de Datos.
- GUEVARA ALDANA, R. (2007). *Plan de desarrollo 2006 - 2007*. Cundinamarca: Municipio de Tena.
- LOPEZ CUALLA, R. A. (1997). *Elementos de Acueductos y Alcantarillados*. Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Luis, M. C. (2017). Suministro de agua potable en México: *Sistema de Información Científica Redalyc*, 21-33.
- Martinez Menes, M., Fernandez Reynoso, D., Castillo Vega, R., & Uribe Chavez, D. Y. (26 de Septiembre de 2016). *Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación*. Obtenido de Lineas de Conduccion por Gravedad:
http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/noticias/2012/Documents/FICHAS%20TECNICAS%20E%20INSTRUCTIVOS%20NAVA/FICHA%20TECNICA_L%C3%8DNEA%20DE%20CONDUCCI%C3%93N.pdf
- Ministerio del Desarrollo Economico. (2000). *Reglamento Tecnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Basico RAS 2000*. Bogotá.
- Mora Alvarado, D., Guevara Rodríguez, E., & Cruz Chaves, A. (2007). Producción de investigaciones científicas sobre agua potable y saneamiento publicadas e indexadas en línea en América Latina y el Caribe 1990 - 2006. *Revista Costarricense de Salud Pública*, Vol 16.
- Pereira, A. y. (2014). *Captación y aducción del agua*. Obtenido de http://www.aguasyaguas.com.co/calidad_agua/index.php/es/home-es-es/10-contenido/12-captacion-y-aduccion-del-agua
- ROMERO ROJAS, J. A. (1999). Potabilizacion del Agua. En J. A. ROMERO ROJAS. Mexico DF: Alfaomega Grupo Editor SA.
- Salud, O. O. (Noviembre de 2016). *Organización Mundial de la Salud, OMS*. Obtenido de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/>

SANTAMARIA, F. (2016). Plantas de Tratamiento de Agua Residual y Laboratorio. *Apuntes tomados en clase*. Bogota.

SISTEC, A. (s.f.). *Solucioin en tratamientos de agua*. Obtenido de Planta de tratamiento de agua potable: <http://www.aguasistec.com/planta-de-tratamiento-de-agua-potable.php>(2016)

social, M. d. (s.f.). *Decreto Número 1575 de 2007*. Obtenido de <http://www.minvivienda.gov.co/DecretosAgua/1775%20-%202007.pdf>

Wendy Tatiana Díaz Bautista
Código: 504192

Asesor de trabajo de grado

ANEXOS
Anexo 1. Plano Ubicación General

Anexo 2. Vista en planta PTAP Tena

Anexo 3. Plano Optimización Unidad de Floculación

Anexo 4. Registro fotográfico no incluido anteriormente