

**PROPUESTA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DEL
MUNICIPIO DE TENA (CUNDINAMARCA)**

**EDISON FERNANDO RIVERA LÓPEZ
CÓDIGO: 503850
VÍCTOR MANUEL SUAREZ RODRÍGUEZ
CÓDIGO: 502139**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO DE GRADO
BOGOTÁ
2018**

**PROPUESTA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DEL
MUNICIPIO DE TENA (CUNDINAMARCA)**

**EDISON FERNANDO RIVERA LÓPEZ
CÓDIGO: 503850
VÍCTOR MANUEL SUAREZ RODRÍGUEZ
CÓDIGO: 502139**

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Civil**

**Director
Edgar Obando Garnica
Ingeniero**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO DE GRADO
BOGOTÁ
2018**



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

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

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.

Nota de Aceptación

Presidente de Jurado

Jurado

Jurado

Bogotá, noviembre, 2018

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. GENERALIDADES	19
1.1 ANTECEDENTES	19
1.2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	22
1.2.1 Descripción del problema	22
1.2.2 Formulación del problema	23
1.3 OBJETIVOS	23
1.3.1 Objetivo general	23
1.3.2 Objetivos específicos	23
1.4 JUSTIFICACIÓN	24
1.5 DELIMITACIÓN	24
1.5.1 Espacio	24
1.5.2 Tiempo	26
1.5.3 Contenido	26
1.5.4 Alcance	26
1.6 MARCOS DE REFERENCIA	27
1.6.1 Marco teórico.	27
1.6.1.1 Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable	27
1.6.1.2 Tipos de sistemas de abastecimiento de Agua	28
1.6.1.3 Pérdidas de agua en sistemas de acueducto o abastecimiento de agua	29
1.6.1.4 Balance de pérdidas	31
1.6.1.5 Cálculo de caudales en sistemas de abastecimiento y distribución de agua	32
1.6.2 Marco conceptual	33
1.6.2.1 Captación	33
1.6.2.2 Conducción o Transporte	33
1.6.2.3 Pérdidas por Fugas	34
1.6.2.4 Volumen de Agua	35
1.6.2.5 Deterioro de la calidad del agua	35
1.6.2.6 Evaluación y diseño del sistema de distribución de agua.	36
1.6.2.7 Red de distribución de agua	36
1.6.3 Marco Legal	39
1.7 METODOLOGÍA	40
1.7.1 Fuentes de información.	40
1.7.1.1 Fuentes Primarias	40
1.7.1.2 Fuentes Secundarias	40
1.8 DISEÑO METODOLÓGICO	40
1.8.1 Primera Etapa. Evaluación y diagnóstico	40
1.8.2 Segunda Etapa. Caracterización socio demográfica y económica de la población	41

1.8.3 Tercera Etapa diseño de la propuesta.	41
2. DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE TENA	42
2.1 CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL MUNICIPIO	42
2.1.1 Suelos	42
2.1.2 Climatología	43
2.1.3 Hidrología	43
2.2 DESCRIPCIÓN DEL ACUEDUCTO	45
2.2.1 Cobertura	45
2.2.2 Condiciones de la Prestación del Servicio	45
2.2.3 Características del Sistema	48
2.3 EVALUACIÓN DE COMPONENTES FÍSICOS E INFRAESTRUCTURA DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO	50
2.3.1 Ubicación de componentes del Acueducto	50
2.3.2 Evaluación de los componentes del sistema de acueducto	52
2.3.2.1 Bocatoma de fondo	52
2.3.2.2 Cámara de recolección	53
2.3.2.3 Desarenador	54
2.3.2.4 Conducción Bocatoma Desarenador	58
2.3.2.5 Conducción desarenador planta de tratamiento.	58
2.3.2.6 Tanques de Almacenamiento	59
2.3.3 Conclusiones Generales de la visita a campo al sistema de abastecimiento de agua potable al Municipio de Tena – Cundinamarca.	61
2.4 ANALISIS DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE TENA CUNDINAMARCA SEGÚN EL RAS	62
2.4.1 Caudal de Diseño basado en Resolución 330 de 2017 MADS.	63
2.4.2 Captación.	64
2.4.3 Desarenador	65
2.4.4 Aducción y Conducción.	66
2.4.5 Modelación Red de Distribución	67
2.4.6 Incendios.	69
2.4.6 Mediciones de caudal.	70
2.4.7 Anclajes.	70
2.4.8 Tanques	71
2.4.9 Análisis de Resultado	72
3. CARACTERIZACIÓN DE LA POBLACIÓN Y PROYECCIÓN DE LA DEMANDA	73
3.1 ANÁLISIS DE POBLACIÓN, PROYECCIÓN Y CONSUMO PARA EL PROYECTO	73
3.1.1 Nivel de complejidad	73
3.1.2 Métodos de Cálculo de la Población	74
3.1.3 Cálculo de la población proyectada.	74
3.1.3.1 Población proyectada por el método aritmético.	76

3.1.3.2 Método Geométrico	76
3.1.3.3 Método Exponencial.	77
3.1.4 Resumen de Cálculos Poblaciones Proyectadas al 2031	78
3.1.5 Cálculo de la curva de consumo	79
3.1.6 Análisis poblacional del municipio de Tena	81
3.2 CÁLCULOS DE LA DEMANDA	81
3.2.1 Dotación Neta	81
3.2.1.1 Correcciones de Dotación Neta	82
3.2.2 Pérdidas	82
3.2.3 Dotación Bruta	82
3.2.3.1 Demandas por usos de Edificaciones	83
3.2.4 Demanda	84
3.2.4.1 Caudal Medio Diario (Qmd)	84
3.2.4.2 Caudal Máximo Diario (QMD)	84
3.2.4.3 Caudal Máximo Horario (QMH)	84
3.2.4.4 Caudal de Incendios	85
3.2.4.5 Caudales con los que se desarrollara el proyecto	85
4. PROPUESTA DE DISEÑO	86
4.1 BOCATOMA	86
4.1.1 Datos Iniciales para el diseño	86
4.1.2 Diseño de la Presa	86
4.1.3 Diseño de la Rejilla y Canal de Aducción	87
4.1.3.1 Rejilla	88
4.1.3.2 Cálculos del Canal de Aducción	89
4.1.3.3 Cálculo de la Cámara de Recolección	89
4.1.3.4 Cálculos de los Muros de Contención.	90
4.1.3.5 Cálculos del Caudal de Excesos	90
4.1.3.6 Cálculo de Cotas	90
4.2 CONDUCCION BOCATOMA – DESARENADOR	92
4.2.1 Diámetro Mínimo	92
4.2.2 Velocidad Mínima	92
4.2.3 Velocidad Máxima	92
4.2.4 Diseño	92
4.2.5 Cálculos de la Conducción	92
Fuente. Los Autores	94
4.3 DESARENADOR	94
4.3.1 Condiciones de diseño	94
4.3.1.1 Período y Caudal de Diseño	94
4.3.1.2 Número de Unidades	95
4.3.1.3 Paso Directo	95
4.3.1.4 Relación Longitud a Ancho	95
4.3.1.5 Profundidad Mínima y Máxima	95
4.3.1.6 Profundidad de Almacenamiento de Lodos y Pendientes de la Placa de Fondo	95

4.3.1.7 Período de Retención Hidráulico	95
4.3.1.8 Carga Hidráulica Superficial	95
4.3.2 Desarrollo del Diseño del Desarenador	95
4.3.2.1 Condiciones de la Tubería de Entrada	96
4.3.2.2 Condiciones de los Cálculos del Desarenador	96
4.3.2.3 Cálculo de los Parámetros de Sedimentación	96
4.3.2.4 Condiciones en la Tubería de Entrada	97
4.3.2.5 Calculo de los Elementos del Desarenador	98
4.3.2.6 Perfil Hidráulico	99
4.3.2.7 Calculo de Cotas	100
4.3.3 Planos de Diseño	100
4.4 CONDUCCION DESARENADOR – TANQUE	104
4.4.1.1 Diámetro Mínimo	104
4.4.1.2 Velocidad Mínima	104
4.4.1.3 Velocidad Máxima	104
4.4.2 Diseño	104
4.5 TANQUE DE ALMACENAMIENTO Y COMPENSACIÓN	105
4.5.1 Condiciones de diseño	105
4.5.2 Dimensionamiento del tanque superficial	106
4.5.3 Cálculo demanda del tanque	106
4.5.4 Dimensiones del Tanque	107
4.6 RED DE DISTRIBUCION	109
4.6.1 Calculo de la demanda de agua	109
4.6.1.1 Imagen áreas aferentes	109
4.6.1.2 Ingreso de los datos al programa Epanet	110
4.6.2 Análisis de red de distribución	114
4.7 MATRIZ RED PROPUESTA	117
4.7.1 Aspectos a evaluar	117
4.7.1.1 Caudal de diseño	117
4.7.1.2 Captación	119
4.7.1.3 Desarenador	120
4.7.1.4 Aducción y Conducción	121
4.7.1.5 Red de Distribución.	122
4.7.1.6 Incendios	123
4.7.1.7 Mediciones de caudal	124
4.7.1.8 Anclajes	125
4.7.1.9 Tanques	126
4.8 DIAGNOSTICO FINAL	127
5. CONCLUSIONES	130
6. RECOMENDACIONES	132
BIBLIOGRAFÍA	133

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Coeficiente de fricción de Hanzen Williams según Tuberías fabricadas con Materiales de uso Común	31
Tabla 2. Cobertura en la Prestación del Servicio Público de Acueducto	45
Tabla 3. Escala de Valoración Matriz de Evaluacion Condiciones del Acueducto de Tena - Cundinamarca	62
Tabla 4. Valoración Caudal de Diseño	63
Tabla 5. Valoración Captación	64
Tabla 6. Valoración Desarenador	65
Tabla 7. Valoración aducción y conducción	66
Tabla 8. Valoración Modelación Red de Distribución	67
Tabla 9. Valoración Incendios	69
Tabla 10. Valoración Mediciones de caudal	70
Tabla 11. Valoración Anclajes	70
Tabla 12. Valoración Tanques	71
Tabla 13. Valoraciones Totales por Elemento	72
Tabla 14. Nivel de Complejidad Según Población	73
Tabla 15. Métodos para Emplear Según Nivel del Sistema	74
Tabla 16. Censos	76
Tabla 17. Estimación Aritmética	76
Tabla 18. Valor r.	76
Tabla 19. Estimación Geométrica	77
Tabla 20. Valor k	77
Tabla 21. Estimación Exponencial	77
Tabla 22. Métodos de proyección	78
Tabla 23. Resultados Horario de Mayor Consumo de Agua	80
Tabla 24. Resultados Actividad con Mayor Consumo de Agua	80
Tabla 25. Dotación Máxima Neta según Resolución 0330 2017	82
Tabla 26. Población Proyectada	83
Tabla 27. Nivel de Complejidad	83
Tabla 28. Dotación Neta	83
Tabla 29. Incremento de Pérdidas	84
Tabla 30. Caudales	85
Tabla 31. Datos Iniciales	86
Tabla 32. Memoria de Cálculos para el Diseño de la Presa	87
Tabla 33. Diseño de la Rejilla	88
Tabla 34. Diseño de la Rejilla	89
Tabla 35. Diseño del canal de aducción	89
Tabla 36. Diseño Cámara de Recolección	89
Tabla 37. Diseño Muro de Contención	90
Tabla 38. Diseño Caudal de Excesos	90
Tabla 39. Cotas	90

Tabla 40. Datos iniciales	92
Tabla 41. Diseño de la conducción	93
Tabla 42. Pérdidas por Accesorios	93
Tabla 43. Elementos Hidráulicos	94
Tabla 44. Pérdidas de Energía	94
Tabla 45. Densidad viscosidad del agua según la temperatura	95
Tabla 46. Datos Iniciales	96
Tabla 47. Condiciones de Diseño del Desarenador	96
Tabla 48. Diseño de los Parámetros	97
Tabla 49. Diseño de la Tubería de Entrada	97
Tabla 50. Cálculos para el Diseño del Desarenador	98
Tabla 51. Diseño del Perfil Hidráulico	99
Tabla 52. Tubería de Excesos y Lavado	99
Tabla 53. Pérdidas de Conducción de Exceso y Coeficiente de Descarga	100
Tabla 54. Cotas	100
Tabla 55. Datos iniciales	104
Tabla 56. Diseño de la conducción	104
Tabla 57. Coeficiente de Pérdidas por Accesorios	104
Tabla 58. Propiedades Hidráulicas 1	105
Tabla 59. Pérdidas Totales	105
Tabla 60. Diseño del Tanque	106
Tabla 61. Calculo de Dimensionamiento	107
Tabla 62. Demanda por Nodos	109
Tabla 63. Matriz de la red propuesta (aspectos mejorados) Caudal de Diseño	118
Tabla 64. Matriz de la red propuesta (aspectos mejorados) Captación	119
Tabla 65. Matriz de la red propuesta (aspectos mejorados) Desarenador	120
Tabla 66. Matriz de la red propuesta (aspectos mejorados) Aducción y Conducción	121
Tabla 67. Matriz de la red propuesta (aspectos mejorados) Red de Distribución	122
Tabla 68. Matriz de la red propuesta (aspectos mejorados) Incendios	124
Tabla 69. Matriz de la red propuesta (aspectos mejorados) Mediciones de caudal	124
Tabla 70. Matriz de la red propuesta (aspectos mejorados) Anclajes	125
Tabla 71. Matriz de la Red Propuesta (aspectos mejorados) Tanques	126

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación del Municipio	25
Figura 2. División Territorial Municipio de Tena	26
Figura 3. Configuración típica de un sistema de abastecimiento de agua en localidades urbanas	27
Figura 4. Sistema de abastecimiento por gravedad	28
Figura 5. Sistema de abastecimiento por bombeo	29
Figura 6. Marco Conceptual	38
Figura 7. Cobertura de Suelos	42
Figura 8. Catastro Red de Acueducto	47
Figura 9. Esquema Operacional Acueducto Tena- Cundinamarca	49
Figura 10. Ubicación Bocatoma Quebrada las Delicias	50
Figura 11. Desarenador	50
Figura 12. Planta de Tratamiento	51
Figura 13. Conducción Bocatoma Desarenador	51
Figura 14. Conducción Desarenador Planta de Tratamiento	51
Figura 15. Bocatoma de Fondo Acueducto Tena	52
Figura 16. Estado de la Rejilla de la Bocatoma de Fondo	53
Figura 17. Cámara de Recolección	53
Figura 18. Válvula de Compuerta de la Cámara de Recolección	54
Figura 19. Desarenador	54
Figura 20. Tubería de Rebose	55
Figura 21. Paso de la Cámara de Aquietamiento y el Cuerpo del Desarenador	55
Figura 22. Cuerpo del Desarenador	56
Figura 23. Polisombra del Desarenador	56
Figura 24. Pantalla del Desarenador	57
Figura 25. Tubería de Desagüe y Mantenimiento	57
Figura 26. Salida del Desarenador	58
Figura 27. Conducción	58
Figura 28. Línea de Conducción del Desarenador - Tanque de Almacenamiento	59
Figura 29. Tanques de Almacenamiento	59
Figura 30. Cuellos de Ganso de los Tanques de Almacenamiento	60
Figura 31. Macromedidores	60
Figura 32. Población Casco urbano Municipio Tena	73
Figura 33. Datos iniciales de la Poblacion del Municipio en diferetes Períodos	75
Figura 34. Proyección de Poblaciones	78
Figura 35. Formato Encuesta sobre Consumo de Agua	79
Figura 36. Grafica de Consumo Horario Municipio de Tena Cundinamarca	81
Figura 37. Corte de la Bocatoma	91
Figura 38. Planta Bocatoma	91
Figura 39. Detalle del Desarenador	101
Figura 40. Alzado Frontal y Lateral del Desarenador	101

Figura 41. Corte Longitudinal del Desarenador	102
Figura 42. Planta del Desarenador	103
Figura 43. Planta de Tanque	108
Figura 44. Corte del Tanque	108
Figura 45. Red de Distribucion Programa Epanet	110
Figura 46. Ingreso nodo	111
Figura 47. Ingreso Distancia	112
Figura 48. Ingreso Tanque	112
Figura 49. Patrón	113
Figura 50. Analisis Red de Distribucion	114
Figura 51. Comparacion Caudal de Diseño Existente Vs. Propuesto	118
Figura 52. Comparacion Captación Existente Vs. Propuesto	119
Figura 53. Comparacion Desarenador Existente Vs. Propuesto	120
Figura 54. Comparacion Aduccion y Conducción Existente Vs. Propuesto	121
Figura 55. Comparación Modelacion y Red de Distribución Existente Vs. Propuesto	123
Figura 56. Sistema contraincendio	124
Figura 57. Comparacion Mediciones de Caudal Existente Vs. Propuesto	125
Figura 58. Comparacion Anclajes Existente Vs. Propuesto	126
Figura 59. Comparacion Tanques Existente Vs. Propuesto	127
Figura 60. Comparacion Elementos Acueducto Existente Vs. Propuesto	128
Figura 61. Diagnostico Elementos Acueducto Existente Vs. Propuesto	129

LISTA DE ECUACIONES

	Pàg.
Ecuación 1. Péridad de fricción Ecuación de Hzen Williams	30
Ecuación 2. Cálculo de pérdidas por fricción utilizando la ecuación de continuidad	30
Ecuación 3. Fórmula para cálculo de la población proyectada.	74
Ecuación 4. Método geométrico.	76
Ecuación 5. Determinación del promedio de la tasa de crecimiento.	77
Ecuación 6. Fórmula de dotación.	82
Ecuación 7. Caudal medio diario.	84
Ecuación 8. Caudal máximo diario.	84
Ecuación 9. Caudal máximo horario.	85
Ecuación 10. altura de la lámina de agua	86
Ecuación 11. Ecuación de corrección de vertedero	86
Ecuación 12. Velocidad de la rejilla en la bocatoma	87
Ecuación 13. Ecuación de alcance de chorro máximo	87
Ecuación 14. Ecuación de alcance de chorro mínimo	87
Ecuación 15. Ecuación de base de cámara de recolección	87
Ecuación 16. Área neta y total de la rejilla.	88
Ecuación 17. Área neta corregida de la rejilla.	88
Ecuación 18. Caudal a través de la rejilla.	88
Ecuación 19. Longitud cámara de recolección	88
Ecuación 20. Caudal de excesos de la bocatoma	89
Ecuación 21. Pendiente de la línea de aducción	92
Ecuación 22. Diámetro requerido para la línea de aducción	93
Ecuación 23. Caudal a tubo lleno	93
Ecuación 24. Predimensionamiento de tanque de almacenamiento	106
Ecuación 25. Porcentaje de déficit	107
Ecuación 26 volumen de tanque	107

ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Memorias de Cálculos	137
Anexo B. Encuesta	138
Anexo C. Modelación Epanet	139
Anexo D. Planos diseño propuesto acueducto tena	140

GLOSARIO

AGUA POTABLE: agua que por reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos es apta y aceptable para el consumo humano y cumple con las normas de calidad de agua.

ALMACENAMIENTO. El almacenamiento permite asegurar el abastecimiento de agua, al permitir almacenarla para utilizarla en las horas y épocas de mayor demanda, así mismo éste evita tener que suspender el servicio mientras se hacen reparaciones o actividades de mantenimiento en la captación o en la conducción, igualmente, el almacenamiento se construyen generalmente en las zonas más altas o montados sobre estructuras de concreto o metal con el fin de que el agua alcance la altura necesaria para que baje por gravedad hacia la comunidad.

CAUDAL DE DISEÑO: caudal estimado con el cual se diseñan los equipos, dispositivos y estructuras de un sistema determinado.

CAUDAL MÁXIMO DIARIO: consumo máximo durante veinticuatro horas, observado en un período de un año, sin tener en cuenta las demandas contra incendio que se hayan presentado.

CAUDAL MÁXIMO HORARIO: consumo máximo durante una hora, observado en un período de un año, sin tener en cuenta las demandas contra incendio que se hayan presentado.

CAUDAL MEDIO DIARIO: consumo medio durante veinticuatro horas, obtenido como el promedio de los consumos diarios en un período de un año.

DISTRIBUCIÓN. Está se realiza mediante un sistema de tuberías que se encarga de entregar el agua a los usuarios en su domicilio, debiendo ser el servicio constante las 24 horas del día, en cantidad adecuada y con la calidad requerida, el sistema incluye válvulas, tuberías, tomas domiciliarias, medidores y en caso de ser necesario equipos de bombeo.

ERRORES DE MEDICIÓN. Representan un componente importante de las pérdidas y es causado por la inexistencia e imprecisión de los equipos de medición de caudal de los sistemas de macromedición (el caudal que sale de la planta de tratamiento) y micromedición (el caudal medido en los contadores domiciliarios)

FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE AGUA: depósito o curso de agua superficial o subterráneo, natural o artificial, utilizado en un sistema de suministro de agua.

FUGAS: cantidad de agua que se pierde en un sistema de acueducto por accidentes en la operación, tales como rotura o fisura de tubos, rebose de tanques, o fallas en las uniones entre las tuberías y los accesorios.

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. Pérdidas menores Pérdida de energía causada por accesorios o válvulas en una conducción de agua.

PÉRDIDAS POR FRICCIÓN: pérdida de energía causada por los esfuerzos cortantes del flujo en las paredes de un conducto.

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.

POBLACIÓN DE DISEÑO: población que se espera atender por el proyecto, considerando el índice de cubrimiento, crecimiento y proyección de la demanda para el período de diseño.

TRATAMIENTO DEL AGUA. El tratamiento del agua, tiene que ver con los procesos físicos, mecánicos y químicos que harán que el agua adquiera las características necesarias para que sea apta para su consumo, es decir, segura para consumirla, estéticamente aceptable y económica la cual tendrá como mínimo tratamientos de cloración, con el fin de prevenir la contaminación con organismos patógenos durante la conducción del agua.

USOS NO FACTURABLES. Representan el componente de las pérdidas relativo a las cantidades de agua que, a pesar de ser utilizadas legítimamente no revierte en facturación como: Los consumos operacionales (lavado y desinfección de tuberías, tanques). Consumos especiales (bomberos, lavado de calles, riego de jardines públicos, y otros). Consumos clandestinos.

RESUMEN

El suministro de agua potable en zonas urbanas es una necesidad indispensable, para que las poblaciones puedan vivir con una calidad de vida óptima, razón por la cual se requiere contar con sistemas de acueducto adecuados, que cubran la demanda y las condiciones establecidas por la normatividad colombiana para este tipo de estructuras.

Por lo anterior, se realizó la presente investigación en la cual se evaluó y diagnosticó el estado actual de las obras de infraestructura y operación hidráulica del acueducto el Municipio de Tena – Cundinamarca, para identificar las fallas y/o problemas que presenta y que en la actualidad afecta el suministro de agua a la población, para luego diseñar una propuesta de mejoramiento del sistema de acueducto, incluyéndose nuevos diseños para el sistema de acuerdo a lo establecido en la resolución 330 de 2017, concluyéndose que, el sistema propuesto en cada uno de sus componentes presenta porcentajes de mejora notables, por lo que se sugiere que se implemente este diseño.

Palabras claves: sistema de abastecimiento, acueducto, agua potable, diagnóstico, suministro

INTRODUCCIÓN

En Colombia, varias comunidades, especialmente las rurales, sufren a diario problemas relacionados con el acceso al servicio de abastecimiento de agua, ya que éste es, en muchas ocasiones, limitado debido a falencias en los sistemas de acueducto, razón por la cual se deben buscar alternativas que solucionen esta problemática, y que garanticen el abastecimiento de agua óptimo y con cobertura total y de calidad a la población que lo requiera.

Por lo anterior, se realizó el presente trabajo, con el cual se buscó brindar una solución al problema que viene presentando el sistema de acueducto del Municipio de Tena Cundinamarca, en cuanto a abastecimiento de agua a la población, para lo cual se desarrollaron las siguientes actividades

Evaluación y diagnóstico del acueducto actual. En este aspecto se realizó una visita técnica en el municipio de Tena Cundinamarca, en la cual se observaron cada uno de los elementos que componen el acueducto, haciendo énfasis en su estructura física y funcionamiento, identificando las fallas y falencias.

Una vez inspeccionados los elementos del acueducto se aplicó una matriz de valoración de cada uno, para Para realizar el análisis más específico del sistema de acueducto del municipio de Tena, se identificaron los requerimientos mínimos de operación establecidos en el RAS 2000 para este tipo de acueducto, y que cumpla con las necesidades de la población del municipio, y de este modo establecer los requerimientos inicial para la propuesta de diseño.

Caracterización socio demográfica y económica de la población. En esta etapa se determinó analizaron últimos censos para estimar y proyectar el crecimiento de la población en el mediano plazo y establecer así el caudal de diseño para el acueducto. De igual manera para determinar las necesidades de suministro y cobertura de agua, se aplicó una encuesta a algunos de los hogares del municipio con la cual se pudo establecer para determinar las horas en las que se presenta mayor consumo de agua por parte de los habitantes del municipio.

Tercera Etapa diseño de la propuesta. Finalmente, y de acuerdo con los resultados de las dos primeras etapas se procedió a hacer la propuesta de Diseño óptimo del sistema, la cual fue valorada con la matriz de evaluación y comparada con el sistema actual para evidenciar la optimización del mismo, adicionalmente se realizó una simulación en el programa Epanet de la red de distribución para corroborar que el con el diseño propuesto se tendrá un buen funcionamiento del acueducto.

1. GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

De acuerdo con la UNICEF¹ Las redes de abastecimiento de agua potable, son las que facilitan el avance del líquido desde un punto de captación hasta un punto de consumo bajo condiciones aptas, lo que hace referencia, no sólo a las condiciones sanitarias de calidad, sino también de cantidad; razón por la cual, los sistemas de abastecimiento, además de tener en cuenta los conceptos de cobertura, calidad, continuidad, cantidad y costos, debe considerar el uso eficiente del agua; en este sentido, se ha observado que en la actualidad “se gastan y utilizan de manera ineficiente grandes cantidades de agua y, a menudo, la demanda está creciendo mucho más rápido de lo que la naturaleza puede abastecer, siendo las pérdidas de agua en los sistemas de acueducto uno de los problemas que más se registran”², especialmente en los acueductos de zonas rurales, convirtiéndose de esta manera, en un tema de gran relevancia para los entes encargados de su gestión, así como para los mismos pobladores; así mismo, “se presentan problemas como el deterioro de su infraestructura y falencias en la capacidad hidráulica”³; razón por la cual se desarrollan constantes investigaciones y trabajos académicos encaminados al estudio de casos y sus posibles soluciones para esta situaciones.

Algunos de los aportes que se tomaran como punto de referencia para el desarrollo de la presente investigación son, por ejemplo, el artículo titulado “Diagnóstico del sistema de abastecimiento de agua para la vereda Anatoli del municipio de La Mesa (Cundinamarca)”⁴, el cual tuvo como propósito evaluar el funcionamiento del sistema de abastecimiento de agua, mediante la realización de un diagnóstico de los diferentes componentes del acueducto de la vereda mencionada, concluyéndose que el principal problema era el tiempo de servicio de los componentes, que sobrepasaba el tiempo de diseño. Por lo tanto, el diagnóstico se orientó hacia la evaluación de la capacidad hidráulica de las estructuras, la propuesta de mantenimiento de las que se encontraban con un grado de afectación bajo y el diseño de otras que estaban deterioradas o que no existían, todo con el objeto de generar el suministro adecuado de agua para la comunidad de la vereda.

¹ FONDO DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA INFANCIA UNICEF. El agua potable y el saneamiento básico en los planes de desarrollo [en línea]. Bogotá: UNICEF [citado 28 octubre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.unicef.org/colombia/pdf/Agua3.pdf>>

² RAMÍREZ CARDONA, David. Análisis de las pérdidas de agua en los sistemas de abastecimiento [en línea]. Santiago de Cali: Dinámica de Sistemas [citado 28 octubre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://dinamica-de-sistemas.com/revista/1214g-dinamica-de-sistemas.pdf>>

³ PROGRAMA DE DESARROLLO AGROPECUARIO SUSTENTABLE PROAGRO. La problemática del mantenimiento de la infraestructura hidráulica mejorada. 2 ed. Cochabamba: PROAGRO, 2011. p. 16

⁴ RIVERA RODRÍGUEZ, Silvia Yaneth. Diagnóstico del sistema de abastecimiento de agua para la vereda Anatoli del municipio de La Mesa (Cundinamarca). En: Revista Teco Gestión. Agosto – Septiembre, 2006. vol. 1, no. 1, p. 83

Por otro lado, se tiene el trabajo de grado titulado “Estudio para el diseño del sistema de acueducto del corregimiento del Salobre Municipio de Rio de Oro”⁵, en el cual se hace referencia a que el diseño de acueductos, es una base importante para el desarrollo integral de una comunidad, por lo cual se hace necesario la construcción de un sistema adecuado para el suministro de agua potable, que cuente con todos los elementos técnicos, para mejorar la calidad de vida de una población. Por lo que se desarrolló una investigación que permitiera dar una solución viable para el abastecimiento de agua en La vereda El Salobre, mediante el diseño de un sistema de acueducto nuevo y capaz de satisfacer de forma óptima y permanente la demanda de agua por parte de los habitantes de la vereda; ya que el sistema existente era insuficiente debido al crecimiento de la población. El desarrollo del proyecto tuvo en cuenta las características generales de la localidad, el estudio de la población y demanda del servicio, incluyendo elementos como la captación, aducción, desarenador, tanque de almacenamiento y red de distribución.

A nivel internacional, también se han realizado investigaciones relacionadas con el diseño y optimización de acueductos, por ejemplo se tiene el artículo titulado “Structure Design and Mechanics Calculation of Aqueduct Model”⁶ (Diseño de estructuras y mecánica de cálculo de modelos de acueducto), publicado en 2014 por investigadores de la Universidad de Arizona, y en el cual se expresa que, el acueducto es una estructura de transporte y sistema de conducción de agua, que se usa ampliamente en ingeniería hidráulica y que desempeña un papel importante en el suministro de agua para diferentes actividades. Así mismo, se explica que para el diseño de un acueducto se deben tener en cuenta aspectos como el tipo de estructura de soporte, el estado de tensión, la forma de transferencia de carga, las propiedades mecánicas entre otros, que son útiles para la aplicación práctica de la estructura del acueducto.

Por otro lado, el artículo titulado " Optimization of Water Supply System Operation"⁷ (Optimización del funcionamiento del sistema de suministro de agua), en el que se desarrolló un modelo de optimización para analizar el funcionamiento de las bombas de suministro de agua en diferentes horarios de operación, consideró las principales dificultades que pudieran presentar en la operación, especialmente los relacionados con cargas por demanda, descargas discretas de la bomba y otras restricciones físicas; para lo cual se implementó un modelo operativo con una simulación ejecutada en una parte del sistema en un año de prueba.

⁵ ACOSTA ÁLVAREZ, Rodrigo Alfonso. Estudio para el diseño del sistema de acueducto del corregimiento del Salobre Municipio de Rio de Oro. Ocaña: Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Facultad de Ingenierías. Modalidad trabajo de grado, 2014

⁶ LI, Xue Chen; YONG YE, Peng Chen y WANG, Cheng Hao. Structure Design and Mechanics Calculation of Aqueduct Model. En: Applied Mechanics and Materials. January, 2014. vols. 488, p. 381

⁷ SADOWSKI, Elaine C. y QUIMPO, Rafael G. Optimization of Water Supply System Operation. En: Journal of Water Resources Planning and Management. Septemer, 2006. vol. 122, no. 5

Igualmente, el artículo “Optimization Of Water Distribution Networks”⁸ (Optimización de Redes de Distribución de Agua), el cual aborda la optimización de las redes de distribución de agua suministradas por una o más fuentes, de acuerdo con la variación de la demanda, teniendo en cuenta que, en la optimización de tuberías, la función objetivo siempre se centra en los criterios de costo de los componentes de red. La investigación trata redes en que tienen salidas concentradas o salida uniforme a lo largo de cada tubería, desarrollando un modelo mejorado para el diseño óptimo de redes de distribuciones de agua, nuevas o parcialmente extendidas, que operan ya sea por gravedad o por un sistema de bombeo. El modelo se basó en el método de programación lineal y permitió la determinación de una distribución óptima de diámetros comerciales para cada tubería en la red y la longitud de las tuberías que corresponden a estos diámetros. Como resultado se tuvo que el diseño mostró un buen desempeño, pues para las diferentes redes analizadas, el ahorro de energía eléctrica, debido a la disminución de las pérdidas de presión y los costos de operación al aplicar el modelo desarrollado, representó alrededor de 10 a 35%.

De igual manera, el artículo “On Least-Cost Design of Aqueduct Systems”⁹ (Sobre el diseño menos costoso de sistemas de acueductos), en el cual se desarrolla un nuevo enfoque para resolver el problema de diseñar un sistema de acueducto en áreas de pendiente de terreno uniforme. El enfoque se basa en la premisa que, aparte de la cantidad de agua que se asigna, la ubicación de los elementos de un sistema de acueducto es una variable que debe optimizarse para un diseño de costo mínimo. En función de la distribución geográfica de los usuarios y las demandas individuales, se establece una función de demanda para determinar el número óptimo de laterales. Para cada número de laterales y usando programación dinámica, se determina el diseño de mínimo costo del sistema de acueducto. Entonces se determina la solución de costo mínimo general.

Como se puede observar, no sólo en Colombia, sino en otros países, los sistemas de abastecimiento de agua y acueductos, presentan falencias y deterioros por su uso, o simplemente se vuelven insuficientes debido al crecimiento de la población y al cumplimiento de la vida útil para la cual fueron diseñados; razón por la cual se requieren intervenciones que permitan optimizarlos y así poder brindar soluciones en el corto y mediano plazo, que mejoren el suministro de agua en buenas condiciones y en la cantidad necesaria para satisfacer las necesidades de las personas.

8 SÂRBU, Ioan. Optimization Of Water Distribution Networks. En: Proceedings Of The Romanian Academy. July, 2010. vol. 11, no. 4, p. 330

⁹ GEORGAKAKOS, Konstantine P. y GALARRAGA Sánchez, Remigio H. On Least-Cost Design of Aqueduct Systems [en línea]. Virginia: American Society of Civil Engineers [citado 28 octubre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290733-9496%281989%29115%3A4%28486%29>>

1.2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Descripción del problema. En Colombia, la mayoría de municipios cuentan con algún tipo de infraestructura de abastecimiento de agua para sus pobladores, sin embargo, el 89% de estos sistemas presentan problemas, por tanto su cobertura no es al 100%¹⁰, algunas falencias que se han evidenciado son la carencia de redes, rezagos de tecnología, especialmente en las zonas rurales, y problemas de operación de la infraestructura. Así mismo, muchos acueductos empiezan a salir de funcionamiento debido a los costos de operación, generando una inadecuada prestación del servicio e insatisfacción en las personas.

Sumado a lo anterior, el crecimiento poblacional se convierte en otro factor que hace que las necesidades de abastecimiento de agua sean insuficientes, al implicar lógicamente mayor consumo del líquido, y por tanto que la capacidad de los acueductos para suministrarlo en la cantidad y calidad se reduzca.

Algunos de los aspectos mencionados anteriormente, se observan en el municipio de Tena Cundinamarca, ubicado en la Provincia del Tequendama, a 66 km de Bogotá, y que cuenta con un sistema de abastecimiento por gravedad, que se surte de la quebrada Las Delicias. La conducción hasta la Planta de tratamiento de Agua Potable (PTAP) está conformada por tuberías de 4" a 6" y una longitud de 362 m. La PTAP tiene capacidad para 5.0 l/s. En almacenamiento se tiene una capacidad para 250 m³. En cuanto al sistema de distribución se tienen aproximadamente 2 km en tuberías de diámetros que son mayormente de 2" PVC, con alrededor de 15 años de servicio y en buen estado¹¹.

De acuerdo con el Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Tena, para el año 2012, la cobertura del servicio se estimaba en un 98% con base en el número de viviendas atendidas, sin embargo, la cobertura en micromedición era nula puesto que si bien se tienen instalados los micromedidores no se ejecutan aún lecturas de consumo. El índice de agua no contabilizada (IANC) estimado con base en la producción, el número de suscriptores y condiciones de consumo de poblaciones con iguales características es del orden del 68% de cobertura; sumado a esto, el municipio no cuenta con un Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado, que tenga la debida sustentación técnica, estructura de diseños para orientar el desarrollo futuro de estos componentes.

Así mismo, la cobertura del servicio para el área rural es mala, no existe un manejo adecuado y racional del líquido, en términos generales, la mayor debilidad del sistema se focaliza en la falta de micromedición efectiva, lo cual va directamente

¹⁰ CARACOL RADIO. En todos los municipios hay acueductos pero no todos funcionan bien [en línea]. Bogotá: Caracol [citado 28 octubre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: http://caracol.com.co/radio/2014/07/15/nacional/1405436040_322895.html>

¹¹ ALCALDÍA DE TENA. Planes maestros de acueducto y alcantarillado, para municipios de la cuenca del río Bogotá. Bogotá: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2010

ligado a las grandes pérdidas del sistema, provocando un desequilibrio social en el municipio, en lo relacionado con el suministro de agua a sus pobladores.

Finalmente, según las proyecciones del crecimiento de la población del municipio elaboradas por el DANE en 2005, “la población pasará de 1214 habitantes en 2010 a 1429 en 2020”¹², lo que requiere que el sistema de acueducto tenga una capacidad máxima de caudal diario de 3.6 l/s más que el caudal que actualmente tiene que es de 6 l/s.

De acuerdo con lo anterior, se requiere realizar una evaluación del sistema de acueducto del municipio de Tena, para poder determinar su situación actual en cuanto a infraestructura, funcionamiento y capacidad de abastecimiento, teniendo en cuenta la población actual no sólo del municipio, sino de los asentamientos aledaños al mismo y que se abastecen de este acueducto, para poder de esta manera, determinar las necesidades de mejoramiento y así poder diseñar una propuesta para su optimización.

1.2.2 Formulación del problema. Teniendo en cuenta que los acueductos están compuestos por una serie de estructuras y sistemas, y que en cada puede presentar fallas y deterioros diferentes, para lograr una optimización adecuada de los mismos se requiere tener claros cada uno de los elementos que permitan lograrlo, por tanto el desarrollo del presente trabajo parte de la siguiente pregunta de investigación:

¿Qué elementos se deben tener en cuenta para la optimización del sistema de acueducto del Municipio de Tena Cundinamarca, que garanticen la adecuada captación, suministro y distribución del agua, y que tenga una adecuada cobertura de la población?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general. Diseñar una propuesta para la optimización del sistema de acueducto del municipio de Tena (Cundinamarca), para garantizar la adecuada captación, suministro y distribución del agua y disminuir las pérdidas del sistema.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar el diagnóstico del estado actual del sistema de acueducto del municipio, mediante una evaluación de la infraestructura y elementos que lo conforman.
- Determinar la capacidad, funcionamiento y operación de las obras hidráulicas de la red de distribución actual, con el fin de analizar el funcionamiento del mismo en

¹² DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA DANE. Proyecciones de población municipales por área [en línea]. Bogotá: El DANE [citado 17 noviembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: https://www.dane.gov.co/files/.../poblacion/...20/ProyeccionMunicipios2005_2020.xls>

cuanto a abastecimiento y cobertura.

- Evaluar la caracterización de la población urbana de municipio de Tena Cundinamarca y sus necesidades en cuanto a consumo y abastecimiento de agua.
- Diseñar la propuesta de optimización del sistema de acueducto del municipio de Tena Cundinamarca, que garanticen la adecuada captación, suministro y distribución del agua con una cobertura total de la población.

1.4 JUSTIFICACIÓN

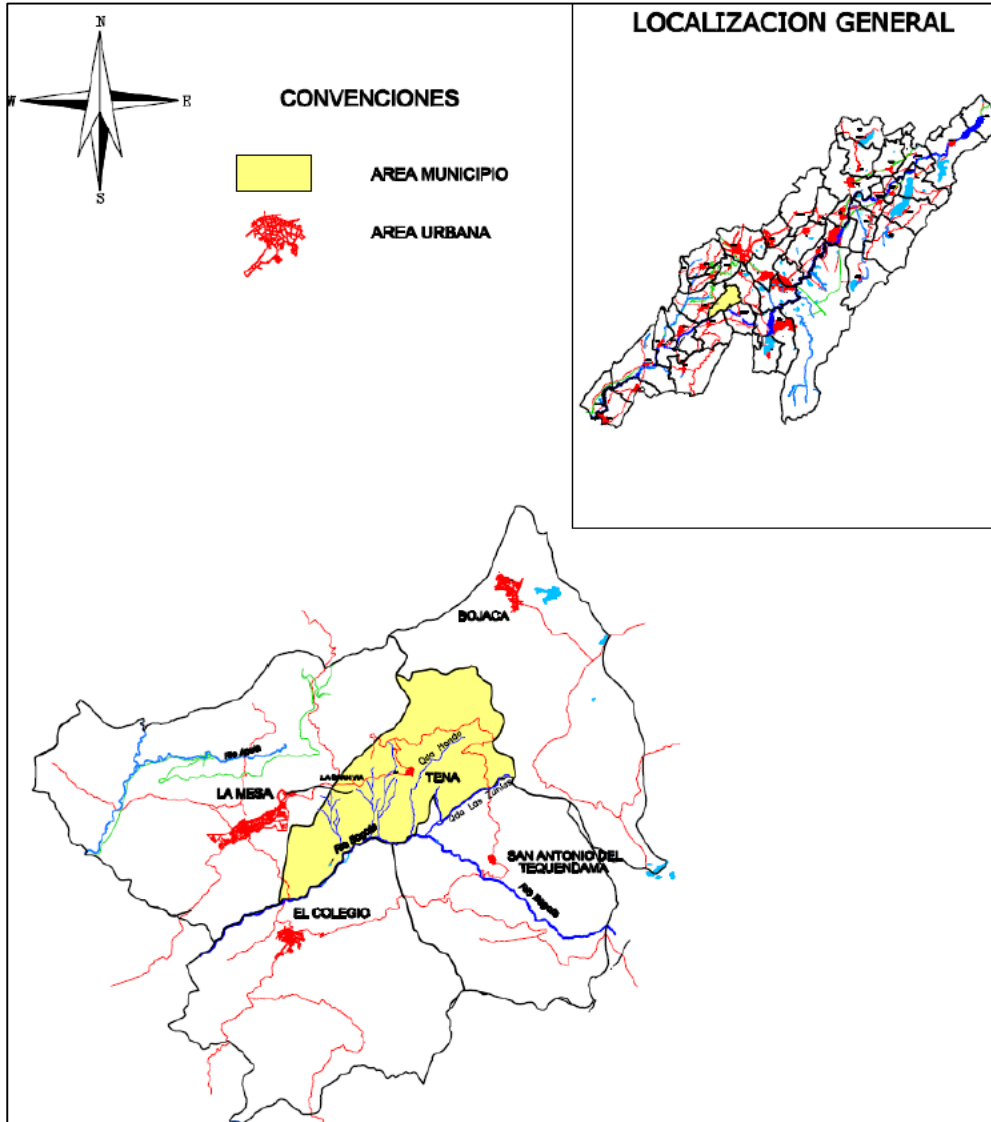
La presente investigación se desarrolla, como un aporte para la optimización del abastecimiento de agua en el municipio de Tena Cundinamarca, fomentado de esta manera el mejoramiento de las condiciones de vida de sus habitantes, esto, teniendo en cuenta que, el agua es un elemento esencial para el desarrollo de diferentes actividades en la vida de las personas, y que por tanto, es de vital importancia que el acueducto esté en óptimas condiciones y que además, cumpla con las necesidades reales de suministro, siendo entonces, indispensable que, éste sea evaluado para poder determinar las razones por la cuales en la actualidad, su funcionamiento no es óptimo, o que permitirá desarrollar acciones de mejora para el servicio que presta el acueducto.

Así mismo, es importante destacar que, con investigaciones y trabajos como éste, no solo se está brindado un aporte al saneamiento de las comunidades en cuanto al manejo y uso eficiente del agua, contribuyendo de esta manera, con el desarrollo de las comunidades menos favorecidas como son las Rurales; sino que además, se está enriqueciendo mediante la práctica, el conocimiento teórico adquirido durante la Carrera, aspecto que, como futuros ingenieros civiles, es vital como parte del futuro desempeño profesional.

1.5 DELIMITACIÓN

1.5.1 Espacio. La investigación se desarrollará en el Municipio de Tena Cundinamarca, que pertenece a la Provincia del Tequendama conformada por diez municipios, a nivel geográfico el Municipio de Tena se ubica a 4° 40' de Latitud Norte, 74° 24' de longitud y una altitud de 1.384 metros; dentro del Departamento de Cundinamarca, ocupa una sección en su parte occidental, en la cordillera oriental correspondiendo al sur occidente de Bogotá (véase la Figura 1).

Figura 1. Ubicación del Municipio



Fuente. ALCALDÍA DE TENA. Plan territorial. Tena: Concejo Municipal, 2012. p. 7
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.

El municipio limita al norte con Bojacá; al occidente con La Mesa; al oriente con San Antonio del Tequendama y al sur con El Colegio. Cuenta con una extensión total: “55 km², de los cuales 25 km² corresponden al área del Casco Urbano y la Inspección de La Gran Vía; y 30 km² de área rural conformada por 11 veredas”¹³ (véase la Figura 2).

¹³ ALCALDÍA DE TENA. Portal web del municipio [en línea]. Tena: La Alcaldía [citado 18 febrero, 2018]. Disponible en Internet: <URL: http://www.tena-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml>

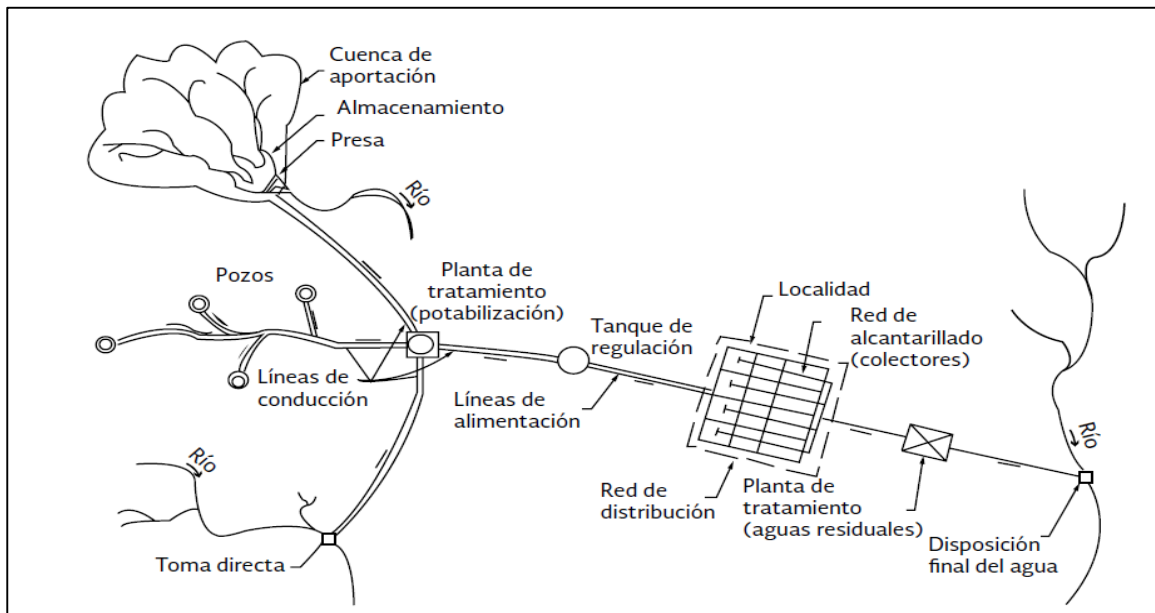
1.6 MARCOS DE REFERENCIA

1.6.1 Marco teórico.

1.6.1.1 Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable. El sistema de abastecimiento de agua potable es el conjunto de obras de ingeniería, que permiten que agua potable avance desde el punto de captación hasta el punto de consumo en las viviendas de una ciudad, pueblo o área rural. Su finalidad principal es que, el agua potable sea entregada en “la cantidad y calidad adecuada para satisfacer las necesidades de las personas”¹⁴.

Por otro lado, la red de abastecimiento de agua de preferencia es la que emplea aguas superficiales de fuentes como ríos, lagos, embalses o incluso aguas lluvias, la cual debe ser elegida teniendo en cuenta factores como localización, calidad y cantidad de abastecimiento; esta red está conformada por cuatro partes: “captación y almacenamiento de agua bruta, tratamiento del agua, almacenamiento del agua tratada y distribución por medio de conducciones”¹⁵ (véase la Figura 3).

Figura 3. Configuración típica de un sistema de abastecimiento de agua en localidades urbanas



Fuente. COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Diseño de Redes de Distribución de Agua Potable. México: Secretaría de Medio Ambiente, 2010. p. 1

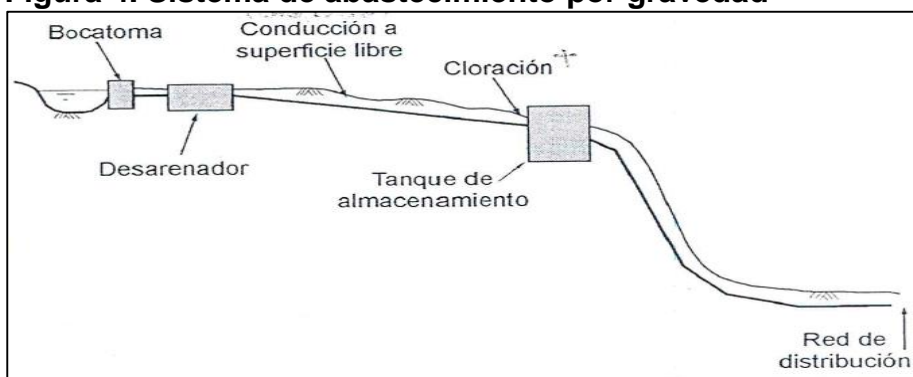
¹⁴ JIMÉNEZ TERÁN, José Manuel. Manual para el diseño de sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario. México: Universidad Veracruzana. Facultad de Ingeniería Civil, 2013. p. 17

¹⁵ ARÍSTEGUI MAQUINARIA. Cómo funciona una red de abastecimiento de agua potable [en línea]. Barcelona: La Empresa [citado 5 noviembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.aristegui.info/como-funciona-una-red-de-abastecimiento-de-agua-potable/>>

1.6.1.2 Tipos de sistemas de abastecimiento de Agua. De acuerdo con el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, los tipos de sistemas de abastecimiento de agua potable, se determinan según la topografía del terreno y la diferencia de altura entre el sitio de donde se toma el agua y la comunidad que la va a consumir, sin embargo, se tiene dos tipos principales, los sistemas por gravedad y por bombeo¹⁶.

Los sistemas de agua potable por gravedad se encuentran principalmente en zonas montañosas, aprovechando la topografía del terreno para llevar por gravedad el agua desde la captación, en la zona más alta, hasta las viviendas, en las zonas más bajas. El sistema solo requiere el uso de válvulas para controlar el agua y garantizar que el servicio llegue adecuadamente a todos los puntos de distribución ya sean hogares o fuentes públicas (véase la Figura 4).

Figura 4. Sistema de abastecimiento por gravedad



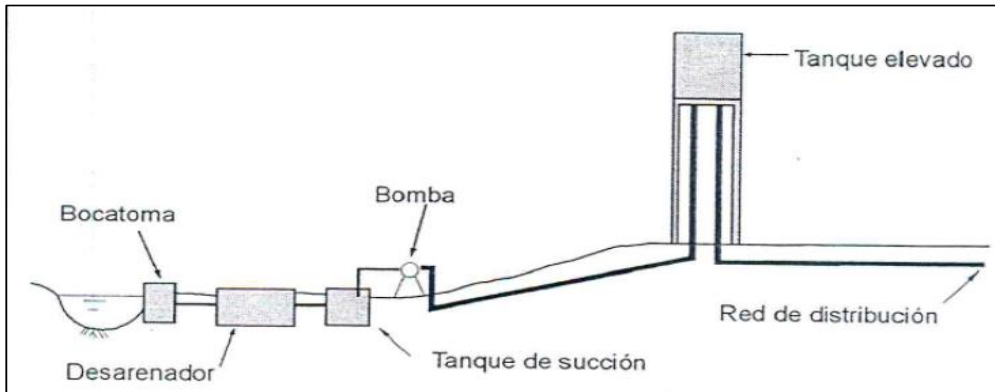
Fuente. LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. 2 ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003. p. 28

En cuanto a los sistemas de agua potable por bombeo, existen dos tipos, por un lado, aquellos que utilizan como fuente las aguas superficiales como ríos y lagos, y los que usan aguas subterráneas (pozos). “Ambos emplean equipos de bombeo para elevar el agua desde la captación o desde la capa freática hasta la planta potabilizadora, así como tanques de almacenamiento o de reserva, generalmente situados en un sitio estratégico por su elevación con respecto al poblado o la comunidad a servir. Desde ese tanque, el agua llega a las viviendas por gravedad”¹⁷ (véase la Figura 5).

¹⁶ COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Fontanería Rural. Programa Cultura Empresarial 9. Bogotá: USAID, 2006.

¹⁷ CARE INTERNACIONAL-AVINA. Módulo 5. Operación y mantenimiento de sistemas de agua potable. Quito: Programa Unificado de Fortalecimiento de Capacidades, 2012. p. 57

Figura 5. Sistema de abastecimiento por bombeo



Fuente. LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. 2 ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003. p. 28

1.6.1.3 Pérdidas de agua en sistemas de acueducto o abastecimiento de agua.

Uno de los aspectos que se deben tener en cuenta en los sistemas de conducción de agua tratada, “es el control del nivel de pérdidas en las conducciones después de la planta de tratamiento y antes del comienzo de la red de distribución, incluyendo los reboses y posibles infiltraciones en los tanques de almacenamiento y/o compensación, ya que esta cantidad debe ser un porcentaje del caudal medio diario, el cual debe ser inferior al 2%”¹⁸; las pérdidas se producen debido a factores como fugas, errores de medición, Pérdidas comerciales en la red de distribución entre otras.

Dado lo anterior, hay varias teorías que permiten estimar las pérdidas por fricción asociadas con el flujo a través de determinada sección de una conducción. Entre las de uso más común de seguro se encuentra la teoría de Hazen-Williams que se explica a continuación:

➤**Teoría de Hazen-Williams.** “Esta teoría plantea una ecuación empírica de extendido uso en el Campo de la Ingeniería Civil para el cálculo de las Pérdidas por Fricción en Conducciones a presión. Surge, a principios del siglo XX, como una tendencia de, precisamente, solventar lo complejo que resultaba el cálculo de estas pérdidas con la Ecuación de Darcy-Weisbach referida anteriormente”¹⁹.

De acuerdo con De Plaza Solórzano siendo la Ecuación de Hazen-Williams una de las de uso más extendido, a continuación, se muestra lo relacionado con su

¹⁸ EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLIN EPM. Normas de Diseño de Sistemas de Acueducto. Medellín: EPM, 2009, p. 58

¹⁹ INGENIERÍA CIVIL. Principios de la hidráulica que necesitas conocer: las pérdidas de energía – parte i: pérdidas por fricción [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 22 noviembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/principios-de-la-hidraulica-que-necesitas-conocer-las-perdidas-de-energia-%E2%80%93-parte-i-perdidas-por-friccion/>>

utilización en sistemas de Tuberías operando a presión, mediante la evaluación de las Pérdidas por Fricción utilizando la Ecuación de Hazen-Williams²⁰.

Esta ecuación es expresada de la siguiente forma en unidades métricas:

Ecuación 1. Pérdida de fricción Ecuación de Hzen Williams

$$V = 0,85 \cdot C \cdot R^{0,63} \cdot S^{0,54}$$

Donde:

- V: Es la velocidad media en la sección del flujo [m/s].
- C: Coeficiente de Fricción de Hazen-Williams.
- R: Radio hidráulico (Área mojada/Perímetro mojado) [m].
- S: Pendiente de fricción o Pérdida de Energía por unidad de longitud de conducción [m/m]

Si se considera que la aplicación de esta ecuación es para el cálculo de las Pérdidas por Fricción en tuberías completamente llenas de agua (a presión) y utilizando la ecuación de continuidad para expresarla en función del caudal conducido (Q) así como el diámetro (D) y Longitud (L) de la tubería, tendremos la expresión más conocida para las pérdidas por fricción totales (hf):

Ecuación 2. Cálculo de pérdidas por fricción utilizando la ecuación de continuidad

$$hf_{[m]} = 10,67 \cdot \left(\frac{Q_{[m^3/s]}}{C} \right)^{1,852} \frac{L_{[m]}}{D_{[m]}^{4,87}}$$

En la bibliografía relacionada con el tema de la Mecánica de Fluidos e Hidráulica (así como en la mayoría de las normativas vigentes en cada país sobre el tema de Abastecimiento de Agua) “se puede encontrar valores del Coeficiente de Fricción de Hazen-Williams en función del material y revestimiento interno de la tubería o conducción”²¹. A continuación, se presentan algunos valores en tuberías fabricadas con materiales de uso común (véase la Tabla 1)

²⁰ DE PLAZA SOLÓRZANO, Juan Sebastián. Ejercicios básicos de mecánica de fluidos e hidráulica aplicados a través del software de distribución gratuita EPANET 2.0. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia, 2017. p. 22

²¹ Ibíd., p. 22

Tabla 1. Coeficiente de fricción de Hanzen Williams según Tuberías fabricadas con Materiales de uso Común

Material	Coeficiente de Fricción de Hazen-Williams C
Hierro Fundido Sin recubrimiento Interno	130
Acero Sin Recubrimiento Interno	120
PVC, PEAD	150
Acero Galvanizado	120
Concreto (Superficie Rugosa)	120
Concreto Centrifugado	130

Fuente. DE PLAZA SOLÓRZANO, Juan Sebastián. Ejercicios básicos de mecánica de fluidos e hidráulica aplicada a través del software de distribución gratuita EPANET 2.0. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia, 2017. p. 28

Cabe resaltar que, antes de utilizar esos valores para el Coeficiente de Hazen-Williams o los de la bibliografía, lo más recomendable es solicitar la información técnica del tipo de tubería que se usa, adicionalmente, al momento de seleccionar el valor para el diseño, es importante tomar en cuenta que, con el tiempo, la superficie de las tuberías y conducciones tiende a ser más rugosa y por lo tanto, el coeficiente de fricción tenderá a ser menor, con la consecuente reducción de la capacidad original de conducción.

1.6.1.4 Balance de pérdidas. El balance de pérdidas de agua, se realiza con el fin de facilitar la identificación de las causas de las pérdidas y la adopción de las medidas correctivas pertinentes, este debe realizarse tanto en el servicio global como en cada uno de los grandes grupos de instalaciones que lo conforman el sistema de abastecimiento de agua (captación y conducción, tratamiento y distribución).

El balance de agua en la conducción es la diferencia entre el volumen de agua tratada y el volumen captado, en las zonas rurales es de vital importancia este balance, pues se registran muchos daños y los usuarios en ruta normalmente desperdician mucha agua.

El balance en el tratamiento corresponde a la diferencia entre el volumen de agua oficialmente consumida por los usuarios facturados y el volumen distribuido.

El balance del agua en el tratamiento representa la cantidad de agua utilizada en el

lavado de filtros y demás instalaciones de la planta, y su reducción demanda en muchos casos la optimización de los procesos que en ella se llevan a cabo. También deben tenerse en cuenta las fugas en válvulas y fisuras en juntas de dilatación.

Finalmente, está el balance de agua en la distribución; balance que usualmente se considera como el de mayor interés para las empresas y el cual a veces se denomina agua no contabilizada. Este balance requiere de la estimación del agua distribuida y facturada, que puede llegar a distorsionarse significativamente, especialmente en dos casos:

Cuando no existen medidores a la salida de la planta y los volúmenes de agua distribuida son estimados a partir de mediciones indirectas (horas de bombeo por ejemplo).

Cuando no se realizan acciones periódicas de verificación de la exactitud de los medidores domiciliarios, por esto, la condición indispensable para que este balance merezca confiabilidad es la corrección de los errores que se puedan estar cometiendo en los registros o estimaciones de los volúmenes de agua distribuida y facturada, mediante la instalación de macromedidores y la realización de acciones de verificación periódicas en unos y otros.

Por otro lado, el control de pérdidas, debe realizarse mediante dos acciones: la inspección de las instalaciones de captación y conducción. Estas inspecciones permiten detectar oportunamente todas las pérdidas de agua visibles, y acometer las acciones correctivas pertinentes. Igualmente se deben realizar, aforos lo más periódico posible a la entrada y salida de la línea de conducción, lo que permite, además de verificar los aparatos o instalaciones de medición de estos caudales, establecer si existen pérdidas significativas de agua en su recorrido (posiblemente no visible), que no hayan sido detectadas en el caudal de llegada. Finalmente, en caso de existir pérdida se deberá proceder a ubicar el sitio donde estas se producen, mediante el aforo de tramos intermedios y/o la oscultación detenida de la línea con Geófonos manuales, electrónicos, u otro tipo de equipos especializados para la detención de fugas²².

1.6.1.5 Cálculo de caudales en sistemas de abastecimiento y distribución de agua. El sentido de circulación del flujo en las tuberías de redes de distribución, cambia con frecuencia por tanto es necesario adoptar hipótesis simplificativas para abordar el problema una de ellas es la aplicación de la teoría de Hardy – Cross que es el procedimiento más utilizado para determinar los caudales circulantes en una red reticulada cuyos diámetros son conocidos, es necesario partir de diámetros supuestos y comprobar posteriormente los caudales y presiones de servicio. Fue desarrollado por Cross en 1935.

El método original se basa en suponer los caudales en cada uno de los tubos de la red e ir corrigiendo esta suposición. Dado que todas las características de la tubería (d , K_s , $\sum Km$, l) se conocen, el método es un proceso de comprobación de diseño.

²² SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE – SENA, Op. cit., p. 86

La principal ventaja del método de Hardy-Cross con corrección de caudales estriba en que requiere menos iteraciones para llegar al mismo grado de convergencia, especialmente si el sistema se encuentra muy des balanceado por las condiciones iniciales supuestas.

El análisis con corrección de cabezas converge más lentamente debido a que las correcciones de caudales se hacen en una tubería cada vez, mientras que en el otro método se corrigen todos los caudales del circuito en forma simultánea. Sin embargo, el análisis con corrección de cabezas tiene una gran ventaja: la preparación de los datos iniciales. Es muy fácil suponer las cabezas inicialmente; en cambio suponer los caudales en cada tubería y que éstos cumplan con la ecuación de conservación de la masa (continuidad) en cada nodo puede ser un proceso complicado, además de lento. El esfuerzo requerido en la preparación de los datos y su interpretación inicial acaba pronto con la ventaja de convergencia rápida del método con corrección de caudales, lo cual es especialmente cierto cuando el análisis se realiza con ayuda del computador; unas cuantas iteraciones extra hoy en día significan unos pocos segundos adicionales de proceso.

Por otro lado, el diseño de redes de acueducto utilizando los métodos de análisis de redes cerradas es un proceso, en esencia, de prueba y error, ya que no se conocen los diámetros. En ocasiones es necesario cambiar varias veces los diámetros para llegar a un buen diseño. Este hecho hace que el cálculo de los caudales iniciales sea un proceso tedioso. Por esta razón es más útil el método de Hardy-Cross con corrección de cabezas²³.

1.6.2 Marco conceptual

1.6.2.1 Captación. Es la parte inicial del sistema hidráulico, tiene que ver con las obras encargadas de captar el agua con la que se va a abastecer a la población. “Pueden ser una o varias, el requisito es que en conjunto se obtenga la cantidad de agua que la comunidad requiere”²⁴. Según López Cualla ²⁵, la estructura que se utilice para la captación de agua, dependerá en primera instancia del tipo de fuente de abastecimiento, que en caso de ser agua superficial, sería mediante bocatomas, mientras que si se trata de aguas subterráneas se haría por medio de pozos.

1.6.2.2 Conducción o Transporte. La denominada “línea de conducción” es la relacionada con todas las “obras civiles y electromecánicas, cuya finalidad es la de llevar el agua desde la captación hasta un punto que puede ser un tanque de regularización, una planta de tratamiento de potabilización o el sitio de consumo”²⁶. En cuanto a las condiciones de diseño, éstas dependen del tipo de fluido,

²³ VALDEZ VILORIA, Luis Felipe y PADILLA SALAZAR, Luis Eduardo. Habilitación de la red de cross para el estudio de presiones y velocidades en tuberías de distribución de agua potable. Cartagena: Universidad de Cartagena. Facultad de Ingeniería. Modalidad trabajo de grado, 2016. P. 23

²⁴ JIMÉNEZ TERÁN, Op. cit., p. 17

²⁵ LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. 2 ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003. p. 22

²⁶ JIMÉNEZ TERÁN, Op. cit., p. 20

pudiéndose transportar agua cruda (sin tratamiento) cuyo tipo de transporte será por aducción; así mismo se puede transportar agua potable (tratada) cuyo tipo de transporte se hace por conducción. Así mismo, según las condiciones topográficas y la distancia, éste puede hacerse por medio de tuberías o conductos a presión o por gravedad, por otro lado, la aducción, al transportar agua cruda, pueda hacerse por medio de conductos abiertos o cerrados²⁷.

1.6.2.3 Pérdidas por Fugas. Éstas representan las pérdidas debido a los escapes de agua que ocurren en los dispositivos de rebose de los tanques del sistema de distribución, las fugas que ocurren en las conducciones, tuberías y demás accesorios de la red por fallas en la hermeticidad de los mismos y las roturas o fugas que se producen en las tuberías y conexiones domiciliarias.

Las fugas debidas a goteo en válvulas y otros accesorios son muy pequeñas y no se detectan de manera fácil, fugas mayores y que representan porcentajes altos pueden ser clasificadas en visibles y no visibles:

➤ **Fugas no visibles.** Aun siendo estas pequeñas se pueden detectar con aparatos y contribuyen en un alto porcentaje al desperdicio. No salen a la superficie, no se detectan visualmente y hay que buscarlas con detectores de sonido como Geófonos o mediante sistemas pitométricos.

➤ **Fugas visibles.** Estas fugas se evidencian porque el agua fluye visiblemente, o dañan el pavimento, producen ruidos, bajan la presión y producen fallas de servicio. Algunas veces se manifiestan en cámaras de alcantarillado o en ductos telefónicos²⁸.

➤ **Pérdidas comerciales en la red de distribución.** “Son aquellas pérdidas relacionadas con el funcionamiento comercial y técnico de la empresa prestadora de servicio. Se incluyen dentro de estas pérdidas las conexiones fraudulentas, los clientes que se encuentren por fuera de las bases de datos de facturación de la empresa y los caudales dejados de medir por imprecisión o mala operación de los micromedidores”²⁹.

➤ **Pérdidas por fricción.** En sistemas de abastecimiento de agua o acueductos, una de las razones de pérdidas es la relacionada con la fricción, en este sentido, en atención a los componentes de la Ecuación de Energía, “se tiene que la única energía que se puede “perder” por efecto del movimiento del fluido a lo largo de una conducción es la asociada a la Altura o Carga de Presión, pues la elevación (z) es un parámetro que depende de las características topográficas de dicha conducción y la carga de velocidad ($V^2/2g$) depende únicamente de la velocidad del flujo y, por supuesto de la geometría de la conducción en cuestión”³⁰. Se tiene

²⁷ LÓPEZ CUALLA, Op. cit., p. 23

²⁸ SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE – SENA. Operación y mantenimiento de redes de acueducto y alcantarillado. Bogotá: Dirección de Servicios Públicos de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000. p. 85

²⁹ EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN EPM, Op. cit., p. 59

³⁰ INGENIERÍA CIVIL. Principios de la hidráulica que necesitas conocer: las pérdidas de energía – parte i: pérdidas por fricción [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 22 noviembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL:

así que la altura o energía total irá disminuyendo en la dirección del movimiento en función de las pérdidas por fricción o, dicho de otra forma, debido a la resistencia que la superficie de la conducción en contacto con el fluido, ofrecerá al movimiento de éste a través de ella.

1.6.2.4 Volumen de Agua. Según López Cualla, el volumen de agua es la determinación de la cantidad de agua que debe suministrar el acueducto, siendo ésta la base para el diseño del acueducto; teniendo en cuenta que éste debe satisfacer las necesidades de la población durante un período suficientemente grande; por tanto se debe estudiar factores como: “período de diseño, población de diseño, área de diseño, hidrología de diseño, usos del agua e inversión de capital”³¹. Según Harry E. Hickey, para determinar la demanda real de agua que debe cubrir un sistema de acueducto se debe adquirir información básica sobre la comunidad, incluido el “uso histórico del agua, las tendencias de la población, el crecimiento planificado, la topografía y las capacidades existentes del sistema, entre otros. Esta información se puede usar para planificar la extensión lógica del sistema existente y determinar la mejora necesaria para proporcionar suficiente suministro de agua a las presiones de demanda en toda la comunidad”³².

1.6.2.5 Deterioro de la calidad del agua. El deterioro de la calidad del agua tiene que ver con la “presencia de sustancias químicas o de otra naturaleza en concentraciones superiores a las condiciones naturales. Entre los contaminantes más importantes se encuentran los microbios, los nutrientes, los metales pesados, los químicos orgánicos, aceites y sedimentos; el calor también puede ser un agente contaminante, al elevar la temperatura del agua”³³. Igualmente, para determinar el nivel de deterioro de la calidad de agua en los sistemas de distribución, se deben tener en cuenta factores como

- Contaminación a través de conexiones cruzadas o de uniones de tuberías con fugas;
- Corrosión de las tuberías de hierro y disolución del plomo y el cobre de las paredes y juntas de la tubería;
- Pérdida de desinfectante residual en las instalaciones de almacenamiento con tiempo de residencia prolongado.
- Fuentes de suministro en línea y fuera de línea.

<http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/principios-de-la-hidraulica-que-necesitas-conocer-las-perdidas-de-energia-%E2%80%93-parte-i-perdidas-por-friccion/>

³¹ LÓPEZ CUALLA, Op. cit., p. 29.

³² HICKEY, Harry E. Water Supply Systems and Evaluation Methods. Volume I: Water Supply System Concepts. Washington: Federal Emergency Management Agency, 2008. p. 64

³³ UNESCO. Water Quality for Ecosystems and Human Health. 2 ed. New York: PNUMA, ERCE, 2008.

- La calidad del agua tratada alimentada al sistema;
- El material y el estado de las tuberías de agua, las válvulas del sistema de distribución y las instalaciones de almacenamiento que componen el sistema de agua.
- La cantidad de tiempo que el agua se retiene en el sistema.

Las acciones que pueden tomarse para mejorar la calidad del agua o prevenir su deterioro en el sistema de distribución incluyen:

- Cambios en las prácticas de tratamiento.
- Reparación de tuberías.
- Revestir o reemplazar tuberías.
- Modificaciones a la operación de suministro de agua por circulación de agua en el almacenamiento.

1.6.2.6 Evaluación y diseño del sistema de distribución de agua. El diseño y la evaluación de los sistemas de distribución de agua, es el conjunto de actividades mediante las cuales se considera la cantidad de agua para los intereses comerciales, propiedad gubernamental, instalaciones educativas y todas las clasificaciones de propiedades residenciales en una relación general con la demanda de consumo diaria promedio y máxima, requerido para satisfacer las necesidades actuales para satisfacer las demandas futuras basadas en el crecimiento del área construida y el aumento de la población. Estas actividades son, por ejemplo: “comprender las demandas del sistema de agua; determinar el flujo de diseño y almacenamiento de agua. Esto proporciona una base de conocimiento común para determinar el estado actual y futuro de un sistema de agua específico e incluso cómo se puede relacionar con los suministros de agua adyacentes en los sistemas de agua comunitarios cercanos”³⁴.

Por otro lado, tanto en el diseño como en la evaluación del sistema de abastecimiento, se debe tener en cuenta factores como: “vida útil de las estructuras y equipo tomados en cuenta, obsolescencia, desgaste y daños; ampliaciones futuras y planeación de las etapas de construcción del proyecto; cambios en el desarrollo social y económico de la población, y, comportamiento hidráulico de las obras cuando éstas no estén funcionando con toda su capacidad”³⁵.

1.6.2.7 Red de distribución de agua. Es el conjunto de instalaciones, conducciones y elementos que hacen posible la conducción del agua potable, desde la salida de la planta de tratamiento hasta el punto de consumo. La función de la red de distribución es repartir agua potable a los domicilios o puntos de consumo.

³⁴ HICKEY, Op., cit., p. 51

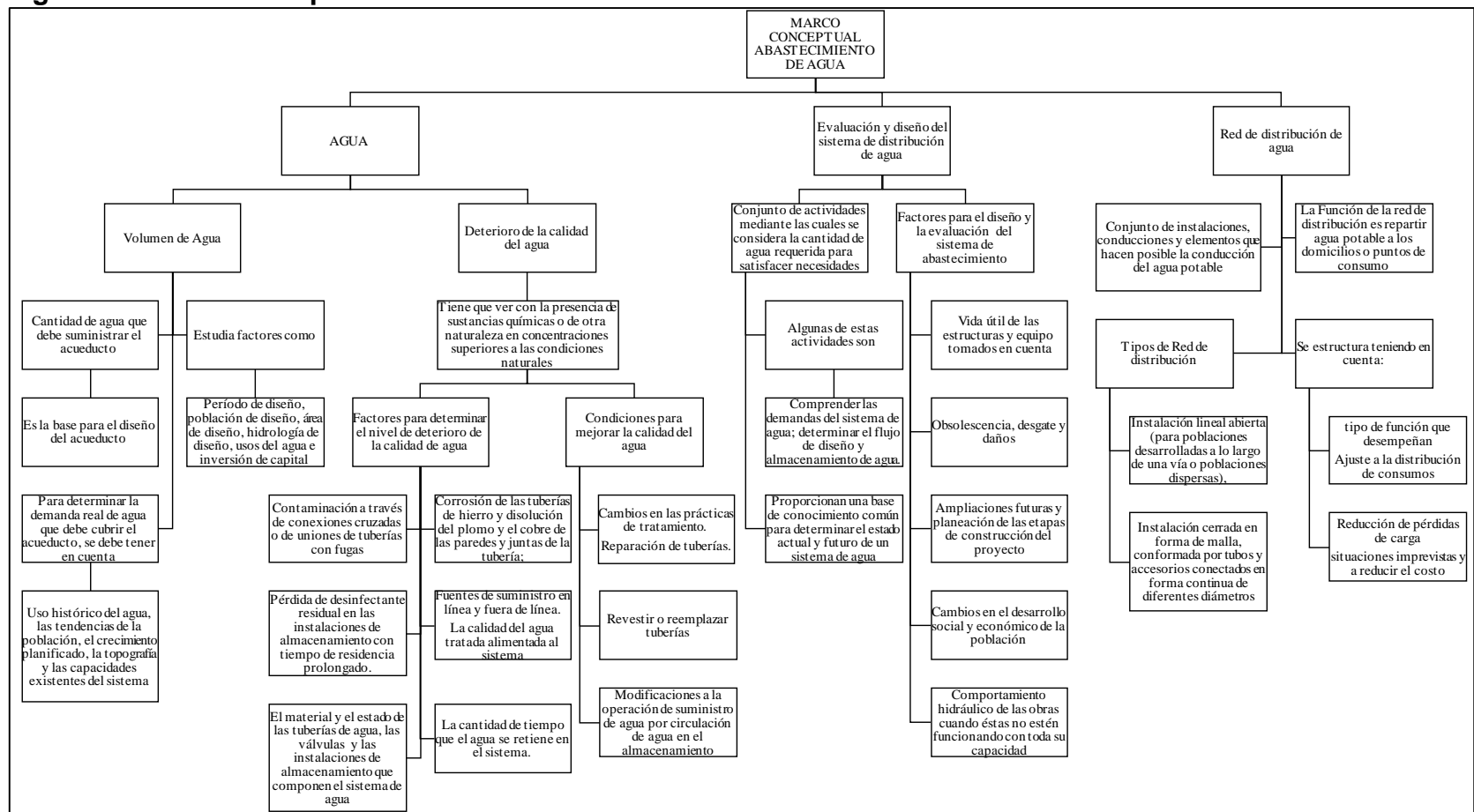
³⁵ LÓPEZ CUALLA, Op. cit., p. 30.

“Dependiendo de la forma y el tamaño de la población, la red de distribución puede ser una instalación lineal abierta (para poblaciones desarrolladas a lo largo de una vía o poblaciones dispersas), o cerrada en forma de malla, conformada por tubos y accesorios conectados en forma continua de diferentes diámetros. Conduce el agua a lo largo de caminos, calles y cuadras o manzanas y desde donde se conectan las acometidas domiciliarias”³⁶. Así mismo, las redes de distribución de agua “se estructuran según el tipo de función que desempeñan y que tienen una relación directa con la serie decreciente de los diámetros con el fin de ajustarse a la distribución de consumos, a la reducción de pérdidas de carga, hacer frente a situaciones imprevistas y a reducir el costo”³⁷ (véase la Figura 6)

³⁶ CARE INTERNACIONAL-AVINA, Op. cit., p. 85

³⁷ MOLIÁ, Rafael. Abastecimiento y saneamiento urbanos. Redes de distribución [en línea]. Madrid: Escuela de Organización Industrial [citado 10 noviembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.eoi.es/es/file/18411/download?token=gX0xQ45Q>>

Figura 6. Marco Conceptual



Fuente. Los Autores

1.6.3 Marco Legal

- Constitución Política de Colombia, la cual establece el deber del estado de asegurar la prestación eficiente de los servicios públicos domiciliarios a todos los habitantes del territorio nacional, y mediante los artículos 356 y 357, se crea el Sistema General de Participaciones de los Departamentos, Distritos y Municipios, con el fin de atender los servicios a cargo de estas entidades y proveer los recursos para financiar adecuadamente su prestación.
- Ley 142 de 1994, Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y regula el sistema de saneamiento básico en Colombia, determinando la obligatoriedad de los municipios de asegurar la prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo conforme a las reglas de competencia que trata esta norma.
- Plan Regional de Inversiones en Ambiente y Salud, Análisis del sector de agua potable y saneamiento en Colombia, cuyos objetivos principales de éste sector están encaminados a contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de la población colombiana, mediante: 1. La prestación eficiente y óptima de los servicios de agua potable y saneamiento básico que coadyuve a reducir la morbilidad y mortalidad originadas por enfermedades producidas por consumo de agua no apta y por la contaminación de excretas y 2. La extensión de coberturas y ampliación de la infraestructura física como factor indispensable para el desarrollo urbano, el crecimiento económico, la reducción de la pobreza y el desarrollo ambientalmente sostenible.
- La Resolución 0330 de 2017 expedida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio La Resolución reglamenta los requisitos técnicos que se deben cumplir en las etapas de diseño construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura relacionada con los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo.
- Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS-2000 y actualizaciones (decreto 330 del 17 de junio de 2017), fija los requisitos técnicos que deben cumplir los diseños, las obras y procedimientos correspondientes al Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico y sus actividades complementarias, así como la supervisión técnica, interventoría, operación y mantenimiento propios de estos sistemas.
- Decreto 475 de 1998, por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable, así como regulan las actividades relacionadas con la calidad del agua potable para consumo humano, ya que El agua suministrada por la persona que presta el servicio público de acueducto, deberá ser apta para consumo humano, independientemente de las características del agua cruda y de su procedencia.

1.7 METODOLOGÍA

Se desarrollará una investigación de tipo descriptiva, la cual especifica y describe datos o información que tiene un impacto en las vidas de la gente, así como especificar propiedades, características de un tema específico, que para el caso de la presente investigación, tiene que ver con el análisis de elementos, factores y aspectos relacionados con el diseño, la estructura, materiales y especificaciones técnicas y operativas del sistema de acueducto del Municipio de Tena Cundinamarca, información con la cual se pretende identificar las causas por las cuales éste presenta fallas y falencias en el suministro y distribución del agua.

Igualmente se aplicará un enfoque cuantitativo y cualitativo, teniendo en cuenta que algunas de las variables de estudio serán medidas y analizadas mediante mediciones y otras se estudiarán mediante recopilaciones documentales teóricas.

1.7.1 Fuentes de información.

1.7.1.1 Fuentes Primarias. Las fuentes primarias están compuestas por información interna del sistema de acueducto e información del Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Tena, así como información socio demográfica y económica de la población, la cual será suministrada por las diferentes entidades gubernamentales como la alcaldía. Igualmente, se usará la Resolución 0330 de 2017 Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS expedida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, como fuente de información para la evaluación del sistema de acueducto y propuesta de optimización del mismo, para que la propuesta de optimización cumpla con la normatividad colombiana.

1.7.1.2 Fuentes Secundarias. Se utilizarán documentos como manuales y guías sobre suministro del agua, redes y sistemas de acueductos, libros y trabajos de grado relacionados con el tema.

1.8 DISEÑO METODOLÓGICO

1.8.1 Primera Etapa. Evaluación y diagnóstico

➤ **Visita Técnica:** Se realizará una visita técnica en el municipio de Tena Cundinamarca, para la caracterización de la estructura física que conforma el sistema de acueducto del municipio, así como las obras civiles, relacionadas con la identificación de la Fuente hídrica, mecanismos de captación, Sistema de conducción, sedimentador, tanque de almacenamiento y redes de distribución.

➤ **Evaluación de la estructura física:** se evaluará el sistema de acueducto teniendo en cuenta su funcionamiento y operatividad de obras hidráulicas, mediante la

verificación de cumplimiento de especificaciones técnicas establecidas en la normatividad colombiana.

➤Diagnóstico: De acuerdo con la información recopilada en las actividades anteriores, se desarrollará el análisis sobre el estado actual del sistema, identificando las fallas o falencias en la infraestructura, funcionamiento y operación del acueducto, para determinar los requerimientos y especificaciones de mejoramiento y optimización.

1.8.2 Segunda Etapa. Caracterización socio demográfica y económica de la población.

➤Realizar una revisión documental de la información relacionada con aspectos socio demográficos de la población del municipio, analizando censos y realizando aforos poblacionales, para estimar y proyectar el crecimiento de la población en el mediano plazo, y las necesidades de suministro y cobertura de agua.

➤Determinación de la demanda de agua, mediante el cálculo y estimación del consumo neto de agua, pérdidas de agua permitidas, consumo total, determinación de caudal de diseño, obtención caudal medio diario, obtención caudal máximo diario, obtención caudal máximo horario, determinación proyección de la demanda.

1.8.3 Tercera Etapa diseño de la propuesta.

➤Propuesta de Diseño del sistema: Se diseñó una propuesta para un nuevo diseño del sistema de acueducto óptimo, mitigando cada una de las falencias y fallas encontradas en el diagnóstico y evaluación del acueducto, haciendo sus respectivos cálculos de captación, conducción, desarenador y distribución, teniendo en cuenta lo estipulado en la normatividad colombiana para este tipo de obras.

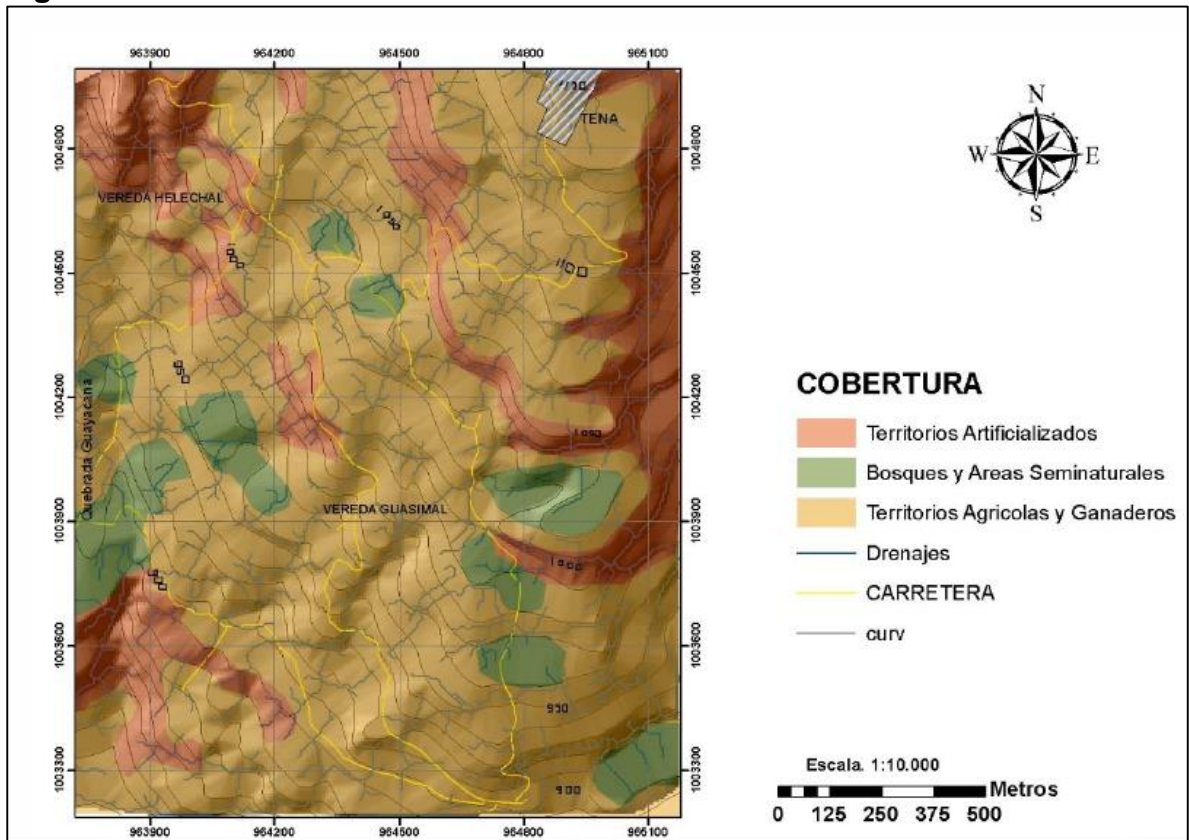
2. DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE TENA

2.1 CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL MUNICIPIO

2.1.1 Suelos. El uso actual del suelo en las 4975 Hectáreas correspondientes al área rural, está discriminado de la siguiente forma, En el municipio se dan 4 unidades de manejo del suelo:

- Predominantemente forestal: Zonas de recarga hidrológica.
- Principalmente agrícola: Café, plátano, maíz, azúcar, yuca y pastos.
- Agropecuaria: Ganadería extensiva y agrícola en menor escala.
- Agrícola: Cultivos frutales y cultivos de sombríos, observándose restricciones (véase la Figura 7).

Figura 7. Cobertura de Suelos



Fuente. MANCHEGO BARRERA, Ana Milena y PEÑA ESPITIA, Geraldine Alexandra. Estudio geológico y caracterización geotécnica en el sector rural de las veredas helechal y Guasimal del municipio de tena departamento de Cundinamarca. Bogotá: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Escuela de ingeniería geológica. Modalidad trabajo de grado, 2018, p. 27

En el nivel rural el uso del suelo está presentando una fuerte variación, como consecuencia de la marcada tendencia actual de destinar tierras de buena calidad a actividades recreativas, fincas de recreo o similares, o al establecimiento de porquerizas y galpones. Además “un alto porcentaje de la comunidad está abandonando sus parcelas para dedicarse a establecer tiendas y “piqueteaderos” a orillas de la carretera principal, negocios que son mucho más rentables que la explotación de la tierra”³⁸.

2.1.2 Climatología. La temperatura promedio de la microcuenca Quebrada Honda es de 21 grados centígrados. De acuerdo con el Plan de Ordenamiento Territorial de Tena:

El clima de la microcuenca, está regulado por el sistema de circulación intertropical, la convergencia de las corrientes de aire (vientos alisios) de alta presión septentrionales y meridionales forman una faja de baja presión; esta faja contiene un elevado porcentaje de humedad e inestabilidad en el aire, que influye localmente en el incremento o disminución de la pluviosidad y el clima en general, lo que origina abundante precipitación en el área, “induciendo en su doble paso por la zona a un régimen climático bimodal, con dos períodos de lluvia máximos en abril y en octubre y dos épocas intermedias en que disminuye la precipitación considerablemente” (IFCAYA, 1992). El clima de la microcuenca también está influenciado por corrientes locales de aire provenientes del río Magdalena.

La precipitación anual promedio es de 1.600 mm y la humedad relativa en verano es del 70% y en invierno del 90%. La precipitación varía entre 1.800 y 2.300 mm. por año, con dos períodos lluviosos. Entre marzo y mayo y entre octubre y noviembre, siendo los meses más secos julio y agosto³⁹.

2.1.3 Hidrología. El municipio esta bañado por el río Bogotá, que es de gran importancia por su caudal aunque no preste ningún servicio debido a su alta toxicidad a causa de la contaminación; por la margen izquierda de la hoya de este río desembocan varios afluentes de caudal permanente; entre ellos están las quebradas La Honda, La Coyancha, Las Delicias, Guayacana, Guasimal, Casa Pintada, Negra, Zapata, Isidro y los Totumos.

La quebrada Coyancha con 3.5 Km. de longitud, la de Casa Pintada con 3.5 Km. y la Guayacana con 3 Km. de longitud aproximadamente. También hace parte del sistema hídrico del municipio la Laguna de Pedro Palo, como sistema de captación de aguas lluvias. La Hidrología del municipio de Tena está representada en la microcuenca de la Quebrada Honda. Esta perteneciente a la Cuenca Baja del Río Bogotá, está localizada en el Municipio de Tena, a 50 Km. de la ciudad de Bogotá, siendo sus coordenadas planas en escala 1:25.000. La Microcuenca es de forma oblonga y alargada con drenaje asimétrico con orientación de norte a sur y tiene dos

³⁸ ALCALDÍA DE TENA. Plan de desarrollo territorial. Tena: Concejo Municipal, 2016. p. 9

³⁹ *Ibíd.*, p. 10

nacimientos, uno de ellos localizado en la Vereda San Antonio del Municipio de Bojacá en la fuente conocida como Quebrada La Coyancha.

La Microcuenca tiene una extensión total de 36.33Km² en su área de drenaje, un perímetro de 33.00Km. Y un caudal de 0.21m³/s equivalentes a 210 L/s. Limita por el oriente con la Quebrada Zunia del Municipio de San Antonio de Tequendama, por el occidente con la quebrada Santa Cruz y la cabecera municipal de Tena, por el sur con el río Bogotá donde desemboca y por el norte con la Coyancha y la Reserva forestal de la Laguna de Pedro Palo. La totalidad del Municipio de Tena se encuentra ubicado sobre un coluvión constituido por bloques subangulares a angulares de arenisca y lutitas, de una estructura arcillo limosa de color gris a negro.

Este coluvión subyace en una secuencia de lutitas negras carbonases, poco permeables, fracturadas y replegadas correspondientes a la formación de Villeta. Como procesos morfodinámicos presentes en el área se encuentran la caída de bloques relacionados con las areniscas del Grupo Guadalupe y movimientos de flujos lentos de tierras, deslizamientos, agrietamientos y derrumbes, relacionadas con la actividad erosiva de tipo torrencial de la Quebrada, especialmente en el sector medio de la microcuenca. Como estructuras se encuentran fajamientos de desplazamiento lateral. Las laderas son generalmente ondulantes con intensa degradación (movimientos de remoción en masa e inestabilidad del suelo). Los planos de foliación de la lutita, unidas a su alto grado de meteorización y la posición inclinada de las formaciones, facilitan el almacenamiento de las aguas que se infiltran y circulan entre las capas de terreno.

Las zonas altas de la Microcuenca pertenecen geológicamente al Grupo Guadalupe, caracterizada por una topografía abrupta, con presencia de escarpes y afloramientos de areniscas, desde donde se desprenden los grandes cantos que abundan en la región y en los lechos de las quebradas. Estos bloques, al estar en el lecho de las quebradas, desvían el excedente de las aguas en las crecientes durante el invierno, erosionando con fuerza las orillas, con excavaciones de cauces transitorios, que generan la alta inestabilidad del terreno en todo su recorrido⁴⁰.

El municipio de Tena drena sus aguas de escorrentía a la cuenca de la quebrada La Honda a través de la acequia El Chorro. El sector urbano central del Municipio de Tena se abastece por gravedad de la quebrada Las Delicias.

Los estudios hidrológicos realizados, determinaron que “el caudal operable de la quebrada es de 6.0 l/s. Igualmente, en términos generales se tiene que la quebrada Las Delicias presenta un caudal constante atribuido a la poca intervención que hay en la cuenca de drenaje y la inexistencia de otros usos del agua en esta zona de la corriente. Los análisis de calidad del agua cruda realizados por la Secretaría de Salud Departamental, indican que la fuente es apta para uso destinado al consumo doméstico, previo tratamiento convencional”⁴¹.

⁴⁰ *Ibíd.*, p. 20

⁴¹ ALCALDÍA DE TENA. Planes maestros de acueducto y alcantarillado, para municipios de la cuenca del río Bogotá. Tena: La Alcaldía, 2010. p. 18

2.2 DESCRIPCIÓN DEL ACUEDUCTO

2.2.1 Cobertura. El municipio de Tena tiene una gran riqueza hídrica, puesto que suministra agua para los municipios de La Mesa, Anapoima y la Inspección de San Joaquín y San Javier. Aparte de esto, el municipio de Tena cuenta con 12 acueductos veredales cuya cobertura en la prestación del servicio es del 87,66%, en donde el sector urbano cuenta con una cobertura del 99,14% y el sector rural con el 83.27% de prestación del servicio público de acueducto (véase la Tabla 2).

Tabla 2. Cobertura en la Prestación del Servicio Público de Acueducto

Zona	Población total	Personas con servicio de acueducto	%
Cabecera municipal	451	447	99.11%
Centro poblado	741	736	99.33%
Rural disperso	5236	4360	83.27%
	6248	5543	86.23%

Fuente. ALCALDÍA DE TENA. Informe de gestión 2012. Tena: Concejo Municipal, 2013. p. 37

De acuerdo con lo anterior, de los 6428 habitantes del municipio, 5543 que equivale al 86,23% tienen acceso al servicio de acueducto; 2706 que equivale al 42,10% tienen acceso al servicio de recolección de basuras; y 1285 equivalente al 19,99% de la población, tienen acceso al servicio de alcantarillado en el municipio de Tena.

2.2.2 Condiciones de la Prestación del Servicio. En lo pertinente a la disponibilidad del recurso hídrico, la fuente de abastecimiento (quebrada Las Delicias) presenta bajas fluctuaciones en su caudal, según información de los fontaneros del municipio, en verano intenso el caudal disminuye a 5 l/s, lo cual coincide con los estimativos hidrológicos realizados por Latin Consult con base en las áreas de drenaje y el rendimiento mínimo para este tipo de cuencas.

Otro aspecto relevante en el cuidado de la fuente es el uso forestal adecuado de su cuenca, ya que en la evaluación de campo realizada por Latin Consult se detectaron cultivos de pancoger cerca del lugar de la captación, que pueden afectar en el futuro su rendimiento.

La continuidad de la prestación del servicio es alta, para los sectores urbanos como rurales. Según la información de la OSPM el servicio se presta de forma continua excepto cuando se ejecutan labores de mantenimiento en la PTAP.

En cuanto a la calidad del agua suministrada, los operadores de la PTAP toman una muestra diariamente. No se han detectado valores por fuera de los intervalos consignados en la normativa nacional vigente, ni se registran enfermedades de origen hídrico asociadas con la calidad del agua de consumo en el área urbana.

La confiabilidad es aceptable dada la sencillez del sistema; no obstante, el balance oferta demanda muestra márgenes de seguridad muy pequeños en cuanto a la disponibilidad del recurso hídrico, por lo tanto, es necesario estructurar, como anteriormente se anotó, un plan de conservación tanto de la cuenca como del acuífero.

En cuanto a vulnerabilidad, definida como los factores externos al sistema que pueden afectar el correcto funcionamiento del mismo, es importante anotar que las estructuras del sistema de producción se encuentran en sitios estables con adecuados cerramientos perimetrales y un adecuado mantenimiento, lo cual permite concluir que no hay vulnerabilidad en este orden; asimismo, tampoco se dan condiciones críticas en la PTAP.

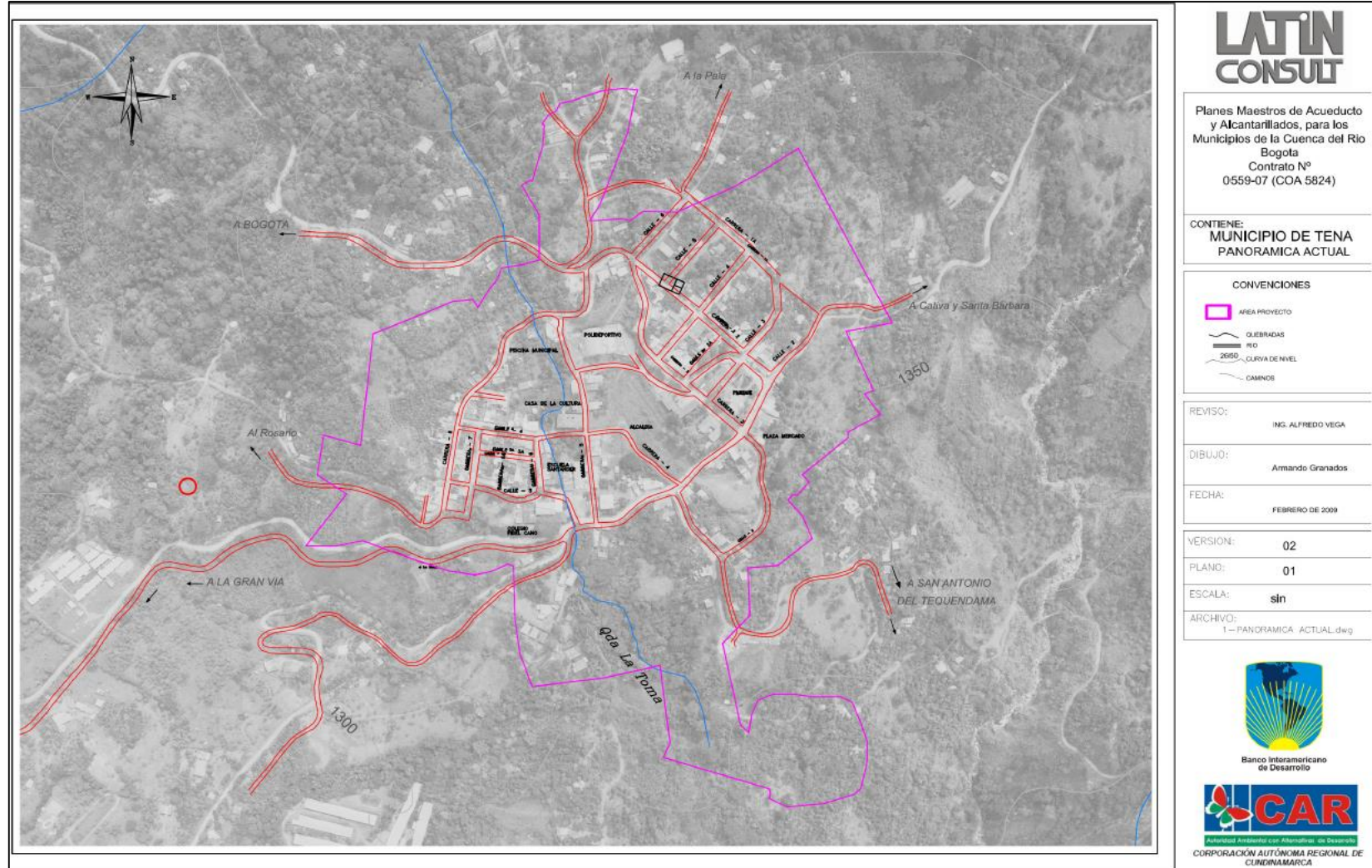
Según el Plan maestro de acueducto y alcantarillado, para municipios de la cuenca del Río Bogotá, “el índice de agua no contabilizada (IANC) estimado con base en la operación de la PTAP, los caudales medios de tratamiento, el número de habitantes y una dotación neta de 130 l/hab-día es de 68.8%. Valor que identifica una deficiencia por fuera de los parámetros normalmente aceptados, máxime que es un sistema pequeño con 2 macromedidores disponibles y con micromedidores instalados para el 100% de los usuarios, sin la aplicación de su lectura”⁴².

La racionalización del nivel de pérdidas al 30%, con medidas de control técnico y programas para el uso racional del agua, serían altamente positivos ante la limitación de la disponibilidad del recurso hídrico en la zona.

Por otra parte, aunque el municipio cuenta con una cantidad de válvulas considerables (30 unidades), la falta de un catastro completo de redes y accesorios dificulta en gran medida la operación y sectorización del sistema (véase la Figura 8).

⁴² *Ibíd.*, p. 22

Figura 8. Catastro Red de Acueducto



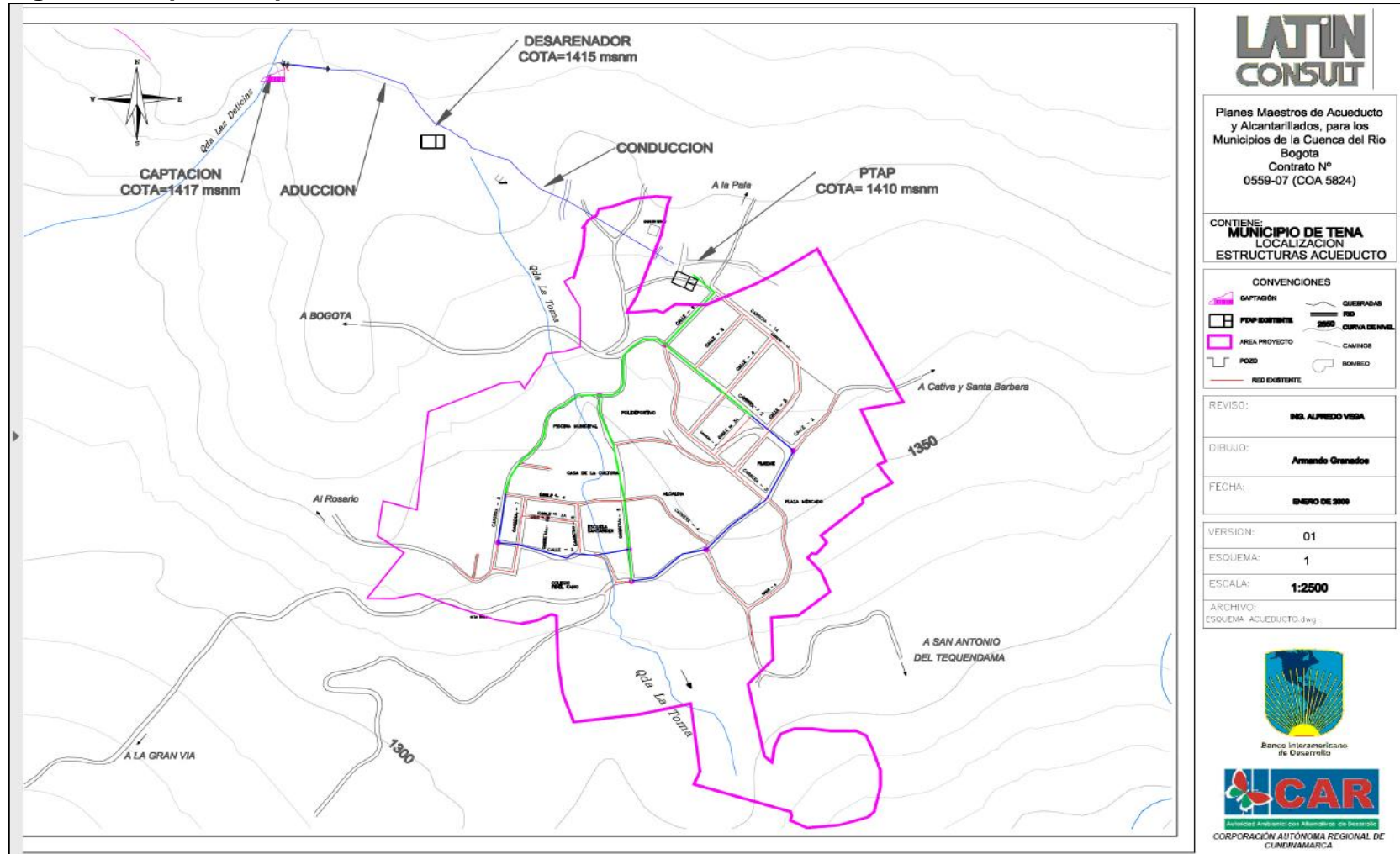
Fuente. ALCALDÍA DE TENA. Informe de gestión 2012. Tena: Concejo Municipal, 2013. p. 40

2.2.3 Características del Sistema. “Tena se abastece por gravedad de la quebrada Las Delicias; esta corriente se forma a partir de manantiales o afloramientos naturales, 20 m aguas arriba de su captación. La zona alta del casco urbano (1.15 ha, QMH= 0.49 L/s) actualmente se encuentra siendo abastecida por el sistema de acueducto rural “Averosa”, con el fin de garantizar la presión óptima a esta zona”⁴³.

En sus primeros componentes, el sistema cuenta con un tanque de carga ubicado a 1420 msnm del cual se toma el agua que pasa a una bocatoma de fondo y luego por aducción al desarenador como se muestra a continuación (véase la Figura 9).

⁴³ *Ibíd.*, p, 23

Figura 9. Esquema Operacional Acueducto Tena- Cundinamarca



Fuente. ALCALDÍA DE TENA. Informe de gestión 2012. Tena: Concejo Municipal, 2013. p. 39

2.3 EVALUACIÓN DE COMPONENTES FÍSICOS E INFRAESTRUCTURA DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO

De acuerdo con la visita técnica realizada al acueducto que abastece el casco urbano del municipio de Tena, se pudo determinar que el sistema de acueducto está compuesto por:

- Bocatoma
- Conducción (bocatoma-desarenador)
- Desarenador
- Conducción (desarenador-tanque de abastecimiento)
- Planta de tratamiento.
- Sistema de distribución

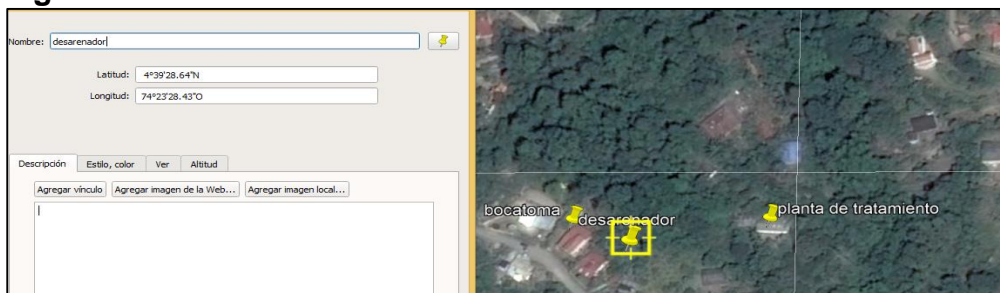
2.3.1 Ubicación de componentes del Acueducto. A continuación, se muestra la ubicación de cada uno de los componentes del sistema de acueducto de Tena, de acuerdo a localización realizada en el levantamiento en campo y apoyado con los datos planimétricos suministrados por la empresa de acueducto y alcantarillados del municipio de Tena (véase la Figuras 10, 11, 12,13 y 13)

Figura 10. Ubicación Bocatoma Quebrada las Delicias



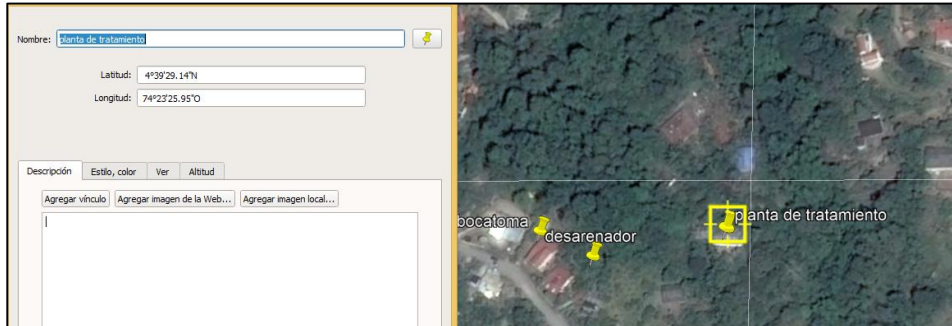
Fuente. GOOGLE EARTH. Municipio de Tena [en línea]. Bogotá: Google [citado 15 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.google.com/intl/es/earth/>>

Figura 11. Desarenador



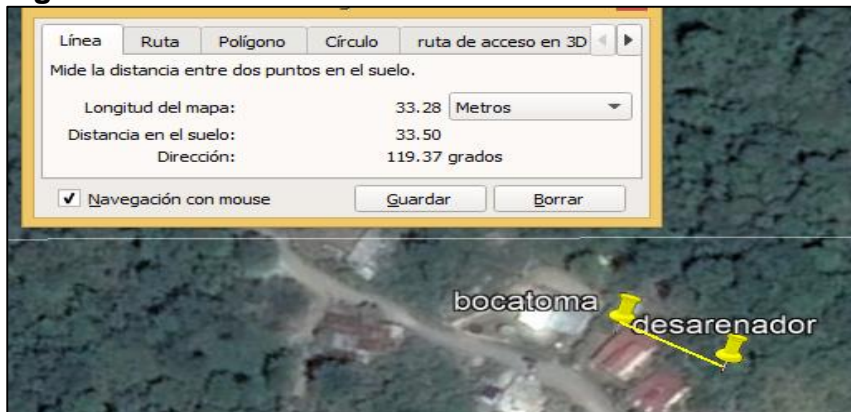
Fuente. GOOGLE EARTH. Municipio de Tena [en línea]. Bogotá: Google [citado 15 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.google.com/intl/es/earth/>>

Figura 12. Planta de Tratamiento



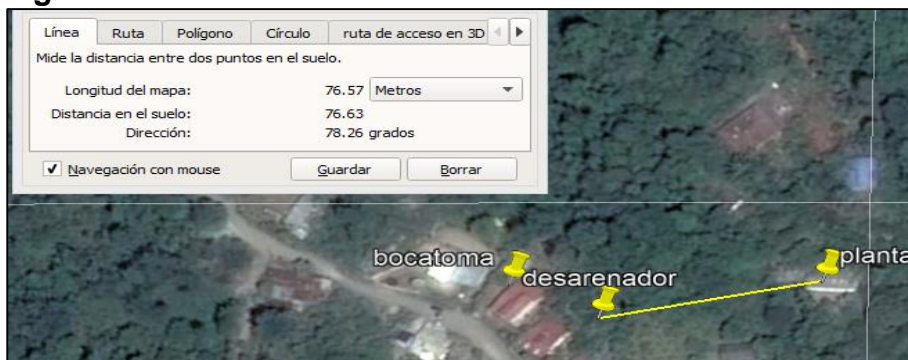
Fuente. GOOGLE EARTH. Municipio de Tena [en línea]. Bogotá: Google [citado 15 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.google.com/intl/es/earth/>>

Figura 13. Conducción Bocatoma Desarenador



Fuente. GOOGLE EARTH. Municipio de Tena [en línea]. Bogotá: Google [citado 15 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.google.com/intl/es/earth/>>

Figura 14. Conducción Desarenador Planta de Tratamiento



Fuente. GOOGLE EARTH. Municipio de Tena [en línea]. Bogotá: Google [citado 15 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.google.com/intl/es/earth/>>

2.3.2 Evaluación de los componentes del sistema de acueducto. Como parte del diagnóstico del sistema de acueducto se realizó la inspección visual de cada uno de sus componentes, para describir los materiales de construcción, el estado en el que se encuentra actualmente, determinando falencias y/o fallas, todo apoyado con un registro fotográfico.

2.3.2.1 Bocatoma de fondo. La bocatoma se encuentra abastecida por la quebrada Las Delicias a una altura de 1423 msnm, en las coordenadas 4° 39' 29,1" al Norte y 74°23'29,4" al Oeste. 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, como se muestra en el registro fotográfico tomado por los autores el día 17 de marzo de 2018 en visita técnica (véase la Figura 15).

Figura 15. Bocatoma de Fondo Acueducto Tena



Fuente. Los Autores

Se observa flujo constante, caudal controlado sin creciente, sin embargo, no fue posible medir en campo la profundidad de la bocatoma debido a la gran cantidad de materia orgánica acumulada en la base de la misma, ya que, a pesar 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, adicional a esto se observa una piedra señalada en la imagen (circulo azul) que evita que la rejilla se levante con el paso del agua se levanta, ya que ésta se encuentra incorrectamente instalada, como se muestra en el registro fotográfico tomado por los autores el día 17 de marzo de 2018 en visita técnica (véase la Figura 16).

Figura 16. Estado de la Rejilla de la Bocatoma de Fondo



Fuente. Los Autores

2.3.2.2 Cámara de recolección. Por otro lado, la cámara posee unas dimensiones de 3.33m x 4.85 m, posee una entrada para mantenimiento en la esquina norte este con unas dimensiones de 1.00m x 1.00m, dentro de la cámara existe una escaletrea de gato en condiciones desgastadas y precarias por lo que se debe realizar mantenimiento, no presenta ninguna aglomeración de lamas ni lixiviados en la parte superior por lo tanto la calidad del agua es buena, no presenta malos olores, ni presencia de animales como se muestra en el registro fotográfico tomado por los autores el día 17 de marzo de 2018 en visita técnica (véase la Figura 17)

Figura 17. Cámara de Recolección



Fuente. Los Autores

En la parte superior de la cámara de recolección se existe una válvula de compuerta en mal funcionamiento esta válvula tiene el propósito de cerrar el suministro del agua para poder realizar el mantenimiento respectivo, por lo que las malas

condiciones en la que se encuentra, impide que se pueda realizar el mantenimiento únicamente sellando la entrada por la rejilla, en la parte inferior a la presa se presenta la cámara de evacuación del sistema y la tubería de rebose que tiene como fin la llegada el vaciado de la cámara de recolección como se muestra en el registro fotográfico tomado por los autores el día 17 de marzo de 2018 en visita técnica (véase la Figura 18).

Figura 18. Válvula de Compuerta de la Cámara de Recolección



Fuente. Los Autores

2.3.2.3 Desarenador. La infraestructura consta de una cámara de entrada, una cámara de aquietamiento, 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 aquietamiento son de 0.30m de espesor, separados por una pantalla de 0.14m, como se muestra en el registro fotográfico tomado por los autores el día 17 de marzo de 2018 en visita técnica (véase la Figura 19).

Figura 19. Desarenador



Fuente. Los Autores

La tubería de rebose se encuentra al lado norte del desarenador y se activa a través de una válvula de compuerta para una tubería de 4 pulgadas, como se muestra en el registro fotográfico tomado por los autores el día 17 de marzo de 2018 en visita técnica (véase la Figura 20).

Figura 20. Tubería de Rebose



Fuente. Los Autores

El paso de la cámara de quietamiento y el cuerpo del desarenador se hace a través de una tubería de 4 pulgadas, la cámara de quietamiento posee en la parte norte una tubería de 3 pulgadas que sirve como rebose del sistema y éste a su vez presenta una ligera turbulencia para el flujo que entra al desarenador, como se muestra en el registro fotográfico tomado por los autores el día 17 de marzo de 2018 en visita técnica (véase la Figura 21).

Figura 21. Paso de la Cámara de Quietamiento y el Cuerpo del Desarenador



Fuente. Los Autores

Después de la cámara de quietamiento el desarenador se encuentra en condiciones favorables de funcionamiento se presentan unos ligeros agrietamientos evidenciando un antiguo desbordamiento del sistema de abastecimiento, concluyéndose que el rebose de la cámara de recolección de la bocatoma está mal diseñado implementando así una tubería de 3 pulgadas en el desarenador.

En cuanto al cuerpo del desarenador 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 del 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, como se muestra en el registro fotográfico tomado por los autores el día 17 de marzo de 2018 en visita técnica (véase la Figura 22).

Figura 22. Cuerpo del Desarenador



Fuente. Los Autores

El desarenador, además, se encuentra cubierto por una polisombra que evita la caída de hojas en el agua, como se muestra en el registro fotográfico tomado por los autores el día 17 de marzo de 2018 en visita técnica (véase la Figura 23).

Figura 23. Polisombra del Desarenador



Fuente. Los Autores

Por otro lado, se observó que la pantalla del desarenador es de fondo o paso sumergido y su funcionamiento hidráulico es óptimo y estable, como se muestra en el registro fotográfico tomado por los autores el día 17 de marzo de 2018 en visita

técnica, como se muestra en el registro fotográfico tomado por los autores el día 17 de marzo de 2018 en visita técnica (véase la Figura 24).

Figura 24. Pantalla del Desarenador



Fuente. Los Autores

En cuanto a la tubería de desagüe y mantenimiento deja su afluente a 5 metros aproximadamente junto con el desborde improvisado de 3 pulgadas y el tubo de exceso de caudal del canal de entrada, como se muestra en el registro fotográfico tomado por los autores el día 17 de marzo de 2018 en visita técnica (véase la Figura 25).

Figura 25. Tubería de Desagüe y Mantenimiento



Fuente. Los Autores

Finalmente, la salida del desarenador es a través de una tubería de 6 pulgadas y su conexión con el desarenador no presenta ningún tipo de goteo ni interrupciones con el sistema de abastecimiento hacia el tanque de almacenamiento de la planta de tratamiento, como se muestra en el registro fotográfico tomado por los autores el día 17 de marzo de 2018 en visita técnica (véase la Figura 26)

Figura 26. Salida del Desarenador



Fuente. Los Autores

2.3.2.4 Conducción Bocatoma Desarenador. La línea de aducción de la bocatoma al desarenador es de PVC aproximadamente de 33.28 metros, se encuentra cubierta por una estructura de cemento, el diámetro es de 6 pulgadas. Así mismo, la tubería se encuentra en condiciones óptimas y no presenta ningún tipo de agrietamiento en el recorrido, tampoco presenta cambios de dirección bruscos, ni accesorios fuera de lo común, solamente tiene las respectivas uniones de tubería de PVC cada 12 metros respectivamente, como se muestra en el registro fotográfico tomado por los autores el día 17 de marzo de 2018 en visita técnica (véase la Figura 27)

Figura 27. Conducción



Fuente. Los Autores

2.3.2.5 Conducción desarenador planta de tratamiento. La línea de conducción del desarenador al tanque de almacenamiento es de PVC aproximadamente de 76.57 m, está cubierta por una estructura de cemento, el diámetro es de 6 pulgadas. La tubería se encuentra en condiciones óptimas y no presenta ningún tipo de agrietamiento en el recorrido, ni cambios de dirección bruscos, ni accesorios fuera

de lo común, solo las respectivas uniones de tubería de PVC cada 12 metros respectivamente, como se muestra en el registro fotográfico tomado por los autores el día 17 de marzo de 2018 en visita técnica (véase la Figura 28)

Figura 28. Línea de Conducción del Desarenador - Tanque de Almacenamiento



Fuente. Los Autores

2.3.2.6 Tanques de Almacenamiento. La planta cuenta con tres tanques de almacenamiento que se llenan de uno en uno a la medida que el anterior se llena; sus dimensiones son aproximadamente de 7.5m x 7.5 m cada uno, tienen un sistema de llenado, que después que se llena el primer tanque, inicia el llenado del segundo, lo mismo ocurre con el tercero; cada tanque posee válvulas de corte y llenado y un sistema de desagüe que se basa en el relevo de los tanque, por lo tanto cada uno es independiente y funciona en un sistema de paralelo, como se muestra en el registro fotográfico tomado por los autores el día 17 de marzo de 2018 en visita técnica (véase la Figura 29)

Figura 29. Tanques de Almacenamiento



Fuente. Los Autores

Adicionalmente, los tanques poseen cuellos de ganso, por lo tanto, se concluye que, están a presión atmosférica y que el sistema de abastecimiento de la red de acueducto funciona a través de presión mca por gravedad, el ingreso a los tanques es a través de un manhall de 1.00mx1.00m mediante una escalera de gato, las

esquinas de los tanques no son chaflanadas y se puede evidenciar la acumulación de lamas y microorganismos que no deberían estar en estas alturas del proceso de purificación otro elemento grave del sistema de abastecimiento es la presencia de óxidos en la escalera de gato que sirve de acceso a los tanques de almacenamiento, como se muestra en el registro fotográfico tomado por los autores el día 17 de marzo de 2018 en visita técnica (véase la Figura 30).

Figura 30. Cuellos de Ganso de los Tanques de Almacenamiento



Fuente. Los Autores

Por último, el sistema de entrada al acueductos consta de un macromedidor de salida que posee sus respectivas válvulas de corte y by pass para mantenimiento y aislamiento del sistema de acueducto, los macromedidores se encuentran en un excelente estado y se puede evidenciar a simple vista el proceso de marcación del sistema para llevar un control de pérdidas de energía en el sistema y la planta de tratamiento, como se muestra en el registro fotográfico tomado por los autores el día 17 de marzo de 2018 en visita técnica (véase la Figura 31)

Figura 31. Macromedidores



Fuente. Los Autores

En la imagen de la izquierda: válvulas de cierre de macromedidores, Centro: caja de inspección de macromedidor central; y en la imagen de la derecha: válvulas de compuerta de macromedidores.

2.3.3 Conclusiones Generales de la visita a campo al sistema de abastecimiento de agua potable al Municipio de Tena – Cundinamarca. En la visita a campo se pudo evidenciar claramente que el conjunto de elementos que conforman el sistema de abastecimiento del acueducto se encuentran en condiciones regulares, observándose algunas falencias graves como por ejemplo la rejilla de la bocatoma, que ya no cumple su función y que en cualquier momento puede desaparecer; por otra parte, el acueducto no cuenta en la actualidad con un sistema de relevo, lo que es necesario para realizar el mantenimiento de alguno de sus elementos, sino tendría que detenerse completamente el funcionamiento, eso aplicable también para reparación y adecuaciones.

Por otro lado, en la bocatoma se encontraron fallas de rebose, la rejilla de captación y la válvula de corte, entre la cámara de recolección y la rejilla, adicional a esto, las condiciones de la escalera y las válvulas de cierre no se encuentran operables, por otra parte la presa y cámara de recolección se encuentran funcionales y operativas.

En cuanto al desarenador, se encontraron falencias de diseño que evidencian una sobrecarga de caudal, desbordándose la cámara de aquietamiento, como medida de reparación se instaló una tubería de 3 pulgadas que descarga este caudal de exceso, sin embargo, esto implica una generación de turbulencia precisamente en la cámara de aquietamiento a la entrada del desarenador, el cual presenta agrietamientos en su geometría y no hay ninguna evidencia de un Bypass para el mantenimiento del cuerpo del desarenador; otra falencia importante es que la tubería de desagüe llega al mismo punto que el rebose del desarenador, claro está que antes debe pasar por una cámara de almacenamiento de lodos que es totalmente inexistente.

Por otro lado, las conducciones y aducciones iniciales y finales se encuentran en un excelente estado y por lo tanto solo se recomendaría realizar el estudio hidráulico para saber si se requiere la optimización de este sistema.

En cuanto al tanque de abastecimiento y recolección de la planta de tratamiento, éste posee algunas falencias mínimas ya que, al estructurarse se encuentra en un buen estado, al igual que los medidores de caudal y el acceso al mismo.

Dado lo anterior se pretende realizar un análisis con respecto al RAS 2000 para puntualizar sobre los elementos con mayores falencias, puesto que, así como se encuentran algunos elementos en excelente estado, otros no lo están y el análisis minucioso permitirá clarificar mejor el funcionamiento ideal del sistema.

2.4 ANALISIS DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE TENA CUNDINAMARCA SEGÚN EL RAS

Para realizar el análisis más específico del sistema de acueducto del municipio de Tena, se identificaron los requerimientos mínimos de operación establecidos en el RAS 2000 para este tipo de acueducto, y que cumpla con las necesidades de la población del municipio, para lo cual se discrimino cada ítem y se realizó el análisis respectivo, asignando un valor de 100% si el requerimiento está cumpliendo en su totalidad lo establecido en el RAS y 0% si el requerimiento no está cumpliendo, para los ítems en los que no se tuvo información se asignó una valoración del 50% de cumplimiento, para que no afecte la evaluación y el promedio de cada elemento.

Una vez realizada la evaluación de cada uno de los elementos en el sistema existente se procedió a asignar un valor de importancia a cada uno de ellos, debido a que existe una prioridad entre los ítems que velan por el buen funcionamiento y los que son estrictamente necesarios para que el sistema funcione correctamente, este valor va desde 100% para los ítems con mayor importancia hasta 0% para los que tienen la mínima importancia dentro del sistema de acueducto, cabe resaltar que estos valores son tomados bajo criterio del tutor responsable del proyecto (Ing. Edgar Obando), y con ayuda de los profesionales encargados del sistema de acueducto.

Luego, se calculó el promedio entre cada una de las notas y el valor de importancia, esta valoración determinó el estado actual del sistema de acueducto, lo que permitió tener una mejor información para identificar las mejoras y adecuaciones a implementar.

A continuación, se puede observar como quedo la discriminación de los valores de calificación promedio (véase la Tabla 3)

Tabla 3. Escala de Valoración Matriz de Evaluacion Condiciones del Acueducto de Tena - Cundinamarca

ESTADO	VALORACIÓN
Condiciones óptimas	75-100
Condiciones aceptables	50-75
Condiciones regulares	25-50
Condiciones pésimas	0-25

Fuente. Los Autores

2.4.1 Caudal de Diseño basado en Resolución 330 de 2017 MADS. Criterio según, período de diseño año y proyección, estado actual infraestructura y funcionamiento, según visita técnica (véase la Tabla 4)

Tabla 4. Valoración Caudal de Diseño

PROCESO	CRITERIO A EVALUAR	ITEM	PORCENTAJE												IMPORTANCIA	ESTADO	
			0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	total			
CAUDAL DE DISEÑO	· Período de diseño de 25 años mínimo	1						X								25	30
	· Los elementos deben estar amarrados con el sistema único de información y con el sistema de coordenadas magna sirgas	2			X											50	42
	· Toda la tubería debe de estar inventariada: localización, uso tipo de accesorio material profundidad ubicación	3					X									75	55
	· Información de suscriptores a través del dane o de sondeo	4						X								100	67
	· $D_{bruta} = d_{neta} / (1 - P\%)$ donde P no debe superar el 25%	5						X						X		25	30
	· El caudal de captación debe de ser 2 veces el QMD	6						X								25	30
	· K1 no debe superar el 1.3 y K2 el 1.6							X								50	42
	· Cálculo de caudal y escorrentía, análisis de calidad del agua en base a la autoridad ambiental correspondiente (CAR)	8	X													100	67
	· Q95 no debe ser superior a QMD	9	X													50	42
34																	

Fuente. Los Autores

➤ **Período de diseño de 25 años mínimo:** El período de diseño inicial del acueducto es de 20 años por lo tanto, este ítem no se está cumpliendo en su totalidad.

➤ **Los elementos deben estar amarrados con el sistema único de información y con el sistema de coordenadas MAGNA SIRGAS:** Cada uno de los elementos de diseño está amarrado al sistema de coordenadas MAGNA SIRGAS aunque algunos elementos como tuberías no poseen información.

➤ **Toda la tubería debe de estar inventariada: localización, uso tipo de accesorio material profundidad ubicación:** ningún elemento de tubería esta inventariado.

➤ **Información de suscriptores a través del DANE o de sondeo:** Los suscriptores se encuentran inventariados según DANE.

➤ **$D_{bruta} = d_{neta} / (1 - P\%)$ donde P no debe superar el 25%:** no se posee información

➤ **El caudal de captación debe de ser 2 veces el QMD:** no se posee información del caudal de diseño inicial de la planta de tratamiento

➤ **K1 no debe superar el 1.3 y K2 el 1.6:** no se posee información de los datos de diseño iniciales de la planta de tratamiento existente.

➤ **Calculo de caudal y escorrentía, análisis de calidad del agua en base a la autoridad ambiental correspondiente (CAR):** no se posee información

➤ **Q95 no debe ser superior a QMD:** no se posee información

2.4.2 Captación.

Tabla 5. Valoración Captación

PROCESO	CRITERIO A EVALUAR	ITEM	PORCENTAJE												IMPORTANCIA	ESTADO		
			0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	total			%	
CAPTACION	· Tener todos los estudios hidrológicos	1	X														50	45
	· La captación debe de ser en una zona recta	2													X		100	70
	· Estudios de volcamiento	3	X														50	45
	· Localización fácil	4													X		100	70
	· Zona debe de estar cercada	5					X										25	33
	· El exceso de caudal debe de ser devuelto al rio	6			X												25	33
	· El tipo de captación debe tener un análisis justificado	7						X									50	45
	· Separación de barrotes de 75 a 150mm	8							X								75	58
	· Velocidad efectiva de 0.15m/s	9	X														25	33

Fuente. Los Autores

➤ **Tener todos los estudios hidrológicos:** no se posee información de hidrología del sistema de escorrentía el cálculo esta dado únicamente por caudal de recolección.

➤ **La captación debe de ser en una zona recta:** La captación si se encuentra en una zona recta.

➤ **Estudios de volcamiento:** no se posee información

➤ **Localización fácil:** El Sistema se encuentra en localización de fácil acceso y mantenimiento

➤ **Zona debe de estar cercada:** La zona no se encuentra cercada en la parte de la bocatoma y el desarenador, pero la planta de tratamiento y tanques de almacenamientos si cumple con este requerimiento

➤ **El exceso de caudal debe de ser devuelto al rio:** si se cumple con este requerimiento en su totalidad

➤ **El tipo de captación debe tener un análisis justificado:** no se posee información

➤ **Separación de barros de 75 a 150mm:** la separación entre barros no cumple, la separación actual es de 20 mm

➤ **Velocidad efectiva de 0.15m/s:** velocidad efectiva actual es de 0.094m/s dato obtenido por medio de aforo.

2.4.3 Desarenador

Tabla 6. Valoración Desarenador

PROCESO	CRITERIO A EVALUAR	ITEM	PORCENTAJE												total	IMPORTANCIA	ESTADO	
			0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	%				
DESARENADOR	· lo más cerca posible a la captación	1									X					43	25	34
	· Debe tener un rebose tipo vertedero	2					X										75	59
	· Cerramiento lateral	3											X				50	46
	· Eliminar las partículas 0.1mm	4						X									100	71
	· Velocidad máx. de 0.25m/s	5												X			100	71
	· El peso específico de partícula removida debe de ser de 2.65 gr/cm ³	6	X														50	46
	· Vh vs va < 20	7	X														25	34
	· Tiempo de retención menor a 20min	8	X														25	34
	· Debe tener una cámara de almacenamiento de arenas	9											X				100	71
	· Pendientes mayores al 10%	10						X									25	34
	· Sistema de paso directo y by pass	11	X														25	34

Fuente. Los Autores

➤ **Lo más cerca posible a la captación:** cumple a satisfacción este ítem

➤ **Debe tener un rebose tipo vertedero:** el rebose del desarenador es un tubería de 3 pulgadas, parte de que no cumple interfiere en el funcionamiento hidráulico de la cámara de aquietamiento

➤ **Cerramiento lateral:** no posee cerramiento lateral

➤ **Eliminar las partículas 0.1mm:** no se posee información

➤ **Velocidad máx. de 0.25m/s:** la velocidad del desarenador es de 0.08 m/s

➤ **El peso específico de partícula removida debe de ser de 2.65 gr/cm³:** el peso específico de la partícula es de 3.65 gr/ cm³.

➤ **Vh vs va < 20:** velocidad horizontal actual 0.0123 m/s

➤ **Tiempo de retención menor a 20 min:** el tiempo de retención es de 70.8 min.

➤ **Debe tener una cámara de almacenamiento de arenas:** no posee cama de almacenamiento de lodos

➤ **Pendientes mayores al 10%:** cumple a satisfacción las pendientes dentro del cuerpo del desarenador

➤ **Sistema de paso directo y by pass:** no posee sistema de By pass

2.4.4 Aducción y Conducción.

Tabla 7. Valoración aducción y conducción

PROCESO	CRITERIO A EVALUAR	ITEM	PORCENTAJE										total	IMPORTANCIA	ESTADO				
			0	10	20	30	40	50	60	70	80	90					100		
ADUCCIÓN Y CONDUCCIÓN	• topografía y trazado económico	1											X		42	0	21	49	
	• Análisis de velocidades en la tubería	2	X													75	59		
	• Lo más corto posible y ubicado en vías y senderos	3											X			50	46		
	• Estudios de zonas de deslizamiento	4					X									75	59		
	• Velocidad mínima de 0.5m/s	5					X									100	71		
	• Velocidad máxima la del material	6					X									100	71		
	• Presión máx. de 10mca	7					X									50	46		
	• Al comienzo y al final debe de tener zonas de mediciones piezométricas y cada intervalos de 1.5Km debe tener válvulas de cierre preferiblemente de globo y paso directo	8	X														25		34
	• En las zonas de medición piezométrica debe tener tapón roscado y válvulas de corte	9	X														25		34

Fuente. Los Autores

➤ **Topografía y trazado económico:** se podría optimizar el trazado pero cumpla casi a satisfacción este requerimiento

➤ **Análisis de velocidades en la tubería:** no se realizan los análisis de tuberías por parte de la entidad administrativa del acueducto

➤ **Lo más corto posible y ubicado en vías y senderos:** este ítem se cumple a satisfacción las tuberías se encuentran en zonas visibles y cercanas a lugares de mantenimiento

➤ **Estudios de zonas de deslizamiento:** no se posee información

➤ **Velocidad mínima de 0.5m/s:** no se realizan los análisis de tuberías por parte de la entidad administrativa del acueducto

➤ **Velocidad máxima la del material:** no se posee información

➤ **Presión máx. de 10mca:** no se posee información

➤ **Al comienzo y al final debe de tener zonas de mediciones piezométricas y cada intervalo de 1.5Km debe tener válvulas de cierre preferiblemente de**

globo y pasó directo: no posee ninguna zona de medición de presión debido a esto no hay información de presión sobre las tuberías de aducción y conducción

➤ **En las zonas de medición piezometrica debe tener tapón roscado y válvulas de corte:** no posee ninguna zona de medición de presión debido a esto no hay información de presión sobre las tuberías de aducción y conducción.

2.4.5 Modelación Red de Distribución

Tabla 8. Valoración Modelación Red de Distribución

PROCESO	CRITERIO A EVALUAR	ITEM	PORCENTAJE												total	IMPORTANCIA %	ESTADO		
			0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100						
MODELACIÓN Y RED DE DISTRIBUCIÓN	Modelo debe estar en condiciones críticas	1						X									43	25	34
	Patrones de consumo en campo	2													X			25	34
	Debe estar con el método de gradiente	3						X										50	47
	Debe estar especificado en presión caudal niveles de agua en tanques	4						X										50	47
	Frecuencia mínima de 5 años	5						X										50	47
	En las salidas debe tener su respectivo contador	6								X								100	72
	Manual con condiciones de operación en incendios	7	X															25	34
	Sectorización del agua	8													X			25	34
	El paso entre sectores debe haber de mediciones de caudal y presión	9			X													25	34
	Se deben ubicar en el norte oriente de la vía preferiblemente	10									X							100	72
	Separación al paramento de 0.5m	11						X										100	72
	Separación con otras redes de 1 m	12						X										50	47
	Profundidad en vía peatonal de 0.60m con respecto a los venteos	13						X										25	34
	Profundidad de vía vehicular 1 m con respecto a los venteos	14						X										25	34
	Presión dinámica mínima de 10mca en solo el 10% se acepta 8mca	15						X										50	47
	Presión estática máxima de 50 mca 10% 55 mca 5% 60mca	16													X			50	47
	Diámetro mínimo de 75mm	17								X								100	72
	Para diámetros mayores a 35 mm de deben implementar válvulas de mariposa de paso completo	18		X														75	59
	En intersección de más de 3 tuberías se deben implementar válvulas de corte	19	X															75	59
	Válvulas de corte para cada sector	20	X															50	47
	Desagüe en el punto más bajo	21													X			50	47
	Válvulas reguladoras de presión deben tener antes y después válvulas de compuerta y sentido de flujo	22									X							50	47
	Venteos en pendientes constantes bolsillos y puntos más altos	23				X												25	34
	Diámetro de los venteos 25mm y en cajas de inspección	24	X															25	34
	Drenajes en cajas de inspección y diámetro de ¼ del diámetro de la tubería con un diámetro mínimo de 100 mm o el mismo diámetro de la tubería	25		X														25	34
	Todas las válvulas deben tener cajas de fondo a 0.70mm del superior 0.20 del inferior con tapa en concreto o metálica según especificaciones	26		X														50	47

Fuente. Los Autores

- **Modelo debe estar en condiciones críticas:** no se posee información
- **Patrones de consumo en campo:** El patrón de consumo se realiza a través de sondeo, pero incluyendo la totalidad de los municipios por es te motivo el sistema está sobre dimensionado
- **Debe estar con el método de gradiente** no se posee información
- **Debe estar especificado en presión caudal niveles de agua en tanques:** por el sistema de medición de bridas de orificio se sabe con exactitud el caudal pero no la presión del sistema
- **Frecuencia mínima de 5 años:** no se posee información
- **En las salidas debe tener su respectivo contador:** cumple a satisfacción con este requerimiento
- **Manual con condiciones de operación en incendios:** no posee sistema de contraincendios
- **Sectorización del agua:** se encuentra sectorizado en 4 zonas
- **El paso entre sectores debe haber de mediciones de caudal y presión** no cumple con este requerimiento
- **Se deben ubicar en el nororiente de la vía preferiblemente:** no se posee información
- **Separación al paramento de 0.5m:** no se posee información
- **Separación con otras redes de 1 m:** no se posee información
- **Profundidad en vía peatonal de 0.60m con respecto a los venteos:** no posee venteos
- **Profundidad de vía vehicular 1 m con respecto a los venteos:** no posee venteos
- **Presión dinámica mínima de 10mca en solo el 10% se acepta 8mca:** no se posee información
- **Presión estática máxima de 50 mca 10% 55 mca 5% 60mca:** el diferencial de altura de las curvas de nivel según la topografía existente arroja como resultado un diferencial de altura de 50 metros, por lo tanto la presión estática en la tubería es de 50 m.c.a.

- **Diámetro mínimo de 75mm:** diámetro mínimo de 3 pulgadas cumple a satisfacción este requerimiento
- **Para diámetros mayores a 35 mm de deben implementar válvulas de mariposa de paso completo:** No aplica
- **En intersección de más de 3 tuberías se deben implementar válvulas de corte:** no posee válvulas de corte en ninguna parte de la sectorización únicamente al inicio del sistema
- **Válvulas de corte para cada sector:** cumple con este requerimiento
- **Desagüe en el punto más bajo:** no posee desagües
- **Válvulas reguladoras de presión deben tener antes y después válvulas de compuerta y sentido de flujo:** en el macromedidor cumple con este requerimiento
- **Venteos en pendientes constantes, bolsillos y puntos más altos:** no cumple con ninguno de estos requerimientos.
- **Diámetro de los venteos 25mm y en cajas de inspección** no cumple con ninguno de estos requerimientos
- **Drenajes en cajas de inspección y diámetro de ¼ del diámetro de la tubería con un diámetro mínimo de 100 mm o el mismo diámetro de la tubería** no cumple con ninguno de estos requerimientos
- **Todas las válvulas deben tener cajas de fondo a 0.70mm del superior 0.20 del inferior con tapa en concreto o metálica según especificaciones:** cumple a satisfacción con este requerimiento a excepción de las casas más alejadas al casco urbano

2.4.6 Incendios.

Tabla 9. Valoración Incendios

PROCESO	CRITERIO A EVALUAR	ITEM	PORCENTAJE											IMPORTANCIA	ESTADO				
			0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100				total	%	
INCENDIOS	• caudal de 5 lps y garantizar una descarga de 5 lps	1	X														75	38	23
	• 1 hidrante debe atender incendio	2	X														75	38	
	• Hidrantes cada 300 m	3	X														25	13	
	• 1 hidrante por sector de red de distribución	4	X														25	13	
	• Diámetro mínimo de 75mm diámetro máx. 100mm	5	X														25	13	

Fuente. Los Autores

- **Caudal de 5 lps y garantizar una descarga de 5 lps:** no posee sistema contraincendios

- **1 hidrante debe atender incendio:** no posee sistema contraincendios
 - **Hidrantes cada 300 m:** no posee sistema contraincendios
 - **Hidrante por sector de red de distribución:** no posee sistema contraincendios
 - **Diámetro mínimo de 75mm diámetro máx. 100mm:** no posee sistema contraincendios
- Nota:** con la población según la resolución 0330 de 2017 exige red contraincendio con 1 hidrante, pero el pueblo tiene muy pocos habitantes por lo que el diagnóstico se basa en el consumo de los mismos.

2.4.6 Mediciones de caudal.

Tabla 10. Valoración Mediciones de caudal

PROCESO	CRITERIO A EVALUAR	ITEM	PORCENTAJE												total	IMPORTANCIA %	ESTADO	
			0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100					
MEDICIONES DE CAUDAL	• en la entrada y la salida de la planta	1												X	75	75	75	78
	• En la entrada a cada sector	2	X													75	75	
	• En la salida de los tanques	3												X		75	75	
	• Macro medidor de consumo por sector en canaleta parshall o platinas de orificio	4												X		100	88	

Fuente. Los Autores

- **En la entrada y la salida de la planta:** cumple a satisfacción con este requerimiento
- **En la entrada a cada sector:** no posee medición en los sectores
- **En la salida de los tanques:** cumple a satisfacción con este requerimiento
- **Macro medidor de consumo por sector en canaleta Parshall o platinas de orificio:** cumple a satisfacción con este requerimiento.

2.4.7 Anclajes.

Tabla 11. Valoración Anclajes

PROCESO	CRITERIO A EVALUAR	ITEM	PORCENTAJE												total	IMPORTANCIA %	ESTADO	
			0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100					
ANCLAJES	• Anclajes metálicos en cambios de dirección, en donde este la tubería expuesta, en cajas de medición y en cambios de diámetro	1	X												25	25	25	25
	• Platinas o patines	2					X									25	25	

Fuente. Los Autores

➤ **Anclajes metálicos en cambios de dirección, en donde este la tubería expuesta, en cajas de medición y en cambios de diámetro:** no posee sistemas de anclaje, tubería enterrada y en las partes superficiales sobresale del terreno sin ningún tipo de anclaje

➤ **Platinas o patines:** no aplica

2.4.8 Tanques

Tabla 12. Valoración Tanques

PROCESO	CRITERIO A EVALUAR	ITEM	PORCENTAJE										total	IMPORTANCIA		ESTADO			
			0	10	20	30	40	50	60	70	80	90		100	%				
TANQUES	• No debe de haber sectores muertos	1		X													50	39	41
	• Esquinas chaflanadas	2	X														25	27	
	• flujo continuo durante todo el tanque	3	X														75	52	
	• calculo a eventos sísmicos	4	X														25	27	
	• borde libre mínimo de 0,3 m	5									X						25	27	
	• pendiente en el fondo min de 2%	6	X														25	27	
	• man hall de limpieza	7											X				100	64	
	• debe contar con un sistema de excesos	8			X												75	52	
	• debe contar con un sistema de alivio	9											X				75	52	
	• by pass o paso directo	10	X														25	27	
	• se debe incrementar su volumen para un 15 % de incendios	11	X														100	64	
												28							

Fuente. Los Autores

➤ **No debe de haber sectores muertos:** Las esquinas de los tanques tienen sectores muertos y acumulación de lama

➤ **Esquinas chaflanadas:** no cumple con este requerimiento

➤ **Entra ----- recorre----- sale:** no cumple con este requerimiento

➤ **Calculo a eventos sísmicos:** no cumple con este requerimiento

➤ **Borde libre mínimo de 0.3 m:** el borde libre oscila entre 0.50m y 0.10m **por lo tanto cumple.**

➤ **Pendiente en el fondo min de 2%:** no cumple con este requerimiento

➤ **Man hall de limpieza:** cumple exitosamente con este requerimiento

➤ **Debe contar con un sistema de excesos:** no tiene sistema de excesos, por el contrario cuenta con un sistema de relevos.

➤ **Debe contar con un sistema de alivio:** cuellos de ganso

➤ **By pass o paso directo:** no cuenta con sistema de By pass

➤ **Se debe incrementar su volumen para un 15 % de incendios:** no cuenta con sistema contra incendios

➤ **Flujo continuo durante todo el día tanque:** el flujo no es continuo en el tanque

2.4.9 Análisis de Resultado. Una vez finalizada la valoración de cada elemento, en cuanto al nivel de cumplimiento de los requerimientos del RASS, se tuvo que, 8 de los 9 elementos que conforman el sistema de acueducto no cumplen con los requerimientos, encontrándose según la valoración en condiciones regulares (véase la Tabla 13) bien sea de funcionamiento y/o estructura física, el único elemento que se encuentra en condiciones óptimas es el elemento relacionado con las mediciones de caudal que, como se mencionó en el diagnóstico de la visita técnica los medidores se encuentran en buenas condiciones tanto físicas como de funcionamiento; cabe mencionar que el elemento que presenta menor valoración es el sistema contra incendios pues realmente no existe.

Tabla 13. Valoraciones Totales por Elemento

PROCESO	VALOR TOTAL	CONDICIÓN
CAUDAL DE DISEÑO	45	Regular
CAPTACIÓN	52	Aceptable
DESARENADOR	50	Aceptable
ADUCCIÓN Y CONDUCCIÓN	49	Regular
MODELACIÓN Y RED DE DISTRIBUCIÓN	47	Regular
INCENDIOS	23	Pésima
MEDICIONES DE CAUDAL	78	Óptima
ANCLAJES	25	Regular
TANQUES	41	Regular

Fuente. Los Autores.

Finalmente, teniendo en cuenta los resultados del diagnóstico y valoración de la estructuras físicas y funcionamiento de cada elemento que conforma el acueducto del municipio de Tena (Cundinamarca), se concluye que éste debe ser reemplazado por un diseño nuevo que cumpla con las especificaciones de la normatividad colombiana Resolución 330 de 2017, y que se proyecte a un período de más larga duración y recomendamos el planteamiento por etapas con el fin de aprovechar al máximo la infraestructura existente.

3. CARACTERIZACIÓN DE LA POBLACIÓN Y PROYECCIÓN DE LA DEMANDA

3.1 ANÁLISIS DE POBLACIÓN, PROYECCIÓN Y CONSUMO PARA EL PROYECTO

3.1.1 Nivel de complejidad. Según los requerimientos de la RAS 2000 cada proyecto de potabilización y saneamiento básico debe cumplir con los requisitos enumerados en el capítulo A2:

➤ La población con la que se va a desarrollar este proyecto como indica los censos del SISBEN suministrada directamente por la alcaldía municipal de Tena Cundinamarca (véase la Figura 32), esta población es de 532 y según lo indicado en el Tabla 14 sobre el nivel de complejidad según la población, se determina que este nivel es bajo para el Acueducto de Tena.

Figura 32. Población Casco urbano Municipio Tena

	Casco urbano	Inspección La gran vía
Población total	532	923
Total Población sisben	7151	
Total Población censal	499	

Fuente. ALCALDÍA DE TENA. Reporte poblacional del municipio. Tena: Secretaría de Planeación e Infraestructura, 2018.

Tabla 14. Nivel de Complejidad Según Población

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana ⁽¹⁾ (habitantes)	Capacidad económica de los usuarios ⁽²⁾
Bajo	< 2500	Baja
Medio	2501 a 12500	Baja
Medio Alto	12501 a 60000	Media
Alto	> 60000	Alta

Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000. Bogotá: El Ministerio, 2000.

3.1.2 Métodos de Cálculo de la Población. Para establecer el metodo de calculo adecuado se debe tener en cuenta el nivel de complejidad del sistema de acueducto (véase el Tabla 15).

Tabla 15. Métodos para Emplear Según Nivel del Sistema

Método por emplear	Nivel de Complejidad del Sistema			
	Bajo	Medio	Medio alto	Alto
Aritmético, Geométrico y exponencial	X	X		
Aritmético + Geométrico + exponencial + otros			X	X
Por componentes (demográfico)			X	X
Detallar por zonas y detallar densidades			X	X

Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. Reglamento tecnico del sector de agua potable y saneamiento basico RAS 2000. Bogota: El Ministerio, 2000.

Teniendo en cuenta lo anterior, realiza el cálculo de la población con los métodos aritmético, geométrico y exponencial, para seleccionar el modelo que mejor se ajuste al comportamiento histórico de la población, que es proyectada para un período de diseño de 25 años de acuerdo a la resolución 0330 de 2017.

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

Ecuación 3. Fórmula para cálculo de la población proyectada.

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

Los datos iniciales de población fueron suministrados por parte de la alcaldía, estos datos pertenecen a censos realizados por el municipio para afiliar a las personas al sisben, estos datos iniciales son de acuerdo con la Figura 33).

Figura 33. Datos iniciales de la Poblacion del Municipio en diferetes Períodos



MUNICIPIO DE TENA
SECRETARIA DE PLANEACION E INFRAESTRUCTURA

Nit. 800004574-G



EL ADMINISTRADOR DEL SISBEN DEL MUNICIPIO DE TENA CUNDINAMARCA

CERTIFICA

Que de acuerdo a la última base certificada del SISBENNET W III expedida por el Departamento Nacional de Planeación con corte mes Junio de 1973 del Municipio de Tena Cundinamarca existe la siguiente información:

	Casco urbano	Inspección La gran vía
Población total	399	
Total Población sisben		
Total Población censal		



MUNICIPIO DE TENA
SECRETARIA DE PLANEACION E INFRAESTRUCTURA

Nit. 800004574-G



EL ADMINISTRADOR DEL SISBEN DEL MUNICIPIO DE TENA CUNDINAMARCA

CERTIFICA

Que de acuerdo a la última base certificada del SISBENNET W III expedida por el Departamento Nacional de Planeación con corte mes Junio de 1993 del Municipio de Tena Cundinamarca existe la siguiente información:

	Casco urbano	Inspección La gran vía
Población total	555	
Total Población sisben		
Total Población censal		



MUNICIPIO DE TENA
SECRETARIA DE PLANEACION E INFRAESTRUCTURA

Nit. 800004574-G



EL ADMINISTRADOR DEL SISBEN DEL MUNICIPIO DE TENA CUNDINAMARCA

CERTIFICA

Que de acuerdo a la última base certificada del SISBENNET W III expedida por el Departamento Nacional de Planeación con corte mes Junio de 2005 del Municipio de Tena Cundinamarca existe la siguiente información:

	Casco urbano	Inspección La gran vía
Población total	697	
Total Población sisben		
Total Población censal		

Fuente. ALCALDÍA DE TENA. Reporte poblacional del municipio. Tena: Secretaría de Planeación e Infraestructura, 2018

De acuerdo con lo anterior se tiene que para los tres períodos la población del municipio fue de:

Tabla 16. Censos

censos	
Año	Población
1973	399
1993	555
2005	697

Fuente. Los Autores

3.1.3.1 Población proyectada por el método aritmético. Población final proyectada a 25 años por el método aritmético es de 1146 habitantes (véase el Tabla 17)

Tabla 17. Estimación Aritmética

Estimación Aritmético					Estimación Aritmético					
2018	2020	2023	2025	2028	2030	2033	2035	2038	2040	2043
851	875	910	934	969	993	1028	1052	1088	1111	1147

Fuente. Los Autores

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

Ecuación 4. Método geométrico.

$$Pf = Puc(1 + r)^{Tf - Tuc}$$

➤ Tasa de Crecimiento Anual para el Método Geométrico (véase la Tabla 18).

Tabla 18. Valor r.

valor de r
0,01916613

Fuente. Los Autores

Realizado el cálculo de la tasa de crecimiento anual se hace la estimación para el período de diseño (véase la Tabla 19).

Tabla 19. Estimación Geométrica

Estimación Geométrica					Estimación Geométrica					
2018	2020	2023	2025	2028	2030	2033	2035	2038	2040	2043
892	927	981	1019	1079	1120	1186	1232	1304	1355	1434

Fuente. Los Autores

Poblacion final proyectada a 25 años por el metodo geometrico: 1434 habitantes.

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

Ecuación 5. Determinación del promedio de la tasa de crecimiento.

$$Pf = Pci \times e^{k \times (Tf - Tci)}$$

➤ Tasa de Crecimiento Anual para el Metodo Exponencial (véase la Tabla 20)

Tabla 20. Valor k

año	Población	Valor de k
1973	399	0,01650033
1993	555	0,01898477
2005	697	0,017432
	promedio	0,01763904

Fuente. Los Autores

Una vez calcula la tasa de crecimiento anual para las estimaciones de población, desarrollando el procedimiento para el cálculo de la población, obteniendo los siguientes datos:

Tabla 21. Estimación Exponencial

Estimación exponencial					Estimación exponencial					
2018	2020	2023	2025	2028	2030	2033	2035	2038	2040	2043
882	914	964	998	1053	1090	1150	1191	1256	1301	1372

Fuente. Los Autores

Poblacion final proyectada a 25 años por el metodo geometrico: 1372 habitantes.

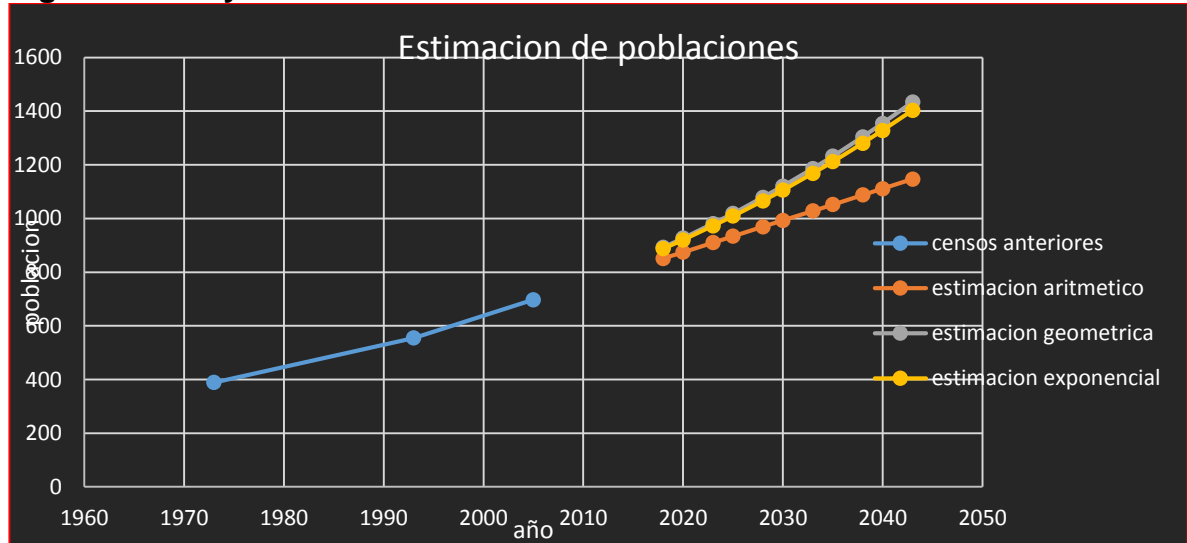
3.1.4 Resumen de Cálculos Poblaciones Proyectadas al 2031. Acontinuacion se hace un resumen de los cálculos realizados para la proyeccion de la pobación (véase la Tabla 22 y la Figura 33).

Tabla 22. Métodos de proyección

POBLACIÓN FINAL	
año	Habitantes
2018	892,108251
2025	1018,90205
2038	1304,11898
2043	1433,97681
Proyecciones 2043	
Método	Población
Aritmético	1147
Geométrico	1434
Exponencial	1372

Fuente. Los Autores

Figura 34. Proyección de Poblaciones



Fuente. Los Autores

Con base en la linea de tendencia de las proyecciones se adopta como la proyección esperada la calculada por el metodo geometrico, que equivale a una poblacion de 1434 habitantes para un período de proyeccion de 25 años.

3.1.5 Cálculo de la curva de consumo. Para el cálculo de la curva de consumo fue necesario realizar una encuesta de consumo, para determinar las horas en las que se presenta mayor consumo de agua por parte de los habitantes del municipio.

Para lo anterior, se les preguntó a 10 personas a lo largo del día en que horas gasta agua y en que actividades se hace el gasto de líquido, utilizando el formato para encuestas (véase la Figura 35 y el Anexo B).

Figura 35. Formato Encuesta sobre Consumo de Agua

1 Datos del Contacto											
Nombre: _____			Cedula de Ciudadania: _____								
Edad: _____			Teléfono: _____								
Dirección: _____			Fecha de nacimiento: _____								
Ciudad/Provincia: _____											
e-mail: _____											
2 ¿marque con una x en las horas en las que usted utiliza el servicio de agua ?											
<input type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>	5	<input type="checkbox"/>	9	<input type="checkbox"/>	13	<input type="checkbox"/>	17	<input type="checkbox"/>	21
<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	6	<input type="checkbox"/>	10	<input type="checkbox"/>	14	<input type="checkbox"/>	18	<input type="checkbox"/>	22
<input type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>	7	<input type="checkbox"/>	11	<input type="checkbox"/>	15	<input type="checkbox"/>	19	<input type="checkbox"/>	23
<input type="checkbox"/>	4	<input type="checkbox"/>	8	<input type="checkbox"/>	12	<input type="checkbox"/>	16	<input type="checkbox"/>	20	<input type="checkbox"/>	24
3 ¿a que hora empiezan actividades en el hogar y a que hora terminan?											
<input type="checkbox"/> empieza actividades			<input type="checkbox"/> terminan actividades								
4 ¿Cuales son las principales actividades que usted realiza utilizando el servicio de agua potable?											
<input type="checkbox"/> Lavaplatos		<input type="checkbox"/> Aseo personal		<input type="checkbox"/> Regadio							
<input type="checkbox"/> Aseo general		<input type="checkbox"/> Sisterna lavamanos									
<input type="checkbox"/> Otros _____											

Fuente. Los Autores

Una vez realizadas las encuestas se obtuvo la siguiente información (véase las Tablas 23 y 24).

Tabla 23. Resultados Horario de Mayor Consumo de Agua

Hora	Número de personas
1	0
2	0
3	0
4	1
5	2
6	5
7	9
8	8
9	7
10	4
11	3
12	6
13	9
14	6
15	2
16	2
17	3
18	4
19	5
20	9
21	8
22	5
23	1
24	1

Fuente. Los Autores

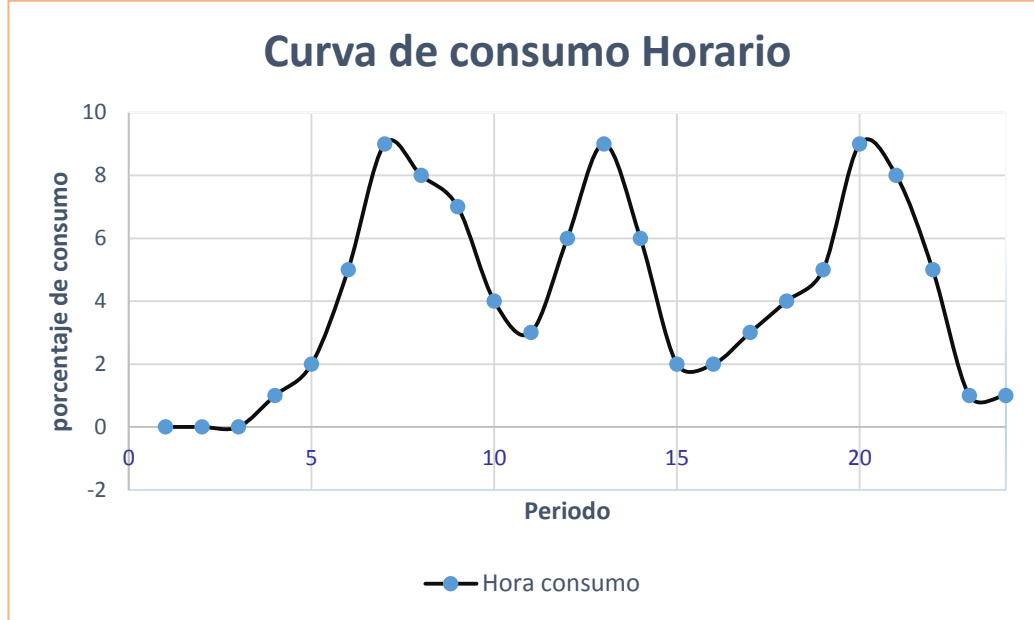
Tabla 24. Resultados Actividad con Mayor Consumo de Agua

persona	Actividad				
1	1	2	3		5
2	1	2		4	
3	1	2	3	4	5
4	1	2		4	
5	1	2	3	4	5
6	1	2	3		5
7	1	2		4	5
8	1	2		4	5
9	1	2		4	
10	1	2		4	5

Fuente. Los Autores

De acuerdo con los resultados mostrados en las Tablas 23 y 24, se tiene que las actividades en las que mayor consumo de agua hay es lavando losa y en aseo personal, y que los periodos de mayor consumo se presentan entre las 7 y 9 de la mañana; la 1 y las 2 de la tarde y, las 8 y 9 de la noche. Con esta información, se realiza la gráfica de consumo por hora para el municipio de Tena (véase la Figura 36) la cual a su vez servirá para el cálculo de tanque de alimentación a la planta de tratamiento.

Figura 36. Grafica de Consumo Horario Municipio de Tena Cundinamarca



Fuente. Los Autores

3.1.6 Análisis poblacional del municipio de Tena. En conclusión el municipio de tena en el casco urbano tiene una población de 532 habitantes, que en la actualidad presentan un alto consumo de metros cúbicos de agua, principalmente por actividades de aseo personal y de aseo diario en la cocina; por otra parte, el menor consumo de agua se observa en actividades de regadío, por lo tanto es predecible saber que en las horas en las que hay un consumo más alto de agua, es en las horas de desayuno, almuerzo y comida, igualmente en algunos hogares las actividades de aseo personal tienen hora al inicio de la jornada laboral y a medio día, incrementando el consumo.

En cuanto a las proyecciones poblacionales se utiliza la tendencia media por lo que el valor medio entre las tres proyecciones es la utilizada para el cálculo de diseño de los elementos del proceso de recolección y abastecimiento de agua potable para el municipio, este valor es de 1434.33 habitantes para los 25 años de proyeccion valor obtenido mediante el calculo por el método geométrico.

3.2 CÁLCULOS DE LA DEMANDA

3.2.1 Dotación 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 (véase la Tabla 25).

Tabla 25. Dotación Máxima Neta según Resolución 0330 2017

ALTURA PROMEDIO SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ZONA ATENDIDA	DOTACIÓN NETA MÁXIMA (L/HAB*DÍA)
> 2000 m.s.n.m	120
1000 – 2000 m.s.n.m	130
< 1000 m.s.n.m	140

Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. Resolución 330 (14 febrero de 2017). Por la cual se adopta el procedimiento técnico-científico y participativo para la determinación de los servicios y tecnologías que no podrán ser financiados con recursos públicos asignados a la salud y se establecen otras disposiciones. Bogota: El Ministerio, 2000.

Teniendo en cuenta la Tabla 11 se toma como dotacion neta entre 120 L/hab*día y 140 L/hab*día, debido a la falta de informacion con respecto a los consumos adecuados de cada habitante en el area urbana de San Antonio de Anapoima, no se pueden realizar las estimaciones por registros historicos.

3.2.1.1 Correcciones de Dotación Neta. De acuerdo con el RASS 2000 es necesario realizar una corrección de la dotación neta teniendo en cuenta la temperatura promedio de la región, y que según Weather.com la region circundante al municipio de Tena se encuentra entre 25 a 30 °C, este valor es necesario para la lectura de la Tabla 12 del valor correspondiente para la corrección de la dotación neta.

3.2.2 Pérdidas. Para el cálculo de las pérdidas se tuvo en cuenta lo siguiente:

➤ **Aducción:** las pérdidas del sistema según la norma para la aducción deben ser menores a 5 %.

➤ **Necesidades de la planta de tratamiento:** Para un buen funcionamiento de la planta se debe tener un incremento de la totalidad de la población neta, este porcentaje oscila entre el 3% y 5% del caudal medio diario.

➤ **Pérdidas técnicas del sistema de acueducto:** cuando el municipio no cuenta con registros sobre las pérdidas, éstas dependen del nivel de complejidad como se determina en la Tabla 13.

3.2.3 Dotación Bruta. La dotación bruta debe establecerse según la siguiente ecuación:

Ecuación 6. Fórmula de dotación.

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

El porcentaje de pérdidas técnicas para determinar la dotación bruta no debe ser superior al porcentaje de pérdidas establecido en la Tabla 13, de acuerdo con esto las poblaciones proyectadas serán las siguientes:

Tabla 26. Población Proyectada

POBLACIÓN A PROYECTAR	
Año	Población
2043	1433,976813

Fuente. Los Autores

Con base en las poblaciones proyectadas se realiza la lectura de la población para decidir el nivel de complejidad del sistema.

Tabla 27. Nivel de Complejidad

Nivel De Complejidad				
Nivel de Complejidad	Dotación por Suscriptor (m ³ /sus•mes)		Dotación Habitante	año
	Clima Templado y Frio	Clima cálido Debajo 1000 msnm	Máximo (L/hab•día)	
bajo	10,8	12	90	2043

Fuente. Los Autores

Teniendo en cuenta el nivel de complejidad se establece el valor de consumo para el clima en el que se encuentra la población.

3.2.3.1 Demandas por usos de Edificaciones.

Tabla 28. Dotación Neta

Dotación Neta				
uso fines públicos 3% (L/hab•día)	uso escolar (L/hab•día)	uso institucional (L/hab•día)	Dotación neta (L/hab•día)	Año
2,7	2,7	2,7	98,1	2043

Fuente. Los Autores

Los valores de consumo de las edificaciones se establecen de acuerdo al RAS 2000 tomando como valores de incremento de 3% para cada uno (véase la Tabla 29)

Tabla 29. Incremento de Pérdidas

Dotación bruta						año
Incremento de Población por Operación de Planta +5% (L/hab·día)	Incremento de Población por Operación de Planta +3% (L/hab·día)	Porcentaje de Pérdidas Técnicas (%)	Dotación bruta calculada (L/hab·día)	Contra incendio (L/s)	Dotación bruta Redondeada(L/hab·día)	
4,905	2,943	15	124,6447059	0	130	2043

Fuente. Los Autores

De acuerdo con el RAS 2000 se establecen los incrementos de población para el caudal demandado y las pérdidas técnicas admisibles en el sistema de acueducto.

3.2.4 Demanda. La demanda corresponde a la cantidad de agua que la población requiere para sus actividades diarias, el método de evaluación de este valor se realiza a través del caudal medio diario, caudal máximo diario y caudal máximo horario.

3.2.4.1 Caudal Medio Diario (Qmd). El caudal medio diario, Qmd, es el caudal medio calculado para la población proyectada, teniendo en cuenta la dotación bruta asignada. Corresponde al promedio de los consumos diarios en un período de un año y puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 7. Caudal medio diario.

$$Q_{md} = \frac{p \cdot d_{bruta}}{86400}$$

3.2.4.2 Caudal Máximo Diario (QMD). El caudal máximo diario, QMD, corresponde al consumo máximo registrado durante 24 horas durante un período de un año. Se calcula multiplicando el caudal medio diario por el coeficiente de consumo máximo diario, k1.

El caudal máximo diario se calcula mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 8. Caudal máximo diario.

$$QMD = Q_{md} k_1$$

3.2.4.3 Caudal Máximo Horario (QMH). El caudal máximo horario, QMH, corresponde al consumo máximo registrado durante una hora en un período de un año sin tener en cuenta el caudal de incendio. Se calcula como el caudal máximo diario multiplicado por el coeficiente de consumo máximo horario, k2, según la siguiente ecuación:

Ecuación 9. Caudal máximo horario.

$$QMH = QMD \cdot k_2$$

3.2.4.4 Caudal de Incendios. El diseñador propone como una medida de prevencion el instalamiento de un hidrante en las tuberias matrices del sistema de acueducto con un caudal minimo de 5 lps de acuerdo a la RAS 2000.

Teniendo en cuenta, los incrementos de la dotacion se calculan los valores de caudal requerido para el sistema de acueducto.

3.2.4.5 Caudales con los que se desarrollara el proyecto. Utilizndo las fórmulas ya antes mencionadas encontramos los caudales necesarios para el desarrollo del proyecto (véase la Tabla 30).

Tabla 30. Caudales

caudal medio diario (L/s)	caudal máximo diario (L/s)	caudal máximo horario (L/s)	año
2,157604	2,804885201	4,487816321	2043

Fuente. Los Autores

4. PROPUESTA DE DISEÑO

4.1 BOCATOMA

4.1.1 Datos Iniciales para el diseño. De acuerdo a la norma RAS 2000 el diseñador dispone estos datos iniciales para el análisis de los parámetros indicados (véase la Tabla 31)

Tabla 31. Datos Iniciales

Periodo de diseño (años)	Población (habitantes)	Caudal máximo diario (lps)	Caudal medio diario (lps)	Perdida en aducción (lps)	Consumo planta purificación (lps)	Caudal de diseño (lps)	Caudal de diseño (m3/s)	Caudal medio del rio (m3/s)	Caudal max del rio (m3/s)	Caudal tiempo seco (m3/s)	Ancho del rio (m3/s)
25	1433,98	2,80	2,16	0,11	0,11	5,83	0,006	0,04	0,06	0,02	1

Fuente. Los Autores (datos suministrados: fondo verde, datos calculados: fondo gris)

4.1.2 Diseño de la Presa. Para el diseño de la presa se se calcula la altura de la lámina de agua con la siguiente fórmula planteada por López Cualla en el libro Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados.

Ecuación 10. altura de la lámina de agua

$$H = \left(\frac{Q}{1.84 L} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Fuente. LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. 2 ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003.

➤ **Corrección de la Longitud:** para hacer la corrección de la longitud se aplica la siguiente fórmula

Ecuación 11. Ecuación de corrección de vertedero

$$L' = L - 0.1nH$$

Fuente. LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. 2 ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003.

➤ **Velocidad del agua que pasa por la rejilla:** la velocidad del agua que pasa por la rejilla se cálculo aplicando la siguiente fórmula.

Ecuación 12. Velocidad de la rejilla en la bocatoma

$$Vr = \frac{Q}{L'H}$$

Fuente. LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. 2 ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003.

De esta forma con el criterio de la Bibliografía Numero 1 que indica que la velocidad de la presa debe estar entre (0.3 – 3) m/s se verifica si la velocidad del flujo cumple con la velocidad sobre la presa, a continuación se muestra las memorias de cálculos (véase la Tabla 32).

Tabla 32. Memoria de Cálculos para el Diseño de la Presa

Diseño de la Presa				
Ancho de la presa (m)	H lámina de agua (m)	Corrección Contracciones Laterales	Velocidad del rio sobre la presa (m/s)	Verificación velocidad sobre la presa
0,7	0,02734931	0,694530137	0,30668885	Cumple

Fuente. Los Autores

4.1.3 Diseño de la Rejilla y Canal de Aducción. Se calcula el ancho del canal de aduccion teniendo en cuenta las siguientes fórmulas planteadas por López Cualla:

Ecuación 13. Ecuación de alcance de chorro máximo

$$Xs = 0.36 Vr^{\frac{2}{3}} + 0.60 H^{\frac{4}{7}}$$

Fuente. LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. 2 ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003.

Ecuación 14. Ecuación de alcance de chorro mínimo

$$Xi = 0.18 Vr^{\frac{4}{7}} + 0.74 H^{\frac{3}{4}}$$

Fuente. LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. 2 ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003.

Ecuación 15. Ecuación de base de cámara de recolección

$$B = Xs + 0.10$$

Fuente. LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. 2 ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003.

Con estas fórmulas se analizar el ancho del canal de aducción (véase la Tabla 33).

Tabla 33. Diseño de la Rejilla

Diseño del Canal de Aducción		
Xs (m)	Xi (m)	B (m)
0,240452004	0,14138	0,4

Fuente. Los Autores

4.1.3.1 Rejilla. Se utiliza la rejilla con barrotes en la dirección del flujo y sus cálculos se realizan de la siguiente manera:

➤ **Area Neta y Total**

Ecuación 16. Área neta y total de la rejilla.

$$A_{\text{neto}} = a B N$$

$$A_{\text{total}} = (a+b) B N$$

Fuente. LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. 2 ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003.

➤ **Area Neta corregida**

Ecuación 17. Área neta corregida de la rejilla.

$$A_{\text{neto}} = \frac{a}{a+b} A_{\text{total}}$$

Fuente. LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. 2 ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003.

➤ **Caudal a través de la Rejilla**

Ecuación 18. Caudal a través de la rejilla.

$$Q = K A_{\text{neto}} V_b$$

$$h_c = \left(\frac{Q^2}{g B^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Fuente. LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. 2 ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003.

➤ **Diseño de la Cámara de recolección**

Ecuación 19. Longitud cámara de recolección

$$L = X_s + 0.30$$

Fuente. LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. 2 ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003.

➤ **Desagüe del Caudal de Excesos**

Ecuación 20. Caudal de excesos de la bocatoma

$$Q_{\text{captado}} = C_d A_{\text{neta}} \sqrt{2 g H}$$

$$Q_{\text{excesos}} = Q_{\text{captado}} - Q_{\text{diseños}}$$

Fuente. LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. 2 ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003.

De esta forma con ayuda de las formulas ya antes nombradas se harán los respectivos cálculos de la bocatoma en las memorias de cálculo de la PTAP San Antonio

A continuación, se presentan los resultados del cálculo de la rejilla (véase la Tabla 34).

Tabla 34. Diseño de la Rejilla

diseño de la Rejilla											
Separación entre barrotes (m)	Diámetro de los barrotes (")	Diámetro de los barrotes (m)	Velocidad entre barrotes (m/s)	An (m2)	Lr (m) calculada	Lr (m) adoptada	Recalculo an (m2)	Numero de barrotes #	An (m2)	Vb (m/s)	Lr (m)
0,01	0,5	0,0127	0,15	0,043152	0,2	0,40	0,070484581	18	0,072	0,09	0,41

Fuente. Los Autores

4.1.3.2 Cálculos del Canal de Aducción. A continuación, se presentan los cálculos para el diseño del canal de aducción (véase la Tabla 35).

Tabla 35. Diseño del canal de aducción

Diseño del Canal de Aducción									
Nivel aguas arriba (he) (m)	Espesor del muro del canal (m)	Longitud del canal (m)	Pendiente de la cámara (%)	Nivel aguas abajo (ho) (m)	Bl (m)	Ho (m)	He (m)	Vc (m/s)	Verificación vc
0,027858689	0,3	0,71	3	0,029085	0,15	0,179085	0,200342743	0,522775	Cumple

Fuente. Los Autores

4.1.3.3 Calculo de la Cámara de Recolección. A continuación se muestran los resultados del diseño de la Cámara de recolección (véase la Tabla 36)

Tabla 36. Diseño Cámara de Recolección

Diseño del Cámara de Recolección							
Xs (m)	Xi (m)	B (m)	B mantenimiento (m)	L Mantenimiento (m)	cabeza de aducción (m)	BL en la cámara (m)	Fondo de la cámara (m)
0,311166911	0,174714	0,7	1,2	1,5	0,4	0,15	0,55

Fuente. Los Autores

4.1.3.4 Cálculos de los Muros de Contención. A continuación se muestran los resultados del cálculo de los muros de contención (véase la Tabla 37).

Tabla 37. Diseño Muro de Contención

Muros de Contención			
Q max (lps)	H (m)	BL (m)	Altura Muros (m)
0,06	0,12946636	0,33	0,5

Fuente. Los Autores

4.1.3.5 Cálculos del Caudal de Excesos. A continuación se muestran los resultados del cálculo del caudal de excesos (véase la Tabla 38).

Tabla 38. Diseño Caudal de Excesos

Caudal de Excesos								
Q medio (m3/s)	H (m)	Q captado (m3/s)	Q excesos (m3/s)	H exc (m)	V exc (m/s)	Xs (m)	BL (m)	L vertedero de excesos (m)
0,04	0,098801	0,030073545	0,024248	0,05	0,41	0,31	0,3	0,61

Fuente. Los Autores

4.1.3.6 Cálculo de Cotas. A continuación se muestran los resultados del cálculo de las cotas (véase la Tabla 39).

Tabla 39. Cotas

CÁLCULO DE COTAS	msnm
Fondo del rio de captación	1387
Lamina sobre la presa	-
Diseño	1387,027349
Máxima	1387,129466
Medio	1387,098801
Corona de los muros de contención	1387,5
Canal de aducción	-
Fondo aguas arriba	1386,820915
Fondo aguas abajo	1386,799657
Lamina aguas arriba	1386,85
Lamina aguas abajo	1386,827516
Cámara de recolección	-
Lámina de agua	1386,649657
Cresta del vertedero de excesos	1386,599657
Fondo	1386,199657
Tubería de excesos	-
Cota de entrada	1386,199657
Cota del rio en la entrega	1383,75
Cota de salida	1384,05

Fuente. Los Autores

Una vez realizados los cálculos para cada elemento de la bocatoma se realizan los planos de diseño que se muestran a continuación (véase la Figura 37).

4.2 CONDUCCION BOCATOMA – DESARENADOR

Para efectos del diseño del acueducto, el transporte de agua depende del tipo de agua que se transporta y de las condiciones hidráulicas en que se realiza dicho transporte. Según la clase de agua se podrá transportar agua cruda o agua ya potabilizada y para cada uno de estos casos existen requerimientos diferentes en los diseños, según lo expuesto por López Cualla y la Resolución 330 de 2017 (véase el Anexo A).

4.2.1 Diámetro Mínimo. El diámetro que se recomienda para una aducción a flujo libre tiene que ser mínimo de 3 pulgadas.

4.2.2 Velocidad Mínima. Se establece que la velocidad mínima es de 0.6 m/s.

4.2.3 Velocidad Máxima. En general la tubería de Gres permite velocidades hasta de 5 m/s y la de concreto hasta 4 m/s.

4.2.4 Diseño. Para realizar los cálculos de la aducción es necesario tener como datos iniciales los niveles del terreno de aducción y la longitud total entre sus extremos, así mismo el material que se utilizó en el diseño es tubería de PVC con un n de MANNING de 0.009 como se indica en la Tabla de Datos Iniciales (véase la Tabla 40)

Tabla 40. Datos iniciales

Datos iniciales							
Q (planta) lps	Q (planta) m ³ /s	D () pulg	D () m	Espesor m	Q () cfs	cota Entrada	Cota de Salida
5,825530801	0,005825531	3	0,0762	0,00217	0,20572629	1386,19966	1385,449657

Fuente. Los Autores

4.2.5 Cálculos de la Conducción. Aplicando las siguientes fórmulas se calculan los elementos hidráulicos de la aducción, expuestas por López Cualla.

Ecuación 21. Pendiente de la línea de aducción

$$S = \frac{(cota\ superior - cota\ inferior)}{distancia\ total} \times 100$$

Fuente. LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. 2 ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003.

Ecuación 22. Diámetro requerido para la línea de aducción

$$D = 1.548 \left(\frac{nQ}{S^{1/2}} \right)^{3/8}$$

Fuente. LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. 2 ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003.

Una vez estén calculado los valores del diámetro con la ecuación 20 se redondea a un diámetro comercial y se aplica la ecuación 21

Ecuación 23. Caudal a tubo lleno

$$Q_0 = 0.312 \left(\frac{D^{8/3} S^{1/2}}{n} \right)$$

Fuente. LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. 2 ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003.

De acuerdo con éstas fórmulas se tienen los siguientes resultados (véase la Tabla 41)

Tabla 41. Diseño de la conducción

Tubería			
Pendiente (%)	Diámetro ideal (m)	Diámetro ajustado	Q0
5%	0,06738385	3	0,00808991

Fuente. Los Autores

Una vez obtenidos los datos iniciales de diámetro recomendado y la pendiente del terreno, se realizó el conteo de accesorios de tubería a lo largo de todo el trazado, siendo multiplicados por su valor correspondiente en pérdidas lineales para poder calcular las pérdidas totales en el sistema de conducción (véase la Tabla 42).

Tabla 42. Pérdidas por Accesorios

	Unión	Codo 90°	N Entrada	N salida	Yee	Tee	Red	Válvula
Cant (unid)	2	2	1	1	0	0	0	1
Valor de k	0,78	1,03	1,02	0,97	0,97	2,01	2,35	1,71
Σ total de k	1,56	2,06	1,02	0,97	0	0	0	1,71

Fuente. Los Autores

La sumatoria de K es equivalente a las pérdidas lineales de cada uno de los accesorios y se suman con las pérdidas lineales por la distancia junto con el valor de pendiente, para esto es necesario calcular el número de reynolds y el coeficiente f de Chen para poder tener el cálculo de pérdidas lineales de la tubería (véase la Tabla 43)

Tabla 43. Elementos Hidráulicos

Q (m ³ /s)	v (m/s)	ρ(kg/m ³)	μ(kg/m s)	Re	f
0,005825531	1,277426	1000	0,001	97339,84	0,05625

Fuente. Los Autores

Ya calculadas las propiedades hidráulicas de la línea de tubería se calculan las pérdidas totales en el sistema de conducción, realizando la sumatoria de las pérdidas por accesorios y las pérdidas lineales del sistema (véase la Tabla 44)

Tabla 44. Pérdidas de Energía

L (m)	g (m/s)	h (m)	Σ k	Hf (m)	Relación pérdidas
33,5	9,8	2,35	7,32	2,81270767	8%

Fuente. Los Autores

El porcentaje de pérdidas del sistema de conducción de la bocatoma al desarenador es igual al 8%, estas pérdidas son aceptables para el acueducto, por lo tanto el diámetro final para la línea de conducción es de 3 pulgadas.

4.3 DESARENADOR

4.3.1 Condiciones de diseño. De acuerdo con lo expuesto por López Cualla y la Resolución 330 de 2017, el diseño del desarenador en el nivel de baja complejidad puede prescindirse siempre y cuando se demuestre que el transporte de sólidos no es perjudicial para el sistema, este diseño debe hacerse en el primer tramo de la aducción, lo más cerca posible de la captación de agua. Se deben diseñar dos módulos que operen de forma independiente para que se facilite la limpieza, cada uno de ellos dimensionados para el caudal medio diario (véase el Anexo A).

Por otro lado, el desarenador debe tener una capacidad igual al caudal máximo diario, la profundidad efectiva para el almacenamiento de arena en el desarenador debe estar comprendida entre 0.75 y 1.5 metros; la velocidad máxima horizontal para un sistema sin tratamiento posterior debe ser de 0.17 m/s. Para el nivel bajo de complejidad no se requiere verificar la eficiencia y la capacidad de remoción de sedimento.

4.3.1.1 Período y Caudal de Diseño. El período de diseño antes mencionado, es igual al de toda la estructura en este caso son 15 años, sin embargo, deben verificarse los parámetros de funcionamiento hidráulicos en los períodos final e inicial de cada etapa.

4.3.1.2 Número de Unidades. Se recomienda que el sistema del desarenador esté constituido por un mínimo de dos módulos que funcionen en paralelo, esto por prevención en el momento que alguno se encuentre fuera de servicio.

4.3.1.3 Paso Directo. Se debe diseñar una tubería de paso directo para casos de emergencia.

4.3.1.4 Relación Longitud a Ancho. En la bibliografía número 1 se recomienda “un tanque rectangular con una longitud a ancho (L/B) entre 3/1 y 5/1”⁴⁴

4.3.1.5 Profundidad Mínima y Máxima. La profundidad que indica en la bibliografía número 1 es de mínimo 1.50m máximo 4.50m.

4.3.1.6 Profundidad de Almacenamiento de Lodos y Pendientes de la Placa de Fondo. La profundidad de lodos típica está comprendida entre 0.75m y 1.50m, las pendientes de fondo deben estar comprendidas entre 5 y 8 % con el fin de que los lodos rueden fácilmente hacia la tubería de desagüe.

4.3.1.7 Período de Retención Hidráulico. De acuerdo con López Cualla, el tiempo en que la partícula entre y salga del desarenador debe oscilar entre 30 minutos y 4 horas ya que el periodo de retención hidráulico debe tender hacer corto.

4.3.1.8 Carga Hidráulica Superficial. Según la bibliografía número 1 debe estar entre 15 y 80 m³/m²*d al final del período de diseño.

4.3.2 Desarrollo del Diseño del Desarenador. Para el diseño del desarenador se adopta como procedimiento el descrito por Lopez Cualla en su libro “Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados”, en su capítulo 9 (desarenadores), aplicándose las siguientes fórmulas consecutivas, teniendo en cuenta los valores suministrados por el cálculo de la conducción anterior al sedimentador y las propiedades físicas del agua como viscosidad cinemática, tomadas de la Tabla 45. Así mismo se adoptan los valores generales de la arena que se pretende separar en el desarenador.

Tabla 45. Densidad viscosidad del agua según la temperatura

Temperatura (°C)	Densidad, ρ (kg/m ³)	Viscosidad, μ (x 10 ⁻³ Pa * s)
0	999.9	1.792
5	1000.0	1.519
10	999.7	1.308
15	999.1	1.140
20	998.2	1.005
30	995.7	0.801
40	992.2	0.656

⁴⁴ LÓPEZ CUALLA, Op, cit., p. 122

50	988.1	0.549
----	-------	-------

Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. Reglamento tecnico del sector de agua potable y saneamiento basico RAS 2000. Bogota: El Ministerio, 2000.

4.3.2.1 Condiciones de la Tubería de Entrada. A continuación, se muestran los datos iniciales para el cálculo de la tubería de entrada (véase la Tabla 46).

Tabla 46. Datos Iniciales

CONDICIONES DE LA TUBERÍA DE ENTRADA		
Q	0,005825531	m3/s
V	1,277425787	m3/s
D	0,0762	m
Q 0	0,00958231	m3/s

Fuente. Los Autores

4.3.2.2 Condiciones de los Cálculos del Desarenador. A continuación, se muestran las condiciones de diseño del desarenador (véase la Tabla 47).

Tabla 47. Condiciones de Diseño del Desarenador

CONDICIONES DE DISEÑO DE DESARENADOR		
Periodo de diseño :	25,00	Años
Numero de módulos :	2,00	#
Caudal medio diario(2040):	2,16	lps
Caudal máximo diario (2040):	2,80	lps
Caudal medio diario(2015):	1,34	lps
Requerimiento en la planta de purificación : (5% del Qmd)	0,01	lps
Caudal de diseño de cada módulo:	2,16	lps
Remoción de partículas de diámetros:	0,10	mm
Porcentaje de remoción:	75,00	%
Temperatura:	25,00	°c
Viscosidad cinemática:	0,01	
Grado del desarenador: n:	1,00	
Relación longitud : ancho :	0,21	B:L
Cota de la lámina en la tubería a la entrada del desarenador:	1383,93	msnm
Cota de la batea en la tubería a la entrada del desarenador:	1383,85	msnm
Cota de la corona de muro:	1384,23	msnm
Densidad del agua a la temperatura ambiente	1,00	g/cm3

Fuente. Los Autores

4.3.2.3 Cálculo de los Parámetros de Sedimentación. A continuación se puede observar el cálculo de la velocidad de sedimentación de la partícula, así como el grado del desarenador, tiempo de remoción de partículas y retención hidráulica, datos relevantes para el diseño final (véase la Tabla 48.)

Tabla 48. Diseño de los Parámetros

VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN DE LA PARTICULA ds					
Vs =	$\frac{g * (\rho_s - \rho)}{18 * \mu}$		Vs =	0,212673513	m/s
GRADO DEL DESARENADOR					
θ	PARA 75% DE REMOCIÓN		3	m/s	
t					
TIEMPO DE REMOCIÓN DE LA PARTÍCULA					
t=	$\frac{H}{V_s}$	PROFUNDIDAD ÚTIL DE 1,50	705,3064487	seg	
RETENCIÓN HIDRÁULICA					
V=	3 * t	2115,919346	0,587755374	Horas	

Fuente. Los Autores

4.3.2.4 Condiciones en la Tubería de Entrada. En cuanto a las condiciones de diseño, López Cualla propone los siguientes (véase la Tabla 49).

Tabla 49. Diseño de la Tubería de Entrada

VOLUMEN DEL TANQUE					
V	$\theta * Q$		4,56531605	m3	
AREA SUPERFICIAL DEL TANQUE					
As =	$\frac{V}{H}$	ALTURA UTIL DE 1,50	As =	3,04354403	m2
DIMENSIONES DEL TANQUE L:B					
B=	$\sqrt{As / 5}$		0,78019793	m	
L=	5 * B		3,90098964	m	
CARGA HIDRÁULICA SUPERFICIAL					
q=	$\frac{Q}{As}$	0,00070891	61,2499717	m3/m2 d	
SEDIMENTACIÓN DE LA PARTÍCULA					
Vo=q=		0,00070891	0,07089117	cm/s	
do=		0,00288675	0,02886751	mm	
VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN DE LA PARTÍCULA ds					
$\theta =$	Vs		3	AD	
t	Vo				
VELOCIDAD HORIZONTAL					
Vh=	$\frac{Q}{W}$	0,18436382	$\frac{V_o * L}{H}$	0,18436382	cm/s
t					

Tabla 49. (Continuación)

VELOCIDAD HORIZONTAL MÁXIMA			
Vh max	$20 \cdot V_s$	4,25347025	cm/s

VELOCIDAD DE RESUSPENSION MÁXIMA			
Vr=	$\sqrt{(8k/f) \cdot 18 \cdot (\rho_s - \rho) \cdot d}$	9,29972903	cm/s

Fuente. Los Autores

4.3.2.5 Calculo de los Elementos del Desarenador. Aplicando las condiciones especificadas anteriormente, se obtuvieron los siguientes resultados para el diseño del desarenador (véase la Tabla 50)

Tabla 50. Cálculos para el Diseño del Desarenador

VERTEDERO DE SALIDA			
Hv=	$(Q/1,84 \cdot B)^{2/3}$	0,01312097	m
Vv=	$\frac{Q}{B \cdot H_v}$	0,21076615	m/S
	XS		
	Lv	0,28	m

PANTALLA DE SALIDA			
Profundidad	H	0,75	m
	2		
Distancia al vertedero de salida	15Hv	0,2	m
PANTALLA DE ENTRADA			
Profundidad	H	0,75	m
	2		
Distancia al vertedero de salida	L	0,78019793	m
	5		

ALMACENAMIENTO DE LODOS			
Relación Longitud: prof. Lodos		10,00	ad
Profundidad máxima		0,39	m
Profundidad máxima adoptada		1,00	m
Profundidad mínima adoptada		0,75	m
Dist. Pto. de salida a la cámara de aquietamiento	L/3	1,30	m
Dist. Pto. de salida al vertedero de salida	2L/3	2,60	m
Pendiente transversal de salida	$(1-0,8)/2,83$	0,32	%
Pendiente longitudinal (en L/3)	$0,2/3,78$	0,19	%
Pendiente longitudinal (en 2L/3)	$0,2/7,56$	0,10	%

Tabla 50. (Continuación)

CÁMARA DE AQUIETAMIENTO			
Profundidad	H/3	0,50	m
Ancho	B/3	0,26	m
Largo (adoptado)		1,00	m
REBOSE DE LA CÁMARA DE AQUIETAMIENTO			
Qexcesos	Qo - Q=	0,00376	m ³ /s
He	Qexcesos / 1,84*Le	0,02	m
Ve	Qexcesos / Hv*Le	0,23	m/s
XS	0,36*Vv^(2/3)+0,6*Hv^(4/7)	0,19	m
Lr		0,20	m
B-ancho/2		0,26	m

Fuente. Los Autores

4.3.2.6 Perfil Hidráulico. En cuanto al perfil hidráulico para el desarenador, se calculan las pérdidas a la entrada de cámara de quietamiento, las pérdidas a la entrada de la zona de sedimentación y las pérdidas por las pantallas inicial y final (véase la Tabla 51), así mismo se calcula los diámetros para la tubería de excesos y lavado con sus respectivas pérdidas (véase las Tablas 51, 52 y 53).

Tabla 51. Diseño del Perfil Hidráulico

PERDIDAS A LA ENTRADA DE CÁMARA DE AQUIETAMIENTO			
Caudal		2,81	Lps
k		0,20	ad
V1		1,28	m/s
V2		0,67	m/s
hm	$k*\Delta V^2/2*g$	0,00	m/s

PERDIDAS A LA ENTRADA DE LA ZONA DE SEDIMENTACIÓN			
V1		1,28	m/s
V2 = Vh		0,01	m/s
hm	$k*\Delta V^2/2*g$	0,01	m

PERDIDAS POR LAS PANTALLAS INICIAL Y FINAL			
Q			
A		2,04	m ²
H		3,02726E-05	m

Fuente. Los Autores

Tabla 52. Tubería de Excesos y Lavado

DIÁMETRO DE LA TUBERÍA DE EXCESOS Y LAVADO			
Tubería de excesos			
Diámetro mínimo	4,00	0,10	m
TUBERÍA DE LAVADO			
Cota de entrega del desagüe de lavado (Cota de Descarga)		1383,75	msnm
Cota de lámina de agua sobre la tubería=		1383,84	msnm
Cota de la lámina de agua de la entrada - Perdidas			
Diámetro nominal		0,10	m
Diámetro Real		97,60	mm
Longitud de la conducción (Longitud según perfil de la aducción)		50,00	m
Altura disponible		0,09	m

Tabla 53. Pérdidas de Conducción de Exceso y Coeficiente de Descarga

PERDIDAS DE LA CONDUCCIÓN					
Entrada Normal		2,50	m		
Válvula de Compuerta		1,10	m		
Codo radio corto		4,90	m		
T cambio de dirección		10,00	m		
Salida		5,00	m		
Tubería		65,00	m		
L.E. Total		88,50	m		
J	H/L.E.	0,00	m		
Qinicial	$0.2785 \cdot CD^{(2,63)} \cdot J^{(0,54)}$	0,00	m/m		
V		0,29	m/s		
V2/2g		0,00	m		
COEFICIENTE DE DESCARGA					
Q	$Cd \cdot Ao \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$				
Cd	$Q/Ao \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$		0,04	na	
t vaciado	$(2As/CAo \cdot \sqrt{2 \cdot g}) \cdot H^{1/2}$	1299,67	Seg	21,66	min

Fuente. Los Autores

4.3.2.7 Calculo de Cotas.

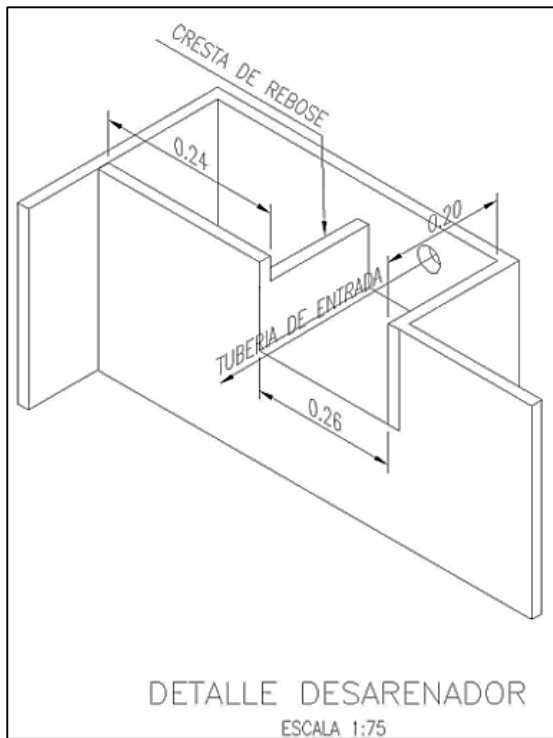
Tabla 54. Cotas

CALCULO DE COTAS	msnm
Cota de batea de la tubería de entrada	1383,850
Cota de lámina de agua en tubería de entrada	1383,926
Cota lámina de agua en cámara de aquietamiento	1383,922
Cota cresta de vertedero cámara de aquie.	1383,906
Cota fondo de la cámara de aquie.	1383,406
Cota lámina de agua en zona de sedi.	1383,914
Cota de la corona de muros desarenador	1384,214
Cota inferior de pantallas de entrada y salida	1383,164
Cota del fondo de prof. util de sedi.	1382,414
Cota placa fondo a la entrada y salida del desare.	1381,664
Cota placa fondo en punto de desagüe	1381,414
Cota de batea de la tubería de lavado	1381,414
Cota clave de la tubería de lavado	1381,516
Cota cresta del vertedero de salida	1383,901
Cota lámina de agua de la cámara de recolección	1383,751
Cota fondo de la cámara de recolección (supuesta)	1383,451

Fuente. Los Autores

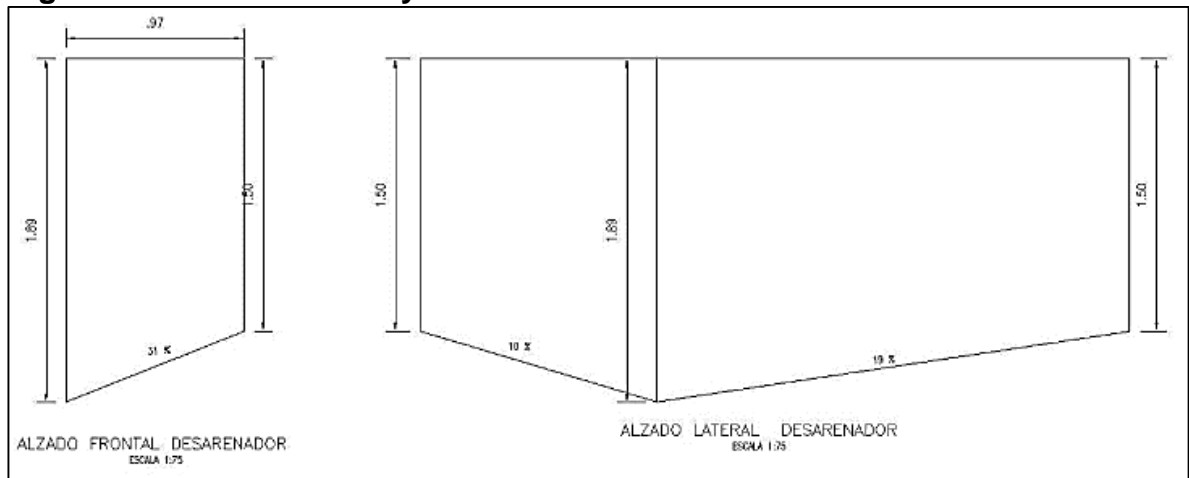
4.3.3 Planos de Diseño. Con los cálculos listos se procede a hacer los planos del diseño del nuevo desarenador como se muestran a continuación (véase las Figuras 39, 40, 41 y 42 y el Anexo D)

Figura 39. Detalle del Desarenador



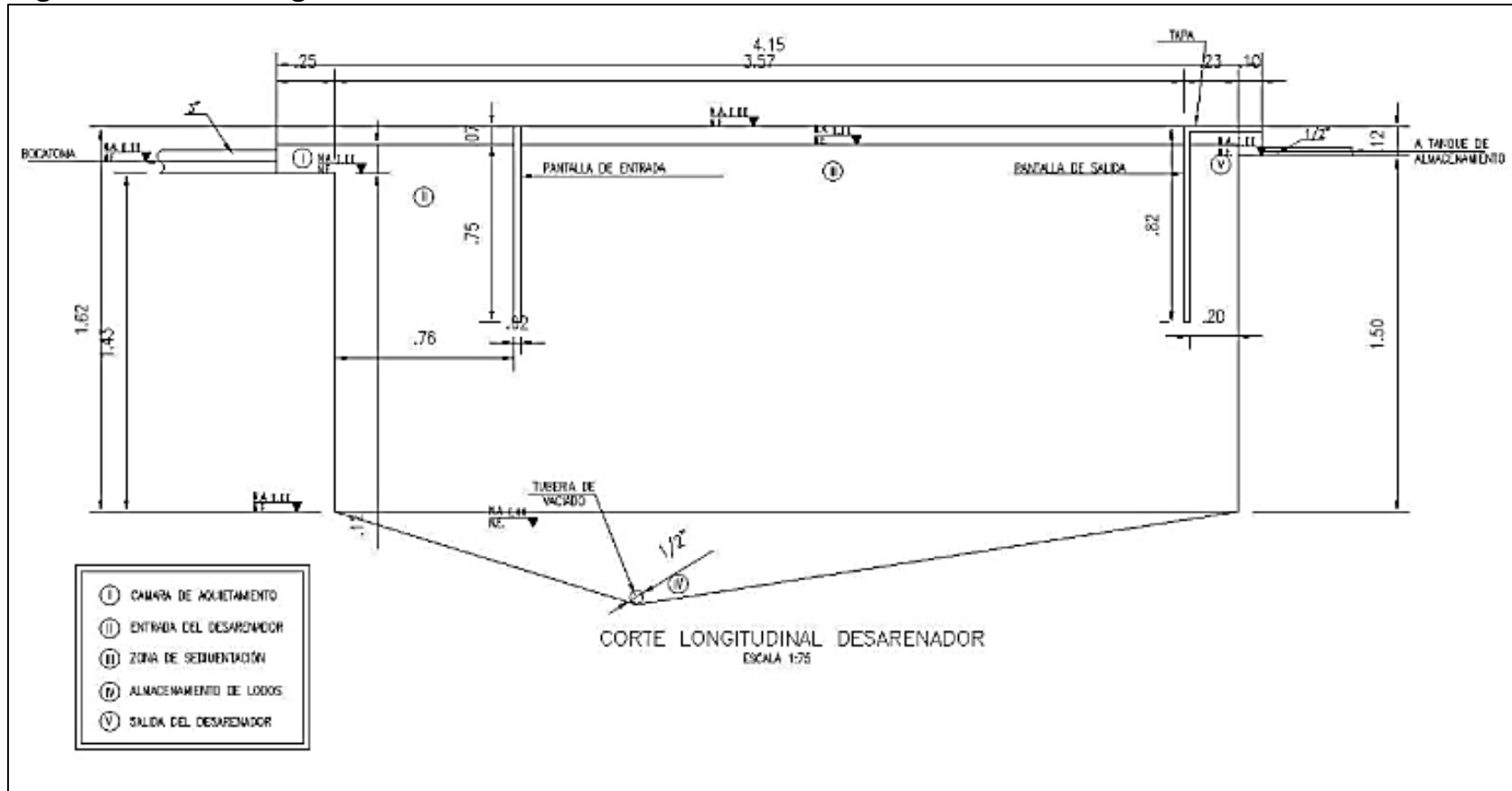
Fuente. Los Autores

Figura 40. Alzado Frontal y Lateral del Desarenador



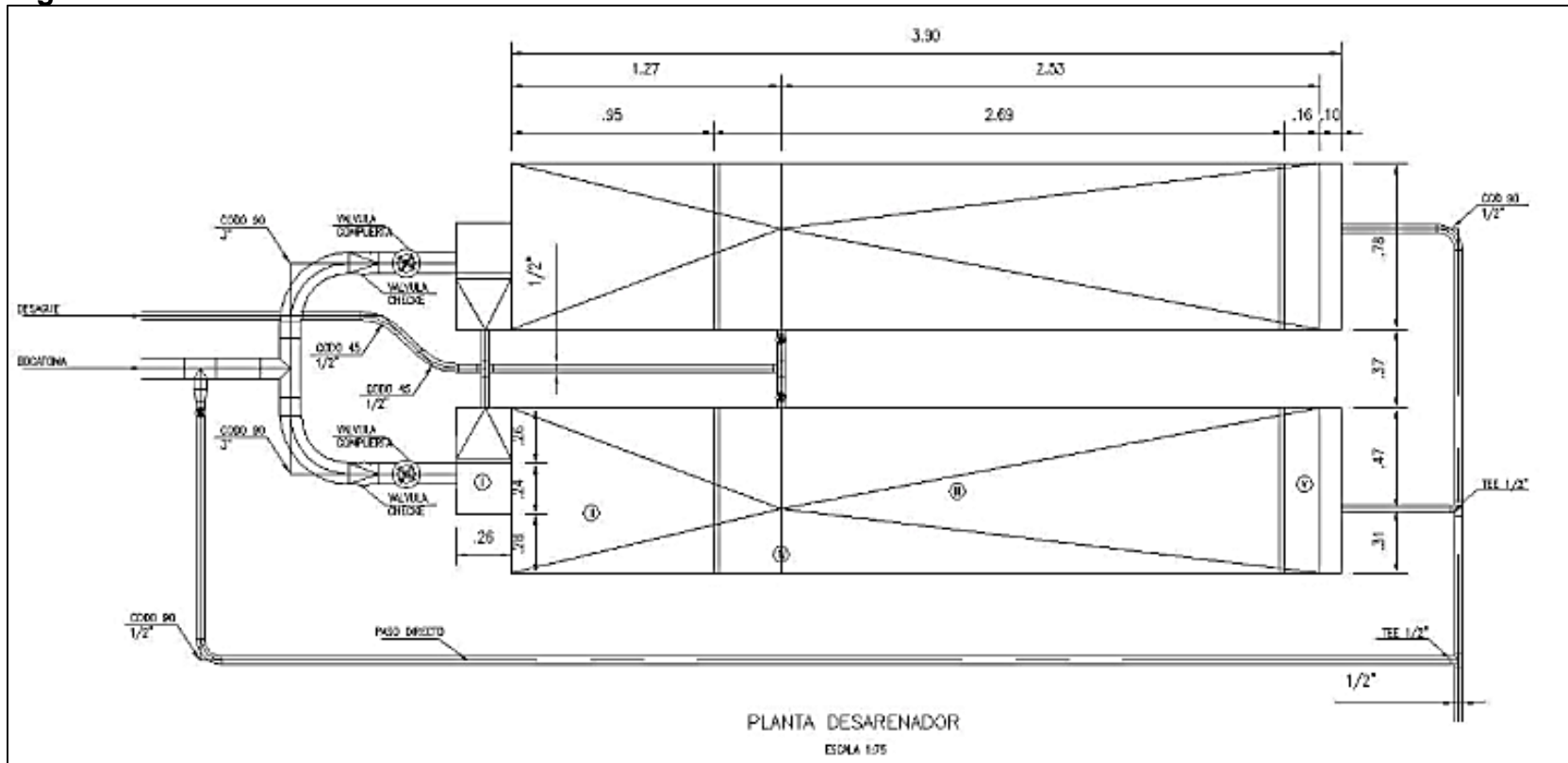
Fuente. Los Autores

Figura 41. Corte Longitudinal del Desarenador



Fuente. Los Autores

Figura 42. Planta del Desarenador



Fuente. Los Autores

4.4 CONDUCCION DESARENADOR – TANQUE

Se tuvo en cuenta el mismo proceso de cálculo para la línea de tubería aplicada en la conducción de la bocatoma al desarenador, como este proceso ya fue explicado en el numeral anterior solamente se muestran las tablas de datos obtenidos y el diámetro calculado finalmente.

4.4.1.1 Diámetro Mínimo. El diametro que se recomienda para una aduccion a flujo libre tiene que ser minimo de 3 pulgadas.

4.4.1.2 Velocidad Mínima. Se establece que la velocidad minima es de 0.6 m/s.

4.4.1.3 Velocidad Máxima. En general la tuberia de Gres permite velocidades hasta de 5 m/s y la de concreto hasta 4 m/s.

4.4.2 Diseño. Para realizar los cálculos de la aducción se tuvieron como datos iniciales los niveles del terreno de la aducción y la longitud total entre sus extremos; igualmente, el material que se utilizó en el diseño es tubería de PVC con un n de MANNING de 0.009 como se indica a continuación (véase las Tablas 55, 56, 57, 58 y 59).

Tabla 55. Datos iniciales

Datos iniciales							
Q (planta) lps	Q (planta) m ³ /s	D () pulg	D () m	Espesor m	Q () cfs	cota entrada	cota de salida
5,825530801	0,0058255	3	0,0762	0,00217	0,2057263	1383,4508	1378,1308

Fuente. Los Autores

Tabla 56. Diseño de la conducción

Tubería			
Pendiente (%)	Diámetro ideal (m)	Diámetro ajustado	Q0
7%	0,0633527	3	0,00953642

Fuente. Los Autores

Tabla 57. Coeficiente de Pérdidas por Accesorios

	Unión	Codo 90°	N Entrada	N salida	Yee	Tee	Red	Válvula	otros
Cant (unid)	5	1	1	1	0	0	0	2	0
valor de k	0,78	1,03	1,02	0,97	0,97	2,01	2,35	1,71	0
Σ total de k	3,9	1,03	1,02	0,97	0	0	0	3,42	0

Fuente. Los Autores

Tabla 58. Propiedades Hidráulicas 1

Q (m ³ /s)	v (m/s)	ρ(kg/m ³)	μ(kg/m s)	Re	f
0,005825531	1,2774258	1000	0,001	97339,845	0,0562496

Fuente. Los Autores

Tabla 59. Pérdidas Totales

L (m)	g (m/s)	h (m)	Σ k	Hf (m)	Relación pérdidas
76,57	9,8	5,32	10,34	5,89367314	8%

Fuente. Los Autores

De acuerdo con lo anterior, el porcentaje de pérdidas del sistema de conducción de la bocatoma al desarenador es igual al 8%, estas pérdidas son aceptables para el acueducto, por lo tanto el diámetro final para la línea de conducción es de 3 pulgadas.

4.5 TANQUE DE ALMACENAMIENTO Y COMPENSACIÓN

4.5.1 Condiciones de diseño. De acuerdo con la normatividad colombiana⁴⁵, para un nivel bajo de complejidad en acueductos, no es necesario el análisis de costos mínimos, debe estar ubicado en lugares no susceptibles a deslizamientos o inundaciones. Debe tener una distancia mínima a los alcantarillados de 30 metros, si no existen datos que describan las curvas de variación de consumo horario como es el caso de este proyecto, el volumen almacenado será igual a 1/3 del volumen distribuido de la zona que va ser abastecida en el día máximo de consumo. De igual forma, no se debe tener en cuenta la capacidad para la demanda contra incendio, se recomienda dejar un borde libre de 30 cm como mínimo.

Por otro lado, no existen limitaciones en cuanto a la forma del tanque, por el contrario, se exige seguridad, durabilidad y el cumplimiento de las condiciones sanitarias requeridas para el agua potable. Según Meneses, “se deben colocar totalizadores en la tubería de salida del tanque, que permitan determinar los volúmenes suministrados en forma diaria. Cada tanque debe contar, por lo menos, con una tapa con cierre hermético para su inspección interior, ubicada sobre la cubierta, con una dimensión mínima de 0.6 m o igual a la que permita la entrada de equipos de mantenimiento. Para los nivel bajo y medio de complejidad debe limpiarse completamente el tanque una vez cada año”⁴⁶.

⁴⁵ COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. Reglamento tecnico del sector de agua potable y saneamiento basico RAS 2000, Op. cit., p. 60

⁴⁶ MENESES GELVIS, Wilfrido. Sistemas de acueducto [en línea]. Madrid: Slideshare [citado 25 octubre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <https://es.slideshare.net/WilfridoMenesesGelvis/9-almacenamientos>>

4.5.2 Dimensionamiento del tanque superficial. Según lo expuesto en el RASS 2000 de guía el pre dimensionamiento se puede emplear la siguiente ecuación

Ecuación 24. Predimensionamiento de tanque de almacenamiento

$$h = \frac{v}{3} + k$$

Fuente. LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. 2 ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003.

4.5.3 Cálculo demanda del tanque. Para el diseño del tanque se tomaron como datos de iniciales del diseño el período de alimentación continuo de 24 horas aprovechando la geometría del terreno se ubica el tanque en un punto elevado, adicionalmente, para proceder con el cálculo del tanque es necesario conocer los porcentajes de consumo horario de la población a la cual se le va a prestar el servicio, este valor es dado por la curva de consumo (véase la Tabla 60).

Tabla 60. Diseño del Tanque

PERIODO		%C	∑C	%S	∑S	Δ(S-C)	Δ(∑S-∑C)	V%
0	1	0	0	4,17	4,17	4,17	4,17	10,51
1	2	0	0	4,17	8,34	4,17	8,34	14,68
2	3	0	0	4,17	12,51	4,17	12,51	18,85
3	4	1	1	4,17	16,68	3,17	15,68	22,02
4	5	2	3	4,17	20,85	2,17	17,85	24,19
5	6	5	8	4,17	25,02	-0,83	17,02	23,36
6	7	9	17	4,17	29,19	-4,83	12,19	18,53
7	8	8	25	4,17	33,36	-3,83	8,36	14,7
8	9	7	32	4,17	37,53	-2,83	5,53	11,87
9	10	4	36	4,17	41,7	0,17	5,7	12,04
10	11	3	39	4,17	45,87	1,17	6,87	13,21
11	12	6	45	4,17	50,04	-1,83	5,04	11,38
12	13	9	54	4,17	54,21	-4,83	0,21	6,55
13	14	6	60	4,17	58,38	-1,83	-1,62	4,72
14	15	2	62	4,17	62,55	2,17	0,55	6,89
15	16	2	64	4,17	66,72	2,17	2,72	9,06
16	17	3	67	4,17	70,89	1,17	3,89	10,23
17	18	4	71	4,17	75,06	0,17	4,06	10,4
18	19	5	76	4,17	79,23	-0,83	3,23	9,57
19	20	9	85	4,17	83,4	-4,83	-1,6	4,74
20	21	8	93	4,17	87,57	-3,83	-5,43	0,91
21	22	5	98	4,17	91,74	-0,83	-6,26	0,00
22	23	1	99	4,17	95,91	3,17	-3,09	3,17
23	24	1	100	4,17	100,08	3,17	0,08	6,34
		100		100,08		0,08		

En donde:
 Columna 1: Intervalos de tiempo
 Columna 2: Consumo horario
 Columna 3: Curva integral de consumo
 Columna 4: Porcentaje de suministro
 Columna 5: Curva integral de suministro
 Columna 6: Déficit de suministro horario
 Columna 7: Déficit acumulado
 Columna 8: Porcentaje de volumen horario

Fuente. Los Autores

De acuerdo con lo anterior, se tiene que los puntos críticos de volumen s, es decir los de mayor y menor cantidad agua, según los resultados mostrados en la Tabla 60 fueron -6.26 como déficit y 17.85 de exceso.

Una vez realizada la memoria de cálculo se tomaron los valores de porcentaje de déficit es decir -6.26 en donde se puede evidenciar que el déficit mayor es la sumatoria de los valores absolutos mayores.

Ecuación 25. Porcentaje de déficit

$$V\% = (17.85 + 6.26)$$

Fuente. LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. 2 ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003.

4.5.4 Dimensiones del Tanque. Una vez calculado el porcentaje de volumen se aplican la ecuación 36 del Libro de López Cualla, para dimensionar el volumen, área y longitud del tanque respectivamente:

Ecuación 26 volumen de tanque

$$V = 1.2 * Q * \frac{V\%}{100}$$

Fuente. LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. 2 ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003.

Para poder realizar el cálculo adecuado del sistema fue necesario no solo tener en cuenta el volumen de tanque dado por la curva de consumo, sino que se tuvo que calcular también el volumen por incendio y emergencia, tomando así como valor definitivo el volumen mayor

➤ Volumen de consumo por recomendaciones teniendo en cuenta condiciones climatológicas y población estimada expuestos en el RAS (véase la Tabla 61).

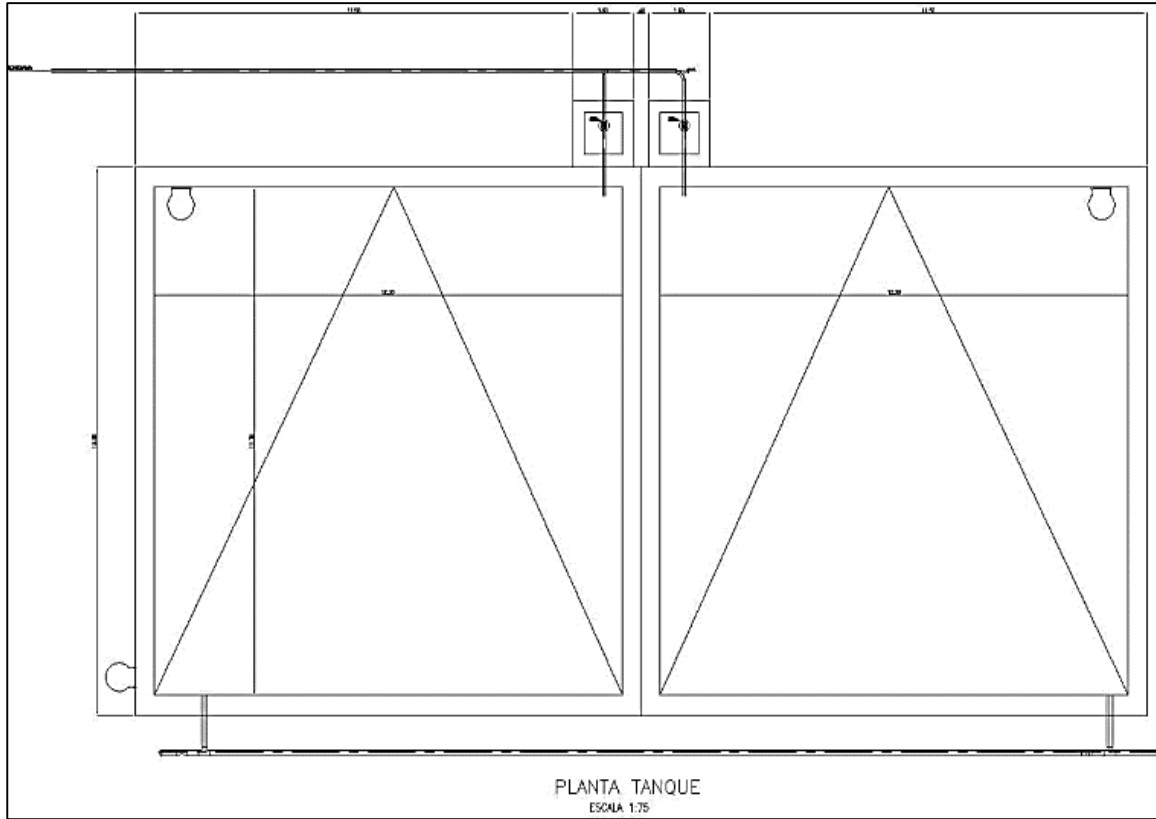
Tabla 61. Calculo de Dimensionamiento

Volumen por Consumo	
Q (lps)	5,825530801
VT (m3)	146,105431
%	24,19
Volumen por Incendio	
Q (m3)	0,076115851
VT (m3)	548,0341261
volumen a utilizar	
V(m3)	548,0341261
K	1,8
H (m)	3,62678042
AT (m2)	151,1076113
L (m)	12,29258359
B (m2)	12,29258359
N de tanques	2
L (m)	6,146291795
B (m2)	6,146291795

Fuente. Los Autores

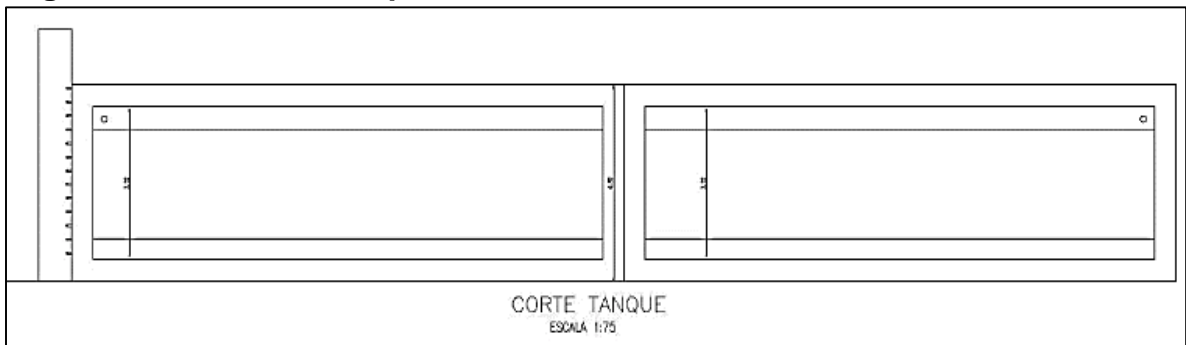
De acuerdo con los datos finales del dimensionamiento del tanque de almacenamiento, se toman 2 tanques de 12.30 metros y 3.80 metros de altura, cumpliendo así con los parámetros de emergencia y suministro de agua potable (véase las Figuras 43 y 44 y el Anexo D).

Figura 43. Planta de Tanque



Fuente. Los Autores

Figura 44. Corte del Tanque



Fuente. Los Autores

4.6 RED DE DISTRIBUCION

Para realizar el análisis y cálculo de tubería en la red de distribución se implementó el programa de análisis hidráulico EPANET, con este programa se analizó la demanda de agua en cada uno de los nodos a surtir, presión, diámetro y velocidad para el consumo diario del municipio de Tena.

4.6.1 Calculo de la demanda de agua. Para el cálculo de la demanda de agua en cada uno de los nodos de la red de distribución es necesario primero realizar el trazado previo en las calles del municipio y realizar el cálculo del área aferente a cada uno de los nodos y puntos de cruce de la red, para obtener esta información se implementa el programa Autocad que permite tener cálculos más precisos y detallados de cada una de las áreas aferentes a los nodos de demanda.

4.6.1.1 Imagen áreas aferentes. Una vez que se tuvieron las áreas aferentes a cada uno de los nodos de la red de distribución, se dividió el caudal medio horario en el área aferente de cada uno de los nodos, dando como resultado la demanda unitaria y ésta a su vez al multiplicarse por el área total de la red de distribución da como resultado la demanda por nodo (véase la Tabla 62).

Tabla 62. Demanda por Nodos

NODO	AREA NODO M2	AREA TOTAL M2	Q M3/seg	DEMANDA POR NODOm3/seg
1	2014,57	144132,63	4,487816321	0,06272709
2		144132,63	4,487816321	0
3	3752,43	144132,63	4,487816321	0,11683834
4	3363,72	144132,63	4,487816321	0,10473518
5	1759,65	144132,63	4,487816321	0,05478972
6	7215,89	144132,63	4,487816321	0,2246791
7	4623,82	144132,63	4,487816321	0,14397056
8	6380,55	144132,63	4,487816321	0,19866935
9	2749,99	144132,63	4,487816321	0,08562565
10	7663,3	144132,63	4,487816321	0,23860997
11	11118,5	144132,63	4,487816321	0,34619354
12		144132,63	4,487816321	0
13	2546,54	144132,63	4,487816321	0,07929088
14	3582,72	144132,63	4,487816321	0,11155412
15	8658,1	144132,63	4,487816321	0,26958477
16	8946,7	144132,63	4,487816321	0,27857083
17		144132,63	4,487816321	0
18		144132,63	4,487816321	0
19	3473,16	144132,63	4,487816321	0,10814279
20	2036,52	144132,63	4,487816321	0,06341054
21	604,18	144132,63	4,487816321	0,01881218
22	3670,565	144132,63	4,487816321	0,11428933
23	3301,95	144132,63	4,487816321	0,10281187
24	1979,86	144132,63	4,487816321	0,06164633
25	2548,07	144132,63	4,487816321	0,07933852
26	5431,83	144132,63	4,487816321	0,16912933
27	10319,84	144132,63	4,487816321	0,3213259
28	12814,36	144132,63	4,487816321	0,39899705

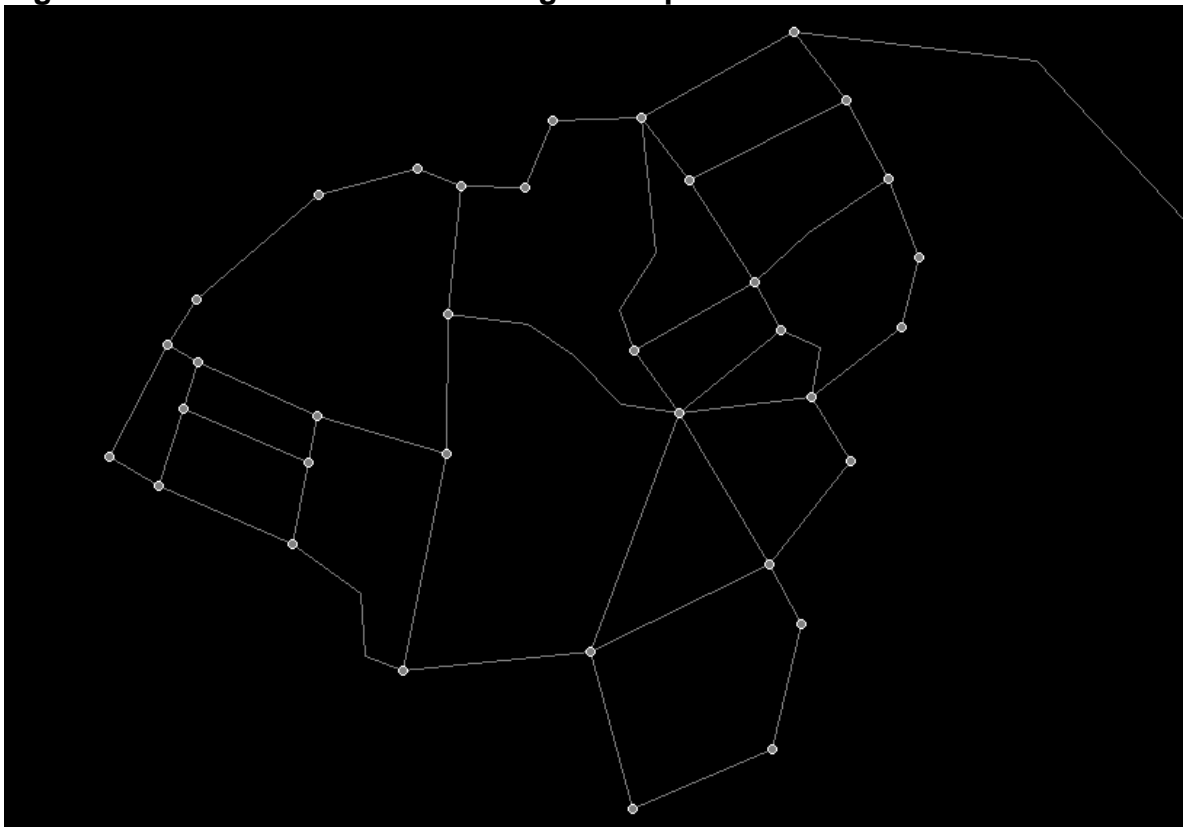
Tabla 62. (Continuación)

NODO	AREA NODO M2	AREA TOTAL M2	Q M3/seg	DEMANDA POR NODOm3/seg
29	5469,86	144132,63	4,487816321	0,17031346
30		144132,63	4,487816321	0
31		144132,63	4,487816321	0
32	10280,09	144132,63	4,487816321	0,32008821
33		144132,63	4,487816321	0
34	3670,565	144132,63	4,487816321	0,11428933
35		144132,63	4,487816321	0
36	3001,08	144132,63	4,487816321	0,09344377
37	1154,22	144132,63	4,487816321	0,03593862

Fuente. Los Autores

4.6.1.2 Ingreso de los datos al programa Epanet. Para poder utilizar el programa EPANET se realizó la delimitación de la red de distribución, por lo tanto se dibuja le red con cada uno de los nodos pasando líneas de tubería a lo largo de cada una de las calles de la red de distribución (véase la Figura 45 y el Anexo C).

Figura 45. Red de Distribucion Programa Epanet

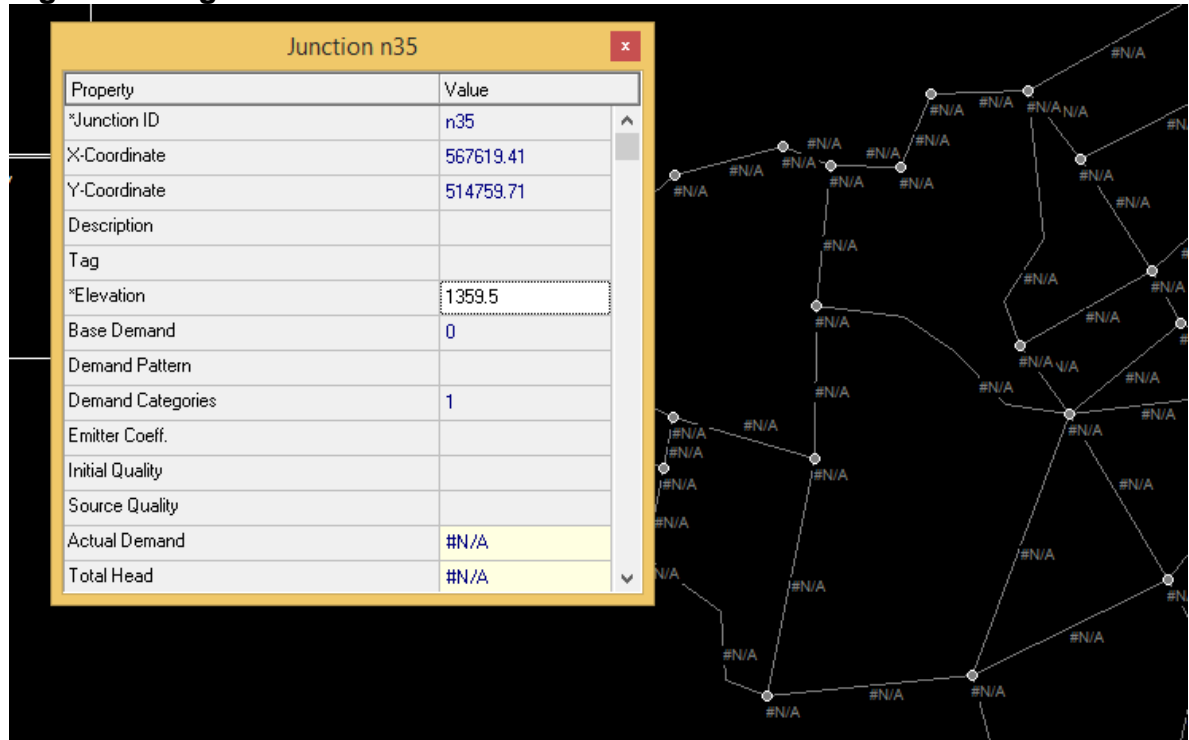


Fuente. Los Autores (elaborado con el programa EPANET).

Para cada uno de los nodos se ingresan los datos de demanda de agua y altura correspondiente a la topografía del municipio, teniendo en cuenta que estos valores deben ser los reales para la red de distribución, por lo que la altura del nodo debe

ser su altura topográfica menos la altura de profundidad a la que la línea de tubería deberá estar enterrada, según la RASS 2000 las líneas de tubería estarán a una profundidad mínima de 1 metro, la demanda por cada uno de los nodos es la calculada en el paso anterior (véase la Figura 46)

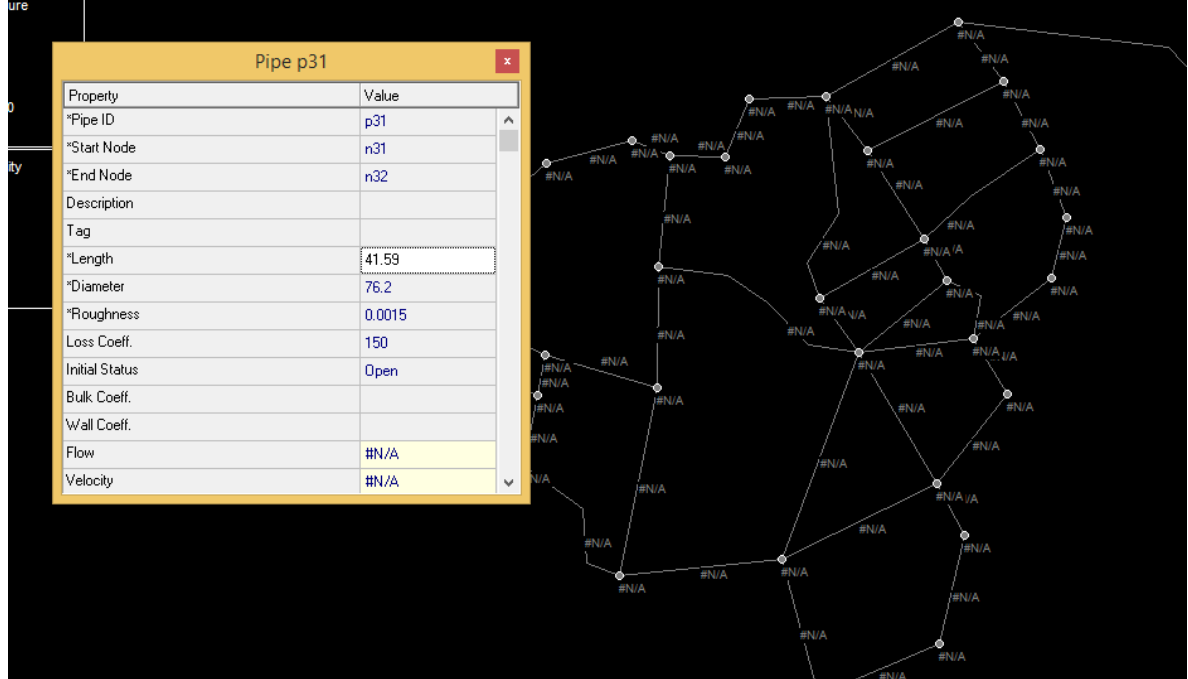
Figura 46. Ingreso nodo



Fuente. Los Autores (elaborado con el programa EPANET)

Por otro lado, para cada una de las líneas de tubería fue necesario conocer la distancia entre cada uno de los nodos, para este caso se midió gradualmente en el plano topográfico en el programa Autocad y se ingresaron cada una de estas distancias de forma manual, en este aspecto fue muy importante que las distancias fueran las reales por lo que se debió ingresar la distancia en tres dimensiones y no la distancia en plano XY, igualmente se ingresan las el diámetro expresado en metros para cada una de las líneas de tubería (véase la Figura 47 y el Anexo C)

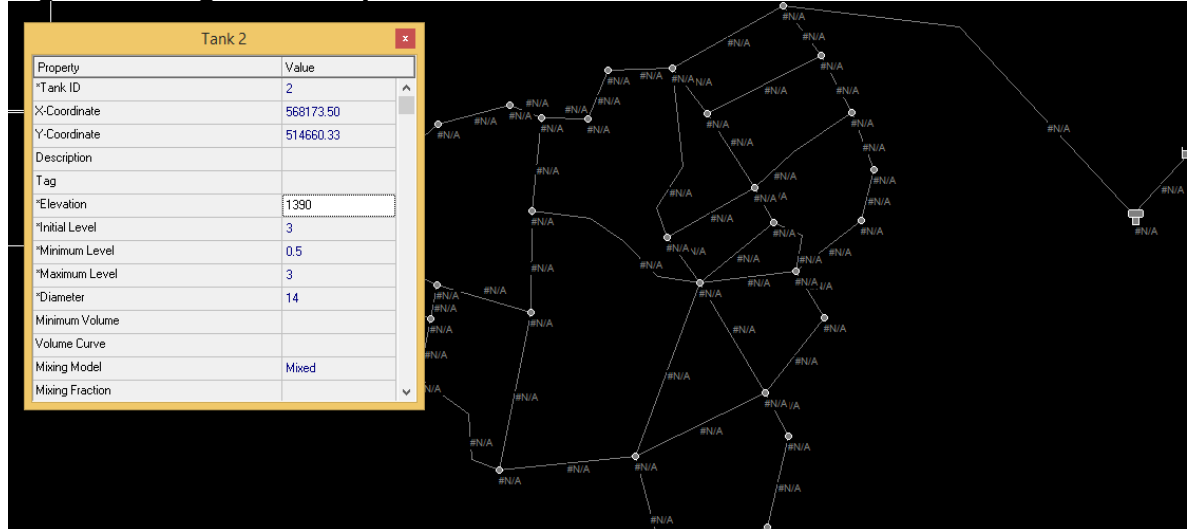
Figura 47. Ingreso Distancia



Fuente. Los Autores (elaborado con el programa EPANET)

Para el tanque de almacenamiento y distribución se ingresaron los datos obtenidos en el cálculo del tanque de suministro de agua teniendo muy en cuenta la cota de elevación a la que está ubicada el tanque de suministro, adicionalmente se tuvo que cumplir con el volumen de agua total y la presión generada por la altura de la lámina de agua (véase la Figura 48)

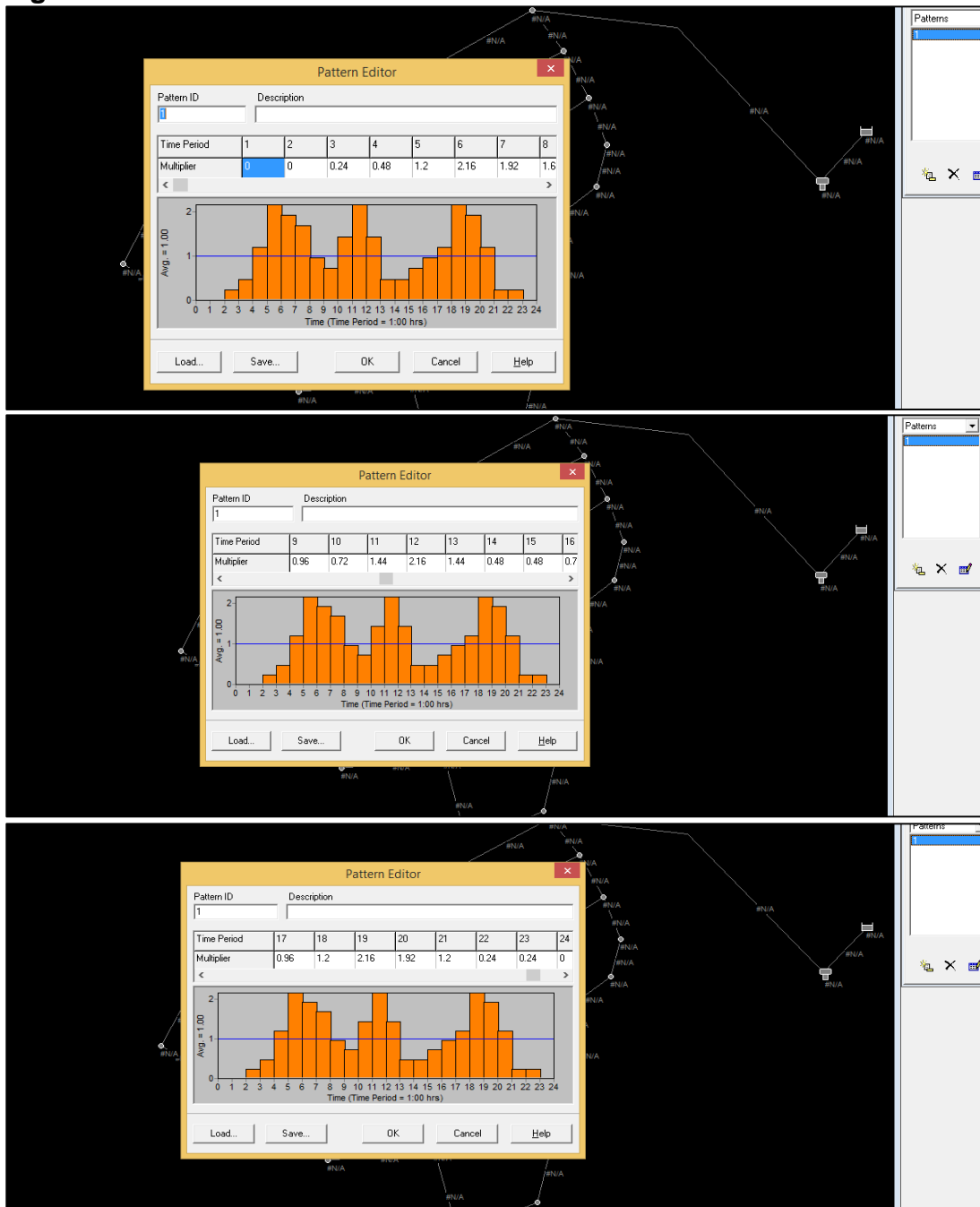
Figura 48. Ingreso Tanque



Fuente. Los Autores (elaborado con el programa EPANET)

Por último, se ingresaron los valores de consumo a lo largo del día en la pestaña de valores, en este aspecto se tuvo en cuenta que estos fueron los valores obtenidos a través de la encuesta en campo y que deben ser reales para el municipio, por lo que este patrón de consumo debe ser igual al utilizado para el cálculo del tanque de almacenamiento y distribución (véase la Figura 49 y el Anexo C)

Figura 49. Patrón



Fuente. Los Autores (elaborado con el programa EPANET)

4.6.2 Análisis de red de distribución. Una vez ingresados todos los datos en el programa se efectúa el análisis horario de la red, verificando que se cumplan los criterios de velocidad y presión para el sistema, cabe resaltar que si por algún caso uno de estos datos no cumplan, se debe tabular el diámetro de la tubería hasta que cada uno de los nodos cumplan.

Para comprobar la red de distribución de diseño propuesto para el acueducto de Tena, se tomó la red en diferentes horarios, evidenciándose que en cada uno de ellos se cumplieron los criterios de velocidad y presión del sistema (véase la Figura 50 y el Anexo C)

Figura 50. Analisis Red de Distribucion

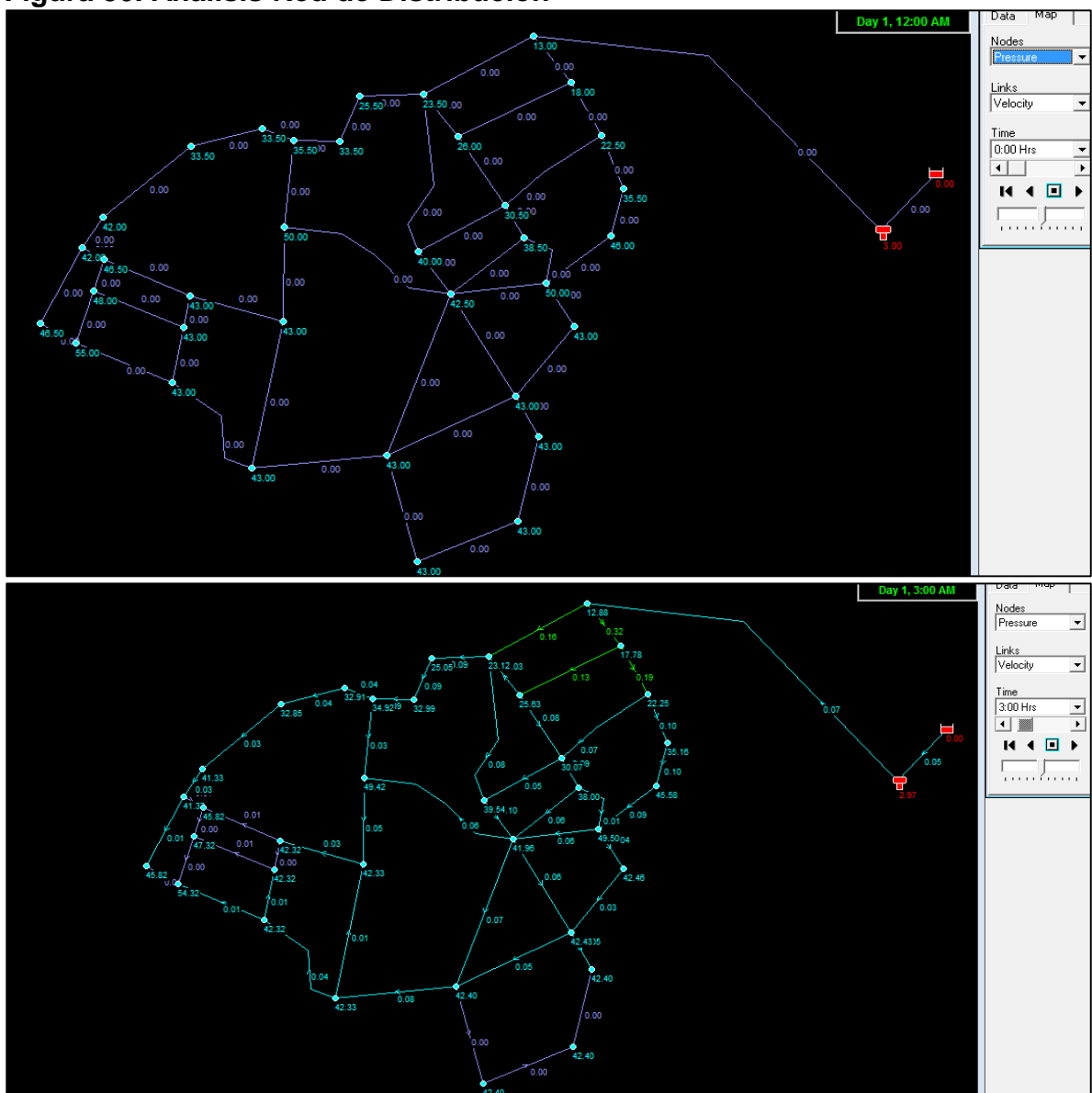


Figura 50. (Continuación)

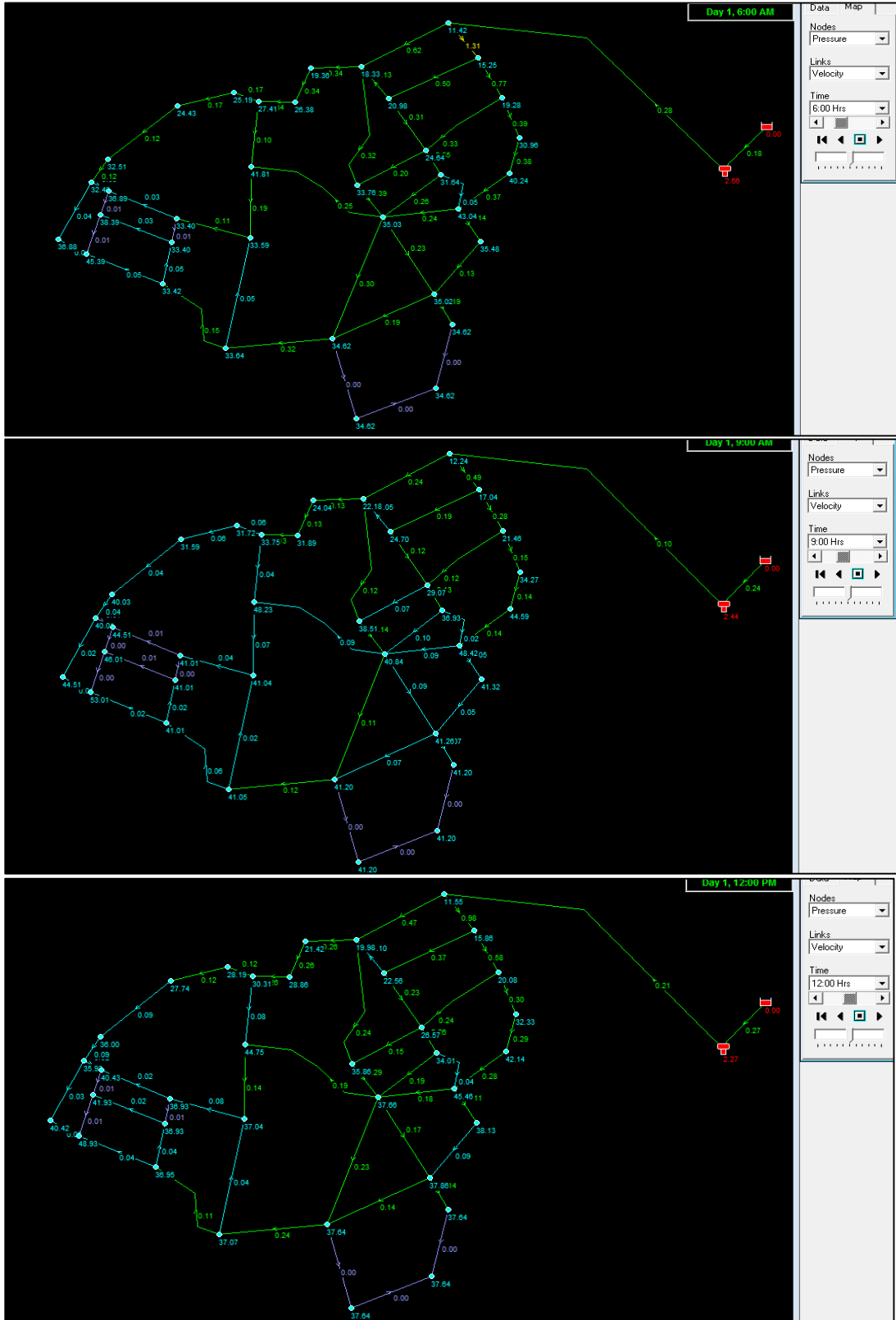


Figura 50. (Continuación)

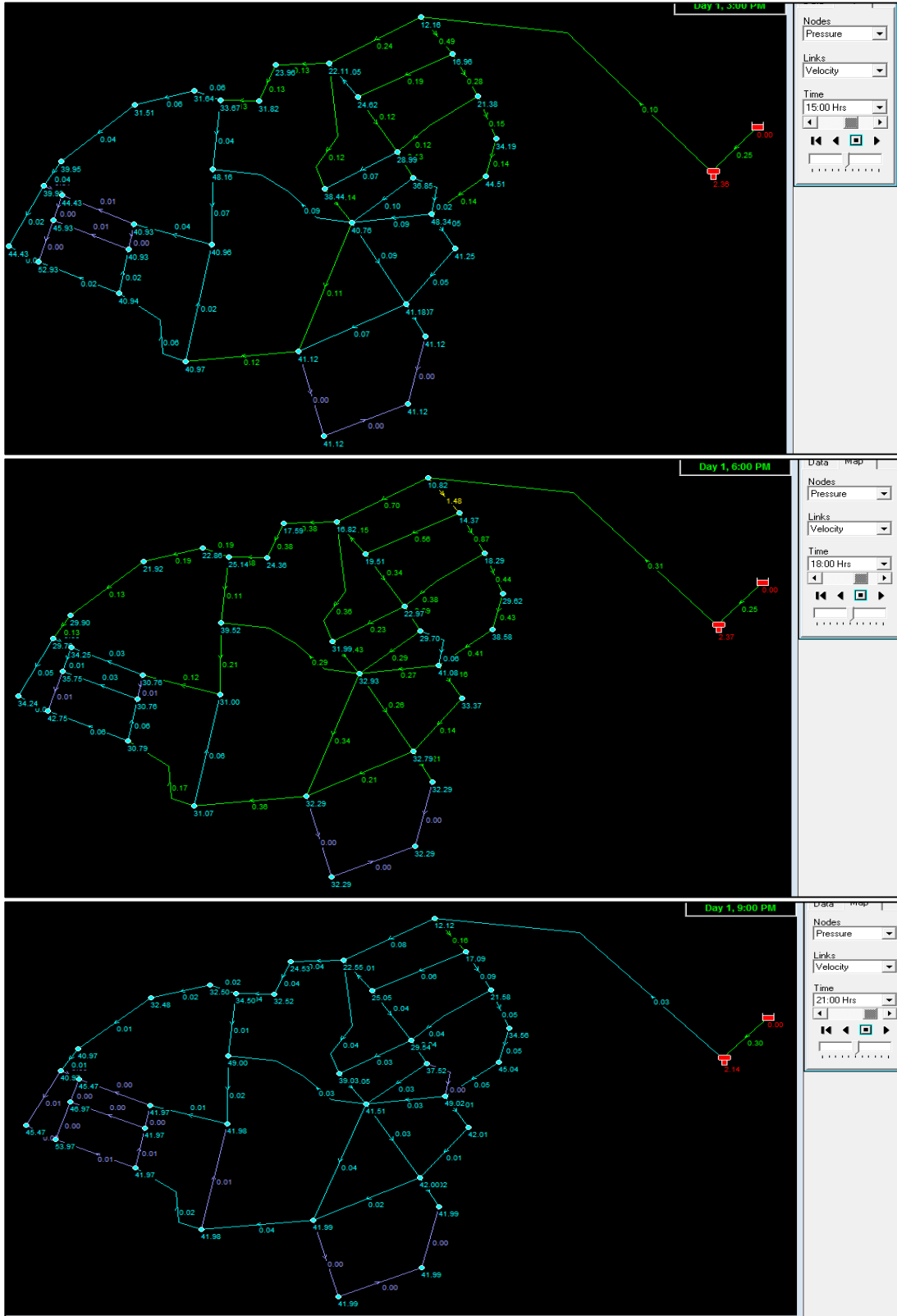


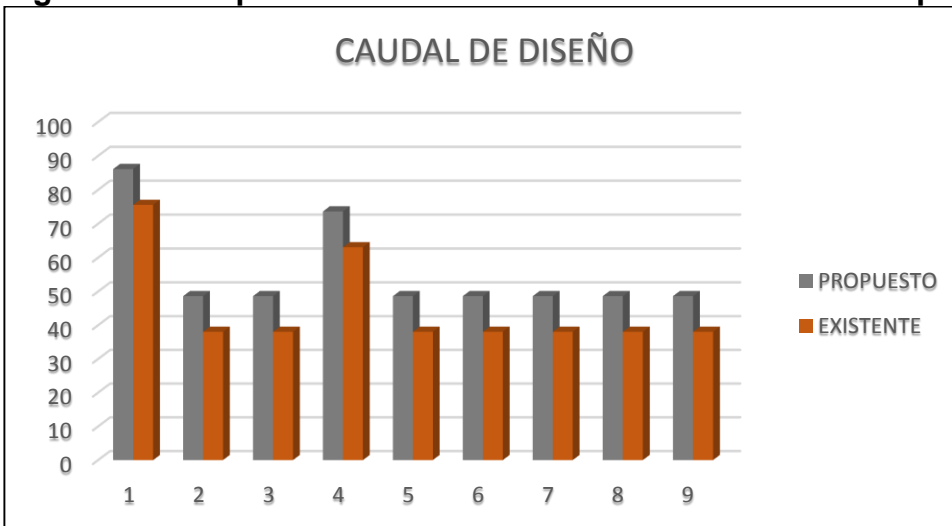
Tabla 63. Matriz de la red propuesta (aspectos mejorados) Caudal de Diseño

CAUDAL DE DISEÑO	• Periodo d diseño de 25 años mínimo	1																X	72	100	86	56
	• Los elementos deben estar amarrados con el sistema único de información y con el sistema de coordenadas magna sirgas	2																X		25	49	
	• Toda la tubería debe de estar inventariada: localización, uso tipo de accesorio material profundidad ubicación	3																		25	49	
	• Información de suscriptores a través del dane o de sondeo	4																X		75	74	
	• $D_{bruta} = d_{neta} / (1 - P\%)$ donde P no debe superar el 25%	5																X		25	49	
	• El caudal de captación debe de ser 2 veces el QMD	6																X		25	49	
	• K1 no debe superar el 1.3 y K2 el 1.6																	X		25	49	
	• Calculo de caudal y escorrentía, análisis de calidad del agua en base a la autoridad ambiental correspondiente (CAR)	8	X																	25	49	
	• Q95 no debe ser superior a QMD	9	X																	25	49	

Fuente. Los Autores

En el caudal de diseño de la red propuesta se establecieron parámetros que no estaban contemplados en el diseño anterior, se doptó un período de diseño de 25 años y se tuvieron en cuenta las propiedades que afectan directamente el caudal tales como el porcentaje de pérdidas modificado en el decreto 330 y aspectos generales como el inventario de tubería del sistema de acueducto (véase la Figura 51)

Figura 51. Comparacion Caudal de Diseño Existente Vs. Propuesto



Fuente. Los Autores

Se puede evidenciar un aumento equitativo del 10% en cada uno de los aspectos concernientes al caudal de diseño garantizando un funcionamiento óptimo del 50% de aprobación y estando en condiciones estables que garantizan un cumplimiento de las medidas establecidas en el decreto 330, quedando únicamente por fuera el análisis hidrológico de la cuenca de la quebrada de abastecimiento.

4.7.1.2 Captación. A continuación se describen los aspectos a evaluar en la matriz de valoración para las obras de captación (véase la Tabla 64).

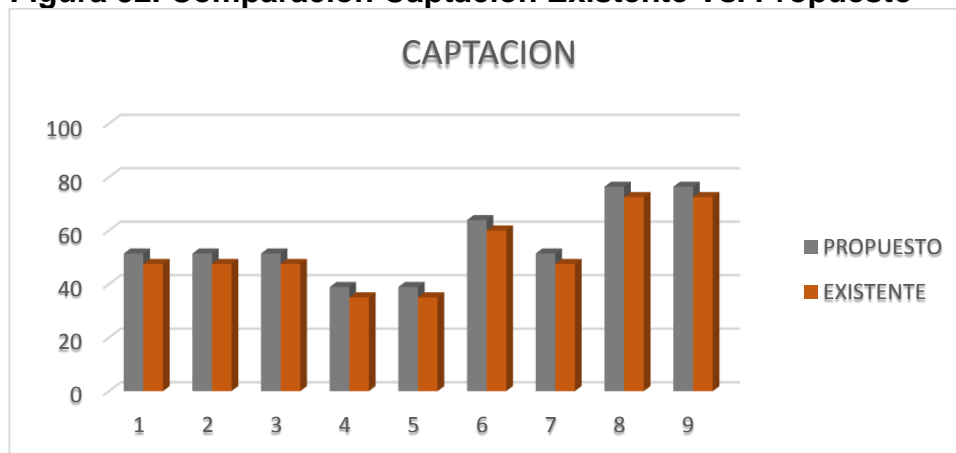
Tabla 64. Matriz de la red propuesta (aspectos mejorados) Captación

CAPTACION	• tener todos los estudios hidrológicos	1	X																25	51	56
	• la captación debe de ser en una zona recta	2																	25	51	
	• estudios de volcamiento	3	X																25	51	
	• localización fácil	4																	0	39	
	• zona debe de estar cercada	5																	0	39	
	• el exceso de caudal debe de ser devuelto al rio	6																	50	64	
	• el tipo de captación debe tener un análisis justificado	7																	25	51	
	• separación de barrotes de 75 a 150mm	8																	75	76	
	• velocidad efectiva de 0.15m/s	9																	75	76	
													78								

Fuente. Los Autores

Para el análisis de la captación todos los aspectos mejoraron, teniendo un rendimiento máximo de condiciones óptimas aplicando el diseño propuesto en la bocatoma se garantiza un rendimiento superior al 50% para el acueducto, los aspectos en los que se baja la calificación es por los estudios hidrológicos y estadios de suelos y volcamientos, los cuales no se tuvieron en cuenta en el análisis y desarrollo del diseño propuesto, algunos aspectos de menor importancia tales como garantizar una localización fácil y el cercamiento de la zona de captación bajan drásticamente el rendimiento del sistema propuesto por lo tanto, se plantea que al aplicar las modificaciones en el sistema y al tener la certeza de que se cumplen a cabalidad, aumentar el valor de importancia de estos dos aspectos y así superar las condiciones óptimas de funcionamiento del sistema y cumplimiento de la normativa (véase la Figura 52).

Figura 52. Comparacion Captación Existente Vs. Propuesto



Fuente. Los Autores

Sin embargo el diseño es óptimo y funcional, el desarrollo e implantación de este diseño propuesto mejoraría en menor mediad el existente pero lo dejaría en condiciones excelentes para el desarrollo del sistema de acueducto.

4.7.1.3 Desarenador. A continuación se describen los aspectos a evaluar en la matriz de valoración para el desarenador (véase la Tabla 65).

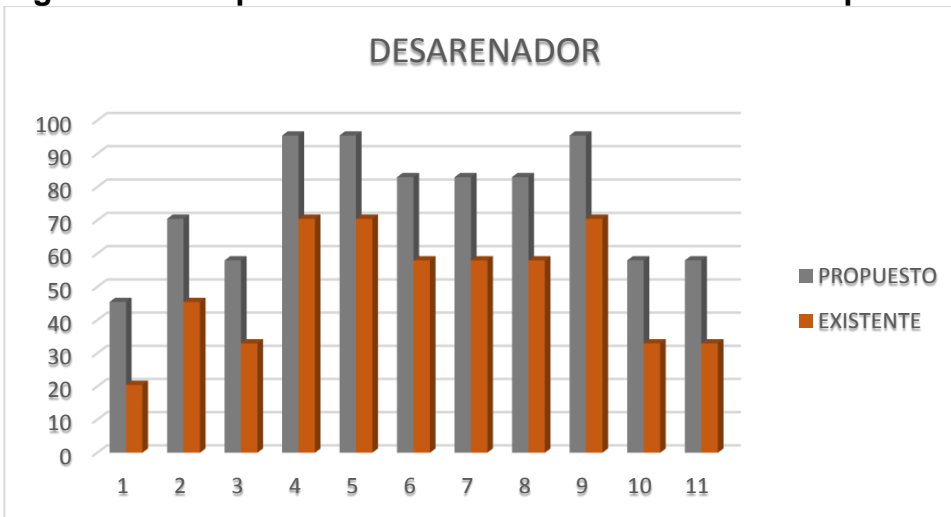
Tabla 65. Matriz de la red propuesta (aspectos mejorados) Desarenador

DESARENADOR	• lo más cerca posible a la captación	1											X	91	0	45	75
	• Debe tener un rebose tipo vertedero	2											X		50	70	
	• Cerramiento lateral	3											X		25	58	
	• Eliminar las partículas 0.1mm	4											X		100	95	
	• Velocidad máx. de 0.25m/s	5											X		100	95	
	• El peso específico de partícula removida debe de ser de 2.65 gr/cm3	6											X		75	83	
	• Vh vs va < 20	7											X		75	83	
	• Tiempo de retención menor a 20min	8											X		75	83	
	• Debe tener una cámara de almacenamiento de arenas	9	X												100	95	
	• Pendientes mayores al 10%	10											X		25	58	
	• Sistema de paso directo y by pass	11											X		25	58	

Fuente. Los Autores

El desarenador es uno de los aspectos mayores falencias y que tendrían mejorías significativas, la implantación de un segundo módulo y el arreglo de varios aspectos tales como periodo de retención velocidades y la remoción por las partículas son aspectos básicos que se mejoran en gran medida el funcionamiento del desarenador (véase la Figura 53)

Figura 53. Comparacion Desarenador Existente Vs. Propuesto



Fuente. Los Autores

En el análisis de la gráfica del desarenador se puede evidenciar una mejora significativa de cada uno de los aspectos de la resolución 330, cada aspecto tiene una mejoría del 25%, esto lo podemos interpretar y concluir que este es uno de los aspectos con mayor deterioro y de los cuales es prioritario mejorarlo.

4.7.1.4 Aducción y Conducción. A continuación se describen los aspectos a evaluar en la matriz de valoración para la aducción y conducción (véase la Tabla 65).

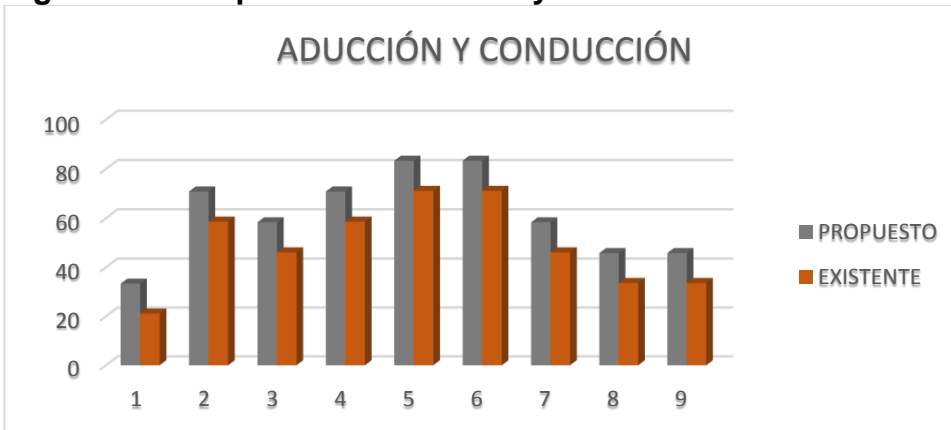
Tabla 66. Matriz de la red propuesta (aspectos mejorados) Aducción y Conducción

ADUCCIÓN Y CONDUCCIÓN	• topografía y trazado económico	1										X	67	0	33	61	
	• Análisis de velocidades en la tubería	2										X		75	71		
	• Lo más corto posible y ubicado en vías y senderos	3										X		50	58		
	• Estudios de zonas de deslizamiento	4	X											75	71		
	• Velocidad mínima de 0.5m/s	5										X		100	83		
	• Velocidad máxima la del material	6										X		100	83		
	• Presión máx. de 10mca	7										X		50	58		
	• Al comienzo y al final debe de tener zonas de mediciones piezometricas y cada intervalos de 1.5Km debe tener válvulas de cierre preferiblemente de globo y paso directo	8	X												25		46
	• En las zonas de medición piezometrica debe tener tapón roscado y válvulas de corte	9	X												25		46

Fuente. Los Autores

La aducción y conducción en el sistema existente es funcional y cumple con las expectativas, tres aspectos de los requerimientos de las aducciones y conducciones no se tienen en cuenta para el desarrollo del acueducto, estos aspectos son los concernientes con los macromedidores de caudal que nos brindan la información adecuada del caudal circulante por la tubería, el motivo por el cual no se tuvo en cuenta es que es injustificable aplicar medidores de caudal en sectores tan cercanos unos a otros y que el funcionamiento del macromedidor de la planta de tratamiento está completamente funcional y brinda la información correcta y precisa para el sistema del acueducto (véase la Figura 54)

Figura 54. Comparacion Aduccion y Conducción Existente Vs. Propuesto

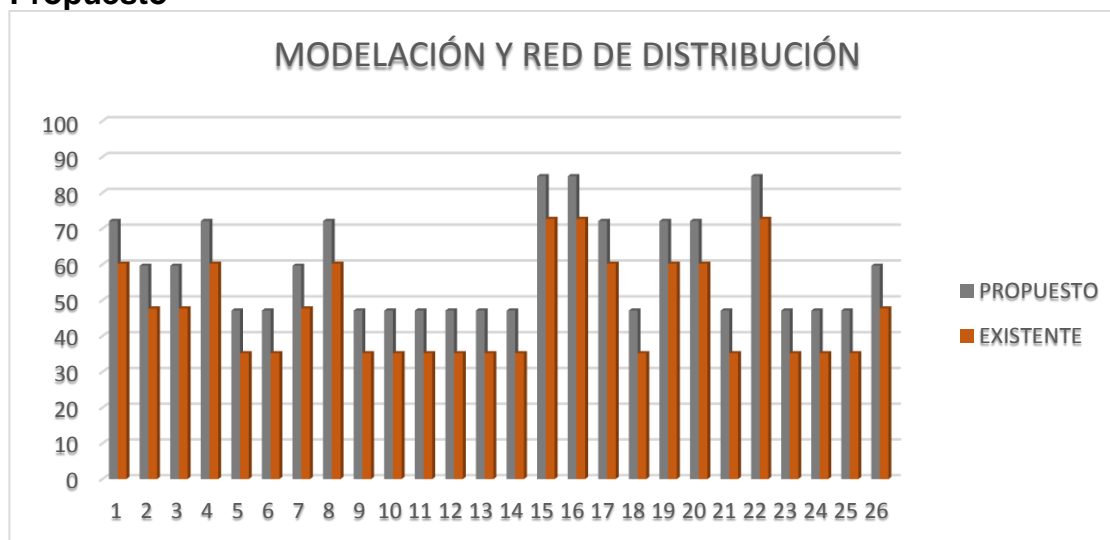


Fuente. Los Autores

Como se puede evidenciar en la gráfica la mejora de este aspecto es mínima aproximadamente de un 10% por ítem evaluado, por lo tanto concluimos que las condiciones existentes de este aspecto son adecuadas y las mejoras al ser

garantizando en el ciclo de un día de abastecimiento la presión y velocidad exigidas en la resolución 330, otros aspectos de carácter operativo y constructivo se tienen en cuenta en este sistema para garantizar una mejoría en el sistema propuesto, y los aspectos de menor relevancia tales como drenajes y venteos deberán ser analizados de manera genérica en el proceso de construcción y desarrollo de la ingeniería, o en el momento de aplicar las medidas correctivas y de optimización propuestas (véase la Figura 55).

Figura 55. Comparación Modelación y Red de Distribución Existente Vs. Propuesto



Fuente. Los Autores

De la gráfica de modelación y red de distribución se evidencia que existe una mejoría del 7% del sistema propuesto con respecto al sistema existente, aplicando las correcciones propuestas se garantiza que la red de distribución opera en condiciones óptimas de presión y velocidad en toda la red de distribución y cumpliendo con la normatividad exigida en la resolución 330.

Para algunos ítems de evaluación tales como la profundidad de las líneas de tubería y distancia horizontal de las líneas de tubería con respecto a los andenes es necesario analizarlos de manera genérica en el proceso de construcción y desarrollo de la ingeniería, o en el momento de aplicar las medidas correctivas y de optimización propuestas, y así aplicar un valor superior a su importancia en la matriz de evaluación.

4.7.1.6 Incendios. A continuación se describen los aspectos a evaluar en la matriz de valoración para incendios (véase la Tabla 68).

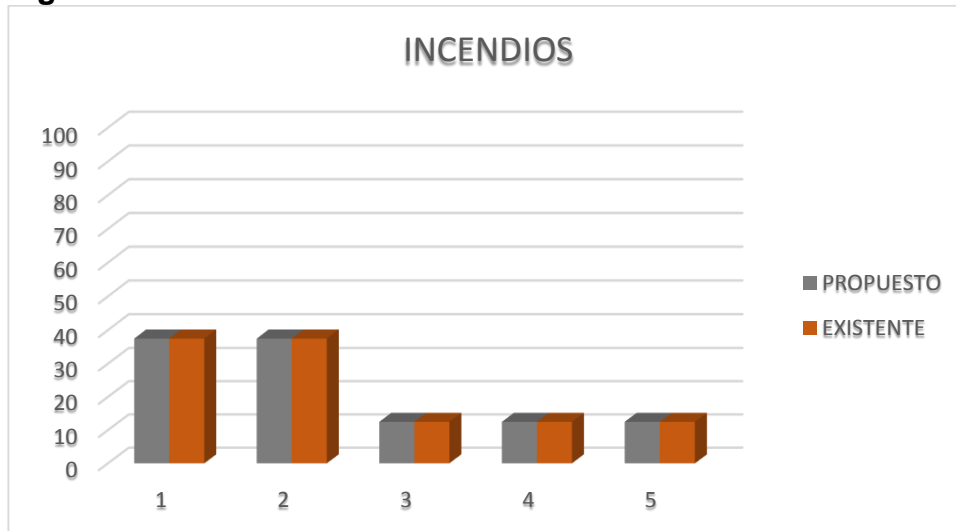
Tabla 68. Matriz de la red propuesta (aspectos mejorados) Incendios

INCENDIOS	• caudal de 5 lps y garantizar una descarga de 5 lps	1	X																75	38	23
	• 1 hidrante debe atender incendio	2	X																75	38	
	• Hidrantes cada 300 m	3	X																25	13	
	• 1 hidrante por sector de red de distribución	4	X																25	13	
	• Diámetro mínimo de 75mm diámetro máx. 100mm	5	X																25	13	
																	0				

Fuente. Los Autores

El sistema de contraincendios no se tienen en cuenta en este análisis debido a que al aplicarlas condiciones mínimas de sistema de contraincendios cambia completamente el caudal de diseño de nuestro sistema de acueducto y no brinda un adecuado análisis de los requerimientos de la población del sistema de agua potable (véase la Figura 56).

Figura 56. Sistema contraincendio



Fuente. Los Autores

Al no tener en cuenta el sistema de contraincendios se aplican las condiciones del sistema existente y no presentan cambios al sistema de acueducto propuesto

4.7.1.7 Mediciones de caudal. A continuación se describen los aspectos a evaluar en la matriz de valoración para mediciones de caudal (véase La Tabla 69).

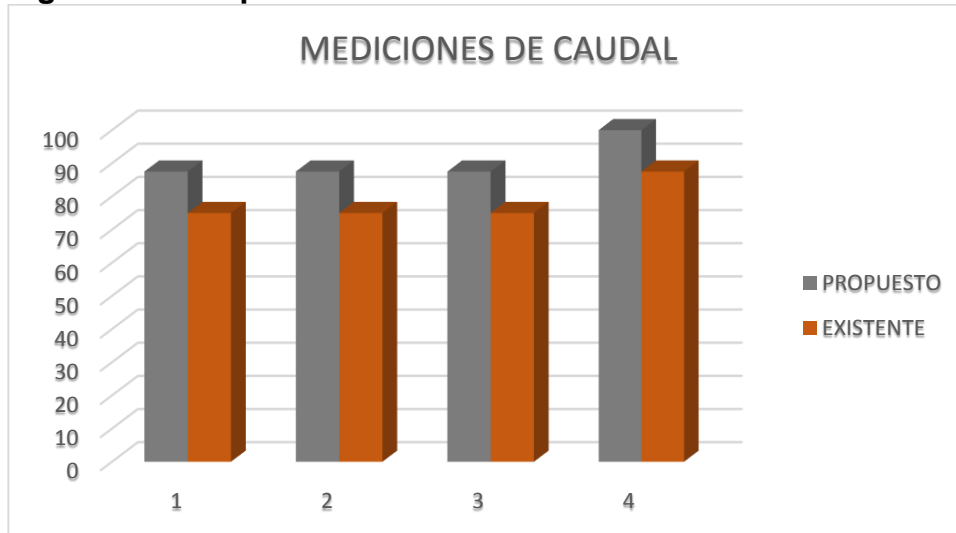
Tabla 69. Matriz de la red propuesta (aspectos mejorados) Mediciones de caudal

MEDICIONES DE CAUDAL	• en la entrada y la salida de la planta	1																		75	88	91
	• En la entrada a cada sector	2																		75	88	
	• En la salida de los tanques	3																		75	88	
	• Macro medidor de consumo por sector en canaleta parshall o platinas de orificio	4																		100	100	
																	100					

Fuente. Los Autores

Para las mediciones del caudal la matriz confirma las condiciones óptimas del sistema existe, al implementar las mejoras propuestas se evidencia claramente un desarrollo del 5% en cada uno de los aspectos, siendo este poco relevante para la aplicación y optimización del sistema (véase la Figura 57).

Figura 57. Comparacion Mediciones de Caudal Existente Vs. Propuesto



Fuente. Los Autores

Con el análisis de la gráfica de mediciones de caudal podemos evidenciar que este aspecto es óptimo en el sistema existente ya que no se presentan mejoras significativas en el sistema, también se puede concluir que para los dos sistemas tanto el existente como el propuesto las mediciones de caudal son las adecuadas y cumplen con la normatividad exigida por la resolución 330 de la RASS 2000.

4.7.1.8 Anclajes. A continuación se describen los aspectos a evaluar en la matriz de valoración para los anclajes (véase La Tabla 70).

Tabla 70. Matriz de la red propuesta (aspectos mejorados) Anclajes

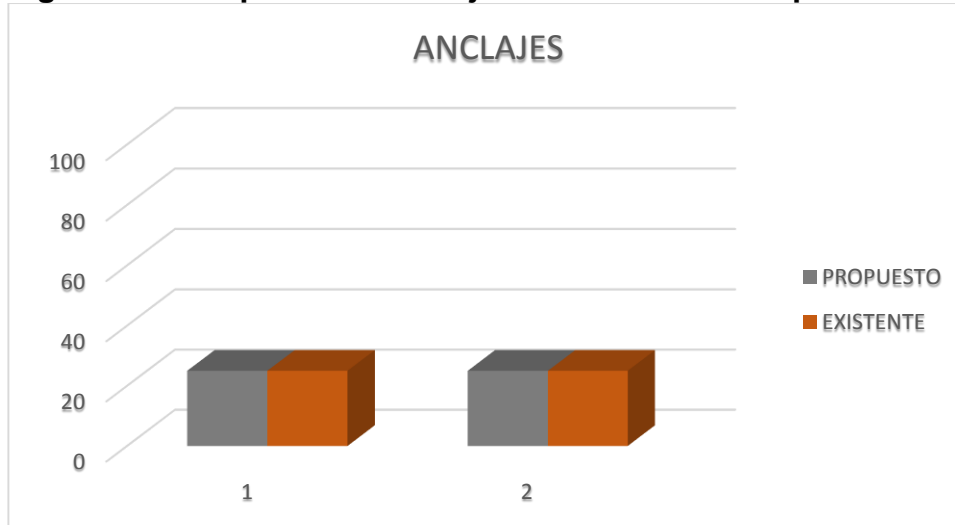
ANCLAJES	• Anclajes metálicos en cambios de dirección, en donde este la tubería expuesta, en cajas de medición y en cambios de diámetro	1	X									25	25	25
	• Platinas o patines	2					X					25	25	25

Fuente. Los Autores

Este aspecto no se tiene en cuenta para la mejoría del acueducto existente debido a que es mas de carácter constructivo que funcional y de diseño, de igual manera en el recorrido e inspección a campo se observa que la tubería se encuentra en su totalidad enterrada y por lo tanto la metodología y especificaciones de anclajes no aplican en la mayoría de los casos, sin embargo en los puntos en que la tubería se

encuentra descubierta no aplican ningún tipo de anclaje de tubería (véase la Figura 58)

Figura 58. Comparacion Anclajes Existente Vs. Propuesto



Fuente. Los Autores

En la gráfica del sistema de anclajes no se presentan mejoras en el sistema propuesto.

4.7.1.9 Tanques. A continuación se describen los aspectos a evaluar en la matriz de valoración para los tanques (véase La Tabla 71).

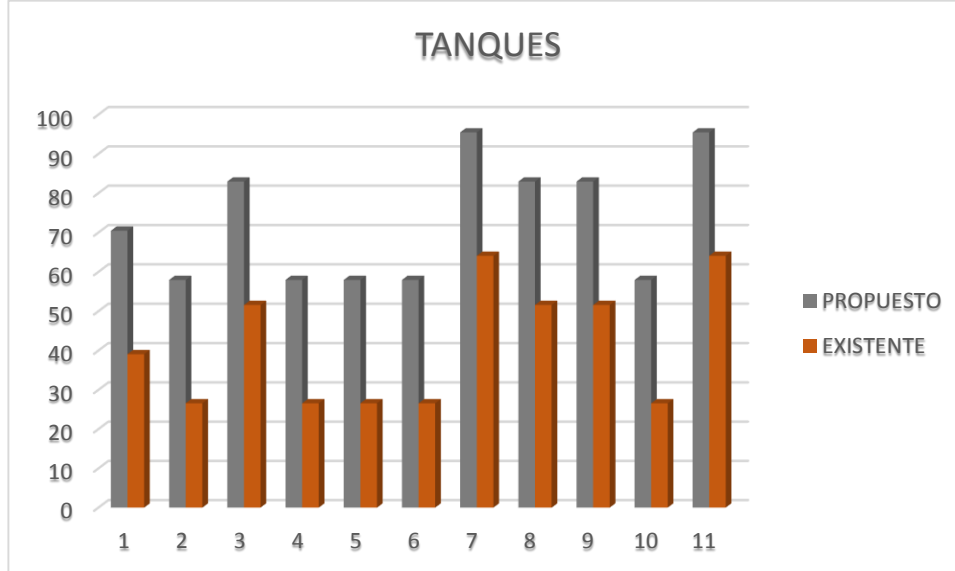
Tabla 71. Matriz de la Red Propuesta (aspectos mejorados) Tanques

Criterio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Valoración		Total
												Actual	Propuesto	
• No debe de haber sectores muertos											X	50	70	73
• Esquinas chaflanadas											X	25	58	
• flujo continuo durante todo el tanque						X						75	83	
• calculo a eventos sísmicos											X	25	58	
• borde libre mínimo de 0,3 m											X	25	58	
• pendiente en el fondo min de 2%											X	25	58	
• man hall de limpieza											X	100	95	
• debe contar con un sistema de excesos											X	75	83	
• debe contar con un sistema de alivio											X	75	83	
• by pass o paso directo											X	25	58	
• se debe incrementar su volumen para un 15 % de incendios											X	100	95	
TOTAL												91	73	

Fuente. Los Autores

Este aspecto es uno de los que presenta mayores mejoras en la implementación del acueducto propuesto se pasa de tener un rendimiento intermedio a un rendimiento óptimo aplicando aspectos básicos como los 30 centímetros de borde libre y las esquinas chaflaneadas (véase la Figura 59)

Figura 59. Comparacion Tanques Existente Vs. Propuesto



Fuente. Los Autores

En grafica de mejoramiento del acueducto existen con respecto al sistema propuesto se puede evidenciar un incremento del 50% siendo este el aspecto que presenta mayores mejorías en la totalidad del sistema.

4.8 DIAGNOSTICO FINAL

➤ Teniendo la información concerniente a la evaluación individual de cada uno de los aspectos específicos se puede proceder a realizar un análisis general del sistema en donde podemos evaluar las ventajas y el avance del acueducto aplicando las recomendaciones de cada uno de los aspectos.

➤ La compilación de la información muestra al desarenador y al tanque como las estructuras del proceso con más posibilidades de mejoramiento en el desarrollo del sistema, para cada uno de los casos las medidas correctivas son de los elementos estructurales, para poder garantizar un cumplimiento del 75% mínimo en cualquiera de los dos casos.

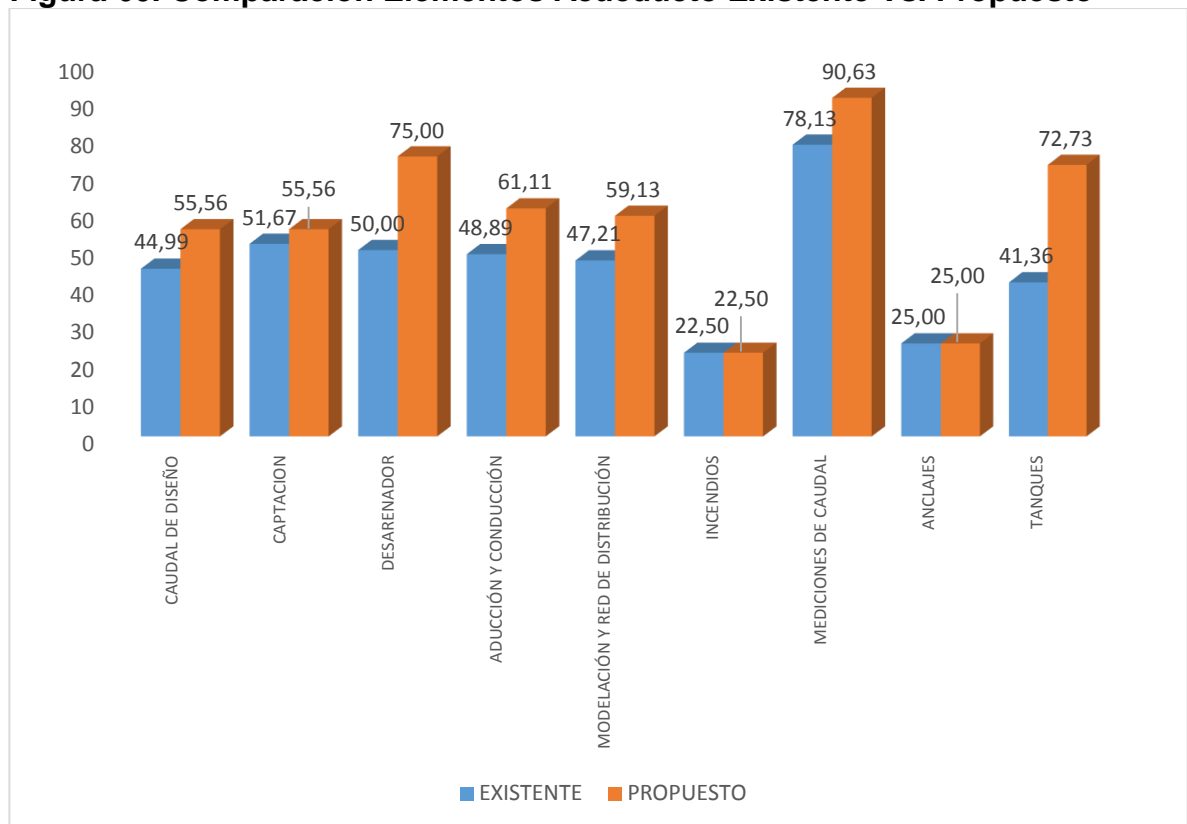
➤ Para el caudal de diseño y la captación las correcciones presentadas en el presente trabajo tienen una influencia mínima, aunque en los dos casos la implementación de las correcciones, provee un funcionamiento óptimo del 75%, ratificando un estado de funcionamiento estable.

➤ Para la aducción y la red de distribución es se implantan correcciones que tienen una influencia intermedia en donde solo podemos garantizar un crecimiento promedio del 10% para estos dos casos no se puede garantizar un mayor crecimiento debido a las condiciones del terreno y especialmente al nivel de

importancia, por lo tanto al tener una cantidad de aspectos de menor relevancia para el funcionamiento óptimo del sistema se puede concluir que estos aspectos funcionan al 70% de su capacidad optima, es necesario realizar un análisis de mayor profundidad para estos aspectos ya que al no poseer información concreta es necesario asumir valores de comportamiento del sistema así mismo también asumir buenas prácticas de construcción, estas condiciones influyen drásticamente en el valor de comportamiento de estas dos partes del sistema, no obstante al realizar las adecuaciones propuestas de dimensionamiento y trazado de la red de acueducto podemos garantizar un funcionamiento aproximado del 60%.

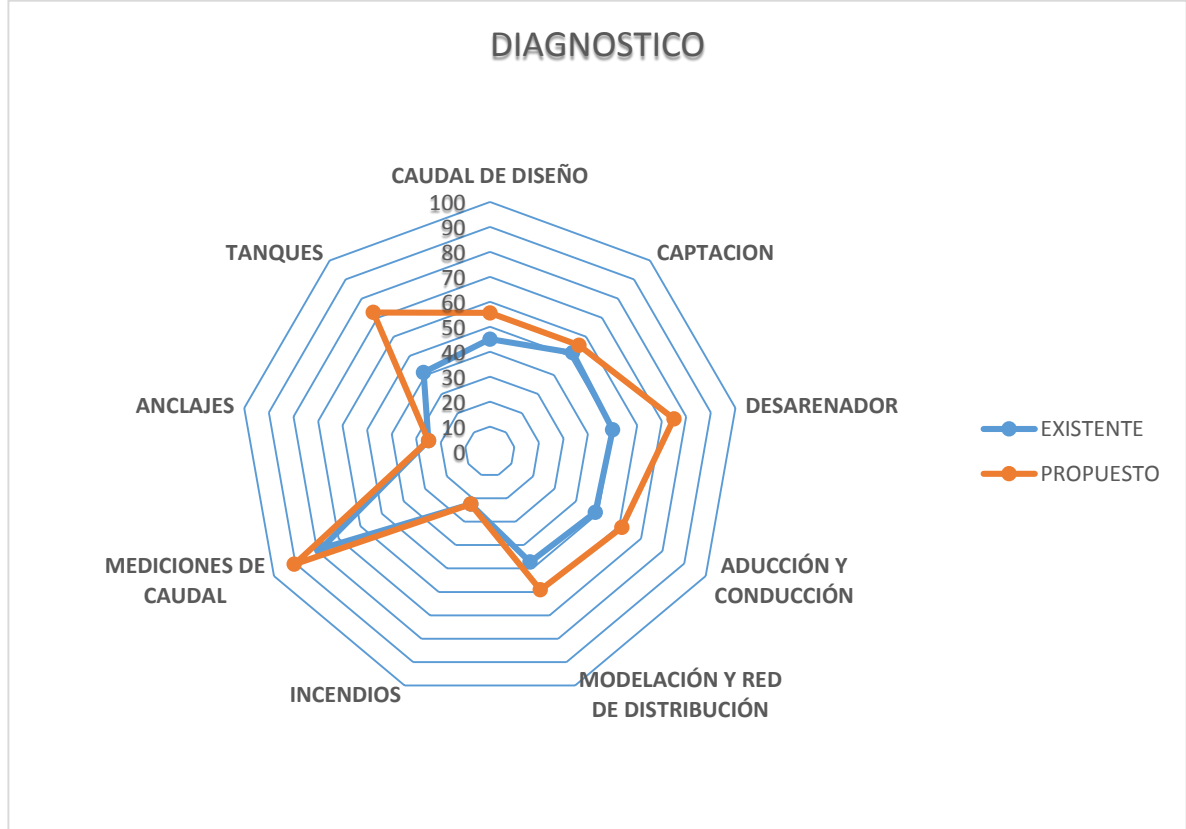
➤ Por ultimo como análisis del sistema de acueducto el que mejor tiene funcionamiento y cumple con los requerimientos de la resolución 330 de la RASS 2000 es el sistema de macro medición ya que cumpliendo a cabalidad los aspectos concernientes al sistema de acueducto tiene un desempeño del 80% aproximadamente y al realizar las modificaciones propuestas tendría un rendimiento del 90% cumpliendo satisfactoriamente con el funcionamiento del sistema (véase la Figura 59).

Figura 60. Comparacion Elementos Acueducto Existente Vs. Propuesto



Fuente. Los Autores

Figura 61. Diagnostico Elementos Acueducto Existente Vs. Propuesto



Fuente. Los Autores

En la gráfica de araña podemos evidenciar los aspectos de mejora con la condición propuesta y podemos concluir muchos aspectos del funcionamiento actual del sistema, por ejemplo que el sistema tiene un funcionamiento regular promedio del 40 al 50% promedio a excepción de la medición de caudal y que tiene un funcionamiento del 80% del sistema, también podemos evidenciar que las falencias más graves del sistema son el sistema de anclajes de la tubería de aducción y conducción y el sistema de contra incendios que es casi nulo e inexistente.

En el sistema propuesto se puede observar como con algunas modificaciones propuestas mejoran drásticamente el sistema de tanques y desarenador aumentando el área del polígono de “propuesta” en estos dos aspectos casi un 50% al realizar las modificaciones propuestas

Por otra parte los aspectos menos susceptibles a cambios con respecto a las modificaciones son captación, aducción, caudal de diseño y red de distribución por lo tanto para realizar una mejor optimización del sistema es necesario poseer más información para realizar un diagnóstico de mayor profundidad.

5. CONCLUSIONES

- Una vez finalizada la investigación se puede evidenciar algunas falencias en el sistema de abastecimiento de agua del Municipio de Tena – Cundinamarca, pues al realizar la evaluación técnica y funcional mediante inspección en visita de campo y la aplicación de matriz de valoración del nivel de cumplimiento de los requisitos establecidos por la Resolución 330 de 2017, se pudo evidenciar que el conjunto de elementos que conforman este acueducto se encuentran en condiciones regulares, principalmente por en el estado de deterioro de la infraestructura de las obras de captación, el sistema de aducción y conducción, el desarenador y los tanques, que solo cumplen con menos del 50% de los requisitos de la resolución 330, y el único elemento que se encuentra en condiciones óptimas es el elementos relacionado con las mediciones de caudal que, como se mencionó en el diagnóstico de las visita técnica los medidores se encuentran en buenas condiciones tanto físicas como de funcionamiento
- Se pudo establecer que, falta de un sistema de relevo que permita realizar el mantenimiento periódico sin afectar el suministro del servicio; además de presentarse fallas de rebose en la bocatoma, problemas de presión del suministro, falencias en la rejilla de captación y la válvula de corte, entre la cámara de recolección y la rejilla, sumado a esto se pudo establecer que varios elementos se encuentran inoperables como es el caso de las condiciones de la escalera y las válvulas de cierre.
- Así mismo, se encontraron fallas en los diseños de elementos como la bocatoma y el desarenador, que no cumplen con los dimensionamientos ni condiciones de diseño para su correcto funcionamiento, presentándose sobrecargas de caudal y desbordamiento de la cámara de aquietamiento, además de agrietamientos geométricos.
- Por otro lado, se pudo evidenciar que algunos de los elementos del acueducto se encuentran en aceptables o buenas condiciones de operatividad y funcionalidad, como es el caso de parte la presa y cámara de recolección, así como el tanque de abastecimiento y recolección de la planta de tratamiento, al igual que los medidores de caudal y el acceso al mismo.
- Por lo anterior, se planteó una propuesta de diseño del nuevo acueducto, la cual partió del análisis de la demanda y la proyección de la población, dando como resultado que la población de diseño corresponde a 1434 habitantes para un período de proyección del acueducto de 25 años y un caudal máximo diario de 2.8 l/seg, que cumplirá la demanda durante los períodos de mayor consumo, los cuales se presentan entre las 7 y 9 de la mañana; la 1 y las 2 de la tarde y, las 8 y 9 de la noche.

➤ En este aspecto cabe destacar que, en cuanto a la disponibilidad del recurso hídrico para el abastecimiento de agua al municipio, su fuente principal la quebrada Las Delicias, tiene un caudal operable de 6.0 l/s, sin embargo, en ocasiones éste presenta bajas fluctuaciones en períodos de verano intenso, disminuyendo el caudal a 5 l/s, a pesar de esto, y teniendo en cuenta el resultado de los cálculos del caudal para el diseño del acueducto, se puede concluir que la continuidad de la prestación del servicio es alta gracias al caudal de la Quebrada, el cual se mantendrá estable durante el período de diseño proyectado.

➤ En cuanto al diseño propuesto de las obras de captación y el desarenador, éstos permitirán que durante la captación y conducción del agua, se haga una mejor retención de sedimentos, evitando que éstos lleguen a la planta mejorando el tratamiento y potabilización y se garantice de esta manera que el agua que llegue a los hogares de la población del municipio esté en óptimas condiciones para su consumo.

➤ Finalmente, y para corroborar que las presiones y velocidades del suministro puedan satisfacer la demanda de agua en las horas de mayor consumo, se realizó la verificación de cálculos en el programa EPANET, encontrándose que se requiere una tubería de 3 pulgadas para que la red de distribución funcione correctamente, con presiones mínimas y máximas adecuadas en cada tramo de la tubería, garantizando un óptimo funcionamiento del sistema.

6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda como punto de partida, Presentar la propuesta de diseño planteada al municipio, para que la tengan en cuenta y/o la puedan implementar en el mediano plazo, pues como se pudo observar es un diseño adecuado, que cumple con las especificaciones técnicas exigidas por normatividad Colombiana, aunque requerirá mejoras o evaluaciones bajo un ojo de más experiencia pero se debe tener en cuenta ya que es un muy buen punto de partida para el mejoramiento del acueducto.
- Se recomendaría realizar el estudio hidráulico de las conducciones y aducciones para saber si se requiere la optimización de este sistema, ya que al realizar la evaluación y valoración no se encontraron mayores fallas.
- Se sugiere llevar a cabo una investigación en la que se analicen las diferentes características hidrológicas de las cuencas que abastecen al municipio pues no se tienen estudios suficientes y/o actualizados que faciliten información necesaria sobre el tema.
- Se sugiere que en el momento de implementar la propuesta, en las etapas constructivas, las estructuras se construyan primero de acuerdo al diseño optimizado para tener un flujo de obra de acuerdo a la capacidad económica del municipio, siendo las obras de mayor impacto las que se desarrollen primero.

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA ÁLVAREZ, Rodrigo Alfonso. Estudio para el diseño del sistema de acueducto del corregimiento del Salobre Municipio de Rio de Oro. Ocaña: Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Facultad de Ingenierías. Modalidad trabajo de grado, 2014. 124 p.

ALCALDÍA DE TENA. Informe de gestión 2012. Tena: Concejo Municipal, 2013. 110 p.

------. Plan territorial. Tena: Concejo Municipal, 2012. 98 p.

------. Planes maestros de acueducto y alcantarillado, para municipios de la cuenca del rio Bogotá. Bogotá: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2010. 87 p.

------. Portal web del municipio [en línea]. Tena: La Alcaldía [citado 18 febrero, 2018]. Disponible en Internet: <URL: http://www.tena-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml>

ARÍSTEGUI MAQUINARIA. Cómo funciona una red de abastecimiento de agua potable [en línea]. Barcelona: La Empresa [citado 5 noviembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.aristegui.info/como-funciona-una-red-de-abastecimiento-de-agua-potable/>>

CARACOL RADIO. En todos los municipios hay acueductos pero no todos funcionan bien [en línea]. Bogotá: Caracol [citado 28 octubre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: http://caracol.com.co/radio/2014/07/15/nacional/1405436040_322895.html>

CARE INTERNACIONAL-AVINA. Módulo 5. Operación y mantenimiento de sistemas de agua potable. Quito: Programa Unificado de Fortalecimiento de Capacidades, 2012. 174 p.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Fontanería Rural. Programa Cultura Empresarial 9. Bogotá: USAID, 2006. 141 p.

COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. Resolución 330 (14 febrero de 2017). Por la cual se adopta el procedimiento técnico-científico y participativo para la determinación de los servicios y tecnologías que no podrán ser financiados con recursos públicos asignados a la salud y se establecen otras disposiciones. Bogota: El Ministerio, 2000. 182 p.

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA DANE. Proyecciones de población municipales por área [en línea]. Bogotá: El DANE [citado 17 noviembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: https://www.dane.gov.co/files/.../poblacion/...20/ProyeccionMunicipios2005_2020.xls>

DE PLAZA SOLÓRZANO, Juan Sebastián. Ejercicios básicos de mecánica de fluidos e hidráulica aplicados a través del software de distribución gratuita EPANET 2.0. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia, 2017. 122 p.

EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLIN EPM. Normas de Diseño de Sistemas de Acueducto. Medellín: EPM, 2009. 136 p.

FONDO DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA INFANCIA UNICEF. El agua potable y el saneamiento básico en los planes de desarrollo [en línea]. Bogotá: UNICEF [citado 28 octubre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.unicef.org/colombia/pdf/Agua3.pdf>>

GEORGAKAKOS, Konstantine P. y GALARRAGA Sánchez, Remigio H. On Least-Cost Design of Aqueduct Systems [en línea]. Virginia: American Society of Civil Engineers [citado 28 octubre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290733-9496%281989%29115%3A4%2848%29>>

HICKEY, Harry E. Water Supply Systems and Evaluation Methods. Volume I: Water Supply System Concepts. Washington: Federal Emergency Management Agency, 2008. 255 p.

INGENIERÍA CIVIL. Principios de la hidráulica que necesitas conocer: las pérdidas de energía – parte i: pérdidas por fricción [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 22 noviembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/principios-de-la-hidraulica-que-necesitas-conocer-las-perdidas-de-energia-%E2%80%93-parte-i-perdidas-por-friccion/>>

JIMÉNEZ TERÁN, José Manuel. Manual para el diseño de sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario. México: Universidad Veracruzana. Facultad de Ingeniería Civil, 2013. 209 p.

LI, Xue Chen; YONG YE, Peng Chen y WANG, Cheng Hao. Structure Design and Mechanics Calculation of Aqueduct Model. En: Applied Mechanics and Materials. January, 2014. vol. 488

LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. 2 ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003. 541 p.

MANCHEGO BARRERA, Ana Milena y PEÑA ESPITIA, Geraldine Alexandra. Estudio geológico y caracterización geotécnica en el sector rural de las veredas helechal y Guasimal del municipio de tena departamento de Cundinamarca. Bogotá: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Escuela de ingeniería geológica. Modalidad trabajo de grado, 2018. 86 p.

MENESES GELVIS, Wilfrido. Sistemas de acueducto [en línea]. Madrid: Slideshare [citado 25 octubre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <https://es.slideshare.net/WilfridoMenesesGelvis/9-almacenamientos>>

MOLIÁ, Rafael. Abastecimiento y saneamiento urbanos. Redes de distribución [en línea]. Madrid: Escuela de Organización Industrial [citado 10 noviembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.eoi.es/es/file/18411/download?Token=gX0xQ45Q>>

PROGRAMA DE DESARROLLO AGROPECUARIO SUSTENTABLE PROAGRO. La problemática del mantenimiento de la infraestructura hidráulica mejorada. 2 ed. Cochabamba: PROAGRO, 2011. 52 p.

RAMÍREZ CARDONA, David. Análisis de las pérdidas de agua en los sistemas de abastecimiento [en línea]. Santiago de Cali: Dinámica de Sistemas [citado 28 octubre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://dinamica-de-sistemas.com/revista/1214g-dinamica-de-sistemas.pdf>>

RIVERA RODRÍGUEZ, Silvia Yaneth. Diagnóstico del sistema de abastecimiento de agua para la vereda Anatoli del municipio de La Mesa (Cundinamarca). En: Revista Teco Gestión. Agosto – Septiembre, 2006. vol. 1, no. 1.

SADOWSKI, Elaine C. y QUIMPO, Rafael G. Optimization of Water Supply System Operation. En: Journal of Water Resources Planning and Management. Septemer, 2006. vol. 122, no. 5

SANABRIA, Alfonso. Operación y mantenimiento de Sistemas de abastecimiento de agua [en línea]. Cesar: Universidad del Cesar [citado 8 noviembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://unicesar.ambientalex.info/infoCT/Sistemasdea bastecimiento.pdf>>

SÂRBU, Ioan. Optimization Of Water Distribution Networks. En: Proceedings Of The Romanian Academy. July, 2010. vol. 11, no. 4.

SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE – SENA. Operación y mantenimiento de redes de acueducto y alcantarillado. Bogotá: Dirección de Servicios Públicos de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000. 57 p.

UNESCO. Water Quality for Ecosystems and Human Health. 2 ed. New York: PNUMA, ERCE, 2008. 214 p.

VALDEZ VILORIA, Luis Felipe y PADILLA SALAZAR, Luis Eduardo. Habilitación de la red de cross para el estudio de presiones y velocidades en tuberías de distribución de agua potable. Cartagena: Universidad de Cartagena. Facultad de Ingeniería. Modalidad trabajo de grado, 2016. 114 p.