

**DIAGNÓSTICO, EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE MEJORA DEL SISTEMA DE
ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE APULO (CUNDINAMARCA)**

**IVÁN CAMILO VARELA PINEDA
CÓDIGO: 503753**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
MODALIDAD TRABAJO PRÁCTICA SOCIAL
BOGOTÁ
2018**

**DIAGNÓSTICO, EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE MEJORA DEL SISTEMA DE
ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE APULO (CUNDINAMARCA)**

**IVÁN CAMILO VARELA PINEDA
CÓDIGO: 503753**

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

**Asesor:
Guillermo Hernández Torres
Ingeniero**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
MODALIDAD TRABAJO PRÁCTICA SOCIAL
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 DEL JURADO

JURADO

JURADO

Bogotá, mayo, 2018

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. GENERALIDADES	14
1.1 ANTECEDENTES	14
1.2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	16
1.2.1 Descripción del problema	16
1.2.2 Formulación del problema	16
1.3 OBJETIVOS	17
1.3.1 Objetivo general	17
1.3.2 Objetivos específicos	17
1.4 JUSTIFICACIÓN	17
1.5 DELIMITACIÓN	17
1.5.1 Espacio	17
1.5.2 Tiempo.	18
1.5.3 Contenido	18
1.5.4 Alcance	18
1.6 MARCO DE REFERENCIA	18
1.6.1 Marco teórico	18
1.6.1.1 Sistema de abastecimiento de agua	18
1.6.1.2 Niveles de servicio en abastecimiento de agua	19
1.6.1.3 Criterios para la selección técnica de abastecimiento de agua	19
1.6.1.4 Sistemas de Acueducto	21
1.6.2 Marco conceptual	24
1.6.3 Marco legal	26
1.7 METODOLOGÍA	26
1.7.1 Fuentes de Información.	27
1.7.1.1 Fuentes Primarias	27
1.7.1.2 Fuentes Secundarias	27
1.8 DISEÑO METODOLÓGICO	27
1.8.1 Objetivo Especifico 1 Diagnostico.	27
1.8.2 Objetivo Especifico 2 Evaluación	27
1.8.3 Objetivo Especifico 3 Propuesta	28
2. DIAGNOSTICO ACUEDUCTO APULO CUNDINAMARCA	29
2.1 DESCRIPCIÓN DEL MUNICIPIO	29
2.1.1 Ubicación del municipio	29
2.1.2 Fuentes hídricas del municipio	31
2.2 CARACTERIZACION Y EVALUACIÓN COMPONENTES FÍSICOS E INFRAESTRUCTURA DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO	33
2.2.1 Puntos tomados con el GPS.	35
2.2.2 Evaluación de los componentes del sistema de acueducto	37

2.2.2.1 Bocatoma Rio Calandaima	37
2.2.2.3 Desarenador	39
2.2.2.4 Repartidor de caudales	39
2.2.2.5 Canaleta parshall	40
2.2.2.6 Cuarto de bombas principal	41
2.2.2.7 Tanque de lavado de filtros	42
2.4.2.8 Tanque principal	42
2.2.2.9 Cuarto de bombas para la vereda Meseta	42
2.2.2.10 Salida de agua para Cabecera Apulo	43
2.2.3 Hallazgos encontrados	44
3. DISEÑO DE ACUEDUCTO	45
3.1 CÁLCULO DE LA POBLACIÓN	45
3.2 CALCULO DE LA DEMANDA	47
3.2.1 Dotación neta y dotación bruta	47
3.2.2 Caudal Medio Diario	48
3.2.3 Caudal Máximo Diario.	48
3.2.4 Caudal Máximo Diario	48
3.2.5 Población de Diseño	49
3.2.5.1 Método aritmético	49
3.3 CONSUMO DE AGUA	50
3.3.1 Consumo de agua Apulo	51
3.3.2 Caudal medio diario	51
3.3.3 Caudal máximo diario	51
3.3.4 Caudal máximo horario	52
3.3.4.1 Cálculos de dotación para Tocaima	52
3.4 OBRAS DE CAPTACION	52
3.4.1 Diseño de presa	53
3.4.2 Rejilla y canal de aducción	54
3.4.2.1 Longitud de rejilla y numero de orificios	55
3.4.3 Cálculos Niveles de agua en el canal de aducción	56
3.4.4 Diseño De La Cámara De Recolección	57
3.4.5 Cálculo de altura de los muros de contención	58
3.4.6 Cálculo del caudal de excesos	58
3.5 ADUCCIÓN BOCATOMA – DESARENADOR	59
3.5.1 Diámetro de tubería	60
3.5.2 Verificación de la cota a la salida de la bocatoma	61
3.6 DISEÑO DEL DESARENADOR	65
3.6.1 Calculo de los parámetros de sedimentación	65
3.6.2 Cálculos del tanque	66
3.6.3 Condiciones de operación de los módulos	68
3.6.4 Calculo de los elementos del desarenador	68
3.6.5 Perfil hidráulico	70
3.6.6 Conducción: desarenador- tanque de almacenamiento (bomba).	71
3.6.3.1 Presión de diseño	71

3.7 BOMBEO	73
3.7.1 Cálculo de los Diámetros	74
3.7.2 Cavitación de la bomba.	76
3.7.3 Altura barométrica.	76
3.7.4 Presión de succión	77
3.8 DISEÑO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO	78
3.8.1 Volumen del tanque	78
3.8.2 Predimensionamiento del Tanque.	79
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	84
5. CONCLUSIONES	86
6. RECOMENDACIONES	87
BIBLIOGRAFÍA	88

LISTA DE CUADROS

	pág.
Tabla 1. Distribución del municipio por extensión territorial ty área de residencia	30
Tabla 2. Fuentes Hídricas Municipio Apulo	31
Tabla 3. Balance Hídrico Río Calandaima	31
Tabla 4. Ubicación Componentes Principales Acueducto de Apulo	34
Tabla 5. Datos censos municipio de Apulo	45
Tabla 6. Población Método aritmético	46
Tabla 7. Población Método Geométrico	46
Tabla 8. Población Méto d exponencial	47
Tabla 9. Población según Censos del DANE Apulo	49
Tabla 10. Población proyectada	50
Tabla 11. Población Censos del DANE Tocaima	50
Tabla 12. Proyección de la población método Aritmético	50
Tabla 13. Información para Cálculos de obras de captación	53
Tabla 14. Cálculos para el diseño de la rejilla	55
Tabla 15. Cálculo condiciones finales para el díselo de rejilla	55
Tabla 16. Cálculos niveles de agua en el canal de aducción	56
Tabla 17. Cálculos de caudal de excesos	59
Tabla 18. Condiciones de flujo tubo lleno	60
Tabla 19. Cotas definitivas y condiciones hidráulicas	63
Tabla 20. Condiciones de diseño del desarenador	65
Tabla 21. Cálculos del Tanque	67
Tabla 22. Cálculos elementos del desarenador	68
Tabla 23. Cálculo de Cotas	70
Tabla 24. Condiciones de Diseño	71
Tabla 25. Calculo del diámetro	72
Tabla 26. Cálculo de las pérdidas de energía	73
Tabla 27. Cálculos verificados	73
Tabla 28. Datos iniciales	73
Tabla 29. Caudal de diseño	74
Tabla 30. Tubería de impulsión	74
Tabla 31. Tubería de succión	74
Tabla 32. Cálculo de la altura dinámica de elevación	75
Tabla 33. Longitudes equivalentes	75
Tabla 34. Pérdida de carga total con la fórmula de Hazen- Williams	75
Tabla 35. Perdidas en la impulsión ($D_i=4'' =0,10552m$)	75
Tabla 36. Utilizando la ecuación de Hazen – Williams:	76
Tabla 37. Potencia de la bomba	76
Tabla 38. Perdidas por succión:	76
Tabla 39. Condiciones de diseño	78
Tabla 40. Cotas del Tanque	81
Tabla 41. Datos para el Cálculo de Tubería de Desagüe	81

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Componentes del Sistema de Acueducto	22
Figura 2. Marco Conceptual	25
Figura 3. Localización del Municipio	29
Figura 4. Barrios Apulo	30
Figura 5. Hidrograma Río Calandaima (1992-2012)	32
Figura 6. Distancia entre Bocatoma – Desarenador: 188m	35
Figura 7. Distancia entre Desarenador – Repartidor de Caudales: 10500m	35
Figura 8. Distancia entre Reparador de caudales – Tanque de succión: 130m	36
Figura 9. Distancia entre Tanque de succión – Macromedidor (tanque de distribución principal): 282m	36
Figura 10. Bocatoma Rio Calandaima	37
Figura 11. Rejilla bocatoma Acueducto	38
Figura 12. Tubería Canal de Aducción Acueducto	38
Figura 13. Desarenador	39
Figura 14. Repartidor de Caudales	40
Figura 15. Canaleta Parshall	40
Figura 16. Tanque de Agua para Bombeo	41
Figura 17. Cuarto de Bombas	41
Figura 18. Tanque de lavado de filtros	42
Figura 19. Tanque Principal	42
Figura 20. Cuarto de bombas Suministro de agua para la Vereda	43
Figura 21. Punto de Salida de Agua para Abastecer al Municipio	43
Figura 22. Canal de Aducción requerido para el nuevo diseño del acueducto	54
Figura 23. Diseño de Rejilla	56
Figura 24. Cálculos niveles de agua en el canal de aducción	57
Figura 25. Cámara de recolección	58
Figura 26. Aducción Bocatoma - Desarenador	59
Figura 27. Bocatoma	64
Figura 28. Diseño Final de la Bocatoma	64
Figura 29. Conducción desarenador- tanque de almacenamiento (bomba)	71
Figura 30. Curva característica de la bomba	77
Figura 32. Tanque	80

LISTA DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1. Método Aritmético.	45
Ecuación 2. Método Geométrico.	46
Ecuación 3. Cálculo Tasa de crecimiento anual método geométrico	46
Ecuación 4. Cálculo Tasa de crecimiento anual método exponencial	46
Ecuación 5. Método exponencial	47
Ecuación 6. Cálculo dotación bruta	47
Ecuación 7. Calculo caudal media diario	48
Ecuación 8. Cálculo caudal máximo diario	48
Ecuación 9. Cálculo caudal máximo diario	48
Ecuación 10. Cálculo población Método aritmético	49
Ecuación 11. Cálculo de dotación bruta	51
Ecuación 12. Cálculo caudal medio diario	51
Ecuación 13. Cálculo caudal máximo diario	51
Ecuación 14. Cálculo caudal máximo horario	52
Ecuación 15. Cálculo de lámina de agua	53
Ecuación 16. Cálculo de corrección por dos contracciones	53
Ecuación 17. Velocidad del río sobre la presa	54
Ecuación 18. Cálculo caudal de aducción alcance de chorro	54
Ecuación 19. Cálculo de cámara de recolección	57
Ecuación 20. Cálculo de ancho de la cámara	57
Ecuación 21. Altura de la lámina de agua en la garganta de la bocatoma:	58
Ecuación 23. Ecuación de Manning para cálculo de pendiente	60
Ecuación 24. Cálculo diámetro de tubería	60
Ecuación 25. Cálculo del Esfuerzo Cortante	61
Ecuación 26. Cálculo cota a la salida de la bocatoma	61
Ecuación 27. Ecuación de Manning para cálculo de pendiente	62
Ecuación 28. Cálculo diámetro de tubería	62
Ecuación 29. Calculo cota de salida de la bocatoma	63
Ecuación 30. Caudal exceso máximo	63
Ecuación 31. Cálculo de velocidad de sedimentación en la partícula	65
Ecuación 32. Cálculo de Tiempo de Llegada de la partícula al fondo del desarenador	66
Ecuación 33. Cálculo de la velocidad de tubería de entrada	70
Ecuación 34. Cálculo Cavitación de la bomba	76
Ecuación 35. Cálculo Presión de succión	77
Ecuación 36. Cálculo volumen de tanque de regulación	78
Ecuación 37. Volumen tanque elevado	78
Ecuación 38. Volumen tanque de succión	78
Ecuación 39. Volumen para incendio	79
Ecuación 40. Volumen de emergencia	79
Ecuación 41. Tanque elevado	79

Ecuación 42. Altura de Regulación	81
Ecuación 43. Cálculo Resultado Adimensional	82
Ecuación 44. Cálculo caudal	82
Ecuación 45. Velocidad de tubería de desagüe	82
Ecuación 46. Ecuación de descarga de orificio	82
Ecuación 47. Tiempo de vaciado	83

INTRODUCCIÓN

El abastecimiento de agua potable, es un elemento fundamental para el desarrollo de las comunidades en zonas rurales o municipales, siendo indispensable para la vida de las personas y para la realización de sus actividades económicas. Sin embargo, los sistemas de acueducto encargados del suministro de este recurso no siempre satisfacen las necesidades de los consumidores, razón por la que se generan inconformidades. Este trabajo de investigación consiste en el diagnóstico y evaluación de un sistema de acueducto municipal, cuyo propósito es identificar las fallas que éste presente y sus razones, con el fin de diseñar una propuesta de mejoramiento con la cual se optimice su operación de manera tal que se garantice el suministro, distribución y cobertura permanente de agua potable a la población.

La investigación se realizará en el Municipio de Apulo que se encuentra localizado al sur- occidente del Departamento de Cundinamarca, pertenece a la provincia del Tequendama, a una distancia de 101 KM de Bogotá, sobre la vía que conduce a Girardot (vía La Mesa). Este municipio esta” bañado por los ríos Apulo, Calandayma y Bogotá, sin embargo, el agua de los ríos Apulo y Bogotá no son aptas para el consumo humano. Existen otras fuentes hídricas como Laguna de Salcedo que en la actualidad ha disminuido su espejo de agua en un 60 %, Quebrada la Yeguera, el Trueno, Nacadero de Naranjalito, de las cuales se abastece el acueducto para el suministro de agua a la población”¹. Se ha elegido este Municipio ya que, en la actualidad presenta problemas en su sistema de abastecimiento y bombeo, lo que ha generado que la población no cuente de manera permanente con el suministro de agua, así mismo se vienen presentando sobre costos de operación, por tanto, se observa una oportunidad para implementar los conocimientos adquiridos y presentar opciones de mejoramiento.

El desarrollo de la investigación contempló visitas técnicas de inspección con las que se hizo el diagnóstico y evaluación de la infraestructura, obras civiles y operación del acueducto, además se analizó la capacidad y funcionamiento del mismo, determinando los aspectos o factores que generaron su deterioro o falencias. Esta actividad se desarrolló teniendo en cuenta los referentes normativos y teóricos que aplican para el tema de investigación.

Finalmente, se sugieren alternativas de mejora que puedan ser aplicadas y puestas en marcha en el corto y mediano plazo en el acueducto y así disminuir el nivel de afectación que se presenta actualmente en la población.

¹ COLOMBIA TURISMO. Información municipio de Apulo [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 13 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.colombiaturismoweb.com/DEPARTAMENTOS/CUNDINAMARCA/MUNICIPIOS/APULO/APULO.htm>>

1. GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

Al hablar sobre abastecimiento de agua, es innegable la necesidad de mencionar el papel de los acueductos en esta labor, ya que es a través de éstos que se espera desarrolla un suministro eficiente y adecuado. Sin embargo, en países como Colombia, se observa que los sistemas acueducto, especialmente en las zonas rurales, es deficiente, por tanto, se quiere desarrollar una investigación sobre el sistema de acueducto del Municipio de Apulo Cundinamarca, en donde se realizará el diagnóstico y evaluación de éste, con el fin de identificar falencias o fallas y así diseñar una propuesta de mejoramiento que permita optimizar su funcionamiento y satisfaga las necesidades de la población. Por lo anterior, y como medio para contextualizar la temática a estudiar, se ha tomado como punto de partida los aportes de otros trabajos.

Para empezar, se tiene el trabajo de grado titulado “Optimización del Acueducto por Gravedad del Municipio de Timaná (Huila)”, cuyo propósito fue evaluar la ubicación y naturaleza de las fuentes de abastecimiento del Municipio, así como de la topografía de la región para establecer criterios que sirvieron para la valoración de las alternativas de diseño del acueducto, ofreciendo estructuras funcionales a bajos costos económicos. Así mismo en esta investigación se determinó que “Todo sistema de abastecimiento de agua se proyecta de modo que atienda las necesidades de una población durante un período determinado. Cuando dichos sistemas no satisfacen estas necesidades y afectan de algún modo su funcionamiento ya sea por el deterioro de sus estructuras o crecimiento de la población, se hace necesario evaluar y diseñar nuevas alternativas que puedan corregir problemas y dar soluciones al sistema”².

Así mismo, se tiene el trabajo titulado “Diagnóstico del sistema de acueducto del municipio Puerto Salgar (Cundinamarca)”, en éste, se desarrolló un estudio para “medir, establecer, evaluar y caracterizar particularidades de las necesidades presentadas del sistema de acueducto del municipio que permitieron identificar las causas que generan las falencias en el sistema y los efectos presentados en la prestación del servicio de suministro de agua potable”³. Igualmente, la investigación estableció que, con el diagnóstico del sistema y otras variables como la densidad poblacional y la proyección de su crecimiento, se pueden realizar simulaciones, para establecer las estrategias de intervención en el acueducto de acuerdo con las necesidades o potencialidades del sistema que abastece la

² BENAVIDES GARZÓN, David Leonardo; CASTRO MOLANO, Mildred Yohana y VIZCAÍNO CAGÜEÑO, Hernán Mauricio. Optimización del acueducto por gravedad del municipio de Timaná (Huila). Bogotá: Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería Civil. Modalidad trabajo de grado, 2006. p. 6

³ HERNÁNDEZ PLATA, Diego Armando. Diagnóstico del sistema de acueducto del municipio Puerto Salgar (Cundinamarca). Bogotá: Universidad de La Salle. Facultad de Ingeniería. Modalidad trabajo de grado, 2011, p. 13

población obteniendo la cobertura total y calidad de servicio.

Por otro lado, la empresa Ingeniería Civil y Ambiental, hace énfasis en su artículo “Diseño de acueductos para llevar agua potable a las comunidades”, que para crear una infraestructura adecuada para el suministro de agua se requiere desarrollar actividades altamente calificadas con las cuales se puedan “diseñar acueductos que verdaderamente solucionen las necesidades de una población, sea grande o pequeña, y que estén acordes al capital que la misma tiene para invertir en ello”⁴, recalcando que el desarrollo económico y social de una comunidad, depende en gran medida de poder contar con un servicio de acueducto óptimo. Además, hacen referencia a algunos factores como la transformación en la economía y en el desarrollo social de la comunidad para la cual fue diseñado, el desgaste o daños de las estructuras con las que se fabricaron los acueductos y el desarrollo del mismo proyecto como tal, ampliaciones o mejoras; que son fundamentales para diseñar un nuevo sistema de abastecimiento de agua u optimizarlo, para que éste funcione con eficiencia; finalmente, hacen mención sobre la relevancia de la cantidad de agua que vaya a entregar el acueducto, y que es determinante en el diseño del mismo, por lo cual se hace necesario diagnosticar el período, la población, el área y la hidrología del diseño entre otros.

Finalmente, se quiere incorporar como antecedente de esta investigación el manual de Operación y Mantenimiento de sistemas de agua potable, en el que se comenta que la operación y mantenimiento son acciones fundamentales para el funcionamiento y durabilidad de los sistemas de agua, su adecuada planificación y ejecución, explicando que “una adecuada operación y mantenimiento sumados a una correcta composición del sistema, pueden ser garantía de un servicio de calidad. En cambio, deficiencias en estos niveles pueden redundar en que la población acceda a agua de mala calidad”⁵. Así mismo en este manual se explican en detalle los distintos componentes de un sistema de acueducto, así como las acciones básicas de operación y mantenimiento, contextualizándolos en distintos medios y realidades geográficas y sociales, permitiendo de esta manera identificar falencias o fallas que puedan ser solucionadas a tiempo.

Los trabajos anteriores son solo algunos de los aportes de investigaciones que proporcionan una visión sobre la importancia de abordar este tema en forma teórica práctica, con miras a brindar soluciones de afectaciones o problemáticas reales que se presentan en relación a los sistemas de acueductos para el abastecimiento de agua en zonas rurales o municipales.

⁴ INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL. Diseño de acueductos para llevar agua potable a las comunidades [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 11 septiembre, 2017]. Disponible en Interet: <URL: <http://www.ingenieriacivil.yambiental.com/servicios/1-dise%C3%B1o-de-acueductos>>

⁵ CARE Internacional-Avina. Operación y mantenimiento de sistemas de agua potable. Quitó: Programa Unificado de Fortalecimiento de Capacidades, 2012. p. 6

1.2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Descripción del problema. El Departamento de Cundinamarca, presenta un déficit de sistemas de acueducto y abastecimiento de agua en gran parte de sus municipios. Según datos de la Superintendencia de Servicios “el 70% de los municipios del departamento toman agua que no es apta para el consumo humano, y la prestación del servicio es deficiente, pues mientras que el 94% de los hogares de Cundinamarca tienen conexión a un acueducto, no a todos les llega el servicio, y según estadísticas en el departamento no se llega, ni siquiera, a las 8,5 horas de continuidad en el suministro de agua”⁶.

Uno de éstos, es el Municipio de Apulo, que en la actualidad presenta problemas de bombeo y suministro de agua en su sistema de acueducto, razón por la cual el servicio no llega a toda la población, o llega en forma inadecuada, no siendo suficiente para el desarrollo de las actividades cotidianas que requieren del abastecimiento de agua potable.

Esta situación se puede estar generando porque la estructura pudo haber llegado al final de su vida útil, teniendo en cuenta que los acueductos son construidos para funcionar hasta determinado período de tiempo, esto sumado al crecimiento de la población, factores operacionales que van deteriorando los elementos que conforman el acueducto y la falta de mantenimiento, han ocasionado que se produzca además de una mala prestación del servicio a la población, pérdidas del recurso, sobre costos operativos, entre otros; por lo tanto se hace necesario evaluar las condiciones de infraestructura, obras civiles y funcionamiento del acueducto de este municipio, para poder precisar cuáles son los aspectos que están provocando las fallas en su funcionamiento y de esta manera proponer un plan de mejoramiento y optimización en el cual además, se tengan en cuenta elementos como el crecimiento de la población y la demanda real de suministro de agua, lo que permitiría proyectar y construir un sistema flexible y eficiente.

1.2.2 Formulación del problema. El desarrollo del trabajo pretende dar respuesta a la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo optimizar la operación del acueducto del Municipio de Apulo Cundinamarca, garantizando el suministro, distribución y cobertura permanente de agua a la población?

⁶ DIARIO EL TIEMPO. El agua: gran problema para Cundinamarca [en línea]. Bogotá: El Tiempo [citado 12 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-4344420>>

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general. Diseñar una propuesta técnica para el mejoramiento de la operación del sistema de acueducto en el Municipio de Apulo, Cundinamarca.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Identificar el estado actual del sistema de acueducto del Municipio de Apulo, mediante la evaluación general de la estructura y obras civiles, con el fin de determinar su funcionamiento actual.
- Analizar técnicamente la capacidad, funcionamiento y operación de las obras hidráulicas que conforman la red del acueducto del municipio.
- Diseñar la propuesta de mejora para la operación del sistema de acueducto de Apulo, con el fin de lograr la optimización de sus componentes.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Esta investigación se desarrolla como forma de aportar al mejoramiento de las condiciones y calidad de vida de las comunidades rurales del territorio colombiano, específicamente el Municipio de Apulo, teniendo en cuenta que el agua es un elemento vital no sólo para las personas, sino para el desarrollo económico de estas zonas, siendo el abastecimiento de agua potable un elemento fundamental para realizar sus actividades sin ningún problema; para lo cual es importante que los sistemas de acueductos sean evaluados periódicamente, así se podrán identificar falencias o fallas en los mismos, que afectan el suministro y la calidad del servicio, y que permitan desarrollar acciones de mejora que permitan optimizar el servicio que presta el acueducto.

Igualmente, como futuros ingenieros Civiles, la realización de este tipo de trabajos consolida los conocimientos teóricos adquiridos poniéndolos en práctica, para generar aportes significativos al desarrollo del país, y en especial las zonas rurales que se ven constantemente afectadas por la deficiencia de los sistemas de acueducto, y lograr una prestación eficiente, competitiva y sostenible en la prestación de los servicios públicos.

1.5 DELIMITACIÓN

1.5.1 Espacio. El trabajo fue desarrollado en el Municipio de Apulo Cundinamarca, más exactamente en las instalaciones del acueducto que cubre el casco urbano en donde se realizaron las visitas técnicas para la recopilación de información. De igual manera se desarrolló en la ciudad de Bogotá en las Instalaciones de la Universidad Católica de Colombia, en donde se procesó y analizó la información recopilada en las visitas técnicas y se diseñará la propuesta.

1.5.2 Tiempo. El desarrollo del trabajo se hizo en un lapso de tiempo de 3 meses comprendidos entre el 1 de febrero hasta el 2 de mayo de 2018.

1.5.3 Contenido. En la investigación se podrá encontrar el siguiente contenido:

- Caracterización y Diagnóstico del sistema de acueducto actual del municipio
- Evaluación de la infraestructura y funcionamiento del sistema actual del municipio
- Diseño de la propuesta de mejoramiento del sistema de acueducto

1.5.4 Alcance. Se realizará la evaluación y análisis de los principales componentes del sistema de acueducto del municipio de Apulo, de la mano con la información recolectada y suministrada sobre el sistema. Principalmente el estudio será enfocado a los siguientes componentes:

- Obras de captación
- Sistema de aducción
- Desarenador
- Sistema de Bombeo.
- Tanque de distribución.

Así mismo se realizarán los estudios necesarios obteniendo información detallada de cada uno de estos componentes, así como su funcionamiento y operación. Con la información recolectada se llegará a obtener una propuesta de mejora, que permita un mejor funcionamiento de sus componentes, en particular el sistema de bombeo.

1.6 MARCO DE REFERENCIA

1.6.1 Marco teórico.

1.6.1.1 Sistema de abastecimiento de agua. Un sistema de abastecimiento de agua es aquel que recoge el agua desde la fuente de captación, que puede ser una naciente u ojo de agua; un pozo o un río y la lleva, a través de tuberías, a cada una de las viviendas o hacia una fuente de uso público. Las fuentes públicas tienen como propósito abastecer a aquellas personas que no tienen agua en su casa.

El sistema de agua lo conforman los diferentes elementos y componentes de la obra física así como las actividades que se realizan para el adecuado tratamiento, almacenamiento y distribución del agua. De acuerdo con la Universidad Popular del Cesar, “El diseño, construcción y administración del acueducto se deben planificar con mucho cuidado para garantizar que el agua que llega a las familias

sea agua limpia y apta para el consumo humano. El sistema de abastecimiento tiene como beneficio adicional ahorro de tiempo y esfuerzo”⁷.

1.6.1.2 Niveles de servicio en abastecimiento de agua.

➤ **Público o multifamiliar.** Reciben el servicio a través del acceso a pequeñas fuentes de abastecimiento de agua de uso exclusivo, o a partir de piletas públicas abastecidas por una red. Las familias deben transportar el agua hasta su domicilio.

➤ **Conexión domiciliaria o familiar.** Reciben el servicio individualmente en sus viviendas, por medio de conexiones domiciliarias conectadas a una red pública. Ésta puede estar ubicada: fuera de la vivienda (un punto de agua al exterior de la vivienda) o dentro de la vivienda (conexión con módulos sanitarios).

El nivel de servicio debe ser de acuerdo a las necesidades de las familias, pero se ve influenciado por la capacidad de la fuente, el monto de la inversión disponible, los costos de operación y mantenimiento y la capacidad técnica y económica de los usuarios. Así mismo, la Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental, expone que, “el nivel de servicio con conexión domiciliaria dentro de la vivienda es el que proporciona mayor garantía sanitaria al usuario, ya que disminuye el requerimiento de almacenamiento intra domiciliario del agua y los riesgos de contaminación asociados a esa práctica”⁸.

1.6.1.3 Criterios para la selección técnica de abastecimiento de agua. Los criterios para la selección de la opción técnica para el abastecimiento de agua potable, se refieren básicamente a aspectos técnicos, económicos, sociales y culturales.

➤ Factores Técnicos

✓ **Dotación.** Este factor está vinculado con el nivel de servicio y se han considerado los siguientes rangos:

– Mayor de 40 l/hab/día: provisión del servicio público de abastecimiento de agua mediante conexiones domiciliarias.

– De 20 a 40 l/hab/día: suministro comunitario a través de obras públicas; y

⁷ UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR. Operación y mantenimiento de sistemas de abastecimiento de agua [en línea]. Valledupar: Portal Ambiental Ambientalex [citado 9 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <<http://unicesar.ambientalex.info/infoCT/Sistemasdeabastecimiento.pdf>>

⁸ BIBLIOTECA VIRTUAL DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y SALUD AMBIENTAL. Guía de orientación en Saneamiento Básico. Sistemas de agua y saneamiento rural [en línea]. Washington: Organización Panamericana de la Salud [citado 9 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/2-3sas.htm#arriba>>

- En el caso de emplearse otras soluciones técnicas como pozos con bomba manual, sistemas cuya fuente es agua de lluvia, manantiales protegidos, se podrá considerar dotaciones menores de 20 lt/hab/día.

Estos valores son referenciales e indican rangos de dotación que pueden ser variados en función de las condiciones culturales, económicas, climáticas, etc. del lugar de intervención.

✓**Fuente.** Las fuentes de abastecimiento de agua se clasifican en función de su procedencia y facilidad de tratamiento como:

Superficial: lagos, ríos, canales, etc.;

Subterránea: aguas subálveas y profundas; y

Pluvial: aguas de lluvia.

✓**Rendimiento de la Fuente.** Determina la cantidad y disponibilidad de agua que puede ser destinada al abastecimiento, y permite definir el nivel de servicio al que puede acceder la comunidad a ser beneficiada.

✓**Tipo de Fuente Subterránea.** Las aguas subterráneas y profundas pueden ser captadas por medio de manantiales de ladera o de fondo, galerías filtrantes y pozos perforados o excavados

✓**Ubicación de la Fuente.** La fuente de agua puede estar ubicada por encima o por debajo de la localidad y permite definir si el abastecimiento es por gravedad o por bombeo.

➤**Factores Sociales.**

✓**Características de la población.** Están vinculadas con la distribución espacial de la población y puede ser:

Concentrada: corresponde a viviendas agrupadas formando calles y vías que determinan un crecimiento con tendencia a un núcleo urbano; y

Dispersa: con viviendas distanciadas unas de otras y sin un orden de desarrollo preestablecido.

➤**Factores Económicos.**

✓**Condición económica.** Es un factor que permite definir la opción técnica y el nivel de servicio, al afectar directamente el monto de inversión para la construcción del sistema y los gastos de administración, operación y mantenimiento. Teniendo en cuenta los niveles de ingresos económicos de las poblaciones a ser atendidas, la condición puede ser:

- “Baja: Cuando los ingresos familiares corresponden a la mitad o menos del valor de la canasta familiar básica.

- Medio: Corresponde a ingresos familiares equivalentes entre la mitad y el valor de la canasta familiar básica.

- Alta: Cuando los ingresos familiares superen el valor de la canasta familiar básica”⁹.

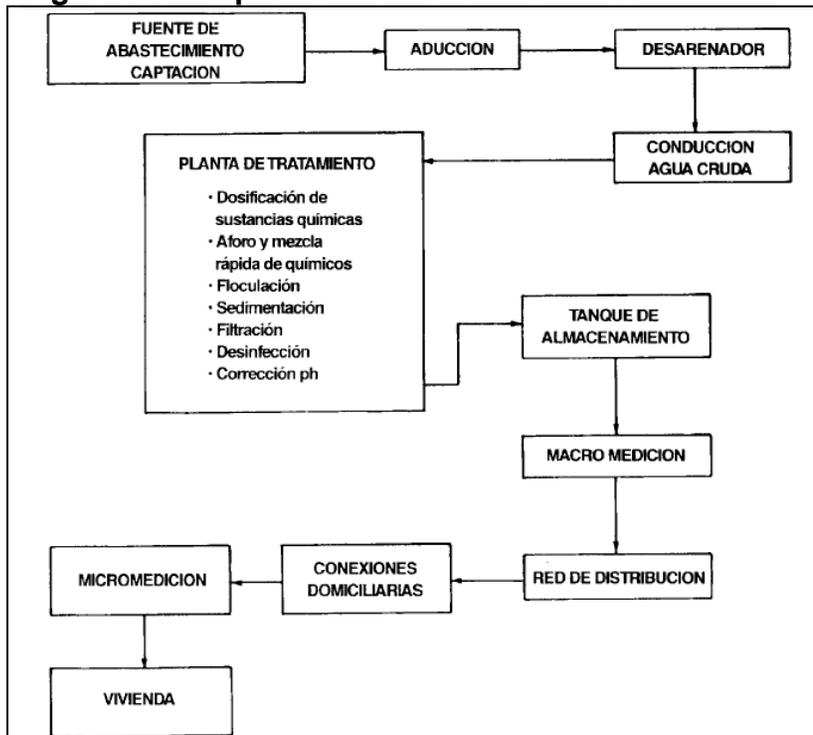
1.6.1.4 Sistemas de Acueducto. El diseño de acueductos debe verdaderamente solucionar las necesidades de una población, sea grande o pequeña, y que estén acordes al capital que la misma tiene para invertir en ello, por tanto, es necesario saber calcular la presión, la velocidad; y el tamaño y mejor ubicación de las tuberías y obras de concreto como tanques de almacenamiento y captaciones. En este sentido, la Universidad Popular del Cesar manifiesta que “El diseño del acueducto debe contemplar además, estudios topográficos de la zona, para conocer distancias, altitudes y la localización de las viviendas e instalaciones comunales a donde se quiere llevar agua”¹⁰.

➤**Componentes del sistema de Acueducto.** Es el conjunto de instalaciones, equipos y personas que se requiere para el funcionamiento y operación de un acueducto. A continuación, se muestran los componentes de un sistema de acueducto de agua potable (véase la Figura 1):

⁹ FUNDACIÓN PARA EL DESARROLLO SOCIOECONÓMICO Y RESTAURACIÓN AMBIENTAL. Criterios para la selección técnica de abastecimiento de agua [en línea]. Bogotá: La Fundación [citado 12 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.fundesyram.info/biblioteca.php?id=3966>

¹⁰ UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR. Operación y mantenimiento de sistemas de abastecimiento de agua [en línea]. Valledupar: Portal Ambiental Ambientalex [citado 9 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <<http://unicesar.ambientalex.info/infoCT/Sistemasdeabastecimiento.pdf>>

Figura 1. Componentes del Sistema de Acueducto



Fuente. SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE SENA. Sistemas de acueductos. Bogotá: SENA, 2011. p. 8

➤ **Obras de Captación.** Las captaciones o tomas son estructuras de cemento que tienen como propósito recoger el agua de manantiales y escorrentías para llevarla al tanque de almacenamiento con el fin de abastecer a las comunidades. Las captaciones se clasifican en dos:

✓ **Captaciones de aguas subterráneas:** son las que utilizan las fuentes superficiales como las nacientes, así como las sub-superficiales como drenajes o pozos de poca profundidad o acuíferos separados por medio de la perforación de pozos profundos.

✓ **Captaciones de aguas superficiales:** son las que usan escorrentías y depósitos superficiales como ríos, lagos y embalses. Su captación se hace mediante represas, canales, pozos y drenajes.

✓ **Tomas de fondo:** son las que se extienden transversalmente, o sea de lado a lado del río. Un ejemplo de este tipo de tomas son las represas, las cuales tienen un canal en la parte de arriba con una rejilla de metal diseñada para el paso del agua.

✓ **Tomas laterales:** se ubican al margen del río y tienen una rejilla de metal colocada de forma vertical. Algunas tienen una estructura dentro del cauce que desvía el agua hacia la captación. La forma de las captaciones varía de acuerdo

con la topografía del terreno y el tipo de sistema que se va a instalar. Estas captaciones pueden ser:

Cerradas: se usan en tomas de agua construidas en vertientes o en los nacimientos de agua.

Abiertas: se usan en ríos o quebradas. Su posición puede ser lateral o transversal al cauce. Esta toma ofrece la posibilidad de captar tanta agua como se necesite para el buen funcionamiento del sistema.

✓**Por pozos:** Los pozos permiten la utilización de aguas subterráneas. En este sistema, el agua se extrae del pozo y, con ayuda de una bomba, se eleva al tanque de almacenamiento.

➤**Líneas de conducción.** Es la tubería que conduce el agua desde la fuente hasta el tanque de almacenamiento, por eso se llama línea de conducción. Existen dos tipos:

✓**Línea aductora:** es la que se usa en sistemas de abastecimiento de agua por gravedad para unir la captación de agua al tanque de almacenamiento.

✓**Línea de impelencia:** cumple la misma función solo que en este caso funciona por bombeo por estar ubicado el tanque más alto que la toma.

➤**Tanque de almacenamiento.** El tanque de almacenamiento o distribución ayuda a asegurar el abastecimiento de agua, al permitir almacenarla para utilizarla en las horas y épocas de mayor demanda.

El reservorio de agua también evita tener que suspender el servicio mientras se hacen reparaciones o actividades de mantenimiento en la captación o en la conducción. Los tanques 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.

➤**Desarenador.** Cuando el agua viene de ríos o quebradas, es común que arrastre arena o materia orgánica. Para eliminarla es necesario construir, entre la fuente o captación y el tanque de distribución, un desarenador que retenga los sedimentos para que no lleguen al tanque de almacenamiento y no dañen las válvulas ni las llaves. El desarenador es un recipiente grande donde el agua circula despacio para que los sedimentos se vayan hasta el fondo por su propio peso.

➤**Hipoclorador.** El hipoclorador es un pequeño tanque ubicado en la parte superior del tanque de almacenamiento. En este se coloca la solución a base de cloro que se usa para desinfectar el agua del reservorio.

➤ **Red de distribución.** Está formada por tubería más delgada que va de la línea de conducción hasta las conexiones domiciliarias o las fuentes públicas.

➤ **Válvulas.** Son instrumentos mecánicos que tienen como función cerrar, abrir o regular la salida del agua.

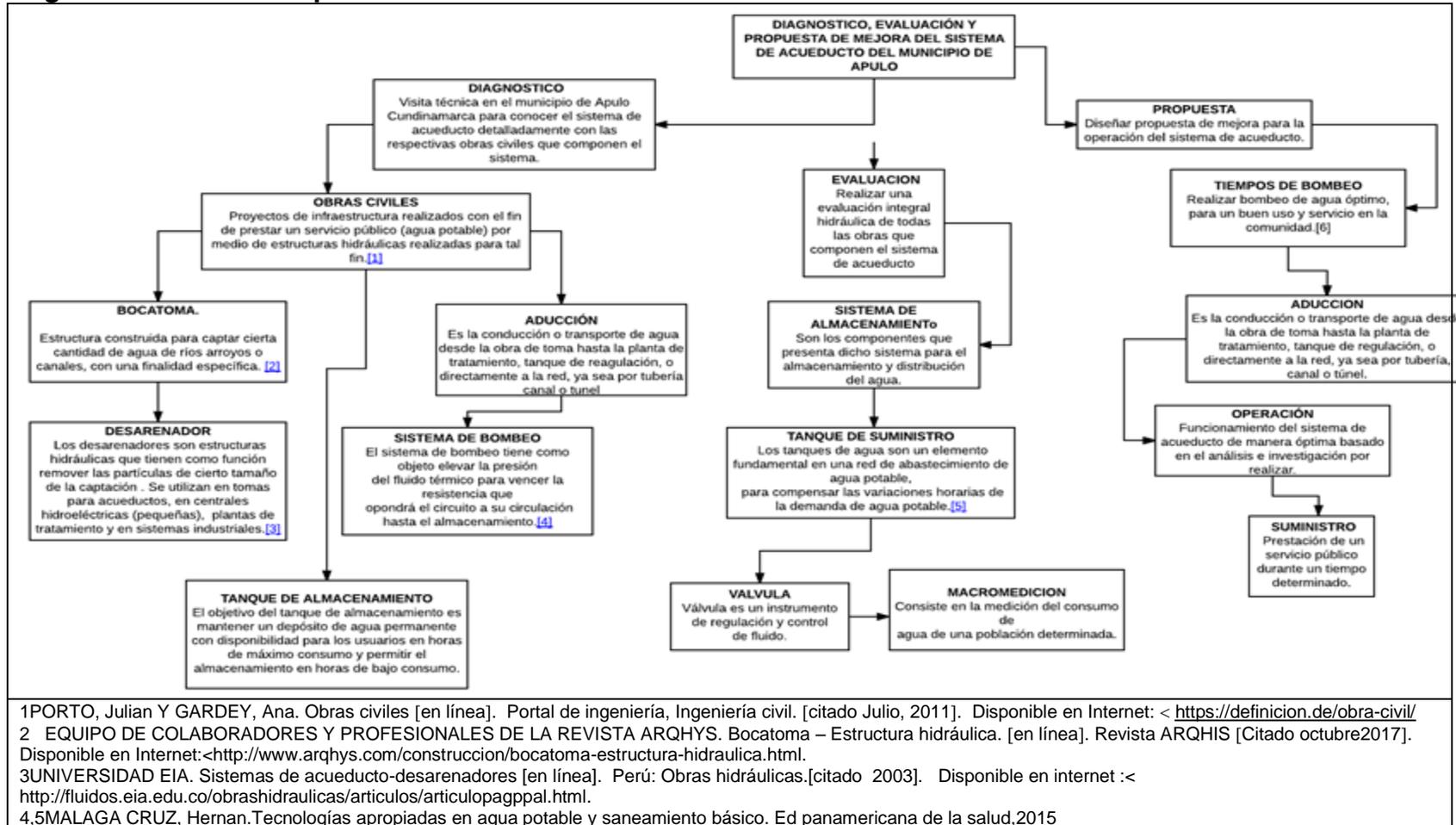
Las válvulas, así como las llaves deben protegerse dentro de cajas construidas, especialmente para este fin, con tapa de metal o cemento. Estas cajas deben estar enterradas o protegidas para que no les pasen por encima.

➤ **Micromedición.** Medir el consumo de agua es la mejor forma para garantizar un pago equitativo por el servicio de agua potable. La medición trae también beneficios ambientales al fomentar la conservación y uso eficiente del agua potable. Al usarse menos agua, hay menor cantidad de aguas residuales y por lo tanto también se reduce la contaminación. “La micromedición permite establecer un marco de operación que favorece la transparencia en el trato al usuario o usuaria, la distribución equitativa del agua y el pago justo por el servicio que ofrece. Además, permite detectar cuando hay un consumo inusual o fugas en el sistema. La medición ayuda a la administración a controlar el desperdicio de agua”¹¹.

1.6.2 Marco conceptual. A continuación, se relacionan los aspectos más importantes y sobresalientes relacionados con el trabajo de investigación (véase la Figura 2).

¹¹ UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR. Operación y mantenimiento de sistemas de abastecimiento de agua [en línea]. Valledupar: Portal Ambiental Ambientalex [citado 9 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <<http://unicesar.ambientalex.info/infoCT/Sistemasdeabastecimiento.pdf>

Figura 2. Marco Conceptual



1PORTO, Julian Y GARDEY, Ana. Obras civiles [en línea]. Portal de ingeniería, Ingeniería civil. [citado Julio, 2011]. Disponible en Internet: < <https://definicion.de/obra-civil/>>

2 EQUIPO DE COLABORADORES Y PROFESIONALES DE LA REVISTA ARQHYS. Bocatoma – Estructura hidráulica. [en línea]. Revista ARQHIS [Citado octubre2017]. Disponible en Internet:<<http://www.arqhys.com/construccion/bocatoma-estructura-hidraulica.html>>.

3UNIVERSIDAD EIA. Sistemas de acueducto-desarenadores [en línea]. Perú: Obras hidráulicas.[citado 2003]. Disponible en internet :< <http://fluidos.eia.edu.co/obrashidraulicas/articulos/articulopagppal.html>>.

4,5MALAGA CRUZ, Hernan.Tecnologías apropiadas en agua potable y saneamiento básico. Ed panamericana de la salud,2015

Fuente. Los Autores

1.6.3 Marco legal. La normatividad contemplada para la elaboración del diseño del sistema de acueducto se basará en las siguientes normas:

➤ Resolución 330 DE 2017, Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. 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.

➤ Decreto No. 475 de Marzo 10 Normas técnicas de calidad del agua potable. Este decreto contiene las normas organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas de la calidad del agua potable o agua segura. Se dan los valores admisibles del contenido de las diferentes características que puede contener el agua, sin que ésta llegue a tener implicaciones sobre la salud humana o en algunos casos implicaciones económicas. También se presentan las pruebas de laboratorio mínimas que las personas que prestan el servicio público de acueducto deben practicar al agua, y las obligaciones de quienes estén a cargo del suministro del agua potable.

➤ Decreto No. 849 de Abril 30 Reglamentación del artículo 78 de la Ley 715 de 2001. El objeto del presente decreto reglamentario es definir los requisitos que deben cumplir los municipios y distritos en materia de agua potable y saneamiento básico, y los procedimientos que deben seguir dichos entes y la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, SSPD, para la expedición de la certificación que permita el cambio de la destinación de los recursos que la Ley 715 de 2001 ha estipulado inicialmente para el desarrollo y ejecución de las competencias asignadas en agua potable y saneamiento básico, así como la definición de las obras elegibles a ser financiadas con dichos recursos.

1.7 METODOLOGÍA

La presente investigación será de tipo descriptiva, la cual busca especificar las propiedades, características y/o perfiles de personas, grupos, procesos, objetos o fenómenos sometidos a un análisis, así mismo pretende “pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren”¹², en este caso se analizará variables relacionadas con el diseño, la estructura, materiales y especificaciones técnicas y operativas del sistema de acueducto del Municipio de Apulo Cundinamarca, con el fin de identificar las causas por las cuales se están presentando fallas en el suministro de agua potable a los hogares de este municipio, y el déficit del mismo.

¹² HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto; FERNÁNDEZ COLLADO, Carlos y BAPTISTA LUCIO, Pilar. Metodología de la investigación. 5 ed. México: Mc Graw Hill, 2010. p. 546

Así mismo, la investigación tendrá un enfoque cuantitativo ya que se realizarán mediciones de las variables del estudio; igualmente tendrá un enfoque cualitativo ya que se analizarán y tendrán en cuenta datos teóricos sobre el tema de estudio.

1.7.1 Fuentes de Información.

1.7.1.1 Fuentes Primarias. Se toman datos internos del sistema de acueducto e información del Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Apulo, así mismo se utilizará información demográfica y geográfica del municipio. Finalmente se usará el decreto 330 de 2017 como fuente de información para la optimización del acueducto para que éste cumpla con la normatividad colombiana.

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

1.8 DISEÑO METODOLÓGICO

1.8.1 Objetivo Especifico 1 Diagnostico.

➤ **Visita Técnica:** Se realizará una visita técnica en el municipio de Apulo Cundinamarca para conocer el sistema de acueducto detalladamente con las respectivas obras civiles que componen el sistema, tales como: fuente hídrica (identificación), obras de captación, obras de aducción, tanque sedimentador, PTAP, Sistema de bombeo y tanque de distribución.

➤ **Recolección de información:** Se procederá a realizar una recolección de información con colaboración de la E.S.P (EMPOAPULO), alcaldía local y comunidad, que serán de vital importancia para el análisis y desarrollo de la investigación, basados en factores como: población (número de habitantes, censos poblacionales y el número de suscriptores), consumo de agua (análisis de demanda y análisis de consumos facturados), planos, consumo eléctrico, análisis de pérdidas de agua.

➤ **Informe de diagnóstico:** Basado en los pasos anteriores se realizará un análisis sobre el estado actual del sistema, en la cual se identificará las fallas generales en el sistema tanto de infraestructura como de manejo que afectan el buen servicio y funcionamiento, para posteriormente plantear un proyecto de solución a las falencias del acueducto.

1.8.2 Objetivo Especifico 2 Evaluación.

➤ **Obras de manejo de agua no tratada:** Se realizará una evaluación integral de obras en la que se analice la capacidad hidráulica y el estado estructural con el fin de determinar su estado actual de operación, identificando las fallas en las obras

civiles que componen el sistema y posteriormente visualizar un plan de mejoras que satisfaga las necesidades de la población.

➤ **Sistema Bombeo:** Se analizará detalladamente el sistema de bombeo debido a los componentes relacionados con su funcionamiento, tales como: Tanque de suministro, capacidad de la bomba, motor eléctrico, consumo energético, sistema de succión y sistema de descarga, identificando así las falencias que se presentan en este proceso para dar alternativas de solución a los problemas que se presentan en dicho sistema.

➤ **Sistema de almacenamiento:** Se determinará factores de vital importancia en el sistema de acueducto para el abastecimiento de agua para la comunidad, en los cuales se encontrará el tanque de almacenamiento con sus características que lo componen tales como: volumen, capacidad, válvulas, macromedición, de esta manera se podrá dimensionar los problemas que se presentan en la red y proceder a dar soluciones efectivas a favor del funcionamiento del sistema.

1.8.3 Objetivo Especifico 3 Propuesta.

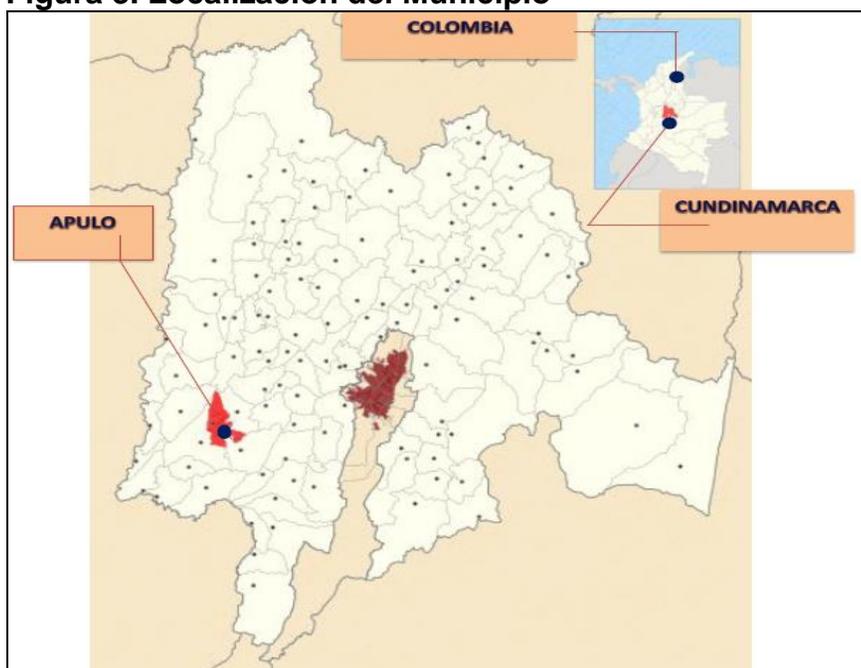
➤ **Diseño del sistema:** Se diseñará un sistema de acueducto óptimo, mitigando cada una de las falencias que se presentaron en el desarrollo del diagnóstico y evaluación del acueducto, haciendo sus respectivos cálculos en los cuales incluya factores importantes como los tiempos de bombeo óptimos, mejoras en captación, aducción y desarenador

2. DIAGNOSTICO ACUEDUCTO APULO CUNDINAMARCA

2.1 DESCRIPCIÓN DEL MUNICIPIO

2.1.1 Ubicación del municipio. El municipio de Apulo se ubica en la Provincia del Tequendama del Departamento de Cundinamarca, a una distancia de 101 Km de Bogotá y a una altura de 420 msnm, con temperatura tropical, con un promedio de 26° C, sumergido en un gran Paisaje de Montaña (véase la Figura 3).

Figura 3. Localización del Municipio



Fuente. ALCALDÍA MUNICIPAL DE APULO. Plan de desarrollo 2016-2019. Apulo: Concejo Municipal, 2016. p. 17.

De acuerdo con el Plan de Desarrollo Local el municipio “Cuenta con una extensión de 12.240 Hectáreas (Has) la mayor parte de estas, 12.031 Has, corresponden al área rural, y el resto 209, Has al área urbana. Limita por el Norte con el Municipio de Anapoima; por el oriente con Anapoima y Viotá; por el sur con Viotá y Tocaima y por el Occidente con Tocaima y Jerusalen”¹³. La extensión urbana del municipio corresponde a 48.79 km² mientras que la rural es de 70.21km², para una extensión total de 119km² (véase la Tabla 1).

¹³ ALCALDÍA MUNICIPAL DE APULO. Plan de desarrollo 2016-2019. Apulo: Concejo Municipal, 2016. p. 15.

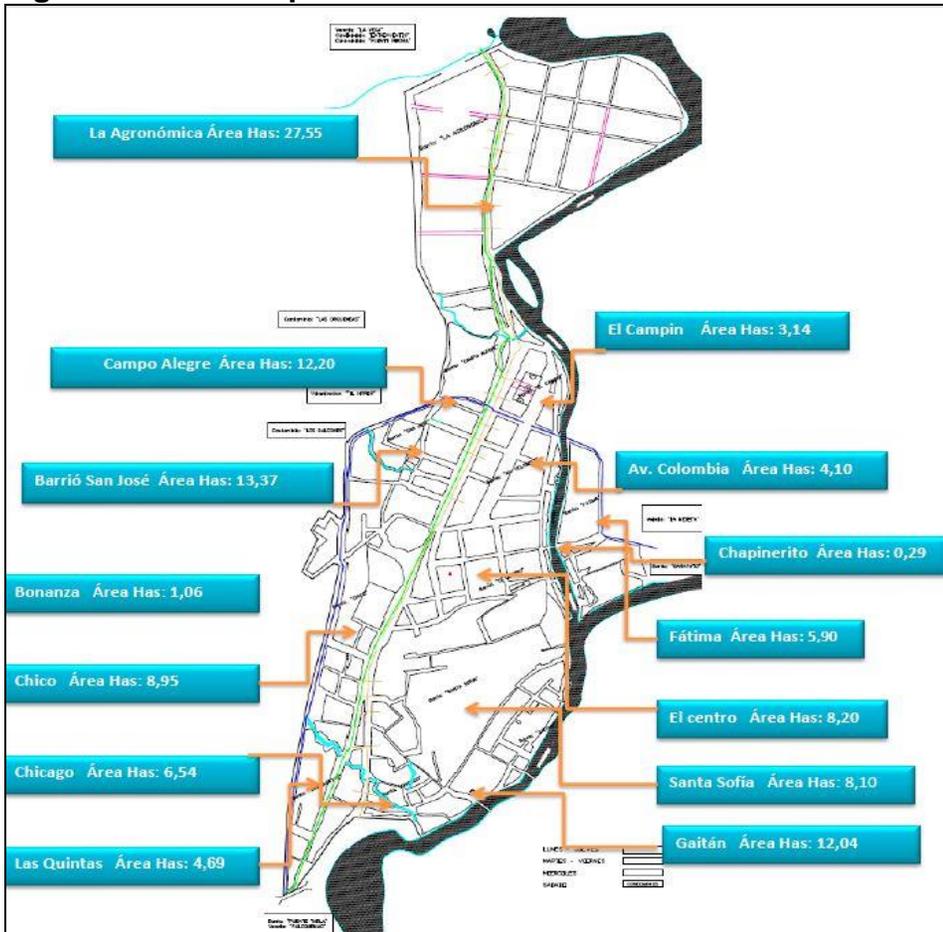
Tabla 1. Distribución del municipio por extensión territorial ty área de residencia

Municipio	Extensión urbana		Extensión rural		Extensión total	
	Extensión	Porcentaje	Extensión	Porcentaje	Extensión	Porcentaje
APULO	48,79 Km ²	41%	70,21 Km ²	59%	119 km ²	100%

Fuente. ALCALDÍA MUNICIPAL DE APULO. Plan de desarrollo 2016-2019. Apulo: Concejo Municipal, 2016. p. 18.

De acuerdo con lo anterior, el grado de urbanización del Municipio de Apulo corresponde al 41%, por tanto, el municipio cuenta con un 95,7% de viviendas que son casas mientras que el 1,7% corresponde a apartamentos y el 2,7 cuartos. Así mismo, se estima que el número de personas por hogar es de 3.3 aproximadamente tanto en zona rural como en zona urbana, esta zona urbana consta de 14 barrios, con sus respectivas Juntas de Acción Comunal (véase la Figura 4), que es el área de cobertura de las redes del acueducto.

Figura 4. Barrios Apulo



Fuente. ALCALDÍA MUNICIPAL DE APULO. Plan de desarrollo 2016-2019. Apulo: Concejo Municipal, 2016. p. 21.

2.1.2 Fuentes hídricas del municipio. En cuanto a las fuentes hídricas el municipio hace parte de la cuenca baja del Río Bogotá y de la subcuenca del Río Apulo y en menor área se encuentra dentro de la Subcuencas del Río Calandaima y en menor medida otros puntos de drenaje como se muestra a continuación (véase la Tabla 2).

Tabla 2. Fuentes Hídricas Municipio Apulo

SUB CUENCAS	MICRO CUENCAS	DRENAJE (Km)	AREA (Ha)
Río Apulo	Q. La Yegüera	22,570	936,96
	Q. Refugio	1,117	298,00
	Q. Naranjal	12,45	513,66
	Q. Charco Largo	19,87	538,82
	Q. Honda	24,11	423,04
	Q. Aposentos	10,15	263,59
	Q. Los Narcisos	23,82	571,07
	Q. Los Algodones	11,18	146,09
	Q. Camargo	6,39	299,26
	Q. El Tropezón	65,30	165,83
	Otros Drenajes	20,89	766,01
SUB-TOTAL		23.881,16	4.624,33
Río Calandaima	Q. La Colorada	7645,51	217,97
	Otros Drenajes	30,82	1308,51
SUB-TOTAL		7676,33	1526,48
Otros Drenajes	Q. La Pedregosa	16,14	436
	Q. El Trueno	25,29	649,93
	Q. Chontaduro	16,68	564,92
	Q. Cachimbulo	42,51	1370,33
	Q. La Salada	19,55	166,64
	Otros drenajes	10,02	2386,88
SUB-TOTAL		130,19	5574,70
TOTAL		31.687,68	11.725,51

Fuente. ALCALDÍA MUNICIPAL DE APULO. Plan de desarrollo 2016-2019. Apulo: Concejo Municipal, 2016. p. 17.

La cuenca más importante para el municipio es el Río Calandaima, que abastece el acueducto y está conformada por la microcuenca de la quebrada Colorada y un sector de drenaje directos, y tiene el siguiente balance hídrico (véase la Tabla 3).

Tabla 3. Balance Hídrico Río Calandaima

Balance		Oferta (m ³ /s)			Demanda (m ³ /s)		Índice de escasez	
Pero seco PH		Doméstica	agropecuaria		Industrial	Ecológica	Período seco	Período húmedo
Río Calandaima	1.91	2.74	0.038	0.66	0.001	0.05	Medio alto	Medio ato

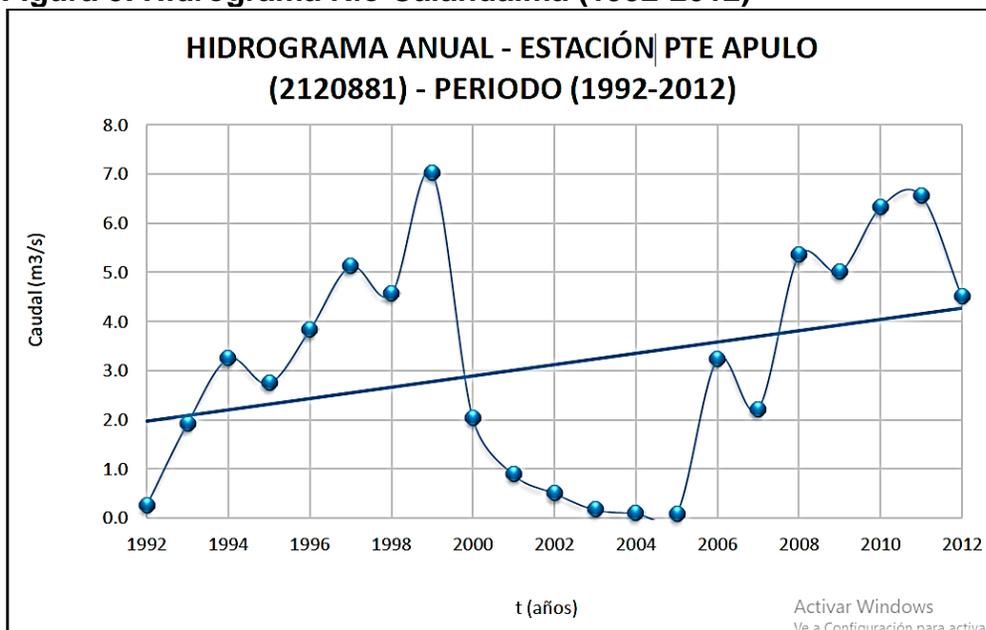
Fuente. ALCALDÍA MUNICIPAL DE APULO. Plan de desarrollo 2016-2019. Apulo: Concejo Municipal, 2016. p. 17.

Como se puede observar la oferta total del río Calandaima es de 3.438 m³/seg, cabe mencionar que el sistema hidrogeológico de la cuenca, se encuentra en un sistema de acuíferos con recursos limitados de aguas subterráneas con muy baja productividad con capacidad específica menor de 0.01 litros por segundos.

Al respecto, y según datos de la Corporación Autónoma Regional de la estación PTE APULO desde 1992 “el caudal del río Calandaima ha disminuido aproximadamente un 75% con respecto al caudal máximo del año generando un déficit del recurso hídrico para los municipios que se suministran de él”¹⁴ uno de ellos Apulo.

De acuerdo con la Figura 4, el comportamiento del caudal del río en el período comprendido entre 1992 - 2012, el caudal más alto registrado fue de 7,01 m³/s, para el año 1999 y el más bajo fue de 0,070 m³/s registrado en el año 2005 (véase la Figura 5).

Figura 5. Hidrograma Río Calandaima (1992-2012)



Fuente. MARIN ARIAS, Cristian; RIAÑO CASTAÑO, Daniela y VARGAS RAMIREZ, Ingrid. Revisión de diseño del acueducto regional la mesa - Anapoima y prefactibilidad de la red de conducción de agua potable de los municipios de Apulo y Viotá. Bogotá: Universidad Militar “Nueva Granada”. Facultad de Ingeniería. Modalidad trabajo de grado, 2017. p.31.

¹⁴ CORPORACION AUTOMONA REGIONAL CAR. Información hidrometeorológica de la cuenca del río Calandaima. Bogotá: Centro de monitoreo hidrológico y del clima, 2014.

2.2 CARACTERIZACION Y EVALUACIÓN 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 Apulo, se pudo determinar que el sistema de acueducto está compuesto por:

- Bocatoma
- Desarenador
- Repartidor de caudales (Apulo, Tocaima)
- Canaleta parshall
- Cuarto de bombas
- Tanque para lavado de filtros
- Tanque de distribución principal para cabecera municipal y A una vereda 2 veces en la semana 8 horas por día.

A continuación, se muestra la ubicación de cada uno de los componentes del sistema de acueducto de Apulo, según coordenadas tomadas con GPS (véase la Tabla 4).

Tabla 4. Ubicación Componentes Principales Acueducto de Apulo

PUNTO	Descripción	N(Latitud)			W(Longitud)			LATITUD	LONGITUD
		GRADOS	MIN.	SEG.	GRADOS	MIN.	SEG.		
Punto 1	Bocatoma Rio Calandaima, Viota. (Rejilla)	4	29	8,5	74	29	55,7	4,48569444	-74,4988056
Punto 2	Desarenador	4	29	5,1	74	30	0,7	4,48475	-74,5001944
Punto 3	Canaleta Parshall	4	30	58,3	74	35	16,2	4,51619444	-74,5878333
Punto 4	Final tubería cuarto de bombas	4	30	58	74	35	16,6	4,51611111	-74,5879444
Punto 5	Aprox. 8m del cuarto de bombas al Tanque de Distribución	4	30	59	74	35	16,8	4,51638889	-74,588
Punto 6	Conexión al tanque para lavado de filtros	4	31	0,1	74	35	18,9	4,51669444	-74,5885833
Punto 7	Repartidor de Caudales para Apulo y Tocaima	4	31	0,6	74	35	19	4,51683333	-74,5886111
Punto 8	Macromedidor del Tanque de distribución principal	4	31	4,1	74	35	22,6	4,51780556	-74,5896111
Punto 9	Cuarto de bombas para la vereda La Meseta	4	31	4,2	74	35	22,8	4,51783333	-74,5896667
Punto 10	Válvula de compuerta para vereda la Meseta	4	31	4,6	74	35	22,9	4,51794444	-74,5896944
Punto 11	Salida del Agua del tanque para la cabecera municipal	4	31	4,2	74	35	23,1	4,51783333	-74,58975

Fuente. El Autor

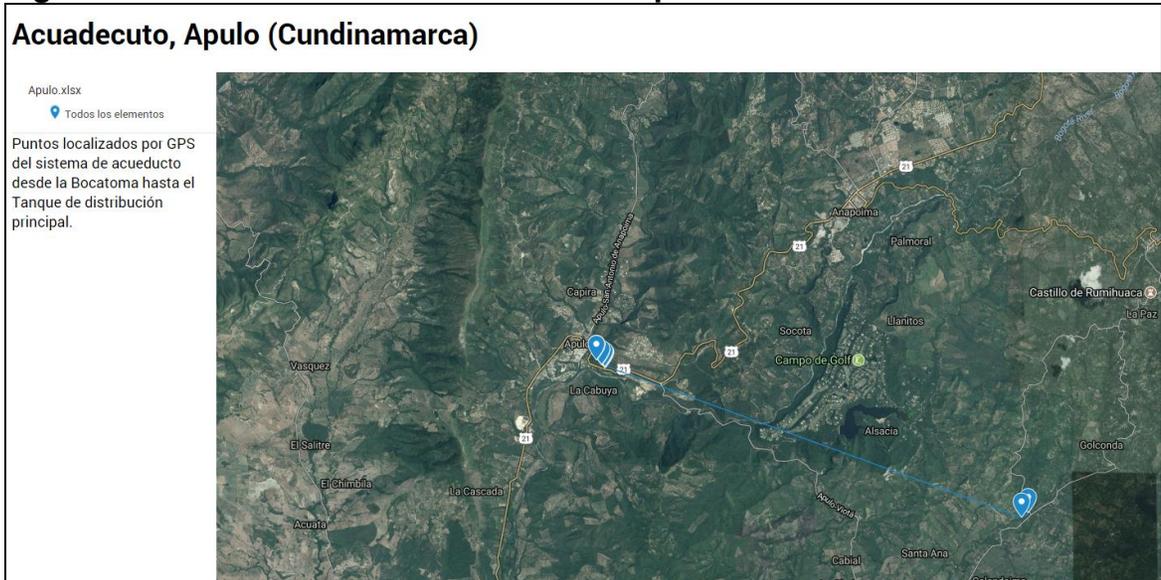
2.2.1 Puntos tomados con el GPS.

Figura 6. Distancia entre Bocatoma – Desarenador: 188m
Acuadecuto, Apulo (Cundinamarca)



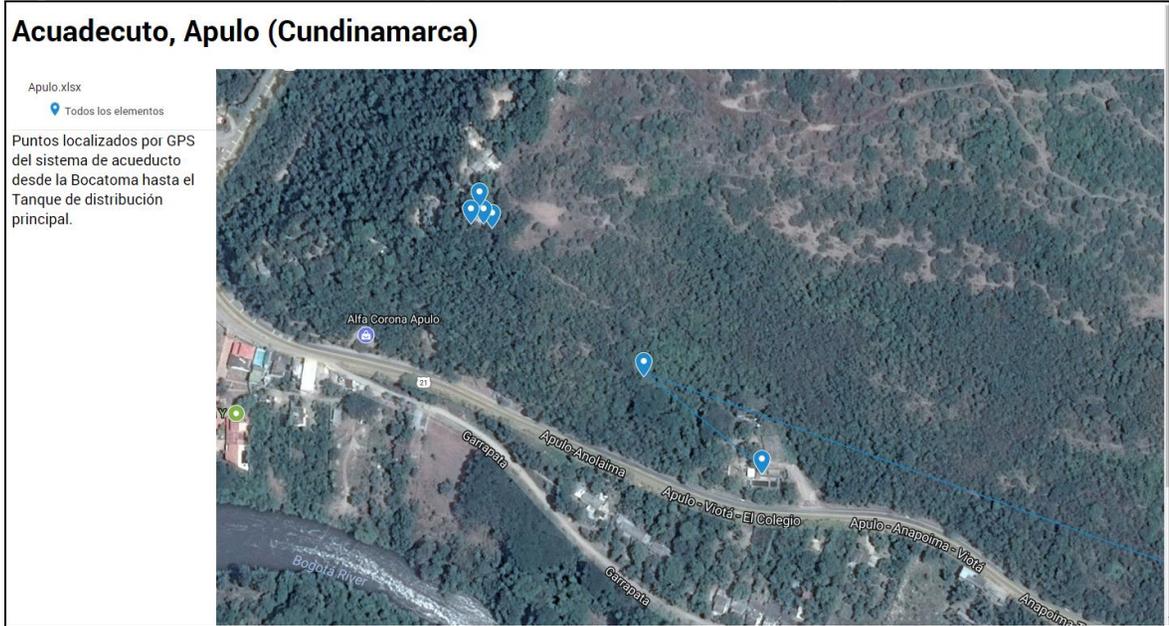
Fuente. El Autor

Figura 7. Distancia entre Desarenador – Repartidor de Caudales: 10500m
Acuadecuto, Apulo (Cundinamarca)



Fuente. El Autor

Figura 8. Distancia entre Reparador de caudales – Tanque de succión: 130m



Fuente. El Autor

Figura 9. Distancia entre Tanque de succión – Macromedidor (tanque de distribución principal): 282m



Fuente. El Autor

2.2.2 Evaluación de los componentes del sistema de acueducto. Como parte del diagnóstico del sistema de acueducto se realiza la inspección visual de cada uno de sus componentes, haciendo la descripción de sus materiales, estado en el que se encuentra apoyadas las observaciones con un registro fotográfico.

2.2.2.1 Bocatoma Rio Calandaima. La Bocatoma se encuentra ubicada en el río Calandaima en el municipio de Viotá Cundinamarca, ésta tiene una presa enrocada con un muro transversal de 14 metros de ancho, en la parte derecha se encuentra un cajón rectangular para la captación del agua cuyas medidas son de 2.7 metros de largo por 0.6 m de ancho y su profundidad es de 0.8 m (véase la Figura 10).

Figura 10. Bocatoma Rio Calandaima



Fuente. El Autor

La bocatoma cuenta con una rejilla de 1.3 m de largo por 0.6 cm de ancho, tiene un total de 29 barrotos con un espaciamiento entre éstos de 4 cm, la cual no cumple con lo que se establece en la normatividad Colombia, que dice que “La bocatoma debe estar provista de una rejilla, que tendrá una separación entre barrotos de 20 mm a 25 mm, cuya finalidad es impedir el acceso de elementos gruesos o flotantes”¹⁵, ésta se encuentra en precarias condiciones como desgaste por corrosión y algunas de las varillas muestran espaciamientos muy grandes por la falta de mantenimiento, así mismo está cumpliendo su función ya que el agua está pasando directa por una tubería a un canal de aducción y luego a la cámara de recolección, para finalmente llegar al desarenador (véase la Figura 11).

¹⁵ COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. Título B Sistemas de Acueducto. Bogotá: El Ministerio, 2000. p. 76

Figura 11. Rejilla bocatoma Acueducto



Fuente. El Autor

2.2.2.2 Tubería del canal de aducción y la cámara de recolección. La tubería del canal de conducción es gres de 6 pulgadas se encuentra ubicada a 0.80 metros por debajo del agua del cajón de la bocatoma, su recorrido hasta la cámara de recolección es de 1.50 metros (véase la Figura 12)

Figura 12. Tubería Canal de Aducción Acueducto



Fuente. El Autor

En cuanto a la cámara de recolección, está construida en concreto se encuentra tapada por lo que no se pudo hacer una inspección detallada, sin embargo, tiene una profundidad de 1.3 metros y 30 centímetros de ancho. Su estructura no se encuentra en buenas condiciones.

2.2.2.3 Desarenador. El desarenador se encuentra a 188 metros de la cámara de recolección, está construido en concreto, tiene 4.2 metros de ancho, 16.4 metros de largo, un compartimento previo de 1.9 m de largo el espesor del muro es de 0.25 m (véase la Figura 13), las características de las láminas de agua de las dos partes del desarenador son las siguientes:

Lámina de agua compartimento		Lámina de agua desarenador	
Altura lámina de agua	0.22 m	Altura lámina de agua	2 m
Borde libre	0.58 m	Borde libre	0.5 m
Total profundidad	0.8 m	Total profundidad	2.5 m

Figura 13. Desarenador



Fuente. El Autor

El desarenador se encuentra en malas condiciones, no tiene cámara de entrada, control de excesos ni pantallas, así mismo no cuenta con cerramiento que evite el ingreso de personas no autorizadas o animales como lo establece el artículo 55 de la resolución 0330 de 2017.

2.2.2.4 Repartidor de caudales. A este punto llega el agua del Río Calandaima para la distribución hacia la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Apulo y Tocaima con un caudal de 35 l/s para cada planta (véase la Figura 14).

Figura 14. Repartidor de Caudales



Fuente. El Autor

Se observa que el repartidor tiene moho y que su estructura está deteriorada.

2.2.2.5 Canaleta parshall. Del repartidor de caudales llega el agua a la canaleta Parshall para el tratamiento del agua en la planta. Tiene una tubería en PVC de 6 pulgadas a 33 l/ (véase la Figura 15).

Figura 15. Canaleta Parshall



Fuente. El Autor

Como se puede observar la estructura de la canaleta se encuentra deteriorada, se evidencia falta de mantenimiento en la misma.

2.2.2.6 Cuarto de bombas principal. Este es el punto de la salida del cuarto de bombeo hacia el tanque de distribución, en el cuarto de bombas hay un tanque debajo del piso, desde éste se bombea el agua hacia el tanque, el tanque tiene 5 metros de largo por 5 metros de ancho y 2 metros de profundidad que equivale a un volumen máximo es de 50 m³ es de 50000 litros, la lámina de agua en el momento de la visita técnica era de 27.5 m³ es decir 27.500 litros que es el volumen utilizado (véase la Figura 16).

Figura 16. Tanque de Agua para Bombeo



Fuente. El Autor

El cuarto de bombas se encuentra deteriorado sus paredes están desgastadas y deterioradas, así mismo se observan oxidación y corrosión en algunas de las tuberías material en el piso que puede caer dentro del tanque y contaminar el agua (véase la Figura 17).

Figura 17. Cuarto de Bombas



Fuente. El Autor

2.2.2.7 Tanque de lavado de filtros. Está ubicado a 12 metros del cuarto de bombas en la vía al cuarto de bombas del tanque principal, hay una tee y una válvula de compuerta que desvía el agua para este tanque que se llena para el lavado de filtros, el cual tiene 3.6 metros de largo, por 3.6 metros de ancho y 2.6 metros de profundidad y su volumen actual es de 33.696 m³ (véase la Figura 18).

Figura 18. Tanque de lavado de filtros



Fuente. El Autor

2.4.2.8 Tanque principal. El agua llega al tanque principal, el cual se tiene unas dimensiones de 14 metros de largo, 7.6 metros de ancho, y una profundidad de 3.5 metros y un volumen de 372.4 m³ es decir 372400 litros. El tanque se encuentra en buenas condiciones, pero el macro medidor está instalado de forma incorrecta, ya que se encuentra en posición al revés. Este tanque recibe un caudal de 32 a 35 l/s (véase la Figura 19).

Figura 19. Tanque Principal



Fuente. El Autor

2.2.2.9 Cuarto de bombas para la vereda Meseta. En este cuarto se encuentran ubicadas dos bombas paralelas, de las cuales solo una se encuentra en funcionamiento, la cual se encuentra en malas condiciones presenta corrosión y oxidación, por lo que en caso de daño o mantenimiento de la bomba el sistema se queda sin bombeo de agua para la vereda (véase la Figura 20). Estas bombas

solo se abren 2 veces en la semana durante 8 horas cada día para el suministro por bombeo del agua.

Figura 20. Cuarto de bombas Suministro de agua para la Vereda



Fuente. Los Autores

2.2.2.10 Salida de agua para Cabecera Apulo. En cuanto a la salida del agua para abastecer el municipio de Apulo se hace por gravedad desde el tanque principal, de manera constante los 7 días de la semana las 24 horas del día (véase la Figura 21).

Figura 21. Punto de Salida de Agua para Abastecer al Municipio



Fuente. El Autor

2.2.3 Hallazgos encontrados. De acuerdo con lo observado en la visita técnica realizada, se pudo evidenciar que algunos de los elementos que conforman el sistema de acueducto del municipio de Apulo se encuentran en regular estado en cuanto a su estructura constructiva.

Se observó que la estructura y diseño de la bocatoma no es buena, pues como se pudo evidenciar en donde se encuentran las rejillas para evitar el paso de sedimentos a la tubería de conducción, el agua ni siquiera pasa por éstas, además el deterioro es evidente, es decir no está cumpliendo ninguna función.

Se observó que el desarenador no tiene los elementos requeridos por la resolución 0330 de 2017, su estructura se encuentra en malas condiciones y no está cumpliendo con la función, pues se observa que el agua cruda que es captada, llega en condiciones muy malas y hay presencia de sedimentos, es una estructura que no está teniendo la relevancia que debería dentro del proceso de captación y suministro de agua.

En cuanto a las demás obras, es decir, el tanque de agua, los cuartos de bombeo, a pesar de estar operando, se observan deterioros estructurales, como paredes con desprendimiento de material, que en el caso del tanque al estar destapado cae dentro y contamina el agua.

Dado lo anterior, se sugiere para optimizar el sistema de acueducto, mejorar los elementos que están presentando fallas y que no cumplen con los requerimientos de la normatividad colombiana, por tanto, a continuación, se presenta la propuesta de diseños para optimizar el acueducto.

3. DISEÑO DE ACUEDUCTO

3.1 CÁLCULO DE LA POBLACIÓN

El cálculo de la población para el diseño de acueductos es un elemento de su importancia, ya que a partir de esta información se realizan los cálculos de las demandas, por tanto, para realizar el cálculo de la población y proyectarlo, se tuvo en cuenta lo establecido en la resolución 0330.

Posteriormente se realizó el cálculo de la demanda que presenta cada municipio y así identificar el déficit que se presenta en ambas fuentes superficiales; para ello se estimó la población de ambos municipios de la siguiente manera:

Para el municipio de Apulo se calcula la población de diseño de acuerdo con el Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico en el título B capítulo B.2 y los requerimientos del numeral B.2.2 en donde se especifica que “el método de cálculo para la proyección de la población depende del nivel de complejidad del sistema según se muestra en la tabla A.3.1, por lo tanto, se realizó la proyección de población usando los métodos aritmético, exponencial y geométrico con un periodo de diseño de 25 años”.

De acuerdo con lo anterior se toman los datos de los últimos 3 censos del DANE en el municipio como se muestra a continuación (véase la Tabla 5).

Tabla 5. Datos censos municipio de Apulo

Año	Población
1985	3227
1993	2998
2005	3152

Fuente. El Autor

➤ **Método aritmético.** Para la aplicación de este método se usa la siguiente ecuación:

Ecuación 1. Método Aritmético.

$$P_f = P_{uc} + \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} (T_f - T_{uc}) \quad (1)$$

Donde:

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

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

P_{ci} = Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes).
 T_{uc} = Año correspondiente al último año proyectado por el DANE.
 T_{ci} = Año correspondiente al censo inicial con información.
 T_f = Año al cual se quiere proyectar la información (véase la Tabla 6).

Tabla 6. Población Método aritmético

	Año	Total Población
P_{2018}	2018	3100
P_{2043}	2043	3000

Fuente. El Autor

➤ **Método Geométrico.** Este método 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 aplica para su cálculo es

Ecuación 2. Método Geométrico.

$$P_f = P_{uc} (1 + r)^{t_f - T_{uc}} \quad (2)$$

r = tasa de crecimiento anual

Ecuación 3. Cálculo Tasa de crecimiento anual método geométrico

$$r = \left(\frac{P_f}{P_{uc}} \right)^{\frac{1}{T_f - T_{uc}}} - 1 \quad (3)$$

Tabla 7. Población Método Geométrico

	Año	Total Población
P_{2018}	2018	3099
P_{2043}	2043	3000

Fuente. El Autor

➤ **Método exponencial.** Se recomienda su aplicación a poblaciones que muestren apreciable desarrollo y poseen abundantes áreas de expansión. La ecuación que se utiliza para su cálculo es la siguiente:

Ecuación 4. Cálculo Tasa de crecimiento anual método exponencial

$$r = \frac{L_n \left(\frac{P_f}{P_{uc}} \right)}{T_f - T_{uc}} \quad (4)$$

Ecuación 5. Método exponencial

$$P_{fu} = P_f e^{r(T_f - T_{uc})} \quad (5)$$

Tabla 8. Población Método exponencial

	Año	Total Población
P ₂₀₁₈	2018	3105
P ₂₀₄₃	2043	3015

Fuente. El Autor

De acuerdo con los resultados obtenidos, se determina que el método que más se ajusta a la tendencia del crecimiento de la población de Apulo es el método geométrico con una población total para el diseño de 3000 habitantes.

Determinándose así un nivel de complejidad medio, con un período de diseño máximo de 25 años.

3.2 CALCULO DE LA DEMANDA

3.2.1 Dotación neta y dotación bruta. De acuerdo con lo estipulado en el artículo 43 de la resolución 330 la dotación neta por habitante día según el nivel sobre el mar de la ubicación de municipio corresponde a 140/hab día.

En cuanto a la dotación bruta esa se calcula aplicando la siguiente formula:

Ecuación 6. Cálculo dotación bruta

$$d_{bruta} = \frac{d_{neta}}{1 - \%P} \quad (6)$$

Donde:

d_{bruta} : dotación bruta

d_{neta} : dotación neta

$\%p$: Porcentaje de perdidas, (El porcentaje de pérdidas máximas admisibles no deberá superar el 25% según la norma 0330). por tanto:

$$d_{bruta} = \frac{140 \text{ L/hab día}}{1 - 0,25} = 187 \frac{\text{L}}{\text{hab}} \cdot \text{día}$$

3.2.2 Caudal Medio Diario. El caudal medio diario, Qmd, es el caudal medio calculado para la población proyectada, teniendo en cuenta la dotación bruta asignada; por lo cual corresponde al promedio de los consumos diarios en un período de un año, y se calcula utilizando la siguiente ecuación:

Ecuación 7. Cálculo caudal medio diario

$$Q_{md} = \frac{P \cdot Db}{86400} \quad (7)$$

De acuerdo a la proyección de la población y la dotación bruta ya calculada se tiene que:

$$Q_{md} = \frac{3000 \cdot 187L/hab.d}{86400} = 6,5 \frac{l}{s} = 0,0065 m^3/s$$

3.2.3 Caudal Máximo Diario. El caudal máximo diario, QMD, corresponde al consumo máximo registrado durante 24 horas a lo largo de un período de un año. Se calcula multiplicando el caudal medio diario por el coeficiente de consumo máximo diario, k1, como se indica en la siguiente ecuación:

Ecuación 8. Cálculo caudal máximo diario

$$QMD = Qmd \cdot k_1 \quad (8)$$

Donde:

QMD: caudal máximo diario

Qmd: caudal medio diario

k1: coeficiente de consumo máximo diario

Siendo $k_1 \leq 12500$ hab. Según la resolución 330, teniendo entonces que:

$$QMD = 0.0065 m^3/s (1,3) = 0,00845 m^3/s \rightarrow 8,45 L/s$$

3.2.4 Caudal Máximo Diario. 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. Cálculo caudal máximo diario

$$QMH = Qmd \cdot k_2 \quad (9)$$

Donde:

QMH: caudal máximo horario

Qmd: caudal medio diario

K2: coeficiente de consumo máximo horario

El k_2 es igual a 1,6 de acuerdo con el artículo 46 de la resolución 330

Entonces se tiene que:

$$QMH = 0,00845 \text{ m}^3/\text{s} (1,6) = 0,01352 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow 13,52\text{L/s}$$

Resumiendo, el cálculo de los caudales de la siguiente manera:

➤ **Qmd = 6,5L/s**

➤ **QMD = 8,45 l/s → correspondiente al caudal de diseño**

➤ **QMH = 13,52 L/s**

De acuerdo con lo anterior, y teniendo en cuenta que la proyección de la población va decreciendo y que por tanto no se ajusta a la normatividad Para el diseño óptimo del Acueducto, se hacen nuevamente el cálculo de la población teniendo en cuenta las proyecciones del DANE desde el último censo, es decir:

3.2.5 Población de Diseño. Realizaremos las proyecciones de población para los municipios de Apulo y Tocaima ya que la Bocatoma y el desarenador sirven de fuente de abastecimiento para los dos municipios.

De acuerdo con lo anterior, se toman las proyecciones del DANE para el municipio de Apulo, ya que si se realiza con los últimos 3 censos del DANE la población futura disminuye y no es óptimo para el diseño del acueducto (véase el Tabla 9).

Tabla 9. Población según Censos del DANE Apulo

Año	Población
2012	3150
2017	3151
2020	3153

Fuente. DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADISTICA DANE. Proyecciones 2020. Bogotá: DANE, 2010.

3.2.5.1 Método aritmético. Se utiliza la siguiente formula según ras 2000 título B.

Ecuación 10. Cálculo población Método aritmético

$$P_f = P_{uc} + \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} (T_f - T_{uc}) \quad (10)$$

Donde:

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

P_{uc} = Población correspondiente al último año censado (habitantes).

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

T_{uc} = Año correspondiente al último año proyectado.

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

T_f = Año al cual se quiere proyectar la información.

Se hace la proyección al año actual y a 25 años según la norma 0330 de 2017, para diseño de acueductos, obteniéndose lo siguiente (véase la Tabla 10).

Tabla 10. Población proyectada

AÑO DE PROYECCIÓN	POBLACIÓN
P ₂₀₁₈	3151
P ₂₀₄₃	3176

Fuente. El Autor

Tomando los Censos reales del DANE para los años 1993,2005 y proyecciones para el año 2017 para el municipio de Tocaima, ya que en el censo del año 1985 es mayor al siguiente entonces se utiliza la proyección del 2017 para un diseño óptimo, de acuerdo con esto se obtiene que (véase las Tablas 11 y 12).

Tabla 11. Población Censos del DANE Tocaima

Año	Población
1993	7853
2005	9976
2017	11073

Fuente. El Autor

Tabla 12. Proyección de la población método Aritmético

AÑO DE PROYECCIÓN	POBLACIÓN
P ₂₀₁₈	11208
P ₂₀₄₃	14583

Fuente. El Autor

3.3 CONSUMO DE AGUA

Se calcula el consumo de Agua de los dos municipios, para determinar los caudales para el diseño de la bocatoma hasta el desarenador.

3.3.1 Consumo de agua Apulo. De acuerdo con lo estipulado en el artículo 43 de la resolución 330 la dotación neta por habitante día según el nivel sobre el mar de la ubicación de municipio corresponde a 140 L/hab día.

En cuanto a la dotación bruta esta se calcula aplicando la siguiente formula:

Ecuación 11. Cálculo de dotación bruta

$$d_{bruta} = \frac{d_{neta}}{1 - \%P} \quad (11)$$

Donde:

d_{bruta} = Dotación bruta.

d_{neta} = Dotación neta.

$\%P$ = Porcentaje de perdidas, (El porcentaje de pérdidas máximas admisibles no deberá superar el 25% según la norma 0330).

Obteniéndose que $d_{bruta} = 187 \text{ L/hab día}$

3.3.2 Caudal medio diario. El caudal medio diario, Q_{md} , es el caudal medio calculado para la población proyectada, teniendo en cuenta la dotación bruta asignada; por lo cual corresponde al promedio de los consumos diarios en un período de un año, y se calcula utilizando la siguiente ecuación:

Ecuación 12. Cálculo caudal medio diario

$$Q_{md} = \frac{P \cdot d_b}{86400} \quad (12)$$

Donde:

Q_{md} = Caudal medio diario.

P = Población proyectada a 25 años.

d_b = Dotación bruta.

Obteniéndose que $Q_{md} = 6,88 \text{ L/s}$

3.3.3 Caudal máximo diario. El caudal máximo diario corresponde al consumo máximo registrado durante 24 horas. Se calcula con la siguiente formula:

Ecuación 13. Cálculo caudal máximo diario

$$QMD = Q_{md} * k_1 \quad (13)$$

Donde:

QMD= Caudal máximo diario.

Q_{md} = caudal medio diario.

K_1 = Coeficiente de consumo máximo diario (1,3 según norma 0330).

Obteniéndose que **QMD=8,944 L/s**→ **Caudal de diseño**

3.3.4 Caudal máximo horario. Corresponde al consumo máximo registrado durante una hora en un período de un año sin tener en cuenta el caudal de incendio. Se calcula con la siguiente formula:

Ecuación 14. Cálculo caudal máximo horario

$$Q_{MH} = Q_{MD} * K_2 \quad (14)$$

Donde:

QMH= Caudal máximo horario.

QMD= caudal medio diario.

K_2 = Coeficiente de consumo máximo horario (1,6 según norma 0330).

Se obtiene que **QMH= 14,31 L/s**

3.3.4.1 Cálculos de dotación para Tocaima

➤ Dotación bruta: d_{bruta} = 187 L/hab día

➤ Caudal medio diario: Q_{md} =31,6L/s

➤ Caudal máximo diario: QMD=41,08 L/s→ Caudal de diseño

➤ Caudal máximo horario: QMH= 65,728 L/s

De acuerdo con estos resultados y el diagnóstico de la estructura actual del acueducto, se determina que, para la optimización del acueducto diseñaremos desde la bocatoma hasta el tanque de distribución.

3.4 OBRAS DE CAPTACION

Para la realización de las obras de captación se tendrán en cuenta los siguientes datos (véase la Tabla 13).

Tabla 13. Información para Cálculos de obras de captación

ASPECTO	DATO
Periodo de diseño	25 Años
Población de diseño	$P_{\text{Apulo}2043} + P_{\text{Tocaima}2043} = 17759$ hab. "Se suman las 2 poblaciones proyectadas ya que las obras de captación sirven para ambos municipios".
Caudal de diseño	$(Q_{\text{Apulo}} + Q_{\text{Tocaima}}) = 8,944 + 41,08 = 50,01$ L/s
Aforo del Rio Calandaima	Caudal medio del Rio= $6,08$ m ³ /s
Caudal máximo del Rio	8 m ³ /s
Ancho del Rio	14m.

Fuente. El Autor

3.4.1 Diseño de presa. De acuerdo con lo anterior, la captación de agua será a través de una presa de acuerdo con los siguientes cálculos:

➤ **Cálculo de la lámina de agua de la presa.** Para determinar la medida de la lámina del agua de la presa se aplica la siguiente ecuación:

Ecuación 15. Cálculo de lámina de agua

$$H = \left(\frac{Q}{1,84 * L} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (15)$$

Donde:

H= Lámina de agua en condiciones de diseño (m).

Q= Caudal de diseño (m³/s).

L= Ancho de la presa (m).

Obteniendo como resultado que **H= 0,0570m**

Ahora bien, se aplica corrección por las 2 contracciones anteriores:

Ecuación 16. Cálculo de corrección por dos contracciones

$$L'' = L - 0,2H \quad (16)$$

Teniendo como resultado $L'' = 1,99$ m

➤ **Velocidad del rio sobre la presa.** Para determinar la velocidad del río sobre la presa se aplica la siguiente fórmula:

Ecuación 17. Velocidad del río sobre la presa

$$V = \frac{Q}{L'' * H} \quad (17)$$

Se obtuvo que: $V = 0,442 \text{ m/s}$ se observa que el resultado se encuentra dentro de los parámetros establecidos por la resolución 0330 ($0,3 < 0,442 < 3,0$) m/s

3.4.2 Rejilla y canal de aducción. Para determinar el diseño de la rejilla, primero se calcula el canal de aducción, el cual se halla con la ecuación de alcance de chorro:

Ecuación 18. Cálculo caudal de aducción alcance de chorro

$$X_s = \left(0,36V_r^{\frac{2}{3}} + 0,60H^{\frac{4}{7}} \right) \quad (18)$$

$$X_s = 0,33\text{m}$$

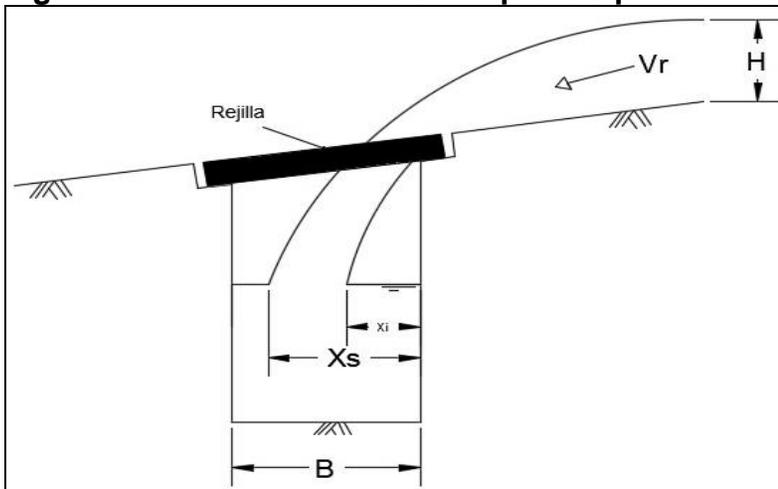
$$X_i = \left(0,18V_r^{\frac{4}{7}} + 0,74H^{\frac{3}{4}} \right)$$

$$X_i = 0,20\text{m}$$

$$B = X_s + 0,1$$

De acuerdo con lo anterior se obtiene que $B = 0,43\text{m}$ el cual se muestra gráficamente a continuación (véase la Figura 22).

Figura 22. Canal de Aducción requerido para el nuevo diseño del acueducto



Fuente. El Autor

3.4.2.1 Longitud de rejilla y número de orificios. Para hacer el díselo de la rejilla se adoptan barrotes de $\frac{3}{4}$ " ($b=0,0191$ m), con separación entre ellos de $a=0,05$ m y velocidad entre barrotes de $0,2$ m/s, de acuerdo con lo anterior se tienen los siguientes resultados (véase la Tabla 14).

Tabla 14. Cálculos para el diseño de la rejilla

ASPECTO	RESULTADO
Área neta	$A_n = \frac{Q}{0,9 * V_b}$ $A_n=0,29m^2$
Longitud de la rejilla	$L_r = \frac{A_n * (a + b)}{a * B}$ $L_r=0,92m$ $L_r=0,9m$ <p>Se adopta 0,9 m de longitud de rejilla, Recalculando:</p> $A_n = \frac{a}{a + b} * B * L_r$ $A_n= 0,28m^2$
Numero de orificios	$N = \frac{A_n}{a * B}$ $N=13,3142584$ $N=14$

Fuente. El Autor

Se toman 14 orificios separados entre sí $0,05$ m, lo cual nos genera las siguientes condiciones finales (véase la Tabla 15).

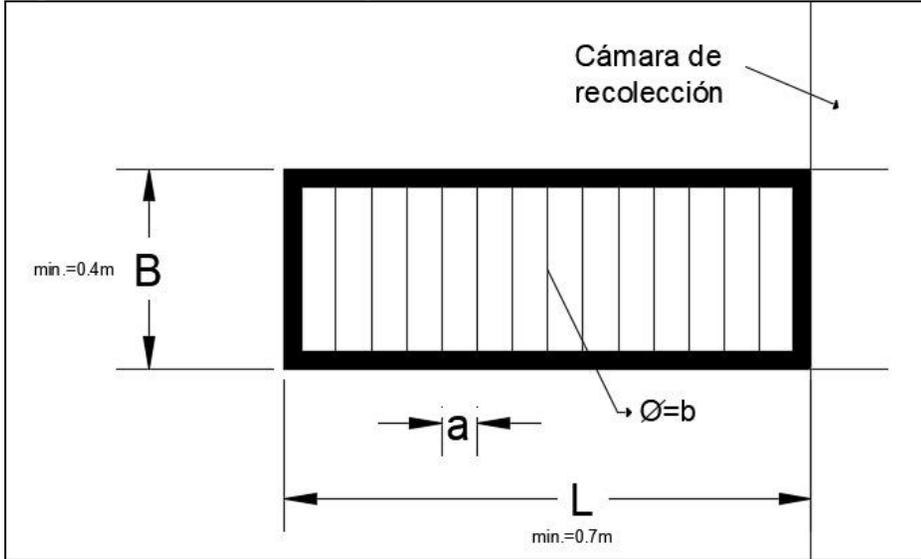
Tabla 15. Cálculo condiciones finales para el díselo de rejilla

ASPECTO	RESULTADO
Área neta	$A_n = a * B * N$ $A_n=0,297 m^2$
Velocidad entre barrotes:	$V_b = \frac{Q}{0,9 * A_n}$ $V_b=0,190 m/s$
Longitud de rejilla	$L_r = \frac{A_n * (a + b)}{a * B}$ $L_r= 0,967m$ <p>El valor obtenido cumple con el mínimo requerido en la resolución 0330 de 2017 que es $0,7$m</p>

Fuente. El Autor

De acuerdo con los resultados de los cálculos el diseño de la nueva rejilla será el siguientes (véase la Figura 23).

Figura 23. Diseño de Rejilla



Fuente. El Autor

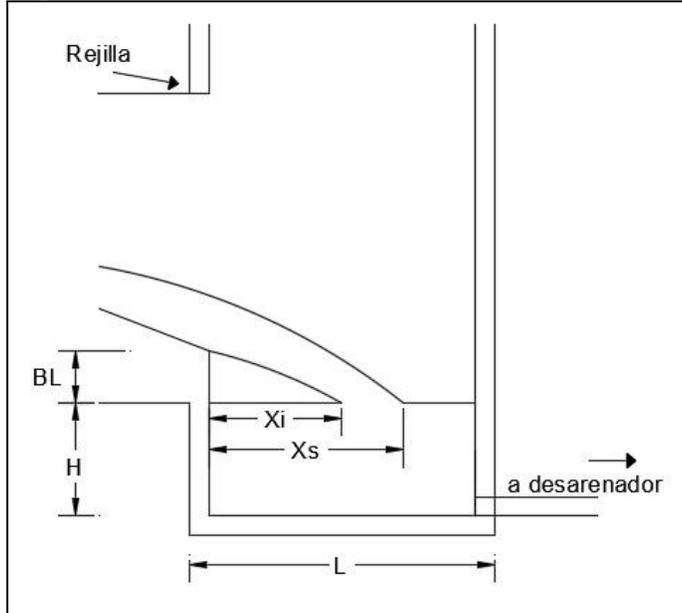
3.4.3 Cálculos Niveles de agua en el canal de aducción. A continuación, se presentan los resultados de los niveles de agua requeridos para el canal de aducción (véase la Tabla 16).

Tabla 16. Cálculos niveles de agua en el canal de aducción

ASPECTO	RESULTADO
Aguas abajo	$h_e = h_c = \left(\frac{Q^2}{g * B^2} \right)^{\frac{1}{3}}$ $h_e = h_c = 0,114\text{m}$
Aguas arriba	<p>Se calcula la longitud del canal adoptándose una pendiente de $i=3\%$.</p> $L_{\text{canal}} = L_{\text{rejilla}} + \text{espesor de muro}$ $L_{\text{canal}} = 1,2674\text{m}$ $h_0 = \left[2h_e^2 + \left(h_e - \frac{iL_c}{3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - \frac{2}{3}iL_c$ $h_0 = 0,164\text{m}$
Altura total de los muros del canal de aducción	<p>B.L= Borde libre (0,15m)</p> $H_0 = h_0 + B.L$ $H_0 = 0,314$ $H_e = H_0 + iL_c$ $H_e = 0,352$
La velocidad del agua al final del canal	$V_e = \frac{Q}{B * h_e}$ $V_e = 1,055\text{m/s} \quad \text{ok cumple } 0,3\text{m/s} < 1,055\text{m/s} < 3,0\text{m/s}$

Fuente. El Autor

Figura 25. Cámara de recolección



Fuente. El Autor

3.4.5 Cálculo de altura de los muros de contención. Se toma el caudal máximo del río $8\text{m}^3/\text{s}$.

Ecuación 21 Altura de la lámina de agua en la garganta de la bocatoma:

$$H = \left(\frac{Q}{1,84 * L} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (21)$$

$$H = 1,678\text{m}$$

Dejando un borde libre de $0,33\text{m}$ entonces la altura de los muros será 2m

$$H = 1,67 + 0,33 = 2\text{m}$$

3.4.6 Cálculo del caudal de excesos. Se calcula con el caudal medio del río que es $6,08\text{m}^3/\text{s}$ (véase la Tabla 17).

Tabla 17. Cálculos de caudal de excesos

ASPECTO	RESULTADO
Cálculo del caudal de excesos	$H = \left(\frac{Q}{1,84 * L} \right)^{\frac{2}{3}}$ $H = 1,397\text{m}$
Cauda captado	$Q_{\text{captado}} = C_d A_{\text{neta}} \sqrt{2gH}$ $Q_{\text{captado}} = 0,513\text{m}^3/\text{s}$ $Q_{\text{excesos}} = Q_{\text{captado}} - Q_{\text{diseñado}}$ $Q_{\text{excesos}} = 0,463\text{m}^3/\text{s}$
Condiciones en el vertedero de excesos	$H_{\text{exc}} = \left(\frac{Q}{1,84 * B_{\text{camara}}} \right)^{\frac{2}{3}}$ $H_{\text{exc}} = 0,353\text{m}$
Velocidad de excesos	$V_{\text{exc}} = \frac{Q_{\text{exc}}}{H_{\text{exc}} B_{\text{camara}}}$ $V_{\text{exc}} = 1,093\text{m/s}$ $X_s = \left(0,36 V_{\text{exc}}^{\frac{2}{3}} + 0,60 H_{\text{exc}}^{\frac{4}{7}} \right)$ $X_s = 0,713\text{m}$

Fuente. El Autor

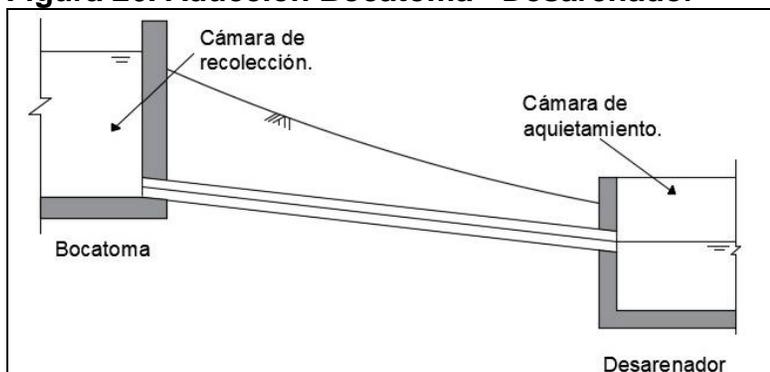
3.5 ADUCCIÓN BOCATOMA – DESARENADOR

Para el diseño de la aducción bocatoma - desarenador se toman las siguientes conducciones del diseño:

- Caudal de diseño: 0,051 m³/s
- Coeficiente de rugosidad de Manning: n: 0,009
- Longitud de conducción: L=188m

Obteniéndose así el siguiente diseño (véase la Figura 26).

Figura 26. Aducción Bocatoma - Desarenador



Fuente. El Autor

Luego se calcula la pendiente con la ecuación de Manning:

Ecuación 22. Ecuación de Manning para cálculo de pendiente

$$S = \frac{cota_{bocatoma} - cota_{desarenador}}{L} * 100 \quad (22)$$

$$S=2,55\%$$

3.5.1 Diámetro de tubería. Para saber el diámetro de la tubería se aplica la siguiente ecuación:

Ecuación 23. Cálculo diámetro de tubería

$$D = 1,548 \left(\frac{nQ}{S^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{8}} \quad (23)$$

$$D=0,172m$$

Se toma un diámetro comercial de 8" ya que es el más aproximado al resultado obtenido anteriormente.

$$D= 8"$$

$$D=0,2032m$$

➤Condiciones de flujo tubo lleno. Se calculan las condiciones de flujo a tubo lleno (véase la Tabla 17):

Tabla 18. Condiciones de flujo tubo lleno

ASPECTO	RESULTADO
Caudal a tubo lleno	$Q_0 = 0,312 \frac{D^{\frac{8}{3}} S^{\frac{1}{2}}}{n}$ $Q_0=0,079m^3/s$
Velocidad a tubo lleno	$V_0 = \frac{Q_0}{A_0}$ $V_0=2,437m/s$
Radio hidráulico	$R_0 = \frac{D}{4}$ $R_0=0,0508m$

Fuente. El Autor

Se calcula Q/Q_0 (Relación de caudales) para ir a la tabla 8,2 del libro de López Cualla y determinar los siguientes factores:

$$Q/Q_0=0,645$$

Teniendo:

$$V_r/v_0=0,922$$

$$d/D= 0,658$$

$$R/R_0=1,155$$

Se despeja y se tiene:

$$V_r=2,247\text{m/s}$$

$$d=0,133\text{m}$$

$$R=0,058\text{m}$$

Se halla el esfuerzo cortante:

Ecuación 24. Cálculo del Esfuerzo Cortante

$$t = \delta R S \quad (24)$$

$$t=14,69\text{N/m}^2$$

El esfuerzo cortante permite el arrastre de la mayor parte de materiales indicados en las tablas 8.3 y 8.4 del libro López Cualla.

3.5.2 Verificación de la cota a la salida de la bocatoma. Para la verificación de la cota se aplica la siguiente ecuación:

Ecuación 25. Cálculo cota a la salida de la bocatoma

$$d + 1,5 \frac{v^2}{2g} \quad (25)$$

El resultado es 0,519906692m, lo cual es diferente al resultado anterior de 0,8m que es la profundidad de la lámina de agua en la cámara de recolección de la bocatoma hasta el fondo de la cámara.

Por tanto, se debe modificar la condición de diseño en este caso disminuyendo la pendiente.

Recalculando el diseño se tiene:

Ecuación 26. Ecuación de Manning para cálculo de pendiente

$$S = \frac{cota_{bocatoma} - cota_{desarenador}}{L} * 100 \quad (26)$$

$$S = 2,01\%$$

Ecuación 27. Cálculo diámetro de tubería

$$D = 1,548 \left(\frac{nQ}{S^{1/2}} \right)^{3/8} \quad (27)$$

$$D = 0,18\text{m}$$

Tomándose un diámetro comercial aproximado de 8"

$$D = 8''$$

$$D = 0,2032\text{m}$$

$$Q_0 = 0,312 \frac{D^{8/3} S^{1/2}}{n}$$

$$Q_0 = 0,0702\text{m}^3/\text{s}$$

$$V_0 = \frac{Q_0}{A_0}$$

$$V_0 = 1,57\text{m/s}$$

$$R_0 = \frac{D}{4}$$

$$R_0 = 0,0508\text{m}$$

$Q/Q_0 = 0,727$ relación de caudales

$V_r/V_0 = 0,958$

$d/D = 0,71$

$R/R_0 = 1,184$

Se despeja y queda:

$$V_r = 1,506 \text{ m/s} > 0,6 \text{ m/s ok cumple}$$

$$d = 0,144272 \text{ m}$$

$$R = 0,0601472 \text{ m}$$

$$t = \delta RS$$

$$t = 11,863 \text{ N/m}^2$$

➤ **Verificación de la cota a la salida de la bocatoma.**

Ecuación 28. Calculo cota de salida de la bocatoma

$$d + 1,5 \frac{V^2}{2g} \quad (28)$$

Con las nuevas cotas y pendiente nos da 0,318m, aproximadamente 0,32m que es la profundidad de la lámina de agua en la cámara de recolección de la bocatoma hasta el fondo de la cámara.

De acuerdo con esto, el caudal de exceso máximo será:

Ecuación 29. Caudal exceso máximo

$$Q_{\text{exceso}} = Q_{\text{lleno}} - Q_{\text{diseño}} \quad (29)$$

$$Q_{\text{exceso}} = 0,01915236 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tabla 19. Cotas definitivas y condiciones hidráulicas

COTA	VALOR
Cota de batea a la salida de la bocatoma	611,68
Cota clave a la salida de bocatoma	611,88
Cota de batea a llegada a desarenador	615,46
Cota clave a llegada de desarenador	615,66
Cota de la lámina de agua a la llegada al desarenador	615,604272

Fuente. El Autor

Se hacen los mismos cálculos en el programa AYA del libro de López Cualla, obteniendo el siguiente diseño de bocatoma (véase las Figuras 27 y 28).

3.6 DISEÑO DEL DESARENADOR

Para el diseño del desarenador se tienen en cuenta las siguientes Condiciones de la tubería de entrada

➤ $Q=0,051\text{m}^3/\text{s}$

➤ $V=1,506\text{m}/\text{s}$

➤ $D=0,2032\text{m}, 8''$

➤ $Q_0=0,0701\text{m}^3/\text{s}$

➤ $V_0=1,572652927\text{m}/\text{s}$

➤ $d=0,144272\text{m}$

Con esto se calculan las condiciones para el desarenador las cuales se muestra a continuación (véase la Tabla 20).

Tabla 20. Condiciones de diseño del desarenador

PARAMETRO	DATO
Periodo de diseño	25 años
Numero de módulos	1
Caudal medido diario año 2043	0,03848m ³ /s
Caudal máximo diario año 2043	0,051m ³ /s
Caudal medio diario año 2018	0,03108m ³ /s
Requerimiento de agua en planta de purificación	0,00255m ³ /s
Caudal de diseño de cada modulo	0,03848m ³ /s
Remoción de partículas de diámetro	0,00005m
Porcentaje de remoción	75%
Temperatura	18C
Viscosidad cinemática	0,01059cm ² /s
Grado de desarenador n	3
Relación longitud: ancho	4:1
Cota de lámina en la tubería a la entrada de desarenador	615,604272
Cota de la batea en la tubería a la entrada al desarenador	615,46
Cota de la corona entre muros	615,904272

Fuente. El Autor

3.6.1 Calculo de los parámetros de sedimentación. Se tiene una velocidad de sedimentación de la partícula, $d_s=0,00005\text{m}$:

Ecuación 30. Cálculo de velocidad de sedimentación en la partícula

$$V_s = \frac{g}{18} \frac{(p_s - p)}{u} d^2 \quad (30)$$

Donde:

V_s =Velocidad de sedimentación de la partícula (cm/s)

g = Gravedad (981 cm/s²)

P_s =Peso específico de la partícula=2,65

P =Peso específico del agua=1

u = viscosidad cinemática

$$V_s = 0,212287535 \text{ cm/s}$$

De la tabla 9,3 se obtiene para $n=3$ y remoción del 75%

$$\frac{\theta}{t} = 3 \text{ Según tabla 9.3 del Libro López Cualla}$$

Se supone que la profundidad útil de sedimentación es $H=1,5\text{m}$, el tiempo que tardaría en llegar la partícula al fondo sería:

Ecuación 31. Cálculo de Tiempo de Llegada de la partícula al fondo del desarenador

$$t = \frac{H}{V_s} \quad (31)$$

$$t = 706,588824 \text{ segundos}$$

El periodo de retención hidráulico sería:

$$\theta = 3 * t$$

$$\theta = 2119,766472 \text{ segundos} \rightarrow 0,588 \text{ hr cumple } 0,5 \text{ hr} < 0,588 \text{ hr} < 4 \text{ hr}$$

3.6.2 Cálculos del tanque. A continuación, se presentan los cálculos para el volumen del tanque (véase la Tabla 21).

Tabla 21. Cálculos del Tanque

ASPECTO	RESULTADO
Volumen del tanque	$V = \theta Q$ $V = 81,56861384 \text{m}^3$
Área superficial del tanque:	$A_s = \frac{V}{H}$ $A_s = 54,3790759 \text{m}^2$
Dimensiones del tanque serán L: B	$B = \sqrt{\frac{A_s}{4}}$ $B = 3,68 \text{m}$ $L = 4 * B$ $L = 14,75$
Carga hidráulica superficial para el tanque	$q = \frac{Q}{A_s}$ $q = 0,000707625 \text{m}^3/\text{m}^2\text{s} \rightarrow 61,1388102 \text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$ <p>El valor cumple, ya que el valor debe estar entre 15-80 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$</p> $V_0 = q = 0,000707625 \text{m/s} \rightarrow 0,070762512 \text{cm/s}$
La relación de tiempos es igual a la relación de velocidades	$\frac{\theta}{t} = \frac{V_s}{V_0}$ <p>Es igual a 3,0</p>
velocidad horizontal	$V_h = \frac{Q}{HB} * 100$ $V_h = 0,695757487 \text{cm/s}$
velocidad horizontal máxima	$V_{h \text{ max}} = 20V_s$ $V_{h \text{ max}} = 4,245750708 \text{cm/s}$
Velocidad de resuspensión máxima	$V_r = \sqrt{\frac{8k}{f} g(p_s - p) d}$ $V_r = 9,29128624 \text{cm/s}$

Fuente. El Autor

3.6.3 Condiciones de operación de los módulos.

Operación inicial en el año 2018: $Q=0,03108\text{m}^3/\text{s}$.

$$\theta = \frac{V}{Q}$$

$\theta = 2624,472775\text{segundos} \rightarrow 0,729020215\text{hr}$ ok cumple $0,5\text{hr} < 0,72902\text{hr} < 4\text{hr}$

$$q = \frac{Q}{A_s} * 86400$$

$q = 49,3813467 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ ok cumple ($15 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d} < q < 80 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$)

Uno de los módulos sale de operación por emergencia o mantenimiento, condición en la que se debe garantizar que la planta de purificación llegue al caudal máximo diario en el año 2043 más el consumo de la planta de purificación:

$$Q = 0,05355\text{m}^3/\text{s}$$

$$\theta = \frac{V}{Q}$$

$\theta = 1523,223414\text{segundos} \rightarrow 0,423117615\text{hr}$ $\theta < 0,5\text{hr}$ cumple según norma

$$q = \frac{Q}{A_s} * 86400$$

$q = 85,08272573 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ ($q > 80 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) cumple según norma

3.6.4 Calculo de los elementos del desarenador. A continuación, se presentan los resultados de los cálculos de los elementos que conforman el desarenador (véase la Tabla 22).

Tabla 22. Cálculos elementos del desarenador

ASPECTO	RESULTADO
Vertedero de salida:	$V_v = \frac{Q}{BH_v}$ $V_v = 0,328141832\text{m/s}$
Alcance horizontal:	$X_s = \left(0,36V_v^{\frac{2}{3}} + 0,60H_v^{\frac{4}{7}} \right)$ $X_s = 0,254911313\text{m}$ $L_v = 0,354911313\text{m}$

Tabla 22. (Continuación)

ASPECTO	RESULTADO
Pantalla de salida:	
Profundidad =H/2=	0,75m
Distancia al vertedero de salida =15H _v =	0,477066377m
Pantalla de entrada	
Profundidad =H/2=	0,75m
Distancia a la cámara de aquietamiento= L/4=	3,687108484m
Almacenamiento de lodos	
Relación longitud Prof. lodos =	10
Profundidad máxima=	1,474843394m
Profundidad máxima adoptada=	1m
Profundidad mínima adoptada=	0,8m
Distancia pto. de salida a cámara de aquietamiento= L/3=	4,916144646m
Distancia pto. de salida al vertedero de salida =2L/3=	9,832289291m
Pendiente transversal= (1-0,8)/B=	5,4243047%
Pendiente longitudinal en L/3=	4,0682285%
Pendiente longitudinal en 2L/3=	2,0341143%
Cámara de aquietamiento:	
Profundidad	H/3=0,5m
Ancho	B/3=1,229036161m
Largo adoptado	1m
Rebose de la cámara de aquietamiento	$Q_{excesos} = Q_0 - Q$ $Q_{excesos}=0,019152357\text{m}^3/\text{s}$ $H_e = \left(\frac{Q_{excesos}}{1,84 * L_e} \right)^{\frac{2}{3}}$ $H_e=0,047672685\text{m}$ $V_e = \frac{Q_{excesos}}{H_e L_e}$ $V_e=0,401746986\text{m/s}$ $X_s = \left(0,36V_e^{\frac{2}{3}} + 0,60H_e^{\frac{4}{7}} \right)$ $X_s=0,30141547\text{m}$ $L_r=X_s+0,1=0,40141547\text{m}$

Fuente. El Autor

$B_{\text{ancho}}=1,229036161\text{m}$ se adopta este ancho de B/3 en la cámara de aquietamiento.

3.6.5 Perfil hidráulico. Perdidas a la entrada de la cámara de aquietamiento, $k=0,2$ debido a la disminución de la velocidad:

V_1 = Velocidad de tubería de entrada.

$V_1=1,506601504\text{m/s}$

Ecuación 32. Cálculo de la velocidad de tubería de entrada

$$V_2 = \frac{Q}{Prof * Ancho} \quad (32)$$

$V_2=0,087141456\text{m/s}$

$$h_m = k\Delta \frac{V^2}{2g}$$

$h_m=0,023060698\text{m}$

Tabla 23. Cálculo de Cotas

COTAS	VALOR
Cota de batea de la tubería de entrada	615,46
Cota lámina de agua en tubería de entrada	615,604272
Cota lámina de agua en cámara de aquietamiento	615,584272
Cota de la cresta del vertedero cámara de aquietamiento	615,5365993
Cota fondo de cámara de aquietamiento	615,084272
Cota lámina de agua en zona de sedimentación	615,584272
Cota de la corona de los muros del desarenador	615,904272
Cota inferior de pantallas de entrada y salida	614,834272
Cota del fondo de profundidad útil del sedimentador	614,084272
Cota placa fondo a la entrada y salida del desarenador	613,284272
Cota placa fondo en punto de desagüe	613,084272
Cota de batea de la tubería de lavado	613,084272
Cota clave de la tubería de lavado	613,284272
Cota cresta del vertedero de salida	615,554272
Cota lámina de agua de la cámara de recolección	615,434272
Cota fondo de cámara de aquietamiento (supuesta)	615,134272

Fuente. El Autor

3.6.6 Conducción: desarenador- tanque de almacenamiento (bomba). Para hacer el diseño de la conducción desde el desarenador al tanque de almacenamiento se toman las siguientes condiciones de diseño (véase la Tabla 24).

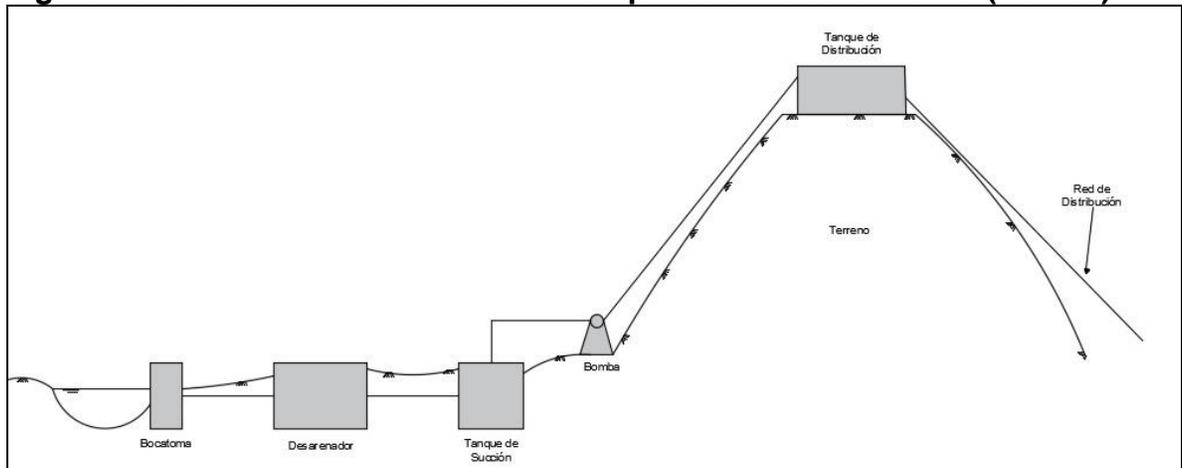
Tabla 24. Condiciones de Diseño

CONDICION	DATO
Periodo de diseño	25 años
Caudal de diseño	0,0501m ³ /s
Cota lámina de agua salida del desarenador	615,434272
Cota de descarga en el tanque bombas	467

Fuente. El Autor

De acuerdo con lo anterior a continuación se presenta el diseño de la conducción desarenador- tanque de almacenamiento (bomba) (véase la Figura 29).

Figura 29. Conducción desarenador- tanque de almacenamiento (bomba)



Fuente. El Autor

3.6.3.1 Presión de diseño. Para realizar el cálculo de la presión de diseño se toma la Cota de presión máxima – cota lámina de agua del desarenador debe ser de 131,434272m, teniendo como resultado el siguiente:

$$\text{Presión de diseño} = 1,3 * 131,434272 = 170,864554 \text{m}$$

Se ha determinado la utilización de tubería de PVC, con las siguientes especificaciones:

- RDE 32,5, Tipo 1, Grado 1
- Presión de trabajo: 8,8 kg/cm² → 88m
- Coeficiente de rugosidad de Hazen – Williams C=150 (véase la Tabla 25).

Tabla 25. Cálculo del diámetro

CONDICIÓN	DATO
Carga hidráulica disponible	$H=615,43-467=148,434272\text{m}$
Longitud real de la tubería	$L=10630\text{m}$
Perdida de carga unitaria:	$J = \frac{H}{L}$ $J=0,01396371\text{m/m}$
Ecuación de Hazen-Williams:	<p>Despejamos diámetro de la ecuación Hazen-Williams:</p> $D = \left(\frac{Q}{0,2788CJ^{0,54}} \right)^{\frac{1}{2,63}}$ $D=0,18629363\text{m}$ <p>Aproximadamente:</p> $D=8''$ $D=0,20557\text{m}$ $I = \left(\frac{Q}{0,2785 * C * D^{2,63}} \right)^{\frac{1}{0,54}}$ $J=0,00864441\text{m/m}$ $V = \frac{Q}{A}$ $V=1,50948351\text{m/s}$ $\frac{V^2}{2g}$ $0,11613356\text{m}$
Carga hidráulica total	$L = \frac{H}{J}$ $L=17171,1231\text{m}$

Fuente. El Autor

➤ **Cálculo de las pérdidas de energía:** tomado del libro de Rafael Pérez, instalaciones hidrosanitarias (véase la Tabla 26).

Tabla 26. Cálculo de las pérdidas de energía

ASPECTO	DATO
Codo 90 grados 8"	3,61
Codo 45 8"	2,03
Válvula de compuerta abierta 10 de 8"	12
Pérdidas totales	17,64m

Fuente. El Autor

Con el valor de las pérdidas totales se verifica el diámetro y la redistribución de longitudes (véase la Tabla 27).

Tabla 27. Cálculos verificados

ASPECTO	DATO
Carga hidráulica disponible	$H=615,43-467-17,64= 130,794272\text{m}$
Longitud real de la tubería	$L=10630\text{m}$
Perdida de carga unitaria	$J = \frac{H}{L}$ $J= 0,01230426\text{m/m}$
Diámetro	$D = \left(\frac{Q}{0,2788CJ^{0,54}} \right)^{\frac{1}{2,63}}$ $D= 0,19119635\text{m}$ $D=8''$
Nueva longitud de la tubería	$L = \frac{H}{J}$ $L= 15130,4986\text{m}$

Fuente. El Autor

3.7 BOMBEO

Para realizar el cálculo del bombeo de las tuberías se utilizan los siguientes datos iniciales (véase la Tabla 28)

Tabla 28. Datos iniciales

ASPECTO	DATO
Periodo de diseño=	25
Caudal máximo diario=	$0,008944\text{m}^3/\text{s}$
Número total de horas de bombeo al día=	12
m.s.n.m.=	470
Temperatura del agua	18c
Tubería PVC C=	150

Fuente. El Autor

Tabla 29. Caudal de diseño

ASPECTO	DATO
Porcentaje de utilización de bomba:	$\frac{\text{Numero de horas de bombeo}}{24} * 100$ 50%
Caudal de diseño:	$Q_{\text{diseño}} = \frac{QMD}{\%}$ $Q_{\text{diseño}} = 0,017888\text{m}^3/\text{s}$

Fuente. El Autor

3.7.1 Cálculo de los Diámetros. Según la ecuación de Bresse (véase la Tabla 30).

Tabla 30. Tubería de impulsión

ASPECTO	DATO
Diámetro de impulsión:	$D_i = 1,3X^{\frac{1}{4}}\sqrt{Q}$ $D_i = 0,14620652\text{m}$ $D_i = 4''$ $D_i = 0,10552\text{m}$
Velocidad en la tubería	$V_i = \frac{Q}{A}$
	$V_i = 2,04551345\text{m/s}$ ok cumple, recomendado entre 1m/s y 3m/s

Fuente. El Autor

Aumentamos el diámetro 6" (0,15532m) según tabla 7.3 libro López Cualla.

Tabla 31. Tubería de succión

ASPECTO	DATO
Diámetro en succión:	$D_s = 6''$ $D_s = 0,15532\text{m}$
Velocidad en la tubería:	0,15532m $V_s = 0,94409814\text{m/s}$

Fuente. El Autor

➤ **Sumergencia:**

$$2,5D_s + 0,1$$

$$0,4883\text{m}$$

Tabla 32. Cálculo de la altura dinámica de elevación

ASPECTO	DATO
Altura estática de succión	0,6m
Altura estática de impulsión	41,5m
Altura estática total (succión + impulsión)	42,1m

Fuente. El Autor

Pérdidas en la succión ($D_s=6''=0,15532\text{m}$)

Se calculan longitudes equivalentes en la tabla 7.7 (véase la Tabla 33)

Tabla 33. Longitudes equivalentes

ASPECTO	DATO
Válvula de pie con coladera L.E	39
Codo radio largo 90	3,4
Reducción excéntrica (6D _s)	0,93192
Entrada (borda)	6
Longitud de tubería recta	1,5883
Longitud equivalente total	50,92022

Fuente. El Autor

Se calcula la pérdida de carga total con la fórmula de Hazen- Williams (véase la Tablas 34, 35, 36 y 37).

Tabla 34. Pérdida de carga total con la fórmula de Hazen- Williams

ASPECTO	DATO
Hazen- Williams:	$J = \left(\frac{Q}{0,2788CD^{2,63}} \right)^{\frac{1}{0,54}}$ $J = 0,00502723\text{m/m}$
Pérdidas en la succión:	$J * \textit{longitud equivalente total}$ $0,25598742\text{m}$

Fuente. El Autor

Tabla 35. Pérdidas en la impulsión ($D_i=4''=0,10552\text{m}$)

ASPECTO	DATO
Expansión concéntrica (12D) L.E	1,26624
Válvula retención horizontal	16,1
Válvula de cortina	0,7
Codo de radio largo 90 (3 codos)	8,4
Te con cambio de dirección	8,4
Tubería	275,5
longitud equivalente total	310,36624

Fuente. El Autor

Tabla 36. Utilizando la ecuación de Hazen – Williams:

ASPECTO	DATO
Hazen – Williams:	J= 0,03303905m/m
Perdidas por impulsión:	10,2542045m
Altura de velocidad en la descarga:	$\frac{V_d^2}{2g}$ 52,8234501m

Fuente. El Autor

Tabla 37. Potencia de la bomba

ASPECTO	DATO
Potencia de la bomba:	$P_b = \frac{\delta Q H_t}{e}$ P _b = 10,9053255kW → 15hp

Fuente. El Autor

3.7.2 Cavitación de la bomba. Para el cálculo de la cavitación de la bomba se aplica la siguiente fórmula

Ecuación 33. Cálculo Cavitación de la bomba

$$CNPS_d = \left[\text{Altur. bar} - \left(\text{Altura estatica} + \text{Perdi. friccion} + \frac{V^2}{2g} \right) \text{succion} \right] - P_{Vapor} \quad (33)$$

3.7.3 Altura barométrica. La altura máxima de succión es de 760 mm Hg, equivalen a 10,33m de agua. Este valor debe corregirse teniendo en cuenta la elevación sobre el nivel del mar, a razón de 1,2m por cada 1000 m de nivel: 7,21m

Altura barométrica: 7,21m
 Altura estática de succión máxima: H_s=4

Tabla 38. Perdidas por succión:

ASPECTO	DATO
L.E.=	50,92022m
C=	150
Q=	0,017888m ³ /s
D _s =	0,15532m
Altura de velocidad:	V _s =0,94409814m/s

Fuente. El Autor

$$\frac{V_d^2}{2g} = 0,04542922m$$

3.7.4 Presión de succión. Para una temperatura de 15 grados según tablas se tiene una presión de vapor de 0,18m, se aplica la siguiente fórmula para el cálculo de la presión de succión

Ecuación 34. Cálculo Presión de succión

$$CNPS_d = \left[\text{Altur. bar} - \left(\text{Altura estatica} + \text{Perdi. friccion} + \frac{v^2}{2g} \right) \text{succion} \right] - P_{Vapor} \quad (34)$$

$CNPS_d=2,72858336m > CNPS_r=0,9m$ ok cumple, sin problemas de cavitación.

De acuerdo con lo anterior la bomba tendría las siguientes características (véase la Figura 30)

Figura 30. Curva característica de la bomba



Fuente. BERNES DE COLOMBIA S.A. Bomba autocebante [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 5 mayo, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.barnes.com.co/>>

3.8 DISEÑO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Para el diseño del tanque de almacenamiento se tienen en cuenta las siguientes condiciones de diseño (véase la Tabla 39)

Tabla 39. Condiciones de diseño

ASPECTO	DATO
Período de diseño	25 años
Población de diseño	3176
Caudal máximo diario	0,008944m ³ /s
Cota de descarga en la tubería del tanque	512
Cota de la lámina de agua en el tanque (N.A máximo)	511,8

Fuente. El Autor

Se diseñará un tanque elevado que tiene un suministro por bombeo:

3.8.1 Volumen del tanque. Para calcular el volumen para la regulación de la demanda doméstica se aplica la siguiente fórmula:

Ecuación 35. Cálculo volumen de tanque de regulación

$$V = QMD * 86400 \quad (35)$$

$$\text{Consumo diario: } V = 772,7616 \text{m}^3$$

► **Bombeo tanque elevado:** para calcular el bombeo del tanque se toma el porcentaje % de Consumo máximo diario, es decir, 29,50% según Tabla 12.4 libro López Cualla, teniendo como resultado el siguiente:

Ecuación 36. Volumen tanque elevado

$$V_e = 1,3 * V * \% \quad (36)$$

$$V_e = 296,354074 \text{m}^3$$

► **Bombeo tanque de succión:** para calcular el bombeo del tanque de succión se toma el porcentaje % de Consumo máximo diario, es decir, 41,67% según Tabla 12.5 libro López Cualla, teniendo como resultado el siguiente:

Ecuación 37. Volumen tanque de succión

$$V_s = 1,3 * V * \% \quad (37)$$

$$V_s = 418,6126863 \text{ m}^3$$

Ecuación 38. Volumen para incendio

$$Q_i = \frac{3,86}{60} \sqrt{\frac{P}{60} \left(1 - 0,01 \sqrt{\frac{P}{1000}} \right)} \quad (38)$$

Donde:

Q_i= Caudal de incendio requerido en m³/s

P= Población de diseño

$$Q_i = 0,11260737 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_i = Q_i * 2 * 3600$$

$$V_i = 810,77303 \text{ m}^3$$

Ecuación 39. Volumen de emergencia

$$V_{e \text{ adicional}} = 0,25 * V_e \quad (39)$$

$$V_{e \text{ adicional}} = 74,0885184 \text{ m}^3$$

➤ **Volumen total del tanque.**

Ecuación 40. Tanque elevado

$$V = V_e + V_{e \text{ adicional}} \quad (40)$$

$$V = 370,442592 \text{ m}^3$$

➤ **Tanque de succión:**

$$V_s$$

$$V_s = 418,612686 \text{ m}^3$$

3.8.2 Predimensionamiento del Tanque. Se escoge la opción del volumen total correspondiente, es decir:

$$V = 370,442592 \text{ m}^3 = 3,7044 \times 10^2 \text{ m}^3$$

De acuerdo con la tabla 12.2 la constante de capacidad de almacenamiento es de $k=1,8$.

$$H = \frac{3,7044}{3} + 1,8$$

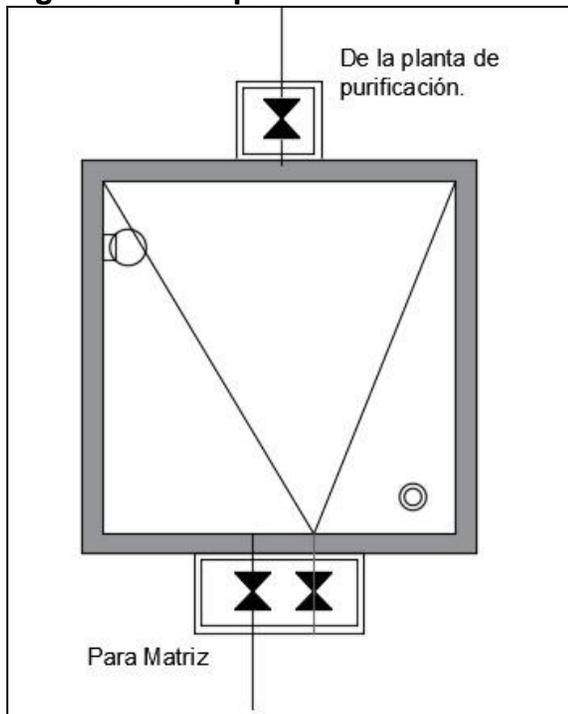
$$H = 3,04\text{m}$$

$$B = L = \sqrt{\frac{V}{H}}$$

$$B = L = 11,05\text{m}$$

De acuerdo con los cálculos anterior, el diseño del tanque será el siguiente (véase la Figura 32)

Figura 31. Tanque



Fuente. El Autor

➤ **Cotas y niveles de agua en el tanque:** para el cálculo de las cotas y niveles del agua se desarrolla el siguiente procedimiento

Ecuación 41. Altura de Regulación

$$H_{reg} = \frac{V_e}{B * L} \quad (41)$$

$$H_{reg}=2,43m$$

De acuerdo con este cálculo se sacan los datos para los diferentes tipos de cotas del tanque, las cuales se presentan a continuación (véase el Cuadro 40).

Tabla 40. Cotas del Tanque

TIPO DE COTA	DATO
Cota del nivel de agua máximo en el tanque	511,8
Cota del nivel del agua mínimo en el tanque	509,37
Cota del fondo del tanque	508,76
Cota de la corona de muros	512,3

Fuente. El Autor

➤ **Tubería de desagüe:** una vez calculado el valor de las diferentes cotas del tanque se procede a determinar los cálculos de la tubería de desagüe, (véase el Cuadro 41).

Tabla 41. Datos para el Cálculo de Tubería de Desagüe

ASPECTO	DATO
Cota de entrega del desagüe de lavado	509
Cota lámina de agua sobre la tubería	511,8
Carga hidráulica disponible	2,8

Fuente. El Autor

De acuerdo con lo anterior se tiene:

Longitud de desagüe: 45m (supuesto)

Diámetro de tubería 8" (0,20557m)

Tabla 42. Información Longitud Equivalente

ASPECTO	DATO
Entrada normal	3,5m
Válvula de compuerta	1,4m
Codo 90 grados	6,4m
Te de paso directo 2	8,6m
Salida	6m
Tubería	45m
L.E. total=	70,9m

Fuente. El Autor

Ecuación 42. Cálculo Resultado Adimensional

$$J = \frac{H}{L.E.} \quad (42)$$

$$J=0,0394\text{m/m}$$

Con este resultado se procede a calcular el caudal inicial aplicando la siguiente fórmula:

Ecuación 43. Cálculo caudal

$$Q_{inicial} = 0,2785CD^{2,63}J^{0,54} \quad (43)$$

$$C=150\text{PVC}$$

$$Q_{inicial}=0,1137\text{m}^3/\text{s}$$

Con este dato se procede a calcular la velocidad de la tubería de desagüe aplicando la siguiente fórmula:

Ecuación 44. Velocidad de tubería de desagüe

$$V = \frac{Q_{inicial}}{A} \quad (44)$$

$$V=3,42852705\text{m/s}$$

$$\frac{V^2}{2g}$$

$$= 0,599\text{m}$$

➤ **Tiempo de vaciado:** se determina a partir de la ecuación de descarga de un orificio:

Ecuación 45. Ecuación de descarga de orificio

$$C_d = \frac{Q}{A_0\sqrt{2gH}} \quad (45)$$

Donde:

H=Altura del tanque.

$C_d=0,44442452$

Ecuación 46. Tiempo de vaciado

$$t = \frac{2A_s}{C_D A_0 \sqrt{2g}} H^{\frac{1}{2}} \quad (46)$$

Donde:

H: Carga hidráulica disponible.

$A_s = B \cdot L$.

$t = 6255,36885 \text{ segundos} \rightarrow 1,8 \text{ horas}$

De acuerdo con lo anterior, el tiempo de vaciado del tanque será de 1,8 horas

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez concluida la etapa de diagnóstico del sistema de acueducto actual y el desarrollo del cálculo de los diseños propuestos, se presenta un resumen de los aspectos más importantes que se deben optimizar en el sistema de acueducto del municipio de Apulo:

➤ Se pudo observar que la bocatoma actual se encuentra en muy malas condiciones, no está bien dimensionada y no tiene encerramiento, así mismo, la presa enrocada está deteriorada, tiene partes destruidas como se evidencia en el registro fotográfico, por lo que aparenta ser una estructura improvisada provisionalmente, no como un componente de un sistema de acueducto, razón por la cual se precisa implementar el diseño de la bocatoma propuesta, que no sólo se basa en lo que establece la normatividad colombiana para este tipo de estructuras, sino que además garantizar un mejor funcionamiento para que la captación del agua se realice de manera adecuada. Sin embargo, cabe resaltar que, el agua de la fuente hídrica a la vista es de mala calidad, pues presenta un olor y color que supone un grado de contaminación alto, lo que sería buena analizar el agua una vez es tratada, para verificar si es apta para el consumo, de lo contrario, sería aconsejable buscar otra alternativa como fuente de abastecimiento para el municipio.

➤ Por otro lado, en el sistema actual la rejilla se encuentra inservible, no presta ninguna utilidad y está bastante deteriorada, por lo que los sedimentos de gran tamaño pasan al canal de conducción llegando hasta el desarenador, lo que incrementa el nivel de suciedad del agua que se observa en éste. De acuerdo, con esto, es importante reemplazar la rejilla actual, utilizando el diseño propuesto, el cual no sólo será adecuado y cumplirá con los requisitos de la resolución 330 de 2017, sino que se ubicará de manera tal que cumpla con su propósito, evitando el paso de sedimentos.

➤ Así mismo, la conducción del agua desde la bocatoma hasta el desarenador actual se realiza de manera inadecuada, ya que las obras civiles se encuentran dañadas y deterioradas, el agua relativamente está pasando directa hasta el desarenador, por lo cual se requiere modificar el canal de aducción y construir la cámara de recolección, hasta el desarenador para que cumpla con los parámetros establecidos por la normatividad colombiana, y que preste una funcionamiento óptimo, para que no se presenten pérdidas de presión que es uno de los principales problemas de las líneas de conducción.

➤ En cuanto al desarenador existente, se pudo determinar que es un componente obsoleto, que no cumple con los parámetros establecidos en la resolución 0330 de 2017, ni para su diseño ni para su funcionamiento, pues el nivel de deterioro es tal que, el agua que pasa por este, se ve demasiado contaminada y sucia como se pudo observar en las fotos de la inspección, evidenciándose que no está

cumpliendo con su función; por tanto para optimizarlo es mejor construir el nuevo desarenador según los cálculos y díselo propuesto, teniendo en cuenta que éste va a ser de utilidad para los dos municipios de Apulo y Tocaima.

➤ En cuanto al cuarto de bombas, se pudo observar que las bombas de éste ya están muy deterioradas y que su funcionamiento puede no ser el correcto, por lo que para optimizarlas es mejor reemplazarlas por una bomba que cumpla con los cálculos realizados en la propuesta, que tenga así mismo, una capacidad del tanque de succión más alta, ya que se están generando actualmente sobrecostos energéticos para el bombeo del agua para el tanque de distribución, así mismo sería bueno implementar 2 bombas como las diseñadas, ya que el sistema actual solo cuenta con una, y en caso de mantenimiento o emergencia se quedaría sin bombeo hacia el tanque de distribución y por tanto sin suministro de agua a la comunidad.

➤ El tanque de distribución actual tiene un diseño adecuado, que se aproxima al que se propone en los cálculos, sin embargo, se recomendaría una instalación adecuada del macromedidor ya que se encuentra dañado e instalado de una forma inadecuada (al revés), y realizar trabajos de mantenimiento.

➤ Por otro lado, se pudo determinar que el funcionamiento actual en el sistema de bombeo en succión y conducción no es óptimo, esto debido a que, la tubería en todo el trayecto es de 6" de diámetro provocando que la velocidad del agua se baja, ya que la tubería según los cálculos realizados debe ser de 6" en succión y 4" en conducción para que la velocidad cumpla con lo mínimo requerido en la Resolución 330 de 2017; así mismo, la falta de accesorios hace que se presenten pérdidas superiores a las permitidas.

➤ Finalmente, como una propuesta sería conveniente trasladar la planta de tratamiento a una cota más alta, ubicada cerca al tanque de distribución, con esto se busca evitar el bombeo que se usa actualmente y que genera consumos elevados de energía.

5. CONCLUSIONES

Finalizado el trabajo investigativo se pudo evidenciar que los componentes del sistema de acueducto del municipio de Apulo se encuentran en un estado bastante deteriorado, la mayoría no cumple con lo que se establece en la normatividad Colombia para la construcción y funcionamiento de este tipo de estructuras; siendo la bocatoma, las obras de aducción y conducción y el desarenador, los elementos con mayores problemas y/o falencias, lo que impide que cumplan su función dentro del sistema.

En cuanto al tanque de distribución, aunque no se pudo comprobar de manera precisa su estado de funcionamiento, es importante resaltar que las condiciones topográficas de la zona y su facilidad de acceso, se puede implementar un tanque de distribución principal por medio de bombeo, que en el diseño propuesto evidencia buen rendimiento y capacidad de acuerdo a la proyección de población y cálculo de la demanda.

Así mismo, el diseño que se propone mejorará el sistema de acueducto para los municipios de Apulo y Tocaima, ya que éstos dos municipios comparten las obras de captación hasta el desarenador, razón por la cual, para el cálculo de la demanda de agua se tuvo en cuenta las proyecciones de las poblaciones de los dos municipios.

Finalmente, se pudo establecer que el nivel poblacional de las zonas rurales de Colombia ha ido decreciendo con el paso de los años, haciendo difícil las proyecciones de la población a futuro, y siendo este un elemento fundamental para el diseño de sistemas de acueducto, se convierte en una situación un poco preocupante, ya que se podría estar invirtiendo recursos en proyectos que con el tiempo no van a ser utilizados, quedando sus estructuras y obras de ingeniería a la deriva.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda tener en cuenta las especificaciones del diseño que se realizaron, ya que, éstas fueron calculadas teniendo en cuenta las especificaciones y requerimientos establecidos en la normatividad Colombiana Resolución 0330 de 2017, esto aprovechando que, en el municipio de Apulo se tiene actualmente el proyecto para realizar un nuevo sistema por las falencias que presenta el actual, por lo que los cálculos y diseños propuestos pueden ser tenidos en cuenta en éste.

De acuerdo con el diseño realizado, se recomienda cambiar el tanque de succión por un de mayor tamaño, ya que el actual es muy pequeño y por eso se presentan sobrecostos en el recibo de luz, debido a que la bomba debe estar continuamente succionando agua hacia el tanque de distribución.

Por otro lado, se recomienda que el uso del acueducto sea exclusivo para consumo humano, y no sea destinado para cultivos y/o manutención de animales, ya que su capacidad no sería la adecuada para las dos actividades. Para esto se recomienda realizar una nueva investigación en donde se tenga en cuenta el desarrollo económico y las actividades pecuarias y agrícolas para el diseño del acueducto, para que se puede determinar si es posible que las obras sean optimizadas para tal fin y/o solo para el consumo humano.

Se sugiere realizar un trabajo orientado al análisis del comportamiento poblacional de las zonas rurales, pues como se pudo evidenciar las proyecciones poblacionales utilizando los diferentes métodos, mostraron decrecimiento, por lo que éste puede ser un tema de investigación que permita determinar la razón de este decrecimiento.

Finalmente, se recomienda realizar una investigación orientada al análisis de la calidad del agua y funcionamiento de la planta y sistema de tratamiento del Municipio, pues como se pudo evidenciar, la fuente hídrica de la cual se abastece el acueducto presenta olores y colores del agua que sugieren un alto nivel de contaminación del líquido, por lo cual será conveniente buscar otras fuentes de abastecimiento hídrico.

BIBLIOGRAFÍA

BENAVIDES GARZÓN. David Leonardo; CASTRO MOLANO, Mildred Yohana y VIZCAÍNO CAGÜEÑO, Hernán Mauricio. Optimización del acueducto por gravedad del municipio de Timaná (Huila). Bogotá: Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería Civil. Modalidad trabajo de grado, 2006.

BERNES DE COLOMBIA S.A. Bomba autocebante [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 5 mayo, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.barnes.com.co/>>

BIBLIOTECA VIRTUAL DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y SALUD AMBIENTAL. Guía de orientación en Saneamiento Básico. Sistemas de agua y saneamiento rural [en línea]. Washington: Organización Panamericana de la Salud [citado 9 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/2-3sas.htm#arriba>>

CARE Internacional-Avina. Operación y mantenimiento de sistemas de agua potable. Quitó: Programa Unificado de Fortalecimiento de Capacidades, 2012.

COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Resolución 0330 (8 junio, 2017). Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009. Bogotá: El Ministerio, 2017.

----- . Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. Bogotá: El Ministerio, 2000.

----- . PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA. Decreto 475 (10, marzo, 1998). Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable. Bogotá: La Presidencia, 1998

----- . Decreto 849 (30, abril, 2002). Por el cual se reglamenta el artículo 78 de la Ley 715 de 2001 destinación de los recursos de propósito general y establece un porcentaje de destinación específica para el sector de agua potable y saneamiento básico.

CORCHO, F. y DUQUE, J.I. Acueductos, teoría y diseño. Medellín: Universidad de Medellín, 2005.

DIARIO EL TIEMPO. El agua: gran problema para Cundinamarca [en línea]. Bogotá: El Tiempo [citado 12 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-4344420>>

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

EQUIPO DE COLABORADORES Y PROFESIONALES DE LA REVISTA ARQHYS. Bocatoma – Estructura hidráulica. [en línea]. Bogotá: Revista ARQHIS [citado 13 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.arqhys.com/construccion/bocatoma-estructura-hidraulica.html>>.

FUNDACIÓN PARA EL DESARROLLO SOCIOECONÓMICO Y RESTAURACIÓN AMBIENTAL. Criterios para la selección técnica de abastecimiento de agua [en línea]. Bogotá: La Fundación [citado 12 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.fundesyram.info/biblioteca.php?id=3966>>

HERNÁNDEZ PLATA, Diego Armando. Diagnóstico del sistema de acueducto del municipio Puerto Salgar (Cundinamarca). Bogotá: Universidad de La Salle. Facultad de Ingeniería. Modalidad trabajo de grado, 2011.

HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto; FERNÁNDEZ COLLADO, Carlos y BAPTISTA LUCIO, Pilar. Metodología de la investigación. 5 ed. México: Mc Graw Hill, 2010.

INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL. Diseño de acueductos para llevar agua potable a las comunidades [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 11 septiembre, 2017]. Disponible en Interet: <URL: <http://www.ingenieriacivilyambiental.com/servicios/1-dise%C3%B1o-de-acueductos>>

LÓPEZ CUALLA, Ricardo. Elementos d diseño para acueductos y alcantarillados. 2 ed. México: Mc Graw Hill, 2002.

MALAGA CRUZ, Hernán. Tecnologías apropiadas en agua potable y saneamiento básico. México: Panamericana de la salud, 2015

PORTO, Julián Y GARDEY, Ana. Obras civiles [en línea]. Bogotá: Portal de ingeniería, Ingeniería civil. [citado 13 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <https://definicion.de/obra-civil/>>

SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE – SENA. Operación y mantenimiento de redes de acueducto y alcantarillado. Bogotá: SENA, 2000.

UNIVERSIDAD EIA. Sistemas de acueducto-desarenadores [en línea]. Perú: Obras hidráulicas [citado 13 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://fluidos.eia.edu.co/obrashidraulicas/articulos/articulopagppal.html>>

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR. Operación y mantenimiento de sistemas de abastecimiento de agua [en línea]. Valledupar: Portal Ambiental Ambientalex [citado 9 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <<http://unicesar.ambientalex.info/infoCT/Sistemasdeabastecimiento.pdf>>