

Alternativas para mitigación de pérdidas de agua en red de conducción río Chitamena desde la bocatoma hasta la entrada a la planta de tratamiento de agua potable

Rubiel D. Roa Cubides

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD
Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente
Ingeniería Ambiental
Abril 2021

Agradecimientos

- A Dios creador y dador de vida, quien nos ha dado todas las herramientas para hacer realidad nuestros sueños.
- A toda la familia Casanareña por su apoyo y a todas las personas que de una u otra manera contribuyeron en la realización de este proyecto.
- A nuestras familias eje fundamental de nuestras vidas por el apoyo incondicional y colaboración durante este proceso.
- A mi esposa e hijas y nieto, fuente de inspiración y superación constante en nuestra vida.

Resumen

El presente trabajo busca alternativas de mejora en el sistema de pérdidas de agua en una red de conducción, para lograr la mitigación de impacto ambiental, la pérdida del recurso hídrico, prestación óptima del servicio, el desperdicio o fugas de agua en los accesorios y el cumplimiento de la normatividad colombiana.

Se busca encontrar la procedencia de las pérdidas de agua en la red de conducción mediante la revisión, control y calibración de distintas herramientas propias de la medición en cada uno de los equipos y tuberías que representan puntos estratégicos desde el desarenador hasta la llegada a la planta de tratamiento de agua potable.

Después de lograr la identificación plena de los factores que generan la pérdida de agua se propondrá alternativas para mejorar la condición del transporte del agua a la planta de tratamiento. Cabe mencionar que las pérdidas de agua se reflejan en la disminución del caudal que llega a la planta.

Palabras claves: Agua cruda, pérdidas técnicas de agua, fugas, mitigación, recurso hídrico, red de conducción y planta de tratamiento.

Abstract

This work seeks to find alternatives to improve the water loss system in an adduction and conduction network, since to comply with the requirements of the corporation, it is necessary to periodically review each of the components of the system in general, also looking for mitigation of the environmental impact, the loss of the water resource, the optimal provision of the service, the mitigation of residues, the identification of water leaks throughout the network and ensuring compliance with Colombian regulations.

What is sought through this project is to find the causes of water loss in a pipeline network by performing various procedures in that network by reviewing, controlling and calibrating different specific tools for measurement in each one of the equipment and pipes that represent a strategic point in charge of the adduction and conduction network, which ranges from the intake to the arrival at the drinking water treatment plant. After achieving the complete identification of the factors that generate water loss, alternatives will be proposed to improve the condition of water transport to the treatment plant. It is worth mentioning that the water losses are reflected in the decrease in flow upon reaching the plant.

KEY WORDS: Raw water, losses, leaks, mitigation, water resources, treatment plant.

Introducción

El presente proyecto hace parte de una estrategia de mejora continua para la Empresa Municipal de Servicios Públicos de Tauramena “EMSET”, en la que se evalúan las pérdidas de la red de conducción del río Chitamena que abastece el acueducto Municipal de Tauramena, Casanare.

Con la inspección en campo y la información secundaria encontrada se diseñaron alternativas para reducir las pérdidas en el sistema de conducción mediante la identificación de los puntos críticos de la operación que requerían intervención, mantenimiento o sustitución para la prestación plena, el aprovechamiento del líquido vital y evitar de esta manera el desperdicio, sin dejar a un lado el cumplimiento de la normatividad establecida en la Resolución 330 del 2017 “por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico (RAS) y se derogan las resoluciones número 1096 del 2000, 0424 del 2001, 0668 del 2003, 1459 del 2005, 1447 del 2005 y 2320 del 2009” del Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio.

El objetivo principal de las acciones proyectadas en el esquema de gestión operacional obedece a la necesidad de lograr la eficiencia en la administración de los recursos hídricos, desde el punto de vista ambiental, técnico y comercial. Este trabajo presenta un marco conceptual y teórico, la descripción metodológica de las actividades realizadas, los resultados, sus análisis y finalmente las conclusiones y recomendaciones.

Contenido

Planteamiento del problema	11
Objetivos	12
Marco Teórico	12
Sistemas de Abastecimiento de Agua	13
Pérdidas en Sistemas de Abastecimiento de Agua	14
Indicadores de Pérdidas	16
Marco Conceptual.....	17
Zona de Estudio	18
Metodología.....	20
Revisión Documental.....	21
Trabajo de Campo.....	22
Inspección de accesorios e infraestructuras	22
Resultados.....	22
Descripción del Sistema de Acueducto del Río Chitamena	22
<i>Bocatoma</i>	22
<i>Red de Aducción</i>	23
<i>Desarenador</i>	24
<i>Conducción</i>	25
<i>Estaciones Macro Medidoras</i>	25
<i>Procedimiento de Mantenimiento y Operación</i>	26
Inspección de Pérdidas en Estructuras.....	28
<i>Bocatoma</i>	28
<i>Línea de Aducción</i>	31

<i>Desarenadores</i>	32
<i>Estación Macro Medidora Salida Desarenador</i>	33
<i>Macro Medidor Nuevo</i>	34
<i>Red de Conducción</i>	35
Trabajo de campo, verificación diámetro de tubería.....	35
Perdida de agua.....	35
Fugas en ventosas.....	35
Fugas en cámaras de quiebre.....	35
Conexiones ilegales.....	35
<i>Resumen general de pérdidas de agua</i>	48
Indicadores de Pérdidas	50
<i>Pérdida del sistema de Aducción-Conducción</i>	50
<i>Rendimiento de Producción</i>	51
<i>Pérdidas Económicas</i>	51
Alternativas para la Mitigación y Disminución de Pérdidas.....	52
<i>Mantenimiento Preventivo y Correctivo de Estructuras</i>	52
<i>Legalización de Usuarios</i>	53
<i>Implementar Protocolos de Registro y Monitoreo de Pérdidas</i>	53
Conclusiones	55
Recomendaciones	56
Bibliografía.....	57

Tabla de figuras

Figura 1. Tipos de pérdidas de agua.....	16
Figura 2. Zona estudiada	18
Figura 3. Aforo de caudal sobre el río.....	23
Figura 4. Tramo línea aducción.....	24
Figura 5. Desarenador en construcción.....	24
Figura 6. Desarenador en funcionamiento.....	24
Figura 7. Aforo en el desarenador	24
Figura 8. Río Chitamena	28
Figura 9. Aforo en bocatoma río Chitamena.....	28
Figura 10. Caudales promedio en punto de captación del río Chitamena.....	29
Figura 11. Río Chitamena - bocatoma	29
Figura 12. Aforo en la pantalla primaria de bocatoma.....	30
Figura 13. Resultados del aforo en la pantalla primaria de bocatoma	30
Figura 14. Resultados aforo 2 en la pantalla primaria de bocatoma	31
Figura 15. Línea de aducción	32
Figura 16. Estructuras de desarenación.....	33
Figura 17. Macro medidos de 12" volumétrico.....	34
Figura 18. Nuevo macro medidor tipo magnético.....	35
Figura 19. Tubería de polietileno nueva.....	37
Figura 20. Fuga de empalme línea de conducción	38
Figura 21. Aforo realizado en la fuga del empalme	39
Figura 22. Caja de válvulas de purga	39
Figura 23. Válvula donde se realizó el aforo	40
Figura 24. Ventosa con fuga considerable	41
Figura 25. Ventosa con fuga considerable	41
Figura 26. Ventosa con fuga considerable	42
Figura 27. Cámaras de quiebre.....	42
Figura 28. Tubería de polietileno	43

Figura 29. Perdidas de agua en bebedero de ganado en finca La Resbalosa	44
Figura 30. Aforo en vivienda de finca Los Yopos	45
Figura 31. Bebedero de ganado.....	45
Figura 32. Tanque sin llave	46
Figura 33. Acometida sin medición	46
Figura 34. Acometida sin medición	47
Figura 35. Estación macro medidora PTAP.....	47
Figura 36. Diagnostico pérdida tramo conducción PTAP.....	50

Contenido de tablas

Tabla 1. Cordenadas de diametro	25
Tabla 2. Resumen del sistema de abastecimiento.....	26
Tabla 3. Diámetro de tubería referenciado en documentación secundaria	35
Tabla 4. Diámetro de tubería verificados en campo.....	36
Tabla 5. Resultados de los aforos.....	48
Tabla 6. Frecuencia de actividades de mantenimiento.....	52
Tabla 7. Formato de registro y mantenimiento de red de audición.....	54
Tabla 8. Formato de registro y mantenimiento de estación macro medidora.....	54
Tabla 9. Formato de registro y mantenimiento de accesorios de red de conducción.....	55

Planteamiento del problema

La problemática mundial que se vive hoy por hoy es la necesidad de alternativas prontas capaces de mitigar la pérdida de agua y el desperdicio que se genera en cada actividad antrópica, pues a raíz de fenómenos como el calentamiento global, las actividades antropogénicas y la falta de conciencia se han generado daños irreversibles a las fuentes hídricas a tal punto de escasear de manera abrupta. Según estudio realizado por la empresa municipal de servicios públicos de Tauramena a través de diferentes aforos con ayuda de los macro medidores usados en la Planta de tratamiento de agua potable “PTAP”. se ha podido deducir que, en el momento de la captación de agua destinada al acueducto del 100% solo llega a la planta de tratamiento el 66.6%.

Según el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia-UNICEF (2020) y la Organización de las Naciones Unidas diariamente se reportan la muerte de más de 40.000 niños en el mundo por la falta de agua y las EDAS (Enfermedades diarreicas agudas) (ONU, 2016). Por tal razón es de suma importancia la mitigación de las pérdidas de agua en todos los municipios y además crear conciencia del uso racional del vital líquido por parte de la población. No es razonable permitir las fugas de agua en este punto de necesidad mundial y mucho menos por inadecuados manejos en las líneas de tratamiento o producto del mal estado de las tuberías o la no oportuna calibración de los elementos de medición. En Colombia, según el Departamento Nacional de Planeación la escasez de agua se suma al desperdicio y al mal manejo en las plantas de tratamiento que no cumplen a cabalidad con la totalidad de la norma colombiana en la captación de la misma (DNP, 2017). A pesar de que Colombia es un país rico en agua dulce la falta de conciencia, la corrupción y el mal manejo de concesiones de agua ha hecho que cada día se disminuya este recurso natural.

Alcance

El presente proyecto pretende buscar alternativas de mitigación de pérdidas de agua en la red de conducción desde la bocatoma hasta la planta de tratamiento de agua potable del río Chitamena que abastece al municipio de Tauramena, Casanare.

Objetivos

Objetivo general:

Determinar las pérdidas de agua cruda entre la bocatoma y la Planta de tratamiento de agua potable de la fuente del río Chitamena y plantear alternativas de solución.

Objetivos específicos:

- Verificar el estado de la red de conducción y sus componentes existente entre la bocatoma y la Planta de tratamiento de agua potable, su calibración y homologación de las estaciones macro medidoras.
- Calcular los indicadores de pérdidas del recurso hídrico entre la bocatoma y la entrada a la Planta de tratamiento de agua potable.
- Presentar alternativas de solución para mitigar las pérdidas de agua en el tramo estudiado.

Marco Teórico

El presente proyecto de investigación tiene como propósito establecer un mecanismo que permita ver puntos estratégicos donde se generan pérdidas de agua técnicas y reales en la red de conducción río Chitamena entre el desarenador y la llegada a la Planta de tratamiento de agua potable, para lo anterior se presenta a continuación la terminología usada a lo largo del documento:

Es un sistema convencional de abastecimiento por gravedad.

- Fuente superficial: Rio Chitamena
- Estructuras para el transporte del agua cruda: pantallas, Tubería, desarenadores.
Cámaras de quiebre y pasos elevados.
- Accesorios: válvulas, de cortina, reguladora, Ventosas, macro medidores.

Sistemas de Abastecimiento de Agua

La prestación de los sistemas de agua potable en Casanare y en especial en Tauramena es realizada por empresas en las que el estado es el principal accionista, y por empresas privadas, que operan con economías de escala y constituyen monopolios naturales. Con el propósito que los consumidores paguen un precio eficiente por el servicio recibido y no se generen costos sociales netos derivados de la acción monopólica, la Superintendencia de servicios públicos y la Comisión de regulación de agua potable y saneamiento básico (CRA) fija la tarifa máxima que cada empresa puede cobrar.

La ley 142 de 1994 “por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones” en el artículo 85 establece que el cálculo de esta tarifa se realice simulando cada sistema con una empresa modelo que recién inicia su operación con costos marginales y medios de explotación eficientes, incluyendo un nivel máximo admisible de pérdidas. Este nivel máximo es del 20% para sistemas de captación superficial, y del 15% para los de captación subterránea. Por lo tanto, no influye en la tarifa la situación real de pérdidas que presenta el sistema explotado por la empresa en su área de influencia.

Los proyectos de reducción de pérdidas se ejecutan principalmente en (i) la red de distribución, para disminuir los volúmenes de fugas de agua (ya) potable en sus tuberías, y en el proceso de comercialización, para disminuir los errores de medición y los consumos clandestinos.

Otros proyectos de reducción de pérdidas se relacionan con mejoramientos en la gestión de las actividades que las empresas habitualmente ejecutan para el control de otras pérdidas.

El nivel óptimo de pérdidas que a cada empresa le conviene alcanzar desde el punto de vista económico, se obtiene de evaluar los beneficios y costos asociados a su reducción, disminuyéndolas hasta aquel nivel en que los costos marginales de reducirlas se igualan a los beneficios marginales. Los beneficios dependerán del valor que tiene el agua recuperada; para el caso de pérdidas en la red de distribución, será el costo incurrido en obtenerla (costo del agua cruda más los de hacerla potable), si es que ello no genera una mayor facturación, más el ahorro que significa postergar las inversiones futuras requeridas para -como lo exige la ley- satisfacer la demanda futura. Para las pérdidas de comercialización, el beneficio principal será una mayor facturación o ingresos brutos para la empresa -cuyo valor depende de la tarifa-, lo cual a su vez puede llevar a un menor consumo y a la postergación de inversiones futuras.

Así, dependiendo de los costos y beneficios de reducir ambas pérdidas, las empresas podrán mejorar los resultados de su gestión y por ende su valor económico.

Pérdidas en Sistemas de Abastecimiento de Agua

Tenemos algunas plantas que a raíz de su mala infraestructura o simplemente por la antigüedad de las mismas son incapaces de prestar un servicio óptimo a la comunidad y son responsables de daños irreversibles al medio ambiente. Por tal razón, al momento de calcular las entradas a las redes de conducción se origina las grandes pérdidas o fugas de agua que conllevan a problemáticas descentralizadas y que acarrear grandes costos tanto económicos como ambientales.

Se entiende que las pérdidas físicas corresponden a volúmenes de agua en consecuencia en fallas en la infraestructura, fugas o conexiones ilegales, componentes que se pueden mitigar a

través de diversas acciones de control, tales como: presiones máximas, calidad de los materiales, calibración de equipos, elementos estructurales, calidad de tuberías, estaciones macro medidoras, válvulas purga, ventosas con el fin de prestar un óptimo servicio al usuario final. También es importante determinar la implicidad de factores externos difíciles de controlar tales como captaciones ilegal o raíces de árboles que causan daños en las estructuras o las características físicas del agua entre otras (Revisada 24/06/2020 Pagina 6 MIDEPLAN Y PUCC, 1997).

Según la Asociación Internacional del Agua (IWA- Por sus siglas en Inglés) a través de un balance hídrico se puede realizar un diagnóstico integral sobre la situación de las pérdidas de agua en la gestión operacional de la prestación del servicio (MIDEPLAN Y PUCC, 1997), las pérdidas de agua se caracterizan de manera como se representa en la figura 1.

Figura 1. Tipos de pérdidas de agua

VOLUMEN DISTRIBUIDO AL SISTEMA	CONSUMOS AUTORIZADOS	CONSUMOS AUTORIZADOS FACTURADOS	CONSUMOS FACTURADOS MEDIDOS	CONSUMOS MEDIDOS O ESTIMADOS	
			CONSUMOS FACTURADOS NO MEDIDOS		
		CONSUMOS AUTORIZADOS NO FACTURADOS	CONSUMOS NO FACTURADOS MEDIDOS	AGUA NO CONTABILIZADA	
			CONSUMOS NO FACTURADOS NO MEDIDOS		
	PÉRDIDAS DE AGUA	PÉRDIDAS APARENTES	CONSUMOS NO AUTORIZADOS		
			ERRORES DE MEDICIÓN EN MICRO MEDIDORES		
		PÉRDIDAS REALES	FUGAS EN LINEAS DE TRANSMISIÓN O LINEAS PRINCIPALES		
			FUGAS Y DESBORDE EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO		
			PÉRDIDAS EN CONEXIONES ANTES DEL MICRO MEDIDOR		

Fuente: (Ramírez Cardona D. 2014)

Indicadores de Pérdidas

Uno de los principales parámetros de eficiencia de los prestadores de servicio de agua potable en Colombia es el Índice de Agua No Contabilizada (IANC); este indicador incluye la pérdida técnica, la pérdida no-técnica, el consumo legal no-facturado y las pérdidas comerciales. Los entes reguladores han establecido el nivel de pérdidas aceptables en un 30% del agua producida, situación que ha llevado a las empresas prestadoras del servicio de abastecimiento a crear estrategias para controlar y disminuir su actual IANC, ya que un elevado índice de pérdidas refleja una ineficiente labor del prestador del servicio, lo cual puede tener repercusiones ambientales, sobre el equilibrio económico de la empresa y por parte de las empresas reguladoras

del servicio, que en el territorio nacional son la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento (CRA) y la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD).

Marco Conceptual

Se manejará una serie de terminología técnica, a continuación, relacionamos algunas de ellas con su significado con el fin de establecer mayor claridad a la hora de establecer su incidencia.

Conducción: Componentes de redes a través del cual se transporta agua cruda, puede ser a flujo libre o a presión.

Aducción: Movimiento diagonal que se realiza en relación de un plano que lo aleja de una línea de medida

Fuga visible: Volumen de agua que se escapa a través de la red y es detectable directamente por los sentidos.

Fuga no visible: Volumen de agua que se escapa a través de la red y se detecta solamente mediante instrumentos apropiados.

Desarenador: Estructura diseñada para retener la arena que traen las aguas servidas o aguas superficiales a fin de evitar que ingresen a la red de aducción.

Macro medición: Conjunto de equipos que permiten determinar valores y estadísticas del caudal captado en un sistema de acueducto.

Eficiencia física. En todo sistema de abastecimiento de agua existen pérdidas de agua durante el transporte y distribución. Cuando las pérdidas de agua son cuantiosas, representan mermas económicas considerables que hay que combatir y reducir a un nivel razonable. Las pérdidas de agua pueden deberse a roturas, derrames y tomas clandestinas

Se emplean diversas técnicas de “uso eficiente del agua”, entre las que están: la detección y control de fugas, la educación (cultura del agua), la mejor calidad de materiales de redes y dispositivos.

La administración de la demanda tiene una visión radicalmente diferente a aquella prevaleciente a mediados del siglo XX, donde cualquier necesidad de agua se buscaba resolver con nuevas obras.

Zona de Estudio

El Municipio de Tauramena se encuentra localizado en la parte sur occidental del Departamento de Casanare en la región de la Orinoquía, Oriente Colombiano. Tiene una posición geográfica de 5° 01` 00” de latitud norte y 72° 45` de longitud al oeste

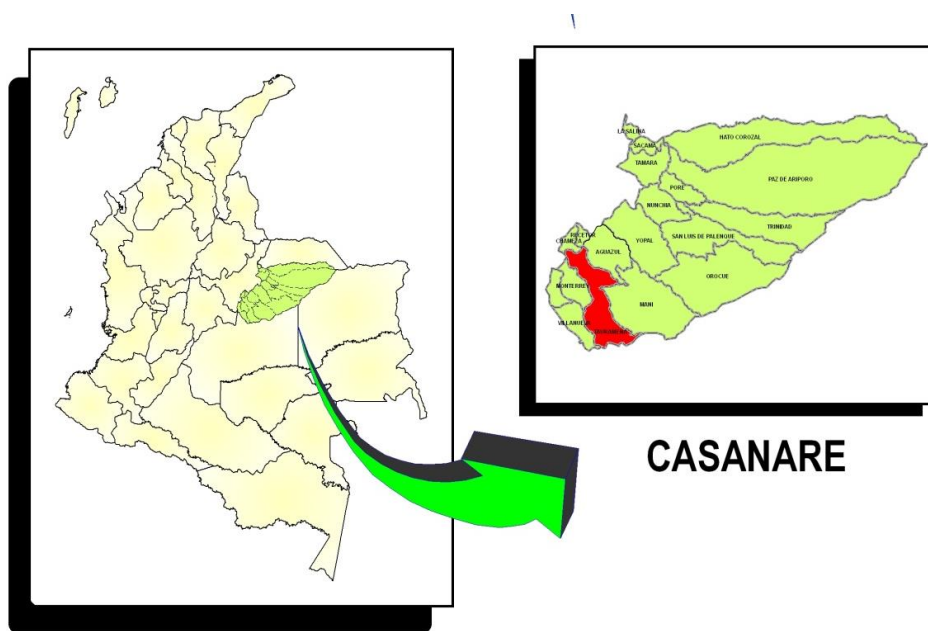


Figura 2 Zona estudiada Fuente: (Fundación despertar, 2009)

Según la resolución N° 200.41.08.1143 del 8 de octubre de 2008 donde se aprobó el plan de ordenación y manejo ambiental de la microcuenca hidrográfica del río Chitamena, se recolectó la siguiente información:

La red hidrográfica de la microcuenca es poco diversificada porque el terreno en su gran mayoría corresponde a piedemonte y llanura. Nace en jurisdicción del municipio de Tauramena Casanare a una altura de 1.050 msnm, su recorrido inicia de norte a sur, alimentados de las quebradas Osana y San Isidro, aguas abajo toma sentido occidente a oriente, recibiendo las aguas de las quebradas Surímena y Agua blanca, Montanera y Caño el Guancal, Santa Rita y Tauramenera. Su longitud es de 56 km y un área de drenaje de 307km².

Este río tiene una extensión de 296.2 Kilómetros que cubre los sectores de las veredas El oso, Aguamaco, Palmar, Guichire, Agua blanca, Chaparral, Delicias, Batallera, Raizal, Yaguaros, Iquia, Chitamena, Villa Rosa y Cuernavaca.

También baña este río la región de los llanos orientales donde se encuentran varios tipos de depósitos cuaternarios, no consolidados y sobrepuestos discordantemente sobre el paleógeno. La extensión y espesor se hace más exuberante hacia la sabana llanera hasta que el paleógeno se profundiza bajo ellos.

Desde la edafológica, la cuenca incluye unas características específicas para cada una de las provincias fisiográficas reconocidas, es decir los suelos de la cordillera, los suelos del piedemonte, los de altiplanicie, lomerío, planicie aluvial aquellos de los valles aluviales de la subcuenca del Río Chitamena.

Regionalmente, el clima que rige está condicionado por el hemisferio norte, de acuerdo con el desplazamiento de la zona convergencia inter tropical la cual se encuentra situada entre los

cinturones de alta presión subtropical de los dos hemisferios y su gradiente de presión origina los vientos alisios del noreste y sureste. Se caracteriza por el seguimiento aparente del sol, produce mal tiempo asociado con fuertes precipitaciones.

La precipitación es de tipo mono modal en toda el área de la cuenca con un aumento leve hasta el mes de marzo y muy notable en el mes de abril. En el mes de octubre comienzan a descender las lluvias, registrándose en el mes de noviembre algunas precipitaciones considerables que dan paso a periodo seco el cual va de diciembre a marzo caracterizado por la ausencia de precipitación. En la parte alta de la cuenca donde se obtienen los mayores niveles de precipitación oscilando entre 333mm y 440 mm en periodo húmedo y entre 18mm y 129mm en periodo seco para un total de 3.000mm anuales.

La sensación térmica no varía pues el clima se encuentra entre templado y cálido. Su temperatura media anual aumenta a medida que se descende en la cuenca. La humedad relativa se encuentra por encima de los 80% en los meses lluvioso y 77% en periodo seco.

Metodología

Cuando se trabaja con estructuras hidráulicas y sistemas de abastecimiento de agua es necesario verificar varios aspectos, en esto es viable tener en cuenta un método muy conocido como es la observación directa y la verificación de Q con molinete, estos métodos nos permiten identificar nuestros objetivos de la investigación.

Para nuestro sistema de abastecimiento de la fuente Rio Chitamena se dio inicio con la verificación documental del sistema suministrada por la empresa municipal de servicios de Tauramena.

Como segunda medida se hizo la verificación en campo partiendo desde la bocatoma hasta la llegada a la planta de tratamiento de agua potable, en este trayecto se revisaron estructura sumergible de captación, tanque primario, válvulas, línea de aducción, desarenador estación macro medidora, diámetros de la tubería de la red de conducción, pasos elevados, válvulas de lavado, ventosas y cámaras de quiebre.

El análisis general de la verificación del sistema nos arrojó la identificación de unas fugas en diferentes puntos de la red.

Revisión Documental

Como primera medida, se realizó la respectiva revisión a todos los documentos existentes, ya que con el tiempo se viene presentando esta problemática de pérdidas de agua, el fin del proyecto fue identificar novedades en la red y dar soluciones para mitigar dicha situación. Esto se realizó a través de los periodos informados en el lapso de un año, en este sentido se estuvo revisando la información institucional donde corroboramos de manera detalla la estructura del sistema y su entorno.

Se revisó la información ambiental, a través de comparaciones por medio de datos existentes sobre las precauciones del año estudiado, tanto en temperaturas promedio y cantidad de captación en periodo seco y lluvioso.

Por otro lado, se realizó la revisión de la información de producción donde se analizó todos los datos del año referentes al volumen de agua captada.

Trabajo de Campo

A través de salida de campo se realizó diversas actividades verificando cada equipo y herramienta de medición para descartar posible des calibración en los equipos,

Para la búsqueda y detección de las pérdidas o fugas de agua se emplearon varios métodos, uno de ellos consiste en tapar la tubería por un extremo y por el otro se introduce un embolo en el que se ha colocado un cilindro pequeño radioactivo, el embolo se empuja a razón del agua que se escapa a través de la fuga y se detiene en el sitio donde es el escape.

Después del análisis es necesario aportar un diagnóstico del estado real de la red existente y con ello las posibles alternativas de solución y finalmente se realizó también la medición de caudales de captación del Río Chitamena.

Inspección de accesorios e infraestructuras

Como primera medida se realizó revisiones físicas donde se descartarán corrosiones o defectos estructurales, subsecuente a ello se realizará una prueba hidrostática para verificar el buen funcionamiento y que no existan fallas en las uniones o diferentes accesorios y estructuras de la red de conducción.

Resultados

Descripción del Sistema de Acueducto del Río Chitamena

Bocatoma

La principal fuente de abastecimiento del municipio se encuentra sobre el río Chitamena. Bocatoma de tipo sumergible con una rejilla de 2,1m de largo y 0,04m de ancho. Cuenta con dos válvulas tipo cortina de 8” y 12” de diámetro, siendo la primera usada para lavado y la segunda para la conducción hacia el desarenador.

La capacidad de la captación de la bocatoma es de 60 a 70l/s.

Las coordenadas de la bocatoma son de 1'137.542.76 metros este y 1'047.321.49 metros norte a una altura de 725 msnm. Esta información fue tomada por medio de un GPS.



Figura 3. Aforo de caudal sobre el río. Fuente: Autor

El sistema de abastecimiento cuenta con un permiso de concesión de agua por parte de la Corporación Autónoma Regional de la Orinoquia, actualmente.

Red de Aducción

Cuenta con 40m de tubería PVC de 12" y 64m de tubería de polietileno de 315 mm.



Figura 4. Tramo línea aducción. Fuente: Autor

Desarenador

El desarenador mide 13m de longitud, 2.20m de ancho y 2.30m de alto, ubicado en las siguientes coordenadas 1'137.773.22m este y 1'047.302.87 metros norte y a una altura 721 msnm. El desarenador cuenta con una pantalla que disminuye la velocidad del agua antes de la entrada al desarenador y también cuenta con dos reboses con los cuales devuelve el agua sobrante al Río.

Nota. En el momento aún no se encuentra en funcionamiento el segundo desarenador debido que el contratista no ha podido entregar obra debido a la suspensión temporal del contrato por el covid19.



Figura 5 Desarenador en construcción



Figura 6 Desarenador en funcionamiento



Figura 7. Aforo en el desarenador. Fuente: Autor

Conducción

Se encontró que la línea de conducción va desde el desarenador hasta la planta de tratamiento iniciando su recorrido en 12 “en PVC, cambia a 10”, luego 8” y finalmente cambia a 6” tal como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas de puntos de cambio de diámetro

Punto	Coordenadas planas-metros	
	Este	Norte
Cambio de diámetro de 12” a 10” en PVC	1138918.40	1047816.58
Cambio de diámetro de 10” a 8” en PVC	1139314.33	1048141.78
Cambio de diámetro de 8” a 6” en PVC	1143064.98	1047886.16

Fuente: Autor

En la conducción existen 14 ventosas de las 28 que aparecen en la tabla, se debe tener en cuenta que hay ventosas proyectadas las cuales aún no han sido instaladas, 11 pasos elevados 10 válvulas de lavado y dos cámaras de quiebre de presión como se relacionan a continuación.

Estaciones Macro Medidoras

Al realizar verificación de las consultorías y el Plan maestro se encontró información sobre estaciones macro medidoras, lo anterior será verificado en la segunda fase donde se realizará verificación en campo de todo lo consignado en la primera fase.

Dentro de los planos no se encuentra estaciones macro medidoras a la salida del desarenador y llegada a la planta de tratamiento, sin embargo, dentro de las consultorías hacen esas recomendaciones para dar cumplimiento a la normatividad.

Procedimiento de Mantenimiento y Operación

La empresa municipal de servicios públicos de Tauramena puso en marcha a partir del año 2018 el plan operativo donde relaciona por cada actividad un procedimiento específico. Formato de registro de mantenimiento de bocatoma, red de aducción, desarenador y red de conducción.

En la siguiente tabla se presenta un resumen de la revisión documental del sistema de abastecimiento y captación:

Tabla 2. Resumen del Sistema de abastecimiento

Componente	Información disponible		Observaciones
	Si	No	
Fuente de abastecimiento	X		Rio Chitamena
Planos	x		Las consultorías 191 de 2006 – alcaldía municipal – aquadatos s.a, consultoría 162 de 2009 plan maestro presentan los planos
Tipo de Bocatoma	x		Sumergible por gravedad
Caudal de entrada	x		60 a 70 l/s
Componentes	x		Estructura hidráulica transversal
Accesorios			Rejilla, válvulas de compuerta de 8” y 12”
Formatos de mantenimiento	x		Toda actividad es registrada en los formatos según los procedimientos
Red de aducción			
Planos	x		Las dos consultorías presentan los planos
Componentes	x		Tubería de 12” PVC, polietileno y anclaje lateral en concreto
Formatos de mantenimiento	x		Registros de actividades según cronograma e imprevistos
Desarenador			
Planos	x		Las dos consultorías presentan los planos
Componentes	x		Estructura hidráulica en concreto de dos pantallas y un tanque
Accesorios	x		2 Válvulas de 12” tipo mariposa y 1 de 8”
Formatos de mantenimiento	x		Registros de actividades según cronograma e imprevistos
Red de conducción			
Planos	x		Las dos consultorías presentan los planos

Componente	Información disponible		Observaciones
	Si	No	
Componentes	x		La red de conducción cuenta con 8.200 mts de red en PVC iniciando en 12", 10", 8 y termina en 6" estructuras tales como, dos cámaras de quiebre, 11 pasos elevados y una estación macro medidora de 12"
Accesorios	x		12 válvulas de lavado de 4" tipo mariposa, 14 ventosas doble acción de 2"
Formatos de mantenimiento	x		Registros de actividades según cronograma e imprevistos
Formatos de registros de macro medición	x		En el momento la empresa no tiene el procedimiento de verificación diaria del Q que sale del desarenador, no cuenta con certificados de calibración y homologación del macro medidor de 12"
Formatos de registros de aforo de Q en la fuente	x		Tiene establecido un cronograma anual para monitorear las variables del Q de la fuente con un laboratorio externo
Formatos de registros de las características fisicoquímicas y microbiológicas de la fuente en la fuente	x		Tiene establecido un cronograma anual para monitorear las características fisicoquímicas y microbiológicas de la fuente con un laboratorio externo y la secretaria de salud

Fuente: Autor

De acuerdo con el contenido general de la documentación se pueden evidenciar algunas novedades las cuales en nuestra etapa de verificación en campo se pudo determinar con claridad lo que está documentado, en nuestra verificación de campo el objetivo central es verificar por medio de una lista de chequeo muy detallada el estado de las estructuras, accesorios que componen la red de acueducto en general desde la bocatoma hasta la llegada de la planta de tratamiento de agua potable y de igual forma la documentación actual de operación con lo cual se generaría un cuadro comparativo.

Inspección de Pérdidas en Estructuras

Bocatoma

Se realizó medición de caudal el día 15 de mayo de 2020, durante una época de lluvias, en el punto de captación del Rio Chitamena tal como se ve en la figura 9.



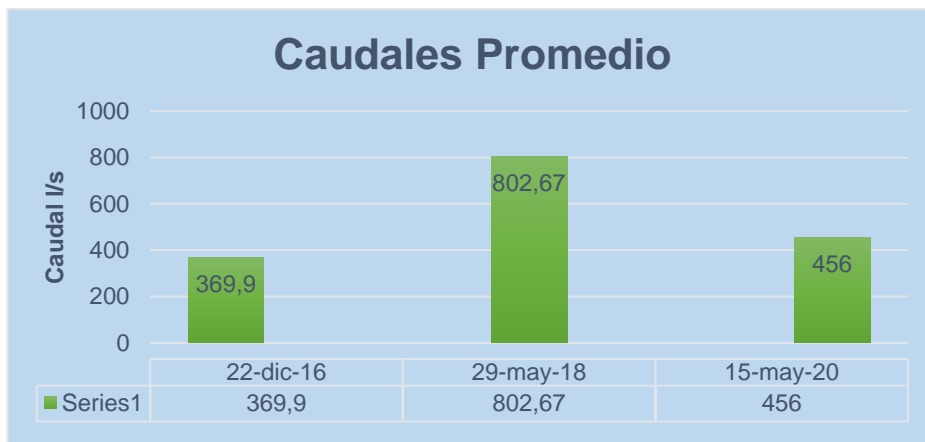
Figura 8. Rio Chitamena



Figura 9. Aforo en bocatoma rio Chitamena

También se buscaron aforos históricos realizados por la empresa de servicios públicos en este mismo punto, se encontraron datos de diciembre de 2016 con 370L/s (mes sin lluvias), mayo del 2018 que corresponde a mes de lluvias con un caudal de 802L/s y el aforo realizado en mayo de 2020 por parte del autor con un caudal de 456L/s, se observa una fuerte disminución con respecto al aforo del año 2018 como se ve en la figura 10.

Figura 10 Caudales promedio en punto de captación del Río Chitamena



Fuente: Autor

De acuerdo con la verificación documental y la visita de campo realizada en la actualidad se evidencia que la estructura en general de la presa hidráulica de la bocatoma se encuentra en muy buen estado, la administración municipal en el momento está culminando unas obras en concreto las cuales refuerzan los pilones de la estructura transversal sobre la fuente.

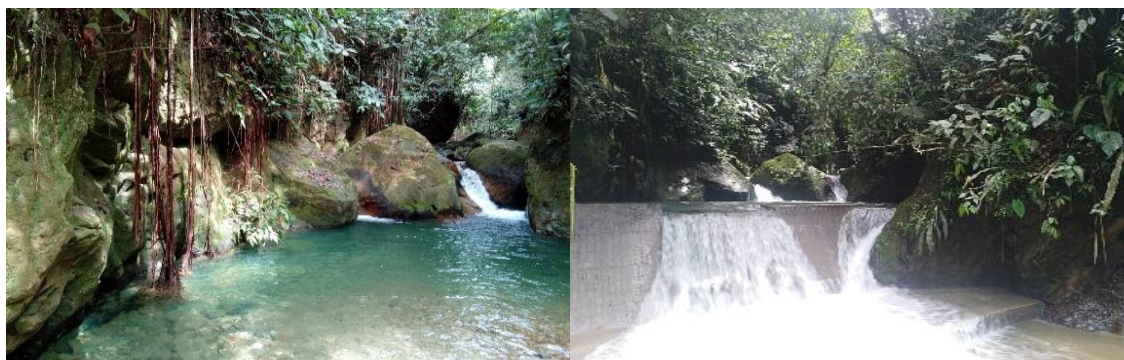


Figura 11. Río Chitamena – bocatoma. Fuente: Autor

Se realizó verificación del caudal (Q) captado a través de aforos en las cámaras de entrada del agua desde la bocatoma, se verifica que durante el tiempo que la rejilla está limpia el Q

máximo captado esta alrededor de los 80l/s lo cual es coherente con la información que maneja la empresa de servicios públicos.



Figura 12 Aforo en la pantalla primaria de bocatoma. Fuente: Autor

Se realizaron dos aforos usando el molinete, en el primero se obtuvo un valor de 80,2 L/s y en el segundo 83,8L/s como lo muestra la figura 13 y 14.

Figura 5. Resultados del aforo en la pantalla primaria de bocatoma

Fuente:		PANTALLA BOCATOMA	Fecha:		20/04/2020	
Estado del tiempo:		NUBLADO	Hora:		15:10p. m.	
Valor sección (m)		0,18	Ancho total del cauce (m):			
Valor inicial (m):		0,36	1,8			
Datos	Longitud (m)	H Profundidad (m)	Área (m ²)	Velocidad (m/s)	Caudal	
					(m ³ /s)	L/s
1	0,36	0,050	0,0180	0,85	0,0153	15,3
2	0,2	0,050	0,0100	0,75	0,0075	7,5
3	0,2	0,050	0,0100	0,75	0,0075	7,5
4	0,2	0,050	0,0100	0,85	0,0085	8,5
5	0,2	0,050	0,0100	0,85	0,0085	8,5
6	0,2	0,050	0,0100	0,93	0,0093	9,3
7	0,2	0,050	0,0100	0,92	0,0092	9,2
8	0,2	0,050	0,0100	0,85	0,0085	8,5
9	0,2	0,050	0,0100	0,95	0,00950	9,50
Caudal total					83,80	

Fuente: Autor

Figura 14. Resultados aforo 2 en la pantalla primaria de bocatoma

Fuente:		Pantalla bocatoma			Fecha:	20/04/2020
Estado del tiempo:		Nublado			Hora:	14:20
Valor sección (m)		0,2			Ancho total del cauce (m):	
Valor inicial (m):		0,36			1,8	
Datos	Longitud (m)	H Profundidad (m)	Área (m ²)	Velocidad (m/s)	Caudal	
					(m ³ /s)	L/s
1	0,36	0,050	0,0180	0,75	0,0135	13,5
2	0,2	0,050	0,0100	0,75	0,0075	7,5
3	0,2	0,050	0,0100	0,73	0,0073	7,3
4	0,2	0,050	0,0100	0,96	0,0096	9,6
5	0,2	0,050	0,0100	0,82	0,0082	8,2
6	0,2	0,050	0,0100	0,86	0,0086	8,6
7	0,2	0,050	0,0100	0,85	0,0085	8,5
8	0,2	0,050	0,0100	0,82	0,0082	8,2
9	0,2	0,050	0,0100	0,88	0,0088	8,8
Caudal total						80,20

Fuente: Autor

Se realizó verificación de válvulas de compuerta, se pudo evidenciar la existencia de una válvula de compuerta de 12” la cual según diseño cumple la función de regular el Q que es conducido hacia el desarenador pero que en el momento la mantienen totalmente abierta, dentro de la consultoría 191 de 2006 – Alcaldía Municipal se encuentra en este punto una válvula de compuerta de 8” la cual fue remplazada por deterioro por una válvula de mariposa sello de bronce la cual cumple la función de purga y lavado de los compartimientos de captación.

Línea de Aducción

Según la consultoría 191 de 2006 – Alcaldía Municipal -- AQUADATOS S.A., la línea de aducción cuenta con 40m de tubería PVC de 12” y 64m de tubería de polietileno de 315 mm, en la actualidad este sistema fue modificado según recomendaciones técnicas hechas por la consultoría de Aguatodos, ahora cuenta con dos líneas, la nueva 104m de 315 mm en polietileno desde la bocatoma hasta el desarenador, la antigua de 30m de tubería PVC de 12” y 74m de tubería de

polietileno de 315 mm, para un total en longitud de 208 metros, la línea adicional que abastece el nuevo desarenador, el sistema de aducción cuenta con 4 válvulas bridadas de 12" sello de bronce, dos a la salida de la bocatoma y dos a la llegada de los desarenadores.



Figura 6 Línea de Aducción. Fuente: Autor

Desarenadores

Esta estructura hidráulica sus medidas coinciden con lo consignado en las consultorías 191 de 2006 – alcaldía municipal – aquadatos s.a, consultoría 162 del 2009 contratadas por la alcaldía municipal y la empresa municipal de servicios públicos de Tauramena, en la actualidad la administración municipal está culminando la construcción de un nuevo desarenador con las mismas especificaciones técnicas del antiguo. La función de estas estructuras es garantizar la continuidad del servicio, mientras se le realiza mantenimiento a uno, el otro está trabajando, por otro lado, la administración municipal construyo encerramiento en malla eslabonada para proteger el funcionamiento de las estructuras de desarenación.

Las dimensiones de los desarenadores son 13m de longitud, 2.20m de ancho y 2.30m de alto y se ubica en las coordenadas 1'137.773.22m este y 1'047.302.87 metros norte, a una altitud de 721 msnm.

Los accesorios que tiene estas estructuras son. 2 válvulas sello de bronce de 12" tipo mariposa, las cuales están ubicadas a la salida de los mismos, se tiene otra de las mismas características la cual cumple la función de baipás, para el sistema de lavado cada desarenador cuenta con una válvula de 8" sello elástico.



Figura 7 Estructuras de desarenación. Fuente: Autor

En esta estructura se realizó un aforo de tipo volumétrico para determinar agua devuelta a la fuente.

$$T_t = 1.6 + 1.9 + 1.3 + 1.7 + 1.8 = 8.3 \text{Seg}$$

$$\frac{8.3 \text{ S}}{5} = 1.66 \text{ s}$$

$$Q = \frac{V}{t} \quad \longrightarrow \quad Q_T = \frac{151}{1.66 \text{ s}} = 9.03 \text{ l/s} \quad \longrightarrow \quad Q = 9.03 \text{ l/s}$$

Este resultado quiere decir que de lo 82L/s que ingresaron por la bocatoma, de estos 9,03L/s se devuelven a la fuente y hacia la PTAP se dirigen 73L/s.

Estación Macro Medidora Salida Desarenador

En la verificación documental se evidencia que actualmente la estación macro medidora de 12" con la cual se hace el registro de agua captada, no cuenta con soportes técnicos de calibración,

homologación y registros de lecturas por parte de la operadora, por lo anterior, los datos registrados en los formatos de lectura de la estación pueden presentar errores.



Figura 17. Macro medidor de 12" aforo volumétrico. Fuente: Autor

Este medidor de agua tipo woltman línea 2p de 12", cuenta con un sistema técnico de montaje (válvula para regular caudal, filtro tipo ye, ventosa y manómetros).

Verificando los tipos de macro medidores para la medición de caudal se evidencio que esta estación no es apta para la medición de agua cruda, estos macro medidores corresponden a equipos diseñados para medir agua tratada o potable.

Macro Medidor Nuevo

Al verificar en campo se identificó que dentro de los trabajos que está haciendo la administración municipal está la construcción de una nueva estación macro medidora que no ha sido oficialmente entregada a la empresa operadora, como alternativa para la medición de Q, la administración municipal realizo la instalación de un macro medidor marca Sitrnns mag 8000 de instrumento electromagnético de 12", actualmente no ha sido oficialmente entregado a la operadora quienes no poseen aun ficha técnica de este equipo. Para el día 24 de junio del 2020 en

visita de campo (figura 18), el equipo ya se había instalado, pero no registra ningún dato de medición.



Figura 18. Nuevo macro medidor tipo magnético. Fuente propia

Red de Conducción

Verificadas las consultorías 191 de 2006 de la Alcaldía municipal de Tauramena y la empresa Aquadatos S.A. y la consultoría 162 de 2009 del Plan Maestro en lo relacionado con los diámetros de tubería y longitudes de la red de conducción cambian algunos datos los cuales se reflejan en la tabla 3.

Tabla 3. Diámetros de tubería referenciados en documentación secundaria

Tubería	Longitud
tubería PVC de 6"	2178.12 m
tubería PVC de 8"	4077.56 m
tubería PVC de 10"	491.95 m
tubería PVC de 12"	1529.90 m
Accesorios	Cantidades
ventosas de 3"	12
válvulas de lavado de 3"	12
cámaras de quiebre	2

pasos elevados	11
----------------	----

Fuente: consultorías 191 de 2006 de la Alcaldía municipal de Tauramena y la empresa Aquadatos S.A. y la consultoría 162 de 2009 del Plan Maestro

Trabajo de campo, verificación diámetros de tubería

A continuación, se presentan los datos obtenidos de las visitas de campo a todos los tramos de la red de conducción.

Tabla 4. Diámetros de tubería verificados en campo

Tubería	Longitud
tubería PVC de 6"	.818 m
tubería PVC de 8"	2077.56 m
Tubería de polietileno de 200mm	1360
tubería PVC de 10"	425.95 m
Tubería de polietileno de 315mm	66mm
tubería PVC de 12"	720 m
Tubería de polietileno de 315mm	2809.9m
Accesorios	Cantidades
ventosas de 3"	12
válvulas de lavado de 3"	12
cámaras de quiebre	3
pasos elevados	12

Fuente: Autor

En el trabajo de campo realizado se pudo ver que la administración municipal en los últimos tres años ha venido reemplazando parte de la línea de conducción PVC por tubería en polietileno como se ve en la figura 19.



Figura 8 Tubería de polietileno nueva. Fuente: Autor

Se realizó una visita para verificar estas tuberías y revisar presencia de fugas, a continuación, se describen los resultados:

Tubería de 12" PVC - 1.000m fue reemplazada por tubería en polietileno de 315 mm desde los desarenadores hasta pasando el paso elevado sobre el río Chitamena.

Tubería de 10" PVC - 66 m fue reemplaza por tubería en polietileno de 315 mm paso crítico en el caño Mata de Bijao.

En el cambio de diámetro de 10" a 8" se encontró instalada una cámara de quiebre tipo flotador.

Tubería de 8" PVC - 2.100 m fue reemplazada por tubería de polietileno de 315 mm desde la cámara de quiebre tipo piloto hasta cruce de vía a la escuela Aguamaco.

Tubería de 6" PVC – 1.250 m Fue reemplazada por tubería de polietileno de 200 mm desde la tercera cámara de quiebre hasta la llegada a la PTAP. La red en general ha sido reemplazada en

un 52% de PVC a polietileno, analizando los informes de las dos consultorías contratadas por la Alcaldía municipal se pudo ver que no existió un orden en el inicio de las obras para tal fin, al parecer inicialmente buscaron los puntos más fáciles de acceso, los tramos faltantes están en los terrenos topográficos más difíciles.

Pérdidas de agua

Se identificaron fugas en la red de conducción en un empalme de 12", dos válvulas de purga, tres ventosas, una cámara de quiebre y cinco conexiones ilegales, las cuales se describen a continuación.

- Fuga en empalme de 12" PVC a Polietileno (Cota 696,403msnm Abs K0+820).



Figura 9 Fuga de empalme línea de conducción. Fuente: Autor

Se realizó un aforo de tipo volumétrico (figura 21) para determinar la pérdida de agua, encontrando un caudal de 4,6 L/s como se muestra a continuación:

$$\frac{10.61\text{Seg}}{5} = 2.6 \longrightarrow Q = \frac{V}{t} \longrightarrow Q_T = \frac{12}{2.6\text{seg}} = 4.6 \text{ l/s}$$



Figura 10. Aforo realizado en la fuga del empalme. Fuente: Autor

- Válvula de purga No 4 (figura 22): Ubicada (Cota 717,77msnm, Abs K2+190) allí se encontró una fuga, la cual fue medida a través de un aforo volumétrico, como se ve en la figura 22.



Figura 11. Caja – Válvulas de purga. Fuente: Autor

$$Q = \frac{V}{t} \quad \longrightarrow \quad \frac{45\text{Seg}}{5} = 9s$$

$$Q_T = \frac{8}{9\text{seg}} = 0.88 \text{ l/s} \quad \longrightarrow \quad \mathbf{Q_2 = 0.88 \text{ l/s}}$$

- Válvula de purga # 7 en figura 23 (Cota 666,493msnm, Abs k2+810)



Figura 23 Válvula donde se realizó el aforo. Fuente: Autor

El aforo consistió en sellar los orificios de la fuga y se desocupó totalmente la caja y así se pudo contabilizar el tiempo de llenado de la misma. Tiempo que duro llenando la caja: 6.5 minutos.

$$\frac{1.000}{6.5} = 153.8 \quad \longrightarrow \quad \frac{153.84}{60} = 2.56 \text{ l/s} \quad \longrightarrow \quad \mathbf{Q_3 = 2.6 \text{ l/s}}$$

Fugas en Ventosas

Verificación de las ventosas en campo, se encontraron tres ventosas con fugas considerables que se describen a continuación.

- Ventosa 3: Ubicada abscisa No. K0+866.17 (3'')

En esta ventosa se encontró una fuga considerable, tal como se ve en la figura 24. El aforo consistió en sellar los orificios de la fuga y se desocupó totalmente la caja y así se pudo contabilizar el tiempo de llenado de la misma.

$$\frac{1.440}{7} = 0.20 \text{ l/m} \quad \longrightarrow \quad \frac{0.20}{60} = 3.3 \text{ l/s} \quad \longrightarrow \quad \mathbf{Q_4 = 3.3 \text{ l/s}}$$



Figura 24. Ventosa con fuga considerable. Fuente: Autor

- Ventosa 5: Ubicada abscisa No. K1+362.92 (3")

Allí también se encontró una fuga importante como se ve en la figura 25. El aforo consistió en sellar los orificios de la fuga y se desocupó totalmente la caja, así se pudo contabilizar el tiempo de llenado de la misma.



Figura 25. Ventosa con fuga considerable. Fuente: Autor

Tiempo que duro llenando la caja: 10 Minutos

$$\frac{640}{10} = 64 \text{ l/m} \quad \longrightarrow \quad \frac{64}{60} = 1.1 \text{ l/s} \quad \longrightarrow \quad \mathbf{Q5 = 1.1 \text{ l/s}}$$

- Ventosa 7: Ubicada abscisa No. K1+764.18 (3")

En este punto de la figura 26 también se aforo para determinar el caudal de pérdida de agua.



Figura 26 Ventosa con fuga considerable. Fuente: Autor

$$\frac{1.000}{12} = 83.3 \text{ l/m} \quad \longrightarrow \quad \frac{83.3}{60} = 1.4 \text{ l/s} \quad \longrightarrow \quad Q_6 = 1.4 \text{ l/s}$$

Fugas en Cámaras de quiebre

Cámaras de quiebre No. 1 (Cota 731,284msnm. Abs K2+020).

Se puede observar la cámara de quiebre en el momento de verificar su funcionamiento.

Allí se realizó aforo para determinar las pérdidas de agua.



Figura 27. Cámaras de quiebre. Fuente: Autor

$$Q = \frac{V}{t} \quad \longrightarrow \quad Q_T = \frac{15}{2.98\text{seg}} = 5.03 \text{ l/s} \quad \longrightarrow \quad Q_7 = 5.03 \text{ l/s}$$

La cámara de quiebre tipo flotador ubicada en el kilómetro 2.2 presenta pérdida de agua debido que en su diseño original debe llevar instalado el flotador de control de nivel, el contratista lo suspendió debido que cuando el sistema de sellado se accionaba, la red se contra presionaba en la parte baja de la red de 12" PVC y por este motivo se estallaba, la justificación es válida ya que el diseño original contempla el cambio total de la tubería PVC de 12" hasta este punto por tubería de 315 mm la cual garantiza que el sistema de regulación en la cámara funcione.

- Pasos elevados

Pasos elevados: Durante la revisión de campo se encontró la existencia de los 13 pasos elevados, dos más de los registrados en los reportes de la empresa de servicios públicos, en los remplazos de tubería se encontró que el paso elevado #1 fue remplazado por tubería de polietileno de 315 mm y los pasos elevados # 2, 3, 4, 5 y 6 son nuevos en tubería de polietileno de 315 mm, como se ve en la figura 28.



Figura 28. Tubería de polietileno. Fuente: Autor

Conexiones Ilegales

En la verificación de novedades a lo largo de la línea durante el recorrido se pudo encontrar conexiones ilegales las cuales son puestas como bebederos del ganado y en viviendas de las fincas, las pérdidas de agua son considerables debido que no se cuenta con sistema de micro medición y control de caudal, aunque parecen sencillas estas conexiones de ½" y ¾" a lo largo de la línea de conducción son considerables ya que permanecen abiertas de forma permanente.

Se realizaron aforos de estos puntos de pérdidas que se describen a continuación:

- Finca la resbalosa Cota 717,77msnm, Abs K2+190



Figura 29. Perdidas de agua en bebedero de ganado en finca La Resbalosa. Fuente: Autor

En el bebedero de 500L, se midió el tiempo de llenado: 20 Minutos

$$\frac{500Lts}{20M} = 25l/m \quad \longrightarrow \quad \frac{25}{60} = 0.4l/s \quad \longrightarrow \quad Q 8 = 0.4 l/s$$

- Finca los Yopos Cota 702,884msnm Abs K2+620



Figura 30. Aforo en vivienda de finca Los Yopos. Fuente: Autor

$$40\text{Lts}/9 = 4.4 \text{ l/m} \quad \longrightarrow \quad 4.4/60 = 0.07 \text{ l/s} \quad \longrightarrow \quad \mathbf{Q_9 = 0.07 \text{ l/s}}$$

- Finca el Guafal Cota 666,493msnm, Abs k2+810



Figura 31. Bebedero de ganado. Fuente: Autor

$$\frac{2.000\text{Lts}}{40\text{m}} = 50 \text{ l/m} \quad \longrightarrow \quad \frac{50\text{L}}{60\text{s}} = 0.8 \text{ l/s} \quad \longrightarrow \quad \mathbf{Q_{10} = 0.8 \text{ l/s}}$$

- Finca la Barrerana Cota 677.637msnm, Abs K4+110



Figura 32. Tanque sin llave. Fuente: Autor

$$\frac{2.000}{25} = 80 \text{ l/m} \quad \longrightarrow \quad \frac{80\text{l}}{60\text{s}} = 1.3 \text{ l/s} \quad \longrightarrow \quad Q_{11} = 1.3 \text{ l/s}$$

- Finca el Bambú cota 656,447msnm, Abs K5+300



Figura 33. Acometida sin medición. Fuente: Autor

$$\frac{1000\text{lts}}{22\text{m}} = 45.4 \text{ l/m} \quad \longrightarrow \quad \frac{45.4}{60} = 0.75 \text{ l/s} \quad \longrightarrow \quad Q_{12} = 0.75 \text{ l/s}$$

- Finca la bargeña cota 676,427msnm, Abs K6+100



Figura 34 Acometida sin medición. Fuente: Autor

$$55\text{lt}/15\text{m}=3.66 \text{ l/m} \quad \longrightarrow \quad 3.66\text{l}/60\text{s}=0.006 \text{ l/s} \quad \longrightarrow \quad Q_{13} = 0.006 \text{ l/s}$$

La estación macro medidora que se observa en la figura 36 está ubicada en la red de conducción a la llegada de la PTAP. Abs K8+260.



Figura 35. Estación macro medidora PTAP. Fuente: Autor

En la llegada a la Ptap la línea tiene una estación macro medidora de 8" la cual aún no ha sido entregada oficialmente a la empresa operadora pero que en el momento está en funcionamiento, la estación cuenta con todos los requerimientos de norma y su sistema de medición es un tipo de macro medidor electromagnético lo cual garantizara la medición del caudal (Q) que llega a la Ptap de la red rio Chitamena.

Resumen general de pérdidas de agua

En el desarenador se devuelven 9,03L/s a la fuente, este caudal no se considera como pérdida porque corresponde al sobrante que sale del desarenador y se devuelve a la fuente de captación.

La mayor cantidad de pérdidas se encontraron en la red de conducción tal como se muestra a continuación:

Tabla 5. Resultados de los Aforos

Kilometro	Tipo de estructura	Tipo de accesorio o estructura	Caudal (L/s)
Abs K0+820	Empalme	Fuga empalme de 12" PVC A polietileno	4.6
Abs K2+190	Válvulas	Válvula de purga # 4 de 3"	0.88
Abs k2+810		Válvula de purga # 7 de 3"	2.6
K0+866.17	Ventosas	Ventosa # 3 de 3"	3.3
K1+362.92		Ventosa # 5 de 3"	1.1
K1+764.18		Ventosa # 7 de 3"	1.4
Abs K2+020	Cámara de quiebre	Cámara de quiebre # 1	5.03
Abs K2+190	Conexiones erradas	Finca la Resbalosa	0.4
Abs K2+620		Finca los Yopos	0.07
Abs k2+810		Finca el Guafal	0.8
Abs K4+110		Finca la Barrerana	1.3
Abs K5+300		Finca el Bambú	0.75
Abs K6+100		Finca la Bargeña	0.006
Total			22.25

Fuente: Autor

Dentro de la actividad de verificación se pudo evidenciar que los componentes de la red donde se presentan las pérdidas de agua reales visibles son:

Válvulas de purga, ventosas, estos accesorios sus empaquetaduras, tornillería y brindados están en mal estado por lo anterior se recomienda a la empresa operadora hacer mantenimiento preventivo y correctivo, desde el punto de vista se pudo ver que hay bastantes accesorios que

cumplieron su vida útil de servicio lo cual daría paso a ser remplazados totalmente, es muy importante mantener un seguimiento técnico para cada componente de la red en general lo cual facilitaría inversiones programadas.

En la cámara de quiebre uno, la forma de corregir la pérdida de agua es complementar el sistema de flotador lo cual permitirá solo el paso de agua que requiere la continuación de la red de conducción entre tramo y tramo.

Por otra parte, se analizó la existencia de (6) collarines de 8" * 1" a lo largo de la red de conducción las cuales no cuentan con un control de medición y registros en los puntos finales lo cual genera una continua pérdida de agua.

Técnicamente las redes de conducción no deben convertirse en redes de acueductos veredales por la razón que su objetivo es específico.

En los resultados obtenidos de los aforos podemos ver que las pérdidas mayores se encuentran en los accesorios y estructuras de la red lo cual la empresa operadora debe tomar medidas con el fin de corregirlas, en cuanto a los usuarios ilegales realmente es un promedio muy bajo, pero debe tomarse medidas.

Realizando un balance del caudal captado y el que ingresa a la Ptap se logró identificar que la diferencia corresponde a un 11% del agua se devuelve al río Chitamena a través de un by-pass en el desarenador, y un 27% corresponde a las pérdidas identificadas en la red de conducción a la Ptap, tal como se refleja en la figura 36.

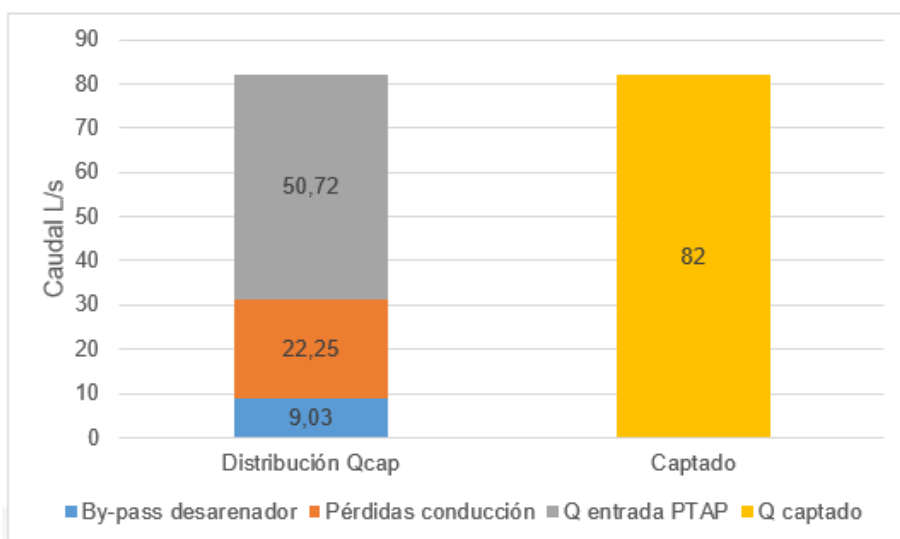


Figura 36. Diagnostico pérdidas tramo conducción PTAP. Fuente: Autor

Indicadores de Pérdidas

Pérdida del sistema de Aducción - Conducción

Este indicador compara el caudal que ingresa a la Ptap con respecto al caudal captado por 100. Se encuentra que un total de 61,8% del agua captada llega a la Ptap y un restante de 38.14% se distribuye entre fugas en la conducción y un caudal devuelto a la fuente en el desarenador.

Teniendo en cuenta solo el caudal de las fugas, se obtiene un 27% de pérdidas.

$$Pérdidas aducción - conducción = \frac{(Q_{captado} - Q_{Entrada PTAP})}{Q_{captado}} = \frac{31.28}{82} \times 100 = 38.14\%$$

Rendimiento de Producción

Corresponde al volumen tratado sobre el caudal de agua captado, esto da una idea del total de pérdidas tanto del sistema de conducción como del tratamiento.

Se tiene que el porcentaje de pérdidas del agua tratada, con relación al agua que ingresa a la Planta (Ptap) es del 5%, es decir, que del total del agua que ingresa a la Ptap (50,72 L/s) se tratan 48,18 L/s por lo tanto las perdidas en el tratamiento corresponden a 2,54%.

Así las cosas, el rendimiento de producción (RP) se determina aplicando la siguiente formula:

$$RP = \frac{Q_{Salida\ PTAP}}{Q_{captado}} = \frac{48,18}{82} \times 100 = 58,76\%$$

Pérdidas Económicas

Para determinar las pérdidas económicas, se debe cuantificar cuánto le representa en dinero esas pérdidas de agua al año, en donde dichas perdidas corresponden a las pérdidas de conducción, es decir 22.25 L/s, que equivalen a 701'676.000 litros en un año, que a su vez equivalen a 701.676 m³ de agua que se pierde en un año durante el recorrido en la red de conducción (tramo de tubería que inicia en el desarenador y termina al ingresar a la PTAP).

El valor tratado en el párrafo anterior se calcula aplicando la siguiente formula:

$$a) \quad \frac{\text{Litros (L)}}{\text{Año}} = 22.25 \frac{\text{L}}{\text{s}} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} \times \frac{24 \text{ hora}}{1 \text{ día}} \times \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} = 701'676.000 \frac{\text{Litros (L)}}{\text{Año}}$$

$$b) \quad \frac{m^3}{Año} = 7'676.000 \frac{Litros (L)}{Año} \times \frac{1 m^3}{1.000 L} = 701.676 \frac{m^3}{Año}$$

Se tiene que la tarifa anual que cancela la Empresa a la Corporación Ambiental, por concepto del agua captada, es decir 50,72 L/s, que equivalen a 1.599'505.920 L/año y que, a su vez equivalen a 1.599.505,92 m³/año es de \$3'096.000,00 M/Cte. por lo tanto, el valor de la tarifa por metro cúbico (m³) de agua captada es \$1,94 pesos por m³ y, teniendo en cuenta que el agua que ingresa al sistema la cual, se pierde en la conducción es de 701.676 m³, nos permite determinar, con base en el valor de la tarifa por metro cúbico captado, que las pérdidas económicas ascienden a \$1'361.251,44 pesos anualmente.

Alternativas para la Mitigación y Disminución de Pérdidas

Mantenimiento Preventivo y Correctivo de Estructuras

Dentro de las actividades de mantenimiento preventivo de las estructuras y accesorios en general del sistema se debe realizar acorde con los procedimientos establecidos por la empresa operadora para cada componente.

Tabla 6. Frecuencia de actividades de mantenimiento

Estructura	Frecuencia
Rejilla y cámara pre desarenadora	diario
desarenadores	mensual
Estaciones macro medidoras	trimestral
Cámaras de quiebre	semestral
Pasos elevados	semestral
Válvulas de purga y ventosas	trimestral
Lavado general de tuberías	semestral
Válvulas de corte	semestral

Fuente: Autor

En cuanto al mantenimiento correctivo se debe tener en cuenta la vida útil de los equipos y accesorios los cuales cumplen su vida funcional recomendada por el fabricante, de igual manera entra todos los imprevistos que se puedan presentar a lo largo de la red por motivos de golpes de ariete, defectos en la calidad de los materiales y fenómenos naturales

Legalización de Usuarios

Al verificar los aforos realizados se puede evidenciar que las pérdidas reales de agua cruda son considerables, por lo anterior se recomienda a la administración municipal como propietaria de las estructuras y la empresa municipal de servicios públicos quien ejerce la operación, tomar medidas urgentes que conlleven a mitigar estas pérdidas reales ya identificadas plenamente en nuestro proyecto. Para esto se propone la legalización de los usuarios rurales identificados, este proceso consistirá en activar hasta la parte rural el programa de uso y ahorro eficiente de agua, en esta tarea se debe socializar la importancia de controlar las pérdidas de agua no solo potable sino del agua cruda, dentro del proceso se deben establecer el pago de matrícula por servicio de agua cruda y la instalación de sistemas para la micro medición en cada acometida que se encuentran derivadas de la red de conducción.

Implementar Protocolos de Registro y Monitoreo de Pérdidas

Para los procesos de seguimiento y monitoreo, es importante tener un registro actualizado de todos los procedimientos tanto de operación tanto de operación como de mantenimiento de igual forma mantener calibrados y certificados sus equipos de medición de caudal a la salida del desarenador y entrada a la Ptap.

Dentro de los procesos de operación se debe establecer control de caudal diariamente en la salida del desarenador y llegada a la planta.

Se debe Priorizar el cumplimiento de los procedimientos de operación y mantenimiento de toda la red de conducción, sus accesorios y estructuras.

Se propone los siguientes formatos 1, 2 y 3 para reducir y prevenir las pérdidas en el sistema de conducción desde la bocatoma hasta la PTAP del municipio de Tauramena:

Tabla 7. Formato de Registro y Mantenimiento de red de aducción

Formato 1. Registro de mantenimiento de accesorios de la red de aducción (válvulas de corte, ventosas)				
Frecuencia: <u>Semestral</u>				
Fecha	Hora	Estructura	Actividad realizada	Nombre operario
00/00/00	08:30	Válvulas de 12” Salida bocatoma y llegada al desarenador*	Verificación en general del estado y funcionamiento de las válvulas	Rubiel Darío Roa

**Diligenciado como ejemplo. Fuente: Autor*

Tabla 8. Formato de Registro y Mantenimiento de estación macro medidora

Formato 2. Registro de inspección y mantenimiento de la estación macro medidora de 12”				
Frecuencia: <u>mensual</u>				
Fecha	Lectura	Estado equipo	Actividad realizada	Nombre operario
00/00/00	00000	bueno	Se hace verificación de la estación macro medidora encontrándose en completa normalidad su funcionamiento, se realizó purga en general al filtro y se tomó lectura del macro	Rubiel Darío Roa

Fuente: Autor

Tabla 9. Formato de Registro y Mantenimiento de accesorios de red de conducción

Formato 3. Registro de mantenimiento de accesorios y Estructuras de la red de conducción(cámaras de quiebre, pasos elevados, válvulas de lavado y ventosas)				
Frecuencia: <u>semestral</u>				
Fecha	Lugar	Estructura	Actividad realizada	Nombre operario
00/00/00	El peñol	Cámara de quiebre # uno	Se hace revisión general del funcionamiento de la estructura, se evidencio que hay bastante reguero de agua por el costado del potrero lo cual está afectando los pastos	Rubiel Darío Roa

Fuente: Autor

Conclusiones

- La empresa municipal de servicios públicos de Tauramena debe garantizar el cumplimiento operacional del llenado de formatos generados para cada actividad de mantenimiento de los componentes de la infraestructura de captación, aducción, desarenacion y conducción de la fuente Rio Chitamena, lo anterior ayudaría a mantener una información clara de actividades.
- Diagnosticar el sistema hidráulico de la red de acueducto desde la captación hasta la llegada a la planta para establecer programas que conlleven a la reducción de perdida de agua, dentro de la investigación el mayor hallazgo de perdida se encontró que su origen principal es por falta de mantenimiento, con lo anterior se reduciría las pérdidas de aguas reales en la red.
- La alcaldía municipal del municipio de Tauramena en coordinación con la empresa municipal de servicios públicos deben continuar con los trabajos del cambio de tubería como se

relaciona en Las consultorías 191 de 2006 – alcaldía municipal – aquadatos s. a, y consultoría 162 de 2009, hecha la verificación en campo se encontró que, si se han adelantado trabajos en la red, pero no en el orden recomendado.

Recomendaciones

- Es de vital importancia darle capacitación al equipo de trabajo que viene desarrollando el diagnóstico general de las pérdidas de agua, lo anterior para garantizar que la curva de aprendizaje siempre sea en ascenso y no se desperdicien las inversiones realizadas en capacitación y manejo de la información.
- Respecto al censo del modelo hidráulico del sistema, es claro que su validación y actualización deber ser considerado un proceso continuo e inacabado, que requiere de un total compromiso del personal responsable para dar solución pronta a las pérdidas de agua encontradas en la red de conducción las cuales relaciona este proyecto de investigación.
- Definición de criterios y opciones de operación y mantenimiento destinados a establecer la configuración más adecuada del sistema de abastecimiento de agua para el área urbana de Tauramena.
- Desarrollar y utilizar modelos computacionales de simulación de las condiciones hidráulicas de las redes.
- La empresa operadora debe garantizar la operación, homologación y mantenimiento de los macro medidores en la captación, salida del desarenador y llegada a la planta de tratamiento.

Bibliografía

Corporinoquia. (2008). *Resolución 200.41.081143, por la cual se aprueba el plan de ordenación y manejo ambiental*, <https://bit.ly/3ejn6iC>

Ramirez Cardona. D (2014) *Análisis de las pérdidas de agua en los sistemas de abastecimiento*

<http://www.dinamica-de-sistemas.com/revista/1214g-dinamica-de-sistemas.pdf>

Comision de Regulacion de Agua potable y Saneamiento Basico. (CRA),
<https://cra.gov.co/seccion/inicio.html>

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.
(SSPD), <https://www.superservicios.gov.co/>

Ministerio de Salud y Protección Social, Resolución 330 de 2017. (capítulo 2),
<https://bit.ly/3vIQTH7>

Corzo López C.A, (diciembre de 2009), PL01-13 Redes de aducción Rio Chitamena y Tauramenera

Aquadatos. y Alcaldía Municipal de Tauramena. Consultoría 191 (agosto de 2006)
Fonseca Garzón R y Fundación Amanecer. (Plan maestro), Consultoría 162 de 2009, Alcaldía Municipal de Tauramena.

Organización de las Naciones Unidas, (abril 2017), *The sustainable developmente goals report, 2016 (Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2016)*, <https://bit.ly/3vORdEz>