

1 DE ENERO DE 2022



Universidad Cooperativa

**ANALISIS DE DEMANDA DE AGUA EN EL
MUNICIPIO DE ARACATACA EN EL
DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA
FACULTAD DE INGENIERIAS**

JORGE TOLOZA CABALLERO; ESTEBAN FONTALVO PALACIO
UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA CAMPUS SANTA MARTA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

ANALISIS DE DEMANDA DE AGUA EN EL MUNICIPIO DE ARACATACA EN EL DEPARTAMENTO DEL
MAGDALENA

PRESENTADO POR:

JORGE TOLOZA CABALLERO

ESTEBAN FONTALVO PALACIO

REVISADO POR:

ING. LAURA NIETO HENAO

UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA

CAMPUS SANTA MARTA

FACULTAD DE INGENIERIAS

PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

SANTA MARTA

D.T.C.H.

2022



CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	5
LINEA DE INVESTIGACIÓN	6
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	6
2. OBJETIVOS	7
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	7
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	7
2.3 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	7
3. JUSTIFICACIÓN	8
4. DELIMITACIONES.....	9
4.1 ALCANCES.....	9
4.2 LIMITACIONES	9
5. MARCO REFERENCIAL.....	10
5.1 MARCO CONCEPTUAL	10
5.2 MARCO TEORICO.....	12
6. METODOLOGÍA.....	14
7. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE	15
8. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ACTUAL DE ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE ARACATACA	17
8.1 SITEMA DE CAPTACIÓN	17
8.2 SISTEMA DE ADUCCIÓN.....	17
8.3 ALMACENAMIENTO.....	18
8.4. TANQUE DE ALMACENAMIENTO NUEVO	18
9. PROBLEMÁTICA ACTUAL DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	18
10. ANALISIS POBLACIONAL Y DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA POTABLE.....	19
10.1 ESTIMACIÓN DE POBLACIÓN POR METODO GEOMETRICO.....	19
10.2 NIVEL DE COMPLEJIDAD	21
10.3 PERIODO DE DISEÑO	22
10.4 DOTACIÓN NETA	22
10.4.1 PERDIDAS TECNICAS MAXIMAS ADMITIDAS.....	22
10.5 DOTACIÓN BRUTA	22
10.6 PROYECCIÓN DE DEMANDAS DE AGUA.....	22
11. DISEÑO DE BOCATOMA.....	27
11.1 DISEÑO DE REJILLA Y CANAL DE ADUCCIÓN	29

11.2 CAMARA DE RECOLECCIÓN	30
11.3 ALTURA DE MUROS DE CONTENCIÓN	31
12. DESARENADOR.....	33
13. ESTIMACION DEL CONSUMO.....	36
14. TANQUES DE ALMACENAMIENTO	39
CONCLUSIÓN	43
BIBLIOGRAFÍA.....	44



Universidad Cooperativa
de Colombia

INTRODUCCIÓN

Cuando se hace referencia a una red óptima para la distribución de agua potable, se hace enfoque a una red que está cumpliendo con las condiciones de mínimas requeridas dentro de la normatividad nacional vigente y que el costo de construcción es relativamente bajo. Estas condiciones lo que hacen es permitir que los diseños del sistema, cumplan con las condiciones hidráulicas que se necesitan para la correcta operación, cuya finalidad es llevar a cabo una comparación que permita identificar la alternativa más económica y seleccionar el mejor diseño para su ejecución.

La gobernación del Magdalena, con el respaldo de la entidad encargada de la prestación del servicio Aguas del Magdalena S.A. E.S.P., está desarrollando un programa por el cual se encuentre el mejoramiento de servicios de acueducto y alcantarillado a nivel departamental, cuyo objetivo es aumentar las coberturas urbanas de acueductos y alcantarillado entre un 85% y un 95%, respectivamente, para así de esta manera poder dar garantías a una mejora permanente y que sea capaz de sostener ambos servicios. Para poder desarrollar este trabajo, se pretende definir unas estrategias claras para el mejoramiento hidráulico del conjunto de redes encargadas de la distribución en el municipio. (ARACATACA, 2012)

El municipio de Aracataca, se encuentra localizado a aproximadamente 40 metros sobre el nivel del mar en la zona norte del departamento del Magdalena en cercanías a la PNN Sierra Nevada de Santa Marta. En la actualidad el sistema de acueducto municipal, reside en tomar agua del canal Antioquia, que a su vez capta el agua del río Aracataca, este se ubica a 677 metros hacia el sur de la entrada principal del municipio sobre la vía que comunica hacia el departamento del César. Lo que busca la optimización del sistema de acueducto en el municipio es la mejora de la red de acueducto y un mejoramiento en la PTAP, con lo cual buscan que las obras realizadas cumplan con el objetivo principal que es introducir cambios importantes que contribuyan de manera definitiva al desarrollo urbanístico y socioeconómico del municipio, buscando una mejora en la operación y en la prestación del servicio público de acueducto del municipio de Aracataca, así como también el cumplimiento de las actividades de construcción, rehabilitación, optimización, expansión y mantenimiento de los sistemas de acueductos.

Este documento, tiene como objeto establecer los lineamientos para desarrollar el prediseño de las estructuras de captación del municipio de Aracataca (bocatoma, desarenador, tanque de almacenamiento), apoyado en un análisis estadístico de estimación de población y el consumo de agua por horas.

Cabe mencionar que el presente es para optar al título de ingenieros civiles de la Universidad Cooperativa de Colombia campus Santa Marta en la modalidad de grado de análisis sistemático de literatura, el cual se enfoca en la línea de investigación de ingeniería, trabajando en la sub línea de Energía, agua y medio ambiente enfocada en la línea de agua.

LINEA DE INVESTIGACIÓN

- Línea de investigación de ingeniería
 - Energía, agua y medio ambiente
 - ✓ Agua

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El municipio de Aracataca presenta grandes inconvenientes con el sistema de suministro de agua potable lo que ha ido generando que el comportamiento típico de consumo por parte de la población se vea afectado, ya que al no tener una cobertura total las personas optan por conectarse de manera ilegal a las redes matrices ocasionando pérdidas que no se habían estimado, lo cual lleva a que la prestación del servicio y el consumo sea atípica.

Como se menciona en el párrafo anterior, al presentarse un comportamiento atípico se genera un mayor consumo, por lo cual la captación y el abastecimiento de agua se ve afectado y causa un problema mayor, ya que al haber muchas conexiones a la red matriz que han sido realizadas de manera artesanal y con elementos de materiales que no cumplen con los requerimientos técnicos para la correcta prestación del servicio, esto hace que se vea un aumento en las pérdidas técnicas durante todo el recorrido del agua y los problemas que se pueden presentar en el sistema de abastecimiento y captación.

Universidad Cooperativa
de Colombia

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un prediseño de las estructuras que conforman el sistema de captación para revisar la capacidad del sistema actual.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Evaluar las características de la población urbana y sus necesidades en cuanto al consumo.
- Realizar una conclusión del estado actual del sistema.
- Determinar la capacidad, funcionamiento y operación de las obras hidráulicas.
- Realizar un prediseño de la bocatoma, desarenador y tanque de almacenamiento, que garantice la adecuada captación y almacenamiento de agua.

2.3 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Dentro de los objetivos de desarrollo que abarcan nuestro proyecto de investigación encontramos que puede entrar o tiene cabida en 4 de estos objetivos, lo cuales son:

- 3. Salud y Bienestar
- 6. Agua limpia y saneamiento
- 10. Reducción de las desigualdades
- 11. Ciudades y comunidades sostenibles

Universidad Cooperativa
de Colombia

3. JUSTIFICACIÓN

Gracias a la problemática que se presentaba a fines del año 2013 en la prestación del servicio de acueducto del municipio de Aracataca, se evidenció la necesidad de implementar una estrategia que sirvió para el mejoramiento integral del sistema de acueducto, de tal forma que se permita observar que las inversiones que se han llevado a cabo en el sistema de captación cumplan con la funcionalidad de la optimización, hasta entonces en ejecución, en conjunto con un sistema de repartición que sea el correcto para que así, se pueda recuperar la confianza de los usuarios.

La pérdida de confianza que se generó por parte de la comunidad sobre el sistema de repartición y abastecimiento de agua potable por parte de los usuarios de cualquier zona del municipio es consecuencia de grandes inconvenientes en la operación del sistema de acueducto, en donde prestar el servicio de acueducto de manera interrumpida se ha ido presentando y volviéndose una práctica común, entregando agua a lo largo de un periodo corto de tiempo por medio de maniobras operativas complejas, dejando así una continuidad bastante baja a los usuarios. Inclusive en ciertos momentos, se ha surtido el agua cruda a los usuarios por las redes de suministro para saciar la necesidad de agua.

Aun así, el sistema de acueducto en el cual se presenta este problema no fueron diseñados de forma adecuada, logrando así que no se cumpliera con el cubrimiento de las necesidades sino también el cubrimiento de parte de las necesidades futuras durante el periodo de tiempo que se dispone según la normatividad nacional, teniendo en cuenta que no son capaces de cubrir la demanda requerida por los usuarios, ya que se presentan más pérdidas técnicas de las estimadas por causa de las conexiones ilegales a las redes matrices, por lo que para poder abastecer sus necesidades se construyó un almacenamiento independiente y así buscar la manera más rápida posible para cubrir la necesidad de agua potable de varios días.

Entonces teniendo en cuenta que, la intención principal del sistema de distribución de agua potable del municipio, es que esta sea entregada a los consumidores finales en las cantidades adecuadas y con una presión suficiente, que cumplan con una mínima calidad, que permita el consumo del agua y lo principal que sea de manera continua, se debe plantear diversas disyuntivas para la optimización del sistema de captación para así poder garantizar un adecuado y constante servicio de agua potable para los habitantes del municipio de Aracataca.

4. DELIMITACIONES

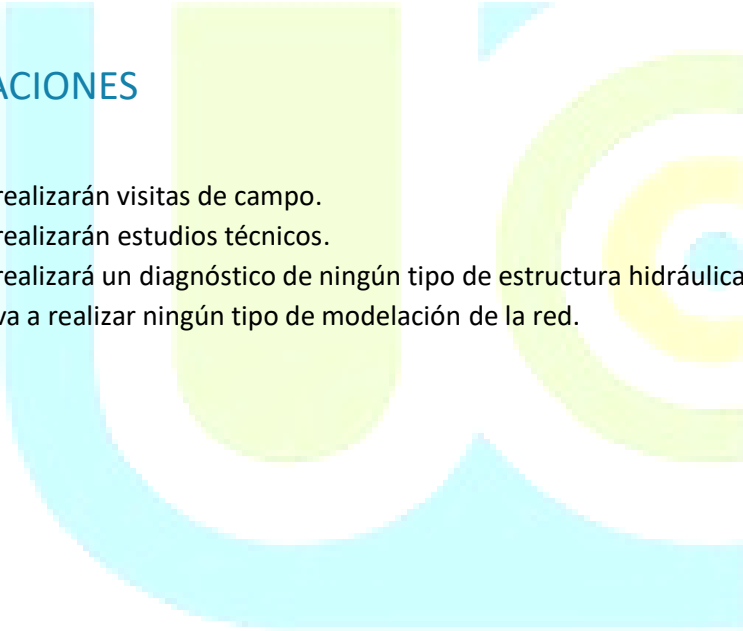
4.1 ALCANCES

El alcance que se busca, estará enmarcado por una propuesta de unos escenarios de optimización basados en un análisis del sistema de captación que existen en el municipio de Aracataca, con el cual se busca poder analizar los consumos de agua que demanda actualmente la población.

Esta propuesta deberá contemplar la realización de los diseños de las obras de las estructuras hidráulicas requeridas (bocatoma, desarenador, tanques de almacenamiento).

4.2 LIMITACIONES

- No se realizarán visitas de campo.
- No se realizarán estudios técnicos.
- No se realizará un diagnóstico de ningún tipo de estructura hidráulica en específico.
- No se va a realizar ningún tipo de modelación de la red.



Universidad Cooperativa
de Colombia

5. MARCO REFERENCIAL

Para el desarrollo de este marco referencial se hará un análisis de algunos conceptos, estadísticas y criterios a nivel global, en donde intervienen el control de perdidas, demanda y redes de distribución. Además, se realizará el análisis de algunos proyectos que se han desarrollado a nivel mundial, en donde toma parte la gestión de demanda.

Para optimizar el sistema de captación de agua potable, debemos realizar un análisis poblacional y los diseños propios de las estructuras que conforman el sistema como una de las propuestas para así poder garantizar que la demanda de agua cumpla con la prestación de un buen servicio a toda la población del municipio, por lo cual se presentará a continuación diversos criterios y estadísticas que son ejemplos a nivel global como la gestión del agua en la ciudad de Madrid, España entre otros.

5.1 MARCO CONCEPTUAL

5.1.1 Criterios de sectorización: Los criterios de sectorización usados a nivel mundial, se hallan en los manuales de organizaciones encargadas de proveer del servicio de repartición de agua potable en el territorio, y realizan parte de las tácticas de operación de reducción de pérdidas, en donde se especifica de algún modo el proceso de la sectorización. Por ejemplo, la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) cuenta con el más completo manual de sectorización que hay a nivel nacional, el cual se enfoca en el uso de la sectorización como un instrumento de control de pérdidas de agua. No todos los criterios de sectorización siguen los motivos netamente hidráulicos sino que también se enfocan en los POT y división urbana. (NIÑO & GALINDO, 2014); Teniendo en cuenta el concepto de sectorización que se menciona en la resolución 0330 del 8 de junio del 2017 y la información encontrada en la web, se tiene que Aracataca está dividido en dos sectores principales: Centro y Raíces, el sector centro tiene un trazado homogéneo mientras el sector Raíces presenta un trazado irregular, lo cual es resultado de la mala planeación y la falta de un diseño urbanístico.

5.1.2 Estadísticas: La Asociación Americana de Obras Hidráulicas, ha generado estadísticas detalladas de muchas empresas prestadoras del servicio de agua asociadas a nivel mundial, que le reportan información. Uno de los muchos datos que publicaron es, por ejemplo, el indicador de las fallas o roturas del conjunto de tuberías en conductos principales. En el año 1998, se supo que un promedio de 620 empresas a nivel mundial, hicieron el reporte de unas 0.16 roturas/kilómetro de tuberías. (BANK, 2013)

En el año 1996, el Banco mundial realizó la publicación y realizó un análisis de las estadísticas que fueron entregadas por varias ciudades a nivel mundial. En las que aparecen los casos de Sao Paulo, Brasil o de Bogotá, Colombia.

Tabla 1. Estadísticas indicadoras de eficiencia Banco Mundial.

Composition of UFW (%)				
País/Ciudad	año	físicas	Comerciales	Total
Singapur	1989	4	7	11
España, Barcelona	1988	11	12	23
Colombia, Bogotá	1991	14	26	40
Costa Rica, San José	1990	21	25	46

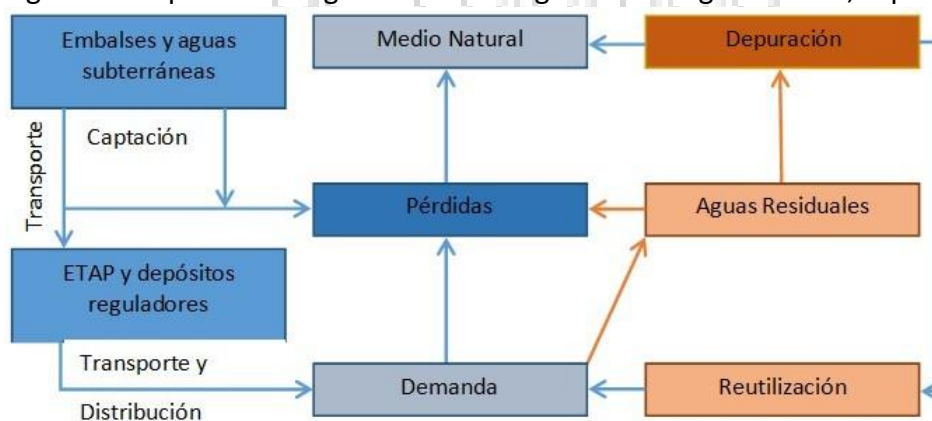
Fuente: THE WORLD BANK. Improved water source: indicators [en línea]. Washington [citado 06 Junio, 2013]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.worldbank.org/html/fpd/water/pdf/indicators.pdf>>.

En la tabla anterior, se puede observar que durante varios años los indicadores de eficiencia tuvieron una mejora, la cual seguramente fue debido a los buenos programas de control de fugas, pero posteriormente estas deficiencias fueron creciendo debido a un descuido que se pudo presentar en los programas de control que llevaban las empresas.

5.1.3 Gestión del agua en la ciudad de Madrid, España: Para una gestión sostenible del agua se debe tener en cuenta el ciclo completo de los sistemas hidrológicos urbanos para los sistemas de alcantarillado, el tratamiento y eliminación de aguas residuales. Teniendo en cuenta todas estas funciones que tienen transcendencia sobre las cantidades y la calidad de los recursos hídricos disponibles con los que se cuentan y esto hace que se vea afectado también otros aspectos del sistema natural. (MADRID, 2012)

El objetivo de una gestión sostenible del agua, se debe centrar en dar garantías, no solo en la prestación de un servicio primordial sino también encargarse de garantizar el resguardo de los hábitats, la fauna y la flora de los elementos acuáticos presentes en el paisaje.

Figura 1. Esquema de organización de la gestión del agua Madrid, España.



Fuente: AYUNTAMIENTO DE MADRID. Diagnóstico de sostenibilidad de la Ciudad de Madrid: Agenda 21 Local de Madrid. Madrid: Autor, 2012. p. 45.

5.2 MARCO TEORICO

- **Agua potable.** Es el agua apta para el consumo de los humanos, la cual no cuenta con ninguna restricción y que puede ser utilizada para la preparación de alimentos.
- **Caudal de diseño.** Es el caudal estimado con el cual se deben diseñar los equipos, dispositivos y estructuras de un sistema determinado. (EPM, s.f.)
- **Caudal máximo diario.** Es el consumo máximo registrado durante veinticuatro horas y es observado en un periodo de un año, sin tomar en cuenta las demandas contra incendio que hayan sido presentadas. (EPM, s.f.)
- **Caudal máximo horario.** Es el consumo máximo registrado que se puede presentar durante una hora y puede ser observado en un período de un año, sin tomar en cuenta las demandas que se presentan en caso de incendios. (EPM, s.f.)
- **Caudal medio diario.** Es el consumo medio durante 24 horas, este se puede obtener por calculando el promedio de consumos diario en un período de un año.
- **Concentración de la Demanda.** Es uno de los efectos que se identifican del servicio por turnos y la consecuente presencia de almacenamientos individuales, es la concentración de la demanda.
- **Gestión por demanda.** Se encarga de la predicción y regulación de los ciclos de consumo, adaptando la producción de agua a los picos de mayor exigencia para asegurar que el servicio se seguirá prestando de acuerdo a los tiempos y niveles de calidad.
- **Macromedición.** Sistema de medición de grandes caudales, los cuales están destinados a totalizar la cantidad de agua que ha sido tratada en una planta de tratamiento y la que está siendo transportada por la red de distribución en diferentes sectores. (EPM, s.f.)
- **Optimización.** Proceso de diseño y/o construcción para lograr un mejor equilibrio y compatibilidad entre los componentes de un sistema, incrementar su capacidad o la de sus componentes, y así aprovechar al máximo todos los recursos que se dispongan. (EPM, s.f.)

- **Pérdidas de agua.** Es la diferencia que se presenta entre el agua que se suministra al sistema y el consumo autorizado.
- **Período de diseño.** Es el tiempo para el cual se diseña un sistema o los componentes de éste. (EPM, s.f.)
- **Población de diseño.** Es la proyección poblacional que se presenta al final del periodo para el cual se realiza el diseño y debe evaluar integrando variables demográficas, socioeconómicas, regionales, además de tener en cuentas las normas y regulaciones que se deben tener en cuenta para el crecimiento ordenado de la población. (Villaroel, 2017)
- **Red de distribución.** Es el conjunto de tuberías, accesorios y estructuras por el que se transporta el agua desde el sistema de almacenamiento o desde la planta de tratamiento hasta los puntos de consumo final. (Iglesias, 2016)
- **Red matriz.** Es el conjunto de tuberías, accesorios, estructuras y equipos que conducen el agua potable desde las plantas de tratamiento o tanques hasta las redes de distribución local o secundaria. (Decreto 1077 de 2015, 2015)

Universidad Cooperativa
de Colombia

6. METODOLOGÍA

La metodología que se utilizará para el desarrollo del análisis poblacional, demanda y del sistema de captación de agua en el municipio de Aracataca, estará regida por varias fases que describiremos a continuación:

- **Primera Fase:**

- Aspectos generales del municipio: en esta parte del estudio se realiza un resumen en donde se describan los aspectos que caracterizan a el municipio de Aracataca.
- Realizar un resumen de la información existente, la cual nos permita identificar cuáles son las necesidades hidráulicas que tiene el municipio.

- **Segunda Fase:**

- Analizar las demandas actuales y proyectadas, en donde se debe incluir como se comporta a diario el consumo tanto en días ordinarios como en fines de semana.

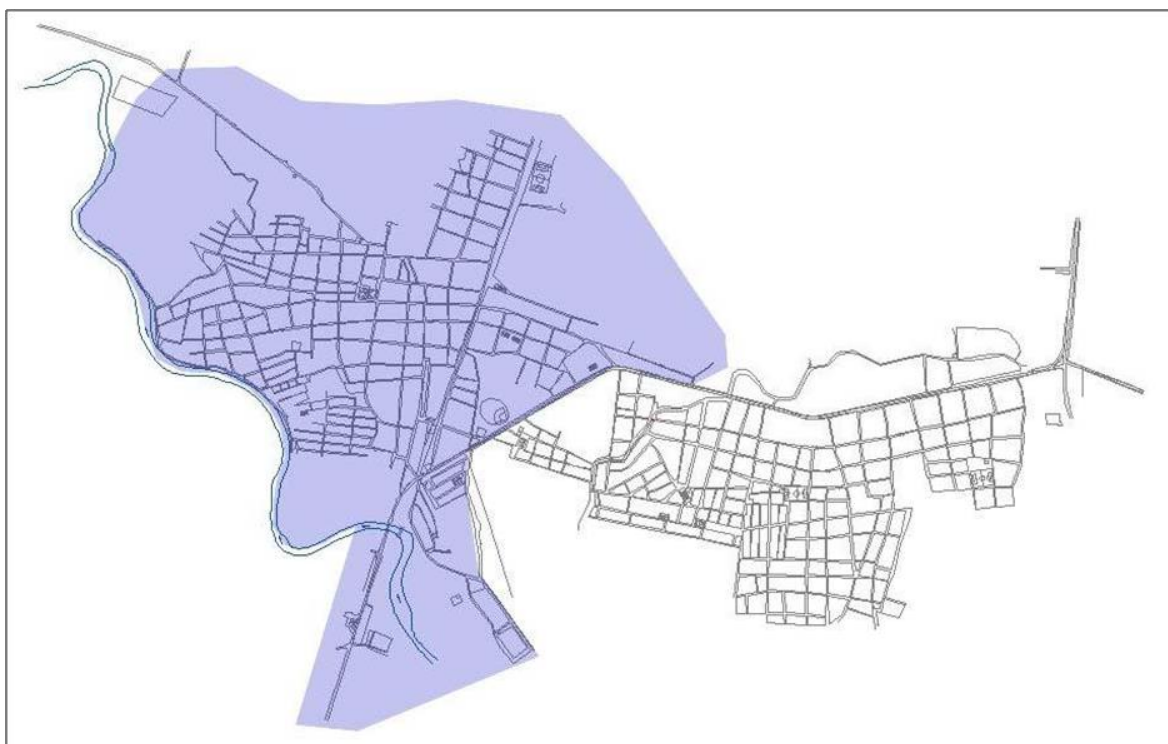
- **Tercera Fase:**

- Realizar un análisis basándonos en la prestación del servicio:
 - Horas máximas de presión
 - Horas máximas de consumo

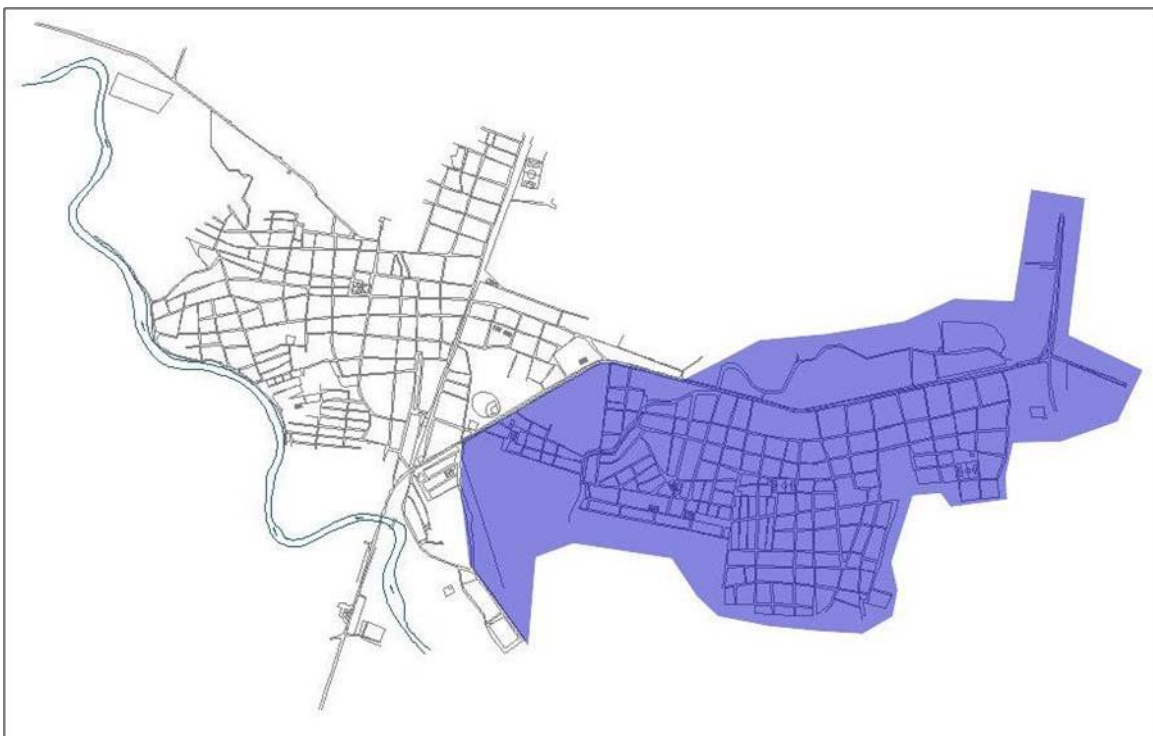
Universidad Cooperativa
de Colombia

7. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

El municipio de Aracataca actualmente cuenta con un sistema de acueducto que consta de una longitud total de 49.5 km, el cual se encuentra conformado por tuberías de PVC y asbesto cemento. En la zona centro, se cuenta con una tubería de un diámetro lo suficientemente grande para la distribución como red matriz ($\varnothing 12''$ AC y $\varnothing 10''$ AC), esta parte del sistema de acueducto pertenece a la red de la planta antigua la cual se encuentra fuera de funcionamiento y cuenta con acometidas lo cual impide que su funcionamiento sea el adecuado para la red matriz de distribución. La Zona Raíces, no cuenta con una red de distribución principal y la sub red de distribución se encuentra completamente dividida por turnos.



Sector Centro. Fuente: IEH GRUCON S.A



Sector Raíces. Fuente: IEH GRUCON S.A.

En el sistema de red de distribución de agua potable, se presentaban diferentes fallas en el sistema tales como: fugas, desperdicios en las soluciones de almacenamiento individual, conexiones en mal estado, malas instalaciones de tuberías (artesanales), utilización de tuberías para otros usos (riego, alcantarillado, no para agua potable), accesorios de fabricación artesanal, obstrucción por arrastre de sedimentos, crecimiento de raíces que pueden llegar a afectar de manera grave el funcionamiento del sistema de distribución. (PONTON, 2013)

Se ha realizado un plan de parte de la empresa contratista y la empresa prestadora del servicio en conjunto con el municipio y se ha logrado prestar el servicio de una manera óptima desde la habilitación de la nueva PTAP, el cual se basa en el manejo de 3 turnos cada uno de 8 horas, uno para la Zona Centro del municipio y dos para el sector de Raíces. (E.S.P, 2015) (ARACATACA, 2012)

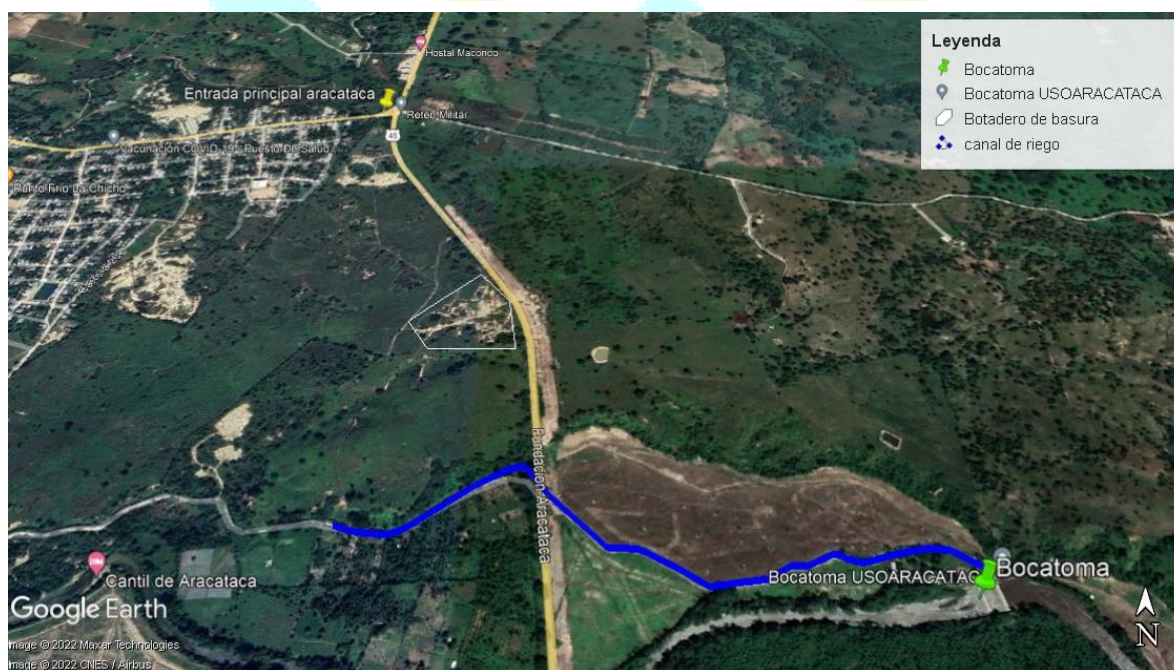
8. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ACTUAL DE ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE ARACATACA

8.1 SISTEMA DE CAPTACIÓN

El sistema de captación utilizado para la obtención del agua con el cual se abastece a la población, cuenta con un canal para el suministro, que a su vez, toma agua del río Aracataca en un lugar que se encuentra ubicado a 677 metros con dirección sur de la entrada principal del municipio ubicada sobre la vía que conduce hacia el departamento del César.

8.2 SISTEMA DE ADUCCIÓN

El sistema de aducción está compuesto por una línea de 14" con reducción a 12" a los 500 metros y otra línea de 10", la cual comunicaba el punto de captación en el canal existente con la PTAP. Ambas líneas de conducción se sitúan en el lado izquierdo de la vía que conduce desde el punto de captación hasta la planta de tratamiento, la tiene una distancia de 1.2 Km y luego hay un tramo de aproximadamente 800 metros que pasa por debajo de la vía que comunica el ramal del canal de regadío con el río Aracataca. Estas líneas están diseñadas para poder transportar un caudal de 120 L/s.



Fuente: Google Earth Pro

8.3 ALMACENAMIENTO

El sistema de almacenamiento consta de dos tanques rectangulares y un tanque circular con capacidad para 562 m³ entre los tres tanques, los cuales se encuentran conectados entre sí, pero en la actualidad se encuentran fuera de funcionamiento y en mal estado, los tanques también presentan acumulación de sedimentos (arena), esta acumulación de sedimentos tiene un espesor aproximado de 80 cm, lo cual causa que haya una disminución de la capacidad de almacenamiento para el cual fueron diseñados.

Tanque	Área (m ²)	Altura Física (m)	Altura Real por la Arena (m)	Vol. Físico (m ³)	Vol. Real (m ³)
1	95	3	2	285	190
2	31	3	2	93	62
3	62	3	2	185	123
Volumen Total		562		376	

Fuente: IEH GRUCON S.A.

8.4. TANQUE DE ALMACENAMIENTO NUEVO

El tanque de almacenamiento se encuentra enterrado y consta con capacidad de 890 m³, se fue diseñado como para suministrar el agua por gravedad para la zona Centro y que a su vez también cumple la función de succión para el abastecimiento del tanque elevado que suministra a la zona Raíces.

9. PROBLEMÁTICA ACTUAL DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

Después de haber presentado las características técnicas de los elementos de los cuales se componen un sistema de acueducto, se dio procedió a identificar cuáles son las problemáticas principales que presentaban durante el funcionamiento del sistema actual. (E.S.P, 2015)

Las deficiencias que se presentan en el actual sistema de distribución se caracterizan principalmente por:

- La discontinuidad del servicio prestado y, las constantes y alargadas interrupciones en la prestación de servicio.
- Las bajas presiones con la cual opera el servicio.
- Los altos índices de pérdidas a lo largo de la red de distribución.
- La construcción de la red realizada por la comunidad sin ninguna clase de seguimiento y control técnico. (E.S.P, 2015)

10. ANALISIS POBLACIONAL Y DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA POTABLE

10.1 ESTIMACIÓN DE POBLACIÓN POR METODO GEOMETRICO

Para la estimación de la población, se debe tener en cuenta los estudios de población realizados por el DANE para realizar la proyección de población que se requiere para realizar el diseño del sistema de captación y así poder ver si el sistema diseñado supliría la demanda futura de agua que se tenga prevista en el municipio.

Para realizar esta estimación se hace uso de los métodos recomendados en el título B del RAS 2000, que son las normas técnicas establecidas por el Ministerio de Vivienda de la República de Colombia, el cual nos dice que según el nivel de complejidad del sistema se debe realizar la estimación de la población.

Tabla B.2.1 Métodos de cálculo permitidos según el nivel de complejidad del sistema para la proyección de la población

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

Fuente: Título B, RAS 2000. Ministerio de Vivienda, Republica de Colombia.

Basándose en que la población inicial para el estudio se toma desde el año 2018, ya que es el estudio de análisis poblacional más reciente encontrado, el cual arroja que la población del municipio de Aracataca es de 22620 habitantes, por lo cual se puede concluir que el nivel de complejidad del sistema es MEDIO-ALTO, por lo cual se recomienda utilizar los métodos aritmético, geométrico y exponencial.

AÑO CENSO	POBLACION		
	CABECERA	RESTO	TOTAL
1993	15845	24065	39910
2005	19915	15014	34929
2014	26534	12486	39020
2018	22620	14856	37476

Fuente: Los Autores.

En la anterior tabla se encuentran los datos poblacionales encontrados en las bases de datos del DANE, se encontraron los datos poblacionales de los años 1993, 2005 y 2018. Y la estimación de la población del 2014, se toma del informe de diseño del proyecto del acueducto de Aracataca.

Al realizar la estimación por los métodos recomendados por la norma, se realizó un análisis entre los tres métodos y se escogió trabajar con el método geométrico.

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

$$r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{\frac{1}{(T_{uc} - T_{ci})}} - 1$$

$$r = \left(\frac{22620}{19915} \right)^{\frac{1}{(2018 - 2005)}} - 1 = 0,00985$$

$$P_f = 22620(1 + 0,00985)^{2042 - 2018} = 28616 \text{ Hab}$$

Después de realizar un análisis de los resultados entre los 3 métodos, se determina que para realizar los diseños propuestos para la captación se escogió la estimación del método geométrico con los datos de censo nacional por el DANE entre el 2018 y 2005 que son los más actualizados que se pueden encontrar.

2018-2005						
	CABECERA		RESTO		TOTAL	
AÑO	r=0,01	1%	r=-0,001	0%	r=0,005	1%
2018	22620		14856		37476	
2019	22843		14844		37679	
2020	23068		14832		37884	
2021	23295		14820		38090	
2022	23524		14808		38296	
2023	23756		14796		38504	
2024	23990		14784		38713	
2025	24226		14772		38924	
2026	24464		14760		39135	
2027	24705		14748		39347	
2028	24948		14736		39561	
2029	25194		14724		39776	
2030	25442		14712		39992	
2031	25692		14700		40209	
2032	25945		14688		40427	
2033	26201		14676		40646	
2034	26459		14664		40867	
2036	26982		14640		41312	
2037	27248		14628		41536	
2038	27516		14616		41762	

	CABECERA	RESTO	TOTAL			
AÑO	r=0,01	1%	r=-0,001	0%	r=0,005	1%
2039	27787		14604		41989	
2040	28061		14592		42216	
2041	28337		14581		42446	
2042	28616		14569		42676	
2043	28898		14557		42908	
2044	29182		14545		43141	
2045	29469		14533		43375	
2046	29760		14521		43610	
2047	30053		14510		43847	
2048	30348		14498		44085	
2049	30647		14486		44325	
2050	30949		14474		44565	

Para la realización de los diseños, se escoge el año 2042 que es el año en el cual ya se ha proyectado el diseño que se lleva a cabo por la entidad prestadora del servicio en el municipio de Aracataca.

10.2 NIVEL DE COMPLEJIDAD

Teniendo en cuenta el título A, numeral A.3 del reglamento técnico para el sector del agua potable y saneamiento básico (RAS 2000) otorgado por el ministerio de vivienda, se establece la clasificación de los proyectos de acueductos y alcantarillados en un nivel de complejidad dependiendo del número de habitantes y la capacidad económica tal como indica la siguiente tabla.

NIVEL DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA		
Nivel de Complejidad	Población en la Cabecera Municipal (Habitantes)	Capacidad económica de los usuarios
Bajo	< 2500	Baja
Medio	2501 a 12500	Baja
Medio - Alto	12501 a 60000	Media
Alto	> 60000	Alta

Fuente: COLOMBIA. Ministerio de Vivienda. Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. 2 ed. Bogotá: Minvivienda, 2010. p. 120.

Teniendo en cuenta que la población inicial de la cabecera municipal de Aracataca es de 22620 habitantes para el año 2018, que en su mayoría son de estratos 1 y 2, por lo cual podemos decir que el nivel de complejidad de nuestro sistema será MEDIO-ALTO.

Teniendo en cuenta que la capacidad económica de los usuarios en su mayoría es BAJA pero la población total que se proyecta para el año 2042 es de 28616 habitantes, lo cual establece un nivel de complejidad MEDIO-ALTO, ya que el RAS-2000 tiene establecido que el nivel de complejidad a

con el cual se va a trabajar debe ser la que resulte mayor entre la clasificación obtenida por la población urbana que para este caso queda como MEDIA-ALTA y la capacidad económica baja.

10.3 PERIODO DE DISEÑO

Para todos los componentes del sistema de acueducto y alcantarillado según la Resolución 0330 del 08 junio del 2017 del Ministerio de vivienda, el periodo de diseño para todo sistema de acueducto, alcantarillado y aseo, se adopta como periodo de diseño es de 25 años.

10.4 DOTACIÓN NETA

De acuerdo con la Resolución 0330 del 08 de junio del 2017 por la cual se modifica parcialmente la Resolución No. 2320 de 20009 que adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS se asume unadotación neta de 135 L/hab*día de acuerdo con el nivel de complejidad del sistema el cual es MEDIO ALTO y una altura inferior a los 1000 metros sobre el nivel mar.

10.4.1 PERDIDAS TECNICAS MAXIMAS ADMITIDAS

De acuerdo a la resolución 0330 del 08 de junio del 2017 se asume que las pérdidas técnicas admisibles son del 25%

10.5 DOTACIÓN BRUTA

La Dotación Bruta Actual es igual la Dotación Neta Actual dividida entre uno menos el porcentaje de pérdidas actual.

$$D_{bruta} = \frac{D_{neta}}{1 - \%p}$$
$$D_{bruta} = \frac{135}{1 - 0.25} \left(\frac{L}{hab * dia} \right) = 180 \left(\frac{L}{hab * dia} \right)$$

10.6 PROYECCIÓN DE DEMANDAS DE AGUA

A continuación, se mostrará la estimación y proyección de la demanda de agua que se requiere para el funcionamiento del acueducto nuevo. Los diferentes niveles de consumo se encuentran especificados en el RAS 2000 y se transcriben a continuación con sus respectivas ecuaciones.

- Caudal Medio Diario (Qmd):

$$Qmd = \frac{poblacion * dotacion\ bruta}{86400}$$

$$Qmd_{2018} = \frac{22620 * 180}{86400} = 47,1\ L/s$$

$$Qmd_{2042} = \frac{28616 * 180}{86400} = 59,6\ L/s$$

- Caudal Máximo Diaria (QMD):

$$QMD = Qmd * k_1$$

Donde k1 es el coeficiente de consumo máximo diario y es el equivalente a 1.2 de acuerdo con el RAS 2000.

$$QMD = Qmd * 1.2$$

$$QMD_{2018} = 47,1 * 1.2 = 56,6 \text{ L/s}$$

$$QMD_{2042} = 59,6 * 1.2 = 71,5 \text{ L/s}$$

- Caudal Máximo Horario (QMH):

$$QMH = QMD * k_2$$

Donde k2 es el coeficiente de consumo máximo diario establecido en el RAS 2000, ya que este hace parte de la red matriz de acuerdo a la norma, y equivale a 1.5

$$QMH_{2018} = 56,6 * 1.5 = 84,8 \text{ L/s}$$

$$QMH_{2042} = 71,5 * 1.5 = 107,3 \text{ L/s}$$

Teniendo ya todos los parámetros de diseño utilizados para realizar los cálculos, se escogen los datos de la proyección de población del 2042 para realizar los diseños, por lo cual procedemos a realizar un resumen de todos los datos en dos tablas una para los parámetros de diseño y otra para los caudales.

DATOS	
Número de Habitantes Estimado	28616
Nivel de Complejidad del Sistema por # de hab	Medio Alto
Capacidad económica de los usuarios	Baja
Nivel de Complejidad del Sistema por capacidad Económica	Medio Alto
Nivel de Complejidad del Sistema	Medio Alto
Altura de la Población [msnm]	40
Clima de la Población	Cálido

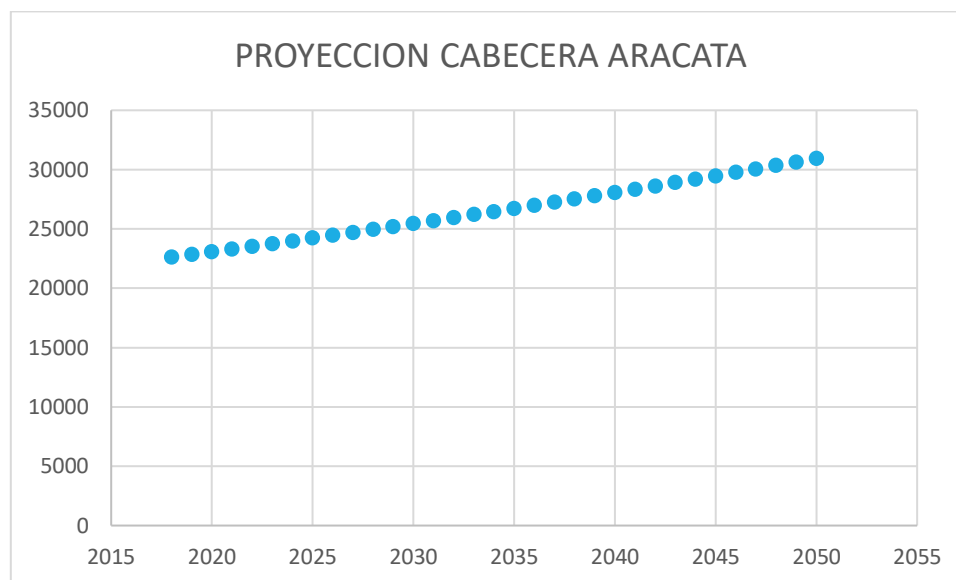
Resumen parámetros de diseños. Fuente: Los Autores

CÁLCULO DE CAUDAL	
Dotación Neta Máxima [l/hab·día]	135
Pérdidas Técnicas Máximas Admisibles [%p]	25%
Período de Diseño Máximo [años]	25
Dotación Bruta [l/hab·día]	180
Cálculo de la demanda de agua	
Qmd - CAUDAL MEDIO DIARIO [l/s]	59,6

Coeficiente de consumo máximo diario k1	1,2
QMD - CAUDAL MÁXIMO DIARIO [l/s]	71,5
Coeficiente de consumo máximo horario k2	1,5
QMH - CAUDAL MÁXIMO HORARIO [l/s]	107,3

Resumen del cálculo de caudal. Fuente: Autores.

- Proyección de la población: para el cálculo de la población proyectada se muestra la información presentada en la siguiente gráfica:



En la gráfica anterior podemos observar el crecimiento a futuro de la población, el cual nos muestra en una proyección lineal como lo indica la gráfica, con lo cual se busca mostrar cual es la población proyectada hacia el año 2042.

AÑO	POBLACIÓN	DOT. NET	PERDIDAS TECNICAS	DOT. BRUTA	Qmd	QMD	QMH
		L/Hab*día	%	L/Hab*día	L/s	L/s	L/s
2018	22620	135	25	180	47,1	56,6	84,8
2019	22843	135	25	180	47,6	57,1	85,7
2020	23068	135	25	180	48,1	57,7	86,5
2021	23295	135	25	180	48,5	58,2	87,4
2022	23524	135	25	180	49	58,8	88,2
2023	23756	135	25	180	49,5	59,4	89,1
2024	23990	135	25	180	50	60	90
2025	24226	135	25	180	50,5	60,6	90,8
2026	24464	135	25	180	51	61,2	91,7

AÑO	POBLACIÓN	DOT. NET	PERDIDAS TECNICAS	DOT. BRUTA	Qmd	QMD	QMH
		L/Hab*día	%	L/Hab*día	L/s	L/s	L/s
2027	24705	135	25	180	51,5	61,8	92,6
2028	24948	135	25	180	52	62,4	93,6
2029	25194	135	25	180	52,5	63	94,5
2030	25442	135	25	180	53	63,6	95,4
2031	25692	135	25	180	53,5	64,2	96,3
2032	25945	135	25	180	54,1	64,9	97,3
2033	26201	135	25	180	54,6	65,5	98,3
2034	26459	135	25	180	55,1	66,1	99,2
2035	26719	135	25	180	55,7	66,8	100
2036	26982	135	25	180	56,2	67,5	101
2037	27248	135	25	180	56,8	68,1	102
2038	27516	135	25	180	57,3	68,8	103
2039	27787	135	25	180	57,9	69,5	104
2040	28061	135	25	180	58,5	70,2	105
2041	28337	135	25	180	59	70,8	106
2042	28616	135	25	180	59,6	71,5	107
2043	28898	135	25	180	60,2	72,2	108
2044	29182	135	25	180	60,8	73	109
2045	29469	135	25	180	61,4	73,7	111
2046	29760	135	25	180	62	74,4	112
2047	30053	135	25	180	62,6	75,1	113
2048	30348	135	25	180	63,2	75,9	114
2049	30647	135	25	180	63,8	76,6	115
2050	30949	135	25	180	64,5	77,4	116

Fuente: Los Autores

Para completar el estudio realizado, se procedió a realizar un nuevo cálculo teniendo en cuenta las pérdidas iniciales del 85% planteadas en el 2013 para así tratar de hacer una estimación para observar de mejor manera el comportamiento que tiene actualmente el sistema y se supuso un periodo de 10 años para reducir las pérdidas, teniendo en cuenta que el diseño se realizó en el año 2013, podemos observar que a partir del año 2018 se comienza a ver una disminución de las pérdidas, la cual se estimaron en un aproximado de 61% y de ahí hasta llegar a lo establecido por la normatividad como se observa en al siguiente tabla.

AÑO	POBLACIÓN	DOT. NET	PERDIDAS TECNICAS	DOT. BRUTA	Qmd	QMD	QMH
		L/Hab*día	%	L/Hab*día	L/s	L/s	L/s
2018	22620	135	61	346,15	90,62	108,75	163,12
2019	22843	135	55	300	79,31	95,18	142,77
2020	23068	135	49	264,71	70,67	84,81	127,21
2021	23295	135	43	236,84	63,86	76,63	114,94
2022	23524	135	37	214,29	58,34	70,01	105,02
2023	23756	135	31	195,65	53,79	64,55	96,83
2024	23990	135	25	180	49,98	59,97	89,96
2025	24226	135	25	180	50,47	60,56	90,85
2026	24464	135	25	180	50,97	61,16	91,74
2027	24705	135	25	180	51,47	61,76	92,64
2028	24948	135	25	180	51,98	62,37	93,56
2029	25194	135	25	180	52,49	62,98	94,48
2030	25442	135	25	180	53,00	63,60	95,41
2031	25692	135	25	180	53,53	64,23	96,35
2032	25945	135	25	180	54,05	64,86	97,30
2033	26201	135	25	180	54,58	65,50	98,25
2034	26459	135	25	180	55,12	66,15	99,22
2035	26719	135	25	180	55,67	66,80	100,20
2036	26982	135	25	180	56,21	67,46	101,18
2037	27248	135	25	180	56,77	68,12	102,18
2038	27516	135	25	180	57,33	68,79	103,19
2039	27787	135	25	180	57,89	69,47	104,20
2040	28061	135	25	180	58,46	70,15	105,23
2041	28337	135	25	180	59,04	70,84	106,26
2042	28616	135	25	180	59,62	71,54	107,31
2043	28898	135	25	180	60,20	72,24	108,37
2044	29182	135	25	180	60,80	72,96	109,43
2045	29469	135	25	180	61,39	73,67	110,51
2046	29760	135	25	180	62,00	74,40	111,60
2047	30053	135	25	180	62,61	75,13	112,70
2048	30348	135	25	180	63,23	75,87	113,81
2049	30647	135	25	180	63,85	76,62	114,93
2050	30949	135	25	180	64,48	77,37	116,06

Fuente: Los Autores.

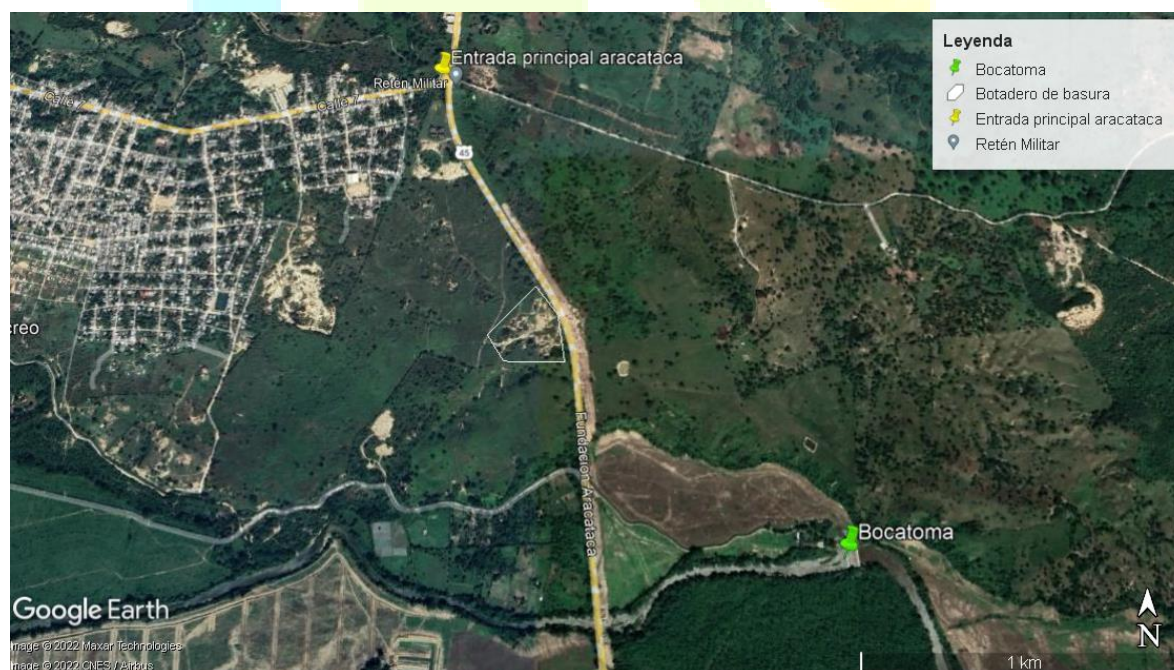
Si se observa la comparación del caudal máximo horario, teniendo en cuenta que las pérdidas estimadas y las calculadas mediante la proyección de demandas, se observa que se llega a la disminución de las pérdidas que se esperaban en un periodo de 10 años tomando que el diseño real se realizó en el 2013. Debemos tener en cuenta que el sistema real actual no fue diseñado para

soportar altas demandas de caudal debido al aumento poblacional y que es un sistema antiguo, por lo cual sabemos que estas superan en gran medida al del diseño y es esta la causa por la cual se presenta esta problemática de las pérdidas. Por último, se debe tener en cuenta que el porcentaje de pérdidas que se establecen en el RAS 2000, numeral B.3. todo tipo de perdidas están incluidas en el porcentaje de perdidas técnicas (fugas, irregularidades de consumo, etc).

11. DISEÑO DE BOCATOMA

Se parte de la escogencia del tipo de bocatoma que se va a diseñar en este caso es una bocatoma de fondo, se tiene en cuenta la ubicación de la estructura. Como sabemos la bocatoma del municipio se encuentra ubicada a un costado del río a una distancia de 677 metros aproximadamente de la entrada principal del municipio.

Se diseña un vertedero el cual nos debe ayudar a garantizar que la operación de la captación de agua sea la correcta para los caudales pico que se presenten, la estructura también debe constar de un buen espacio para operar en caso de mantenimiento y debe quedar bien ubicado en caso de tener que acceder con maquinaria. Debe también estar alejado de cualquier fuente de contaminación, en este caso la fuente más cercana es el botadero de basura ubicado a 1,2 km de la bocatoma. No se presentan desviaciones en el cauce del río por lo cual, se reduce el riesgo de erosión, cuenta con vías de acceso y se encuentran muy cerca de la carretera nacional.



Fuente: Google Earth Pro

Se debe establecer un periodo de diseño para la bocatoma, el cual se escoge teniendo en cuenta el nivel de complejidad escogido para el diseño del sistema que es Medio-Alto y se establece que el periodo de diseño sea de 25 años.

La capacidad del diseño de la bocatoma, como establece la normatividad en el título B.4.4.2 dice que la capacidad de diseño debe ser hasta 2 veces el caudal máximo diario.

$$\text{Capacidad de diseño} = QMD * 2$$

$$\text{Capacidad de diseño} = 71,5 * 2 = 143,08 \text{ L/s}$$

La velocidad máxima se muestra en la tabla B.4.3 del título B, en la cual se muestran las diferentes velocidades máximas que corresponden a los diferentes tipos de terreno.

Tabla B. 4.3 Velocidades máximas

Naturaleza de las paredes	Velocidad máxima (m/s)
Roca compacta (granito)	3.00
Roca estratificada (calcáreos)	2.00
Mampostería en mortero – Hormigón	2.50
Mampostería en seco – Concreto asfáltico	1.50
Tierra vegetal compacta	0.75
Terreno de naturaleza arenosa	0.50
Terreno de arena fina (médano)	0.40

Se escoge la velocidad basándose en el material del cual será la estructura, en este caso sería de mampostería en mortero-hormigón por lo cual la velocidad máxima escogida es 2,5 m/s.

Se asume una longitud de 3 m para calcular el caudal diseño con el cual se procederá a realizar el resto de la estructura.

$$L = 3 \text{ m}$$

$$n = 2$$

$$Q_{\text{diseño}} = 0,143 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q = 1,84 * L * H$$

$$H = \frac{Q^{2/3}}{1,84 * L}$$

$$H = \frac{0,143^{2/3}}{1,84 * 3} = 0,09 \text{ m}$$

$$L' = L - 0,1 * n * H$$

$$L' = 3 - 0,1 * 2 * 0,09 = 2,98 \text{ m}$$

$$V_{rio} = \frac{Q}{L' * H}$$

$$V_{rio} = \frac{0,143}{2,98 * 0,09} = 0,55 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

11.1 DISEÑO DE REJILLA Y CANAL DE ADUCCIÓN

Una vez obtenidos los valores de longitud, altura, longitud optima y determinar la velocidad del agua que entra por las rejillas se procede a calcular la rejilla y el canal de aducción.

$$X_s = 0,36 * V_{rio}^{\frac{2}{3}} + 0,6 * H^{\frac{4}{7}}$$

$$X_s = 0,36 * 0,55^{\frac{2}{3}} + 0,6 * 0,09^{\frac{4}{7}} = 0,39 \text{ m}$$

$$X_i = 0,18 * V_{rio}^{\frac{4}{7}} + 0,74 * H^{\frac{3}{4}}$$

$$X_i = 0,18 * 0,55^{\frac{4}{7}} + 0,74 * 0,09^{\frac{3}{4}} = 0,25 \text{ m}$$

$$B = X_s + 0,1$$

$$B = 0,39 + 0,1 = 0,49 \text{ m} \approx 0,5 \text{ m}$$

$$A_{neta} = \frac{Q}{0,9 * V_{barrotes}}$$

$$A_{neta} = \frac{0,143}{0,9 * 0,2} = 0,79 \text{ m}^2$$

$$\text{Separacion barrotes} = 0,05 \text{ m}$$

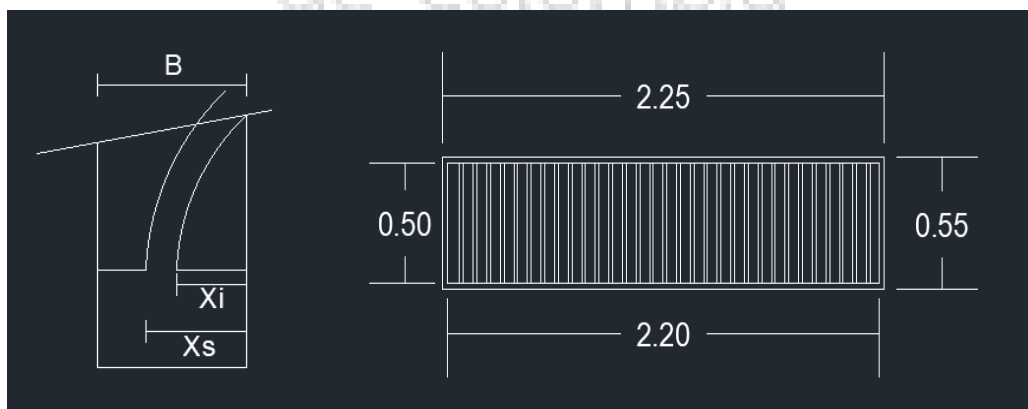
$$\text{Diametro barrotes } (\phi) = 3/4" = 0,01905 \text{ m}$$

$$L_r = \frac{A_{neta} * (\text{Sep. barras} + \phi_{barras})}{B * \text{Sep. barras}}$$

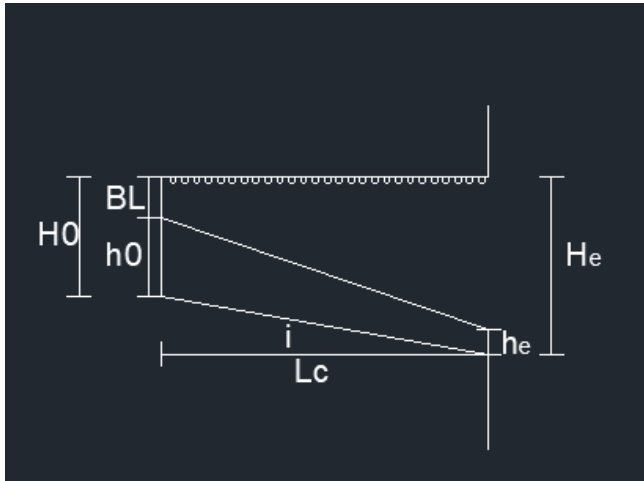
$$L_r = \frac{0,29 * (0,05 + 0,01905)}{0,5 * 0,05} = 2,24 \text{ m} \approx 2,2 \text{ m}$$

$$N = \frac{A_{neta}}{\text{Sep. barras} * B}$$

$$\# \text{ de espacios entre barras} = \frac{0,79}{0,05 * 0,5} = 32,4 \approx 32$$



Se procede a diseñarse el canal de aducción, partiendo de los datos principales y la rejilla de captación.



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

$$h_e = \left(\frac{0,143^2}{9,81 \cdot 0,5^2} \right)^{1/3} = 0,21 \text{ m}$$

$$L_c = L_r + 0,3$$

$$L_c = 2,2 + 0,3 = 2,5 \text{ m}$$

$$h_0 = \left[2 * h_e^2 + \left(h_e - \frac{i * L_c}{3} \right)^2 \right]^{1/2} - \frac{2}{3} * i * L_c$$

$$h_0 = \left[2 * 0,21^2 + \left(0,21 - \frac{3\% * 2,5}{3} \right)^2 \right]^{1/2} - \frac{2}{3} * 3\% * 2,5 = 0,29 \text{ m}$$

$$H_0 = h_0 + BL \quad BL = 0,15 \text{ m} \quad i = 3\%$$

$$H_0 = 0,29 + 0,15 = 0,44 \text{ m}$$

$$H_e = H_0 + i * L_c$$

$$H_e = 0,44 + 3\% * 2,5 = 0,52 \text{ m}$$

11.2 CAMARA DE RECOLECCIÓN

Se diseña la cámara de recolección

$$V_e = \frac{Q_{\text{diseño}}}{B * h_e}$$

$$V_e = \frac{0,143}{0,5 * 0,21} = 1,42 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$X_S = 0,36 * V_e^{\frac{2}{3}} + 0,6 * h_e^{\frac{4}{7}}$$

$$X_S = 0,36 * 1,42^{\frac{2}{3}} + 0,6 * 0,21^{\frac{4}{7}} = 0,54 \text{ m}$$

$$X_i = 0,18 * Ve^{\frac{4}{7}} + 0,74 * he^{\frac{3}{4}}$$

$$X_i = 0,18 * 1,42^{\frac{4}{7}} + 0,74 * 0,21^{\frac{3}{4}} = 0,51 \text{ m}$$

$$B = X_s + 0,1$$

$$B = 0,54 + 0,3 = 0,84 \text{ m}$$

Como el valor de la base es pequeño, se recomienda utilizar 1,2 m mínimo por temas de mantenimiento del canal.

$$B_{recomendado} = 1,2 \text{ m}$$

$$L_{recomendado} = 1,5 \text{ m}$$

11.3 ALTURA DE MUROS DE CONTENCIÓN

Se estima un caudal máximo de 23,5 m³/s, tomado de un estudio de reglamentación del río Aracataca realizado en el año 2000 por Gabriel Escobar y Ricardo Hurtado en compañía de CORPAMAG como trabajo de grado para optar al título de especialidad en ciencias ambientales de la universidad del Magdalena, ya que para obtener el caudal máximo se deben realizar una variedad de estudios técnicos con los cuales no se cuentan, por lo cual se decide trabajar con este caudal y se toma el punto de partida para proceder a diseñar.

$$Q_{maximo} = 23,5 \frac{m^3}{s}$$

$$H = \left(\frac{23,5}{1,84 * 3} \right)^{2/3} = 2,63 \text{ m} \quad BL = 0,3 \text{ m}$$

$$H_{total} = 2,63 + 0,3 = 2,93 \text{ m}$$

Calculamos los caudales de exceso

Se estima un caudal medio de 10,65 m³/s

$$Q_{medio} = 10,65 \frac{m^3}{s}$$

$$H = \left(\frac{10,65}{1,84 * 3} \right)^{2/3} = 1,55 \text{ m}$$

$$\text{Coeficiente Descarga (Cd)} = 0,3$$

$$Q_{captado} = Cd * Aneta * \sqrt{2 * g * H}$$

$$Q_{captado} = 0,3 * 0,79 * \sqrt{2 * 9,81 * 1,55} = 1,31 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_{excesos} = Q_{captado} - Q_{demanda}$$

$$Q_{excesos} = 1,31 - 0,143 = 1,172 \frac{m^3}{s}$$

$$H_{excesos} = \left(\frac{1,172}{(1,84 \cdot 3)} \right)^{2/3} = 0,356 \text{ m}$$

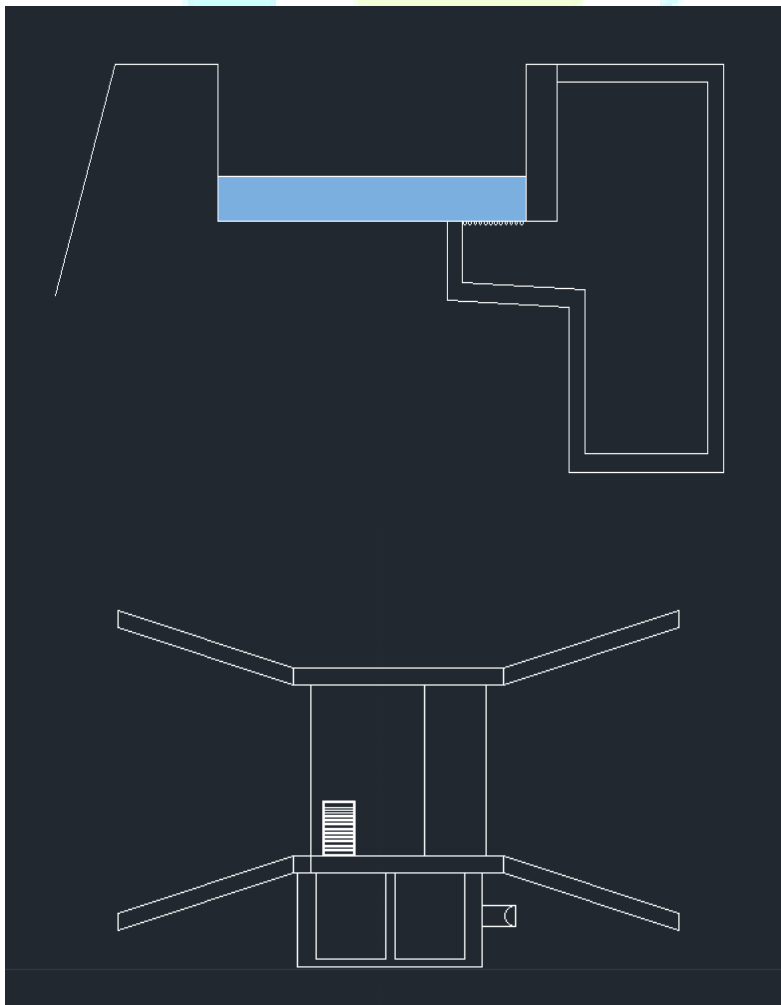
$$V_{excesos} = \frac{1,172}{0,356 \cdot 1,2} = 2,74 \frac{m}{s}$$

$$X_s = 0,36 * V_{excesos}^{\frac{2}{3}} + 0,6 * H_{excesos}^{\frac{4}{7}}$$

$$X_s = 0,36 * 2,74^{\frac{2}{3}} + 0,6 * 0,356^{\frac{4}{7}} = 1,04 \text{ m}$$

$$Vert. exc = X_s + 0,3$$

$$Vert. exc = 1,04 + 0,3 = 1,34 \text{ m}$$



12. DESARENADOR

El desarenador debe instalarse en el primer tramo del sistema de aducción, lo más cercano posible al sistema de captación de agua, siempre teniendo en cuenta las condiciones topográficas y geológicas de la zona. (Minvivienda)

DATOS DE TUBERIA DE ENTRADA			
	VARIABLE	VALOR	UNIDAD
CAUDAL MAXIMO DIARIO	QMD	71,54	L/s
		0,072	m ³ /s
DIAMETRO DE TUBERIA	D	10	PULG
		0,254	m
VELOCIDAD DE ENTRADA	V	1,41	m/s
DATOS DEL DESARENADOR			
	VARIABLE	VALOR	UNIDAD
PERIODO DE DISEÑO		25	AÑOS
NUMERO DE MODULOS		3	
CAUDAL MEDIO DIARIO (2042)	Qmd	59,62	L/s
		0,060	m ³ /s
CAUDAL MAXIMO DIARIO (2042)	QMD	71,54	L/s
		0,072	m ³ /s
CAUDAL DISEÑO MODULO	Q	0,060	m ³ /s
GRAVEDAD	g	9,81	m/s ²
		981	cm/s ²
DIAMETRO PARTICULA A REMOVER	d	0,05	mm
DENSIDAD DE LA ARENA	ρ	2,65	gr/cm ³
PORCENTAJE DE REMOSION	%r	87,5%	%
TEMPERATURA PROMEDIO	T	25	°C
DENSIDAD DEL AGUA	ρ	1	gr/cm ³
VISCOSIDAD CINEMATICA DEL AGUA	μ	0,011	cm ² /s
GRADO DE DEFLECTOR	n	3	
RELACION LONGITUD ANCHO	L/B	3	
REMOCION DE PARTICULA		0,005	cm

$$H = 2 \text{ m}$$

$$H = 200 \text{ cm}$$

Numero de Froude

$$N_F = \frac{v}{\sqrt{gD}}$$

$$N_F = \frac{1,41}{\sqrt{9,81 \cdot 0,254}} = 0,89$$

Numero de Reynolds

$$Re = \frac{VD}{\mu}$$

$$Re = \frac{1,41 \cdot 0,254}{\left(\frac{0,011}{100^2}\right)} = 312923,747$$

Velocidad de sedimentación

$$V_{sedimentacion} = \frac{9,81}{18} * \left(\frac{2,65-1}{0,11 * \left(\frac{0,05}{10}\right)^2} \right) = 0,20 \frac{cm}{s}$$

Velocidad de sedimentación a temperatura

$$V_{sedimentacion} ^{\circ C} = 0,20 * \frac{25+23,3}{33,3} = 0,28 \frac{cm}{s}$$

Velocidad promedio

$$V_{promedio} = \frac{0,20+0,28}{2} = 0,24 \frac{cm}{s}$$

Tiempo de caída

$$t_{caida} = \frac{200}{0,24} = 832,11 \text{ s}$$

Calculo del tiempo de retención

Tabla 19. Porcentaje de remoción

CONDICIONES	Porcentaje de remoción							
	87.5	80	75	70	65	60	55	50
N=1	7	4	3	2.3	1.8	1.5	1.3	1
N=3	2.75		1.66					0.76
N=4	2.37		1.52					0.83
Máximo teórico	0.88		0.75					0.5

Fuente. Recuperado de López Cualla (2003) (p. 191).

$$relacion = 2,75$$

$$Tiempo \text{ de retencion} = 2,75 * 832,11 = 2288,3 \text{ s}$$

$$Capacidad \text{ desarenador} = 0,060 * 2288,3 = 136,2 \text{ m}^3$$

$$Superficie \text{ desarenador} = \frac{136,2}{2} = 68,21 \text{ m}^2$$

$$A_{requerida} = \frac{0,060}{\left(\frac{0,24}{100}\right)} = 24,8 \text{ m}^2$$

Por lo anterior podemos concluir que para el desarenador tenemos una superficie de 68,21 m² y un área requerida para el funcionamiento de 24,8 m², por lo cual se puede concluir que el diseño cumple, ya que el área requerida es menor a la calculada.

Dimensiones del desarenador

Se diseña el desarenador con 3 módulos teniendo en cuenta que en caso de mantenimientos funcione de manera óptima y cumpla con su función.

$$A_{\text{desarenador}} = \frac{68,21}{3} = 22,74 \text{ m}^2$$

$$\text{Ancho} = \sqrt{\frac{22,74}{4}} = 2,4 \text{ m}$$

$$\text{Largo} = 4 * 2,4 = 9,5 \text{ m}$$

Cálculo de Vertedero de salida

Altura lámina de agua

$$H_v = \left(\frac{Q_{\text{diseño}}}{1,84 * B} \right)^{2/3}$$

$$H_v = \left(\frac{0,060}{1,84 * 2,4} \right)^{2/3} = 0,057 \text{ m}$$

Velocidad de agua en el vertedero

$$V_v = \frac{Q_{\text{diseño}}}{B * H_v}$$

$$V_v = \frac{0,060}{2,4 * 0,057} = 0,44 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Alcance horizontal de la vertiente

$$X_s = 0,36 * V_v^{\frac{2}{3}} + 0,60 * H_v^{\frac{4}{7}}$$

$$X_s = 0,36 * 0,44^{\frac{2}{3}} + 0,60 * 0,057^{\frac{4}{7}} = 0,32 \text{ m}$$

Longitud del vertedero de salida

$$L_v = X_s + BL$$

$$L_v = 0,32 + (2,4 * 0,1) = 0,56 \text{ m}$$

Profundidad del vertedero

$$\text{profundidad} = \frac{H}{2}$$

$$\text{profundidad} = \frac{2}{2} = 1 \text{ m}$$

Distancia del vertedero de salida

$$\text{distancia vertedero salida} = 15 * H_v$$

distancia vertedero salida = 15 * 0,057 = 0,85 m

13. ESTIMACION DEL CONSUMO

Para la estimación del consumo en el municipio de Aracataca, para así realizar el diseño de los tanques de almacenamiento, se toma como referencia la curva de consumo de la ciudad de Barranquilla y la de Santa Marta.

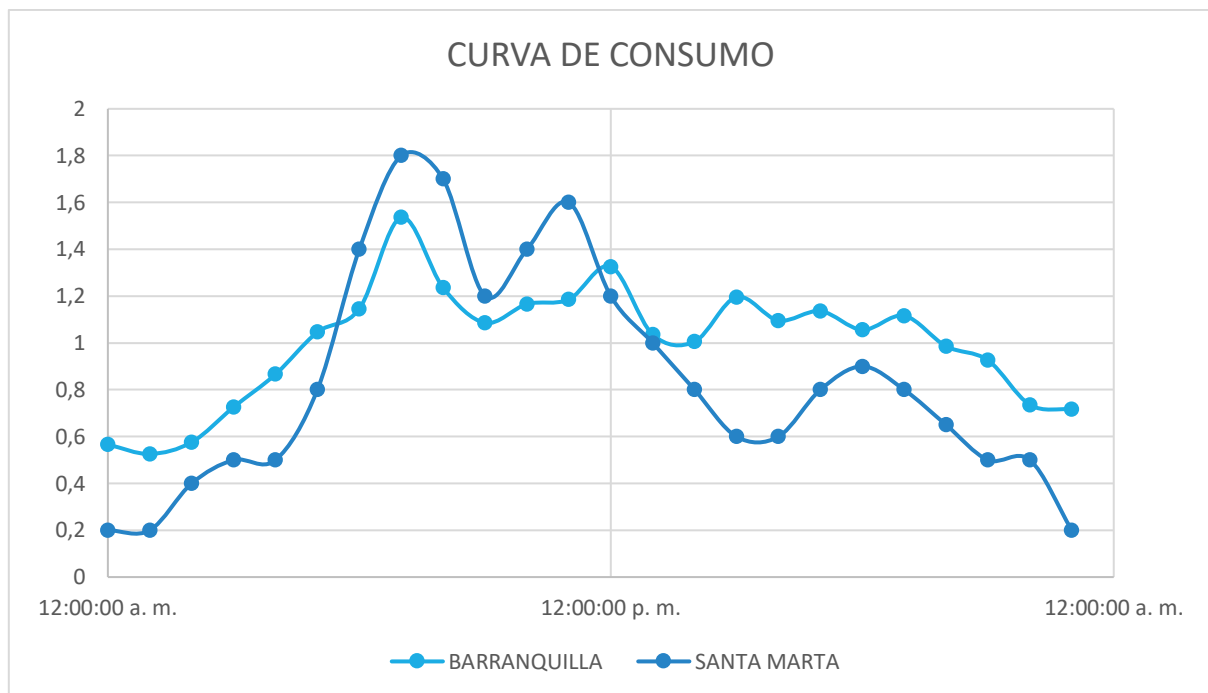
BARRANQUILLA	
HORA	% CONSUMO
12:00:00 a. m.	0,566
1:00:00 a. m.	0,526
2:00:00 a. m.	0,576
3:00:00 a. m.	0,726
4:00:00 a. m.	0,866
5:00:00 a. m.	1,046
6:00:00 a. m.	1,146
7:00:00 a. m.	1,536
8:00:00 a. m.	1,236
9:00:00 a. m.	1,086
10:00:00 a. m.	1,166
11:00:00 a. m.	1,186
12:00:00 p. m.	1,326
1:00:00 p. m.	1,036
2:00:00 p. m.	1,006
3:00:00 p. m.	1,196
4:00:00 p. m.	1,096
5:00:00 p. m.	1,136
6:00:00 p. m.	1,056
7:00:00 p. m.	1,116
8:00:00 p. m.	0,986
9:00:00 p. m.	0,926
10:00:00 p. m.	0,736
11:00:00 p. m.	0,716

Fuente: TRIPLE A S.A E.S.P

SANTA MARTA	
HORA	% CONSUMO
12:00:00 a. m.	0,2
1:00:00 a. m.	0,2
2:00:00 a. m.	0,4
3:00:00 a. m.	0,5
4:00:00 a. m.	0,5
5:00:00 a. m.	0,8
6:00:00 a. m.	1,4
7:00:00 a. m.	1,8
8:00:00 a. m.	1,7
9:00:00 a. m.	1,2
10:00:00 a. m.	1,4
11:00:00 a. m.	1,6
12:00:00 p. m.	1,2
1:00:00 p. m.	1,0
2:00:00 p. m.	0,8
3:00:00 p. m.	0,6
4:00:00 p. m.	0,6
5:00:00 p. m.	0,8
6:00:00 p. m.	0,9
7:00:00 p. m.	0,8
8:00:00 p. m.	0,65
9:00:00 p. m.	0,5
10:00:00 p. m.	0,5
11:00:00 p. m.	0,2

FUENTE: TROMP & NIETO, 2005

En las tablas anteriores, se muestra los consumos estimados para cada una de las ciudades en donde se muestra el comportamiento por hora según la demanda y esto sirve para poder analizar por medio de una gráfica cuales son las horas pico de consumo.



FUENTES: TRIPLE A S.A E.S.P ; TROMP & NIETO

En la anterior grafica se observa el comportamiento que tiene cada uno de los grupos de datos que se encontraron por medios de estudios para la calibración de las redes.

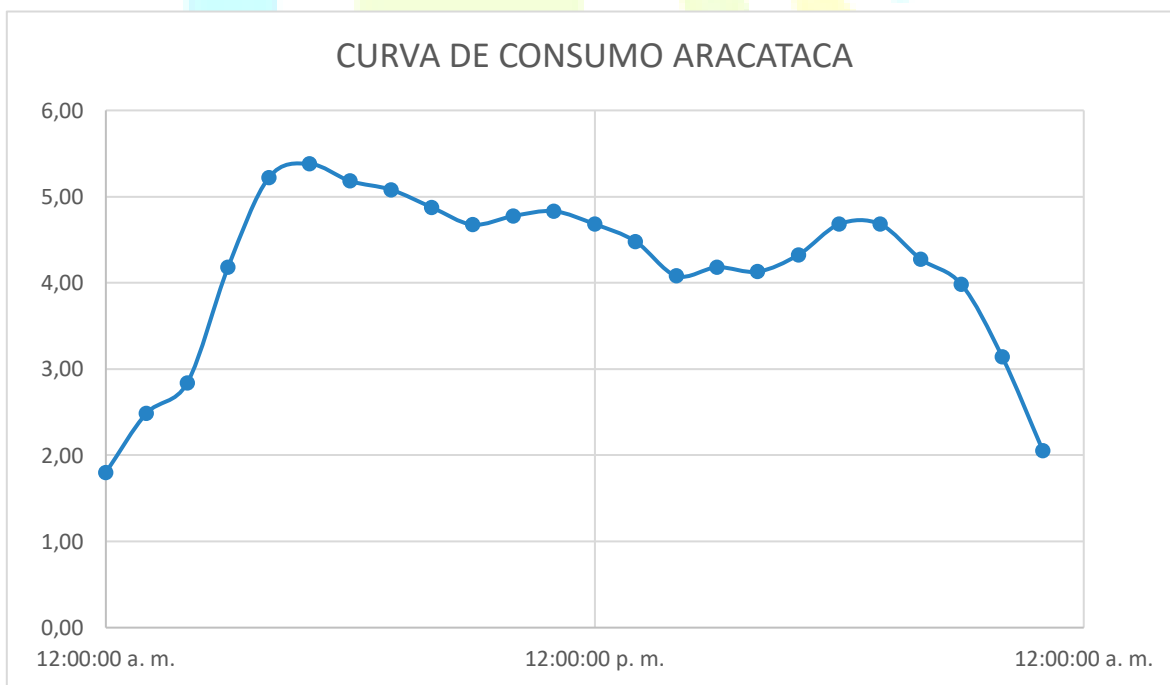
Tomando en cuenta toda la información recolectada anteriormente, se procede a hacer una estimación de consumo para el municipio de Aracataca realizando una comparación entre ambas curvas para así realizar la curva de consumo del municipio, teniendo en cuenta que al ser una zona más rural el consumo comienza desde horas de la madrugada ya que una parte de la población trabaja o se dedica a la labor del campo y se desplazan más temprano a su lugar de labor, por lo cual se estima que el consumo comienza aproximadamente entre las 3 a.m. y las 4 a.m.

En la siguiente tabla se puede observar el consumo estimado por hora en el municipio de Aracataca.

ARACATACA	
HORA	% CONSUMO
12:00:00 a. m.	1,80
1:00:00 a. m.	2,49
2:00:00 a. m.	2,84
3:00:00 a. m.	4,18
4:00:00 a. m.	5,22
5:00:00 a. m.	5,38
6:00:00 a. m.	5,18
7:00:00 a. m.	5,08
8:00:00 a. m.	4,88
9:00:00 a. m.	4,68

HORA	% CONSUMO
10:00:00 a. m.	4,78
11:00:00 a. m.	4,83
12:00:00 p. m.	4,68
1:00:00 p. m.	4,48
2:00:00 p. m.	4,08
3:00:00 p. m.	4,18
4:00:00 p. m.	4,13
5:00:00 p. m.	4,33
6:00:00 p. m.	4,68
7:00:00 p. m.	4,68
8:00:00 p. m.	4,28
9:00:00 p. m.	3,98
10:00:00 p. m.	3,14
11:00:00 p. m.	2,05

FUENTE: LOS AUTORES



FUENTE: LOS AUTORES.

Como se puede observar en la anterior gráfica, los picos más alto de consumo son desde las 4 a.m. hasta las 6 a.m., ya que es la hora en la que la gran parte de la población utiliza el servicio antes de salir a laborar y los niños para ir al colegio y un segundo pico entre las 6 p.m. y las 7 p.m. que es más o menos la hora de llegada de las personas que laboran.

14. TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Teniendo en cuenta la curva que se diseñó anteriormente, se procede a realizar un análisis de consumo horario y de suministro, para así determinar el volumen de agua que se requiere por hora en el tanque de almacenamiento.

hora	consumo horario (%)	Σ Consumo horario (%) (Curva integral del consumo)	Suministro horario continuo (%)	Σ Suministro horario continuo (%) (Curva integral del suministro)	Δ (Suministro - Consumo)	$\Sigma\Delta$ (Suministro - Consumo)	Volumen horario del agua en el tanque
12:00:00 a. m.	1,80	1,80	4,167	4,17	-2,367	-2,367	3,006
1:00:00 a. m.	2,49	4,29	4,167	8,33	-1,679	-4,046	1,327
2:00:00 a. m.	2,84	7,13	4,167	12,50	-1,327	-5,373	0,000
3:00:00 a. m.	4,18	11,31	4,167	16,67	0,013	-5,360	0,013
4:00:00 a. m.	5,22	16,53	4,167	20,83	1,053	-4,306	1,066
5:00:00 a. m.	5,38	21,91	4,167	25,00	1,213	-3,093	2,280
6:00:00 a. m.	5,18	27,09	4,167	29,17	1,013	-2,080	3,293
7:00:00 a. m.	5,08	32,17	4,167	33,33	0,913	-1,167	4,206
8:00:00 a. m.	4,88	37,04	4,167	37,50	0,708	-0,458	4,914
9:00:00 a. m.	4,68	41,72	4,167	41,67	0,508	0,050	5,423
10:00:00 a. m.	4,78	46,49	4,167	45,83	0,608	0,658	6,031
11:00:00 a. m.	4,83	51,32	4,167	50,00	0,663	1,321	6,694
12:00:00 p. m.	4,68	56,00	4,167	54,17	0,513	1,834	7,207
1:00:00 p. m.	4,48	60,48	4,167	58,33	0,313	2,148	7,521
2:00:00 p. m.	4,08	64,56	4,167	62,50	-0,087	2,061	7,434
3:00:00 p. m.	4,18	68,74	4,167	66,67	0,013	2,074	7,447
4:00:00 p. m.	4,13	72,87	4,167	70,84	-0,037	2,037	7,410
5:00:00 p. m.	4,33	77,20	4,167	75,00	0,158	2,196	7,568
6:00:00 p. m.	4,68	81,88	4,167	79,17	0,513	2,709	8,082
7:00:00 p. m.	4,68	86,56	4,167	83,34	0,513	3,222	8,595
8:00:00 p. m.	4,28	90,83	4,167	87,50	0,108	3,330	8,703
9:00:00 p. m.	3,98	94,81	4,167	91,67	-0,187	3,144	8,516
10:00:00 p. m.	3,14	97,95	4,167	95,84	-1,027	2,117	7,490
11:00:00 p. m.	2,05	100,00	4,167	100,00	-2,117	0,000	5,373
					Min	-5,373	0,000
					Max	3,330	8,703
					Vol. Tanque (%)	8,703	

Volumen de almacenamiento requerido

Caudal máximo Diario

$$QMD = 71,54 \frac{L}{s}$$

$$QMD = \frac{71,54}{1000} * 60 * 60 * 24 = 6181,04 \frac{m^3}{dia}$$

Capacidad de regulación

$$V_r = \% \text{ consumo medio diario} * QMD * 1,2$$

$$V_r = \frac{8,703}{100} * 6181,04 * 1,2 = 645,53 m^3$$

Capacidad de almacenamiento

$$V_{dRAS} = \frac{1}{3} * QMD$$

$$V_{dRAS} = \frac{1}{3} * 6181,04 = 2060,3457 m^3$$

Población

$$P = 28616 \text{ hab}$$

Volumen para incendios requeridos

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

$$Q_i = \frac{3,86}{60} \sqrt{\frac{28616}{1000}} \left(1 - 0,01 \sqrt{\frac{28616}{1000}} \right) = 0,3257$$

$$V_i = 7200 * Q_i$$

$$V_i = 7200 * 0,3257 = 2345,2859 m^3$$

$$V_{iRAS} = \left(\frac{5}{1000} \right) * 60 * 60 * 24 = 432 m^3$$

Volumen de emergencias requeridos

$$V_e = 0,25\% * (V_d + V_i)$$

$$V_e = 0,25\% * (2345,2859 + 645,53) = 7,48 m^3$$

Provisión de control de incendios

Esta provisión se mide según el porcentaje de incendios que se puedan presentar por lo cual se escogerá un nivel de riesgo bajo que equivale a un 15%.

Volumen total de tanque requerido

$$V_{total} = \text{Max}(V_r; V_i) = 2345,29 \text{ m}^3$$

$$V_{total} = \text{Max}(V_r; V_{RAS}) + V_{iRAS} + V_e = 2499,82 \text{ m}^3$$

$$V_{total} = \text{Max}(V_r; V_{RAS}) * (1 + \%incendios) = 2369,40 \text{ m}^3$$

$$V_{seleccionado} = 2369,40 \text{ m}^3$$

Dimensionamiento del tanque

Altura del tanque

$$H = 3,5 \text{ m}$$

Área superficial

$$A_s = \frac{V}{H}$$

$$A_s = \frac{2369,40}{3,5} = 676,97$$

Numero de módulos

$$n = 3$$

Ancho del modulo

$$B = 8 \text{ m}$$

Largo del módulo

$$L = \frac{\left(\frac{A_s}{n}\right)}{B}$$

$$L = \frac{\left(\frac{676,97}{3}\right)}{8} = 28,21 \text{ m}$$

$$L_{seleccionado} = 28 \text{ m}$$

Relación longitud/ancho

$$Relacion = \frac{L}{B}$$

$$Relacion = \frac{28}{8} = 3,5 \text{ m}$$

Volumen del tanque

$$V = n * B * L * H$$

$$V = 3 * 8 * 28 * 3,5 = 2352 \text{ m}^3$$

Concluyendo con el diseño del tanque de almacenamiento, podemos decir que el sistema de captación y almacenamiento cumplirá con lo requerido, ya que en la realidad el sistema de almacenamiento consta de 3 tanques que en total suman 562 m^3 y presentan una capa de sedimentación de aproximadamente 80 cm lo cual disminuye la capacidad a 376 m^3 , lo cual si se observa solo trabaja el 66% de su capacidad de almacenaje, el tanque de almacenamiento actual del sistema consta de una capacidad de 890 m^3 , por lo cual se puede decir que los diseños que se realizaron con una proyección al año 2042 si cumplirán con lo requerido, ya que el tanque diseñado consta de una capacidad de almacenaje de 2352 m^3 .



Universidad Cooperativa
de Colombia

CONCLUSIÓN

Después de recopilar la información, se pudo determinar que, en el sistema de captación de agua del municipio de Aracataca, se encontraron varias fallencias en el funcionamiento, partiendo de que no contaban con un desarenador, por tanto se veía afectado el tanque de almacenamiento, lo que se traduce en una disminución de la capacidad por las acumulaciones de sedimentos; por tanto, no existe un funcionamiento óptimo, siendo así que, el almacenamiento disminuye y se ve afectada la demanda de agua requerida por la población, haciendo que sea deficiente la red.

En línea de lo anterior, se identificaron los parámetros a tener en cuenta para el planteamiento de la optimización de la red, como fueron las demandas óptimas para un buen funcionamiento.

Se realizó un análisis de la demanda actual y proyectada, teniendo en cuenta los lineamientos entregados por el Reglamento técnico para el sector de Agua potable y saneamiento básico (RAS 2000) y los datos que fueron tomados de la base de datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), para determinar cómo sería el crecimiento poblacional hacia el año al cual se proyecta el sistema y se parte de ahí para establecer los caudales que requiere la población estimada al 2042 para dar paso a realizar los prediseños de las estructuras que requiere el sistema de captación que se propusieron.

Se realizó un análisis al sistema de captación y almacenamiento, en el cual se resalta que en el sistema de captación actual no hay un desarenador, ya que en la información que se recolectó se dice que el tanque de almacenamiento presenta una sedimentación de aproximadamente 80 cm lo cual reduce en casi un 40% la capacidad de este, por lo cual también se ve afectada la red de distribución y un déficit en la prestación del servicio de agua. Por lo cual se opta por realizar un prediseño de un desarenador y un nuevo tanque de almacenamiento, partiendo de todos los análisis estadísticos poblacionales realizados para la proyección de 2042 y las estimaciones de los caudales de diseño.

Universidad Cooperativa
de Colombia

BIBLIOGRAFÍA

- ACODAL. Sectorización hidráulica. (06 de JUNIO de 2013). ACODAL. Obtenido de <http://www.acodal.com/docs/2%20%20PRESENTACION%20SECTORIZACION%20HIDRAULICA.pdf>>
- agua, W. i. (15 de agosto de 2014). *wasser*. Obtenido de <http://www.wasser.es/documentos.html>
- ARACATACA, A. M. (2012). Plan de Desarrollo Municipal 2012-2015. MUNICIPIO DE ARACATACA.
- BANK, T. W. (6 de JUNIO de 2013). *WORLD BANK*. Obtenido de <http://www.worldbank.org/html/fpd/water/pdf/indicators.pdf>
- CASTRO, C., HERNANDEZ, V., & MORENO, A. (2021). *OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE VILLETÁ, CUNDINAMARCA*. BOGOTÁ D.C.: REPOSITORIO UNIPILOTO.
- CONCEPTO DE REDUCCIÓN Y CONTROL DE PERDIDAS, Y SECTORIZACIÓN DE REDES DE DISTRIBUCIÓN*. (2014). Obtenido de http://www.freewebs.com/mbuenfil/documentos_estudios/IMTA_6_control-perdidas.pdf
- Decreto 1077 de 2015, A. 2. (2015). *Funcion Publica*. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=77216>
- E.S.P, A. D. (15 de MARZO de 2015). *YOUTUBE*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=LjUc5Q8gdXU>
- EPM, G. (s.f.). *Glosario EPM*. Obtenido de <https://www.grupo-epm.com/site/aguasnacionales/nuestra-gestion/glosario>
- ESCOBAR, G., & HURTADO, R. (2000). *ESTUDIO DE REGLAMENTACION DEL RIO ARACATACA*. SANTA MARTA : REPOSITORIO UNIMAGDALENA.
- FUENTES, D. A. (JUNIO de 2004). *PAVCOWAVIN*. Obtenido de <https://pavcowavin.com.co/optimizacion-de-redes-de-acueducto>
- FUENTES, D. A., & SILDARRIAGA, J. G. (2005). OPTIMIZACIÓN OPERACIONAL DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE CON EL FIN DE MAXIMIZAR LA UNIFORMIDAD DE PRESIONES EN LOS NODOS DE CONSUMO. *REVISTA DE INGENIERIA #22 FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE LOS ANDES*.
- GALLEGO, N. M. (2014). *DISEÑO OPTIMIZADO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE QUE INCLUYAN BOMBEO*. BOGOTÁ D.C.: REPOSITORIO UNIANDES .
- GESTION DE SERVICIOS*. (06 de AGOSTO de 2014). Obtenido de http://itilv3.osiatis.es/estrategia_servicios_TI/gestion_demanda.php
- GUAJIRA, G. D. (15 de Agosto de 2011). *laguajira.gov.co*. Obtenido de <http://www.laguajira.gov.co/web/images/contrataciones/ESTUDIO%20JUAN%20CAMILO%20GIL%20RIOHACHA.PDF>
- IEH GRUCON S.A. (s.f.). *Informe de Consultoria Acueducto de Aracataca*. Bogota.

- Iglesias, M. S. (2016). *Características de la Red de Distribución de Agua Potable*.
- MADRID, A. D. (2012). *Diagnostico sostenibilidad de la ciudad de Madrid*. Madrid, España.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, V. Y. (2009). *RESOLUCION No. 2330*. COLOMBIA.
- MINVIVIENDA. (2010). Reglamento técnico del sector de Agua potable y Saneamiento básico. En *RAS 2000* (pág. pag 480). Colombia: ed. Bogotá.
- Minvivienda. (s.f.). *REGLAMENTO TECNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO - RAS TITULO B*. BOGOTÁ, COLOMBIA .
- NIÑO, A. L., & GALINDO, J. J. (2014). *OPTIMIZACIÓN RED DE DISTRIBUCION* . BOGOTA D.C: REPOSITORIO UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA .
- PAVCO. (2006). *PAVCO*. Obtenido de <http://www.pavco.com.co/5/acueducto-y-redes-de-distribucion/7/i/41>
- PONTON, A. F. (2013). *Estructuración y complementación del plan maestro del acueducto del municipio de Aracataca*. Universidad del Magdalena, Santa Marta, Magdalena, Colombia.
- PONTÓN, A. F. (2013). *ESTRUCTURACIÓN Y COMPLEMENTACION DEL PLAN MAESTRO DEL ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE ARACATACA*. TRABAJO DE GRADO, UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA, PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL, MAGDALENA, SANTA MARTA.
- PULIDO, S. B. (2017). *PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL SERVICIO DE LA RED DE DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE -RDAP- DEL MUNICIPIO DE MADRID, CUNDINAMARCA*. BOGOTÁ D.C. : REPOSITORIO UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA .
- SANEAR; AGUAS DEL MAGDALENA. (2016). *INFORME GENERAL DIAGNOSTICO-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA EL PLAN MAESTRO DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO PARA LOS CORREGIMIENTOS DE BUENOS AIRES Y SAMPUÉS, MUNICIPIO DE ARACATACA-MAGDALENA*. MEDELLIN.
- TROMP, H., & NIETO, A. (2005). *MODELACION Y CALIBRACION DE LAS REDES DE DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE SANTA MARTA D.T.C.H*. SANTA MARTA.
- Villaroel, A. (2017). *Estudio, diseño de red de agua potable, infraestructura sanitaria, pluvial y carpeta asfáltica de la avenida carlos magno andrade*. Riobamba, Ecuador.