

**ANÁLISIS DE LA DEMANDA Y LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN EL  
MUNICIPIO DE ARACATACA, COLOMBIA**

**ADRIANA LORENA BELTRÁN NIÑO  
JAMER JOHAN ABRIL GALINDO**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D.C.  
2014**

**ANÁLISIS DE LA DEMANDA Y LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN EL  
MUNICIPIO DE ARACATACA, COLOMBIA**

**ADRIANA LORENA BELTRÁN NIÑO  
JAMER JOHAN ABRIL GALINDO**

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

**Director  
ALEX MAURICIO GONZÁLEZ MÉNDEZ  
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D.C.  
2014**



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

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

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

### Usted es libre de:



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

### Bajo las condiciones siguientes:



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



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

Nota de aceptación

---

---

---

---

Director de Investigación  
Ing. Alex Mauricio González Méndez

---

Asesor Metodológico  
Ing. Saieth Cháves Pabón

---

Jurado

Bogotá D.C., diciembre de 2014

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	10
1. ANTECEDENTES	11
2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	13
3. OBJETIVOS	14
3.1 OBJETIVO GENERAL	14
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
4. JUSTIFICACIÓN	15
5. DELIMITACIÓN	16
5.1 ALCANCES	16
5.2 LIMITACIONES	16
6. MARCO REFERENCIAL	17
6.1 MARCO CONCEPTUAL	17
6.1.1 Criterios de sectorización	17
6.1.2 Estadísticas	18
6.1.3 Gestión del agua en la ciudad de madrid, españa	19
6.2 MARCO TEÓRICO	19
7. METODOLOGÍA	25
8. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL MUNICIPIO DE ARACATACA	26
8.1 RESEÑA HISTÓRICA	26
8.2 LOCALIZACIÓN	27
8.3 DESCRIPCIÓN	28
8.4 CLIMA	29
8.5 DIVISIÓN ADMINISTRATIVA	30
8.6 SISTEMA URBANO	30
8.6.1 Comunas	30
9. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO ACTUAL	32
9.1 SISTEMA DE CAPTACIÓN ANTIGUO	32
9.2 SISTEMA DE ADUCCIÓN ANTIGUO	32
9.3 ALMACENAMIENTO	33
9.4 ESTACIÓN DE BOMBEO	33
9.5 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ACUEDUCTO	35

	pág.	
9.5.1	Tanque de Almacenamiento Nuevo	37
9.5.2	Estación de Bombeo Nueva EBAP	38
9.5.3	Tanque Elevado Nuevo	38
10.	PROBLEMÁTICA DEL SISTEMA ACTUAL	39
11.	ANÁLISIS Y PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE	41
11.1	PROYECCIÓN DE POBLACIÓN Y DEMANDA	41
11.2	NIVEL DE COMPLEJIDAD	41
11.2.1	Periodo de Diseño	41
11.3	DOTACIÓN NETA	42
11.3.1	Pérdidas Técnicas Máximas Admisibles	42
11.4	DOTACIÓN BRUTA	42
11.5	PROYECCIÓN DE DEMANDAS DE AGUA	42
11.5.1	Proyección de Población	44
11.6	SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN	48
11.7	SECTORIZACIÓN DE REDES EN SISTEMAS CON INTERMITENCIA DE SERVICIO	49
11.8	DEFINICIÓN DE LA RED MATRIZ	49
11.9	PARÁMETROS DE SECTORIZACIÓN	51
12.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	54
12.1	RED EXISTENTE PRESIONES A LAS 12:00 AM	54
12.2	RED SECTORIZADA CON PRESIONES A LAS 12:00 AM	56
12.3	RED EXISTENTE CON PRESIONES A LAS 7:00 AM	48
12.4	RED SECTORIZADA CON PRESIONES A LAS 7:00 AM	58
13.	SIMULACIÓN DIGITAL	60
13.1	PROGRAMA DE MODELACIÓN	60
13.2	PROCESO DE MODELACIÓN	62
13.2.1	Parámetros de entrada	62
13.2.1.1	Caudal de diseño	62
13.2.1.2	Material de conducción	62
13.2.2	Escenarios	62
13.2.2.1	Escenario existente	62
13.2.2.2	Escenario proyectado	63
13.2.3	Información de infraestructura	63
14.	CONCLUSIONES	68
	BIBLIOGRAFÍA	69
	ANEXOS	71

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Estadísticas indicadores de eficiencia Banco Mundial	18
Tabla 2. Volumen de tanques existentes WASSER Ingeniería de Colombia	33
Tabla 3. Tubería existente	35
Tabla 4. Características de servicio actual (2014)	36
Tabla 5. Descripción de zonas	37
Tabla 6. Nivel de complejidad del sistema	41
Tabla 7. Periodo de diseño	42
Tabla 8. Resumen de parámetros de diseño	43
Tabla 9. Resumen del cálculo de caudal	44
Tabla 10. Población estimada	45
Tabla 11. Verificación cálculo población proyectada	46
Tabla 12. Frecuencia de presiones en la red a las 12:00 am	54
Tabla 13. Análisis estadístico presiones 12:00 am	55
Tabla 14. Frecuencia de presiones en la red a las 12:00 am	56
Tabla 15. Análisis estadístico presiones 12:00 am	57
Tabla 16. Frecuencia de presiones en la red a las 7:00 am	58
Tabla 17. Análisis estadístico presiones 7:00 am	59
Tabla 18. Caudales de producción simulados en la PTAP	64

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Esquema organizacional de gestión del agua Madrid, España	19
Figura 2. Localización general del municipio de Aracataca	28
Figura 3. Canal actual del municipio de Aracataca	32
Figura 4. Aducción antigua municipio de Aracataca	33
Figura 5. Sector Centro	34
Figura 6. Sector Raíces	35
Figura 7. Funcionamiento actual del sistema (agosto 2014)	37
Figura 8. Proyección de población	45
Figura 9. Comparación de QMH proyectados calculados	48
Figura 10. Red matriz	50
Figura 11. Localización de puntos de conexión a la red matriz	51
Figura 12. Límites físicos	52
Figura 13. Área rural-POT 2009	52
Figura 14. Sectorización	53
Figura 15. Histograma de frecuencias – red existente presiones a las 12:00 am	55
Figura 16. Histograma de frecuencias – red sectorizada presiones a las 12:00 am	57
Figura 17. Histograma de frecuencias – red sectorizada presiones a las 7:00 am	59
Figura 18. Escenario existente	62
Figura 19. Escenario proyectado	63
Figura 20. Esquema localización red matriz	65
Figura 21. Esquema localización válvula PSV	66
Figura 22. Esquemas localización válvulas TCV	67
Figura 23. Esquema localización de válvulas de cierre permanente	67



## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Modelo hidráulico	71

## INTRODUCCIÓN

Cuando se hace énfasis en una red óptima de distribución de agua potable, se hace referencia a que la red cumple con todas las condiciones de presión mínimas cumpliendo con la normatividad y reglamentos establecidos en toda su amplitud, a un costo mínimo de construcción. Dichas condiciones, permiten que los diseños de una misma red, cumplan las condiciones hidráulicas necesarias para su operación, con el fin de realizar una comparación para identificar el más económico y así elegir el diseño para su ejecución y construcción.

La Gobernación del Magdalena, con apoyo de la empresa de Aguas del Magdalena S.A. E.S.P., está implementando el desarrollo del ambicioso programa de mejoramiento de los servicios de acueducto y alcantarillado en el departamento del Magdalena, con el objeto de incrementar las coberturas reales urbanas de acueducto y alcantarillado a 95% y 85% respectivamente y de esta forma garantizar el mejoramiento permanente y sostenible de los servicios. Para el desarrollo de esta tarea, se pretende definir una estrategia clara para la Optimización Hidráulica en las Redes de Distribución del municipio de Aracataca.<sup>1</sup>

El municipio de Aracataca está localizado a 40 m.s.n.m. al norte del departamento del Magdalena, en la subregión Sierra Nevada de Santa Marta. El sistema actual de acueducto del municipio de Aracataca, consiste en una toma de agua del canal Antioquia, que a su vez toma sus aguas del río Aracataca en un lugar ubicado a 677 metros hacia el sur de la entrada principal del municipio sobre la vía a Bosconia.<sup>2</sup>

Este documento, tiene por objeto fijar los lineamientos para desarrollar la optimización hidráulica para el sistema de distribución de agua potable en el municipio de Aracataca, apoyado sobre un análisis estadístico de presiones y modelos hidráulicos desarrollados en el software EPANET.

---

<sup>1</sup> ACODAL. Sectorización hidráulica [en línea]. Cali: Gerencia de Unidad Estratégica de Acueducto y Alcantarillado EMCALI [citado 06 Junio, 2013]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.acodal.com/docs/2%20%20PRESENTACION%20SECTORIZACION%20HIDRAULICA.pdf>>.

<sup>2</sup> Ibíd.

## 1. ANTECEDENTES

Cuando se habla de mejorar las condiciones de una red existente se encuentran dos alternativas: la primera consiste en realizar gestión de presiones sobre la red mediante la instalación de controles de presión en puntos estratégicos, con lo cual se busca disminuir el nivel de pérdidas de agua por fugas y extender la vida de las tuberías, la segunda alternativa mide la forma como la red reaccionara ante la falla de alguno de sus elementos para así determinar cuáles son los elementos más débiles y proponer su intervención, mejorando la respuesta de la red.<sup>3</sup>

En la modernidad, no se tiene identificado, cuál de las principales capitales del mundo, fue la primera ciudad moderna en realizar la división de sus redes de distribución de agua potable para controlar la presión; Sin embargo, en 1980 mediante el Reporte 26 “Políticas y Prácticas del Control de Fugas” de la Asociación de Autoridades del Agua para el Reino Unido, la sectorización se da a conocer como herramienta para la detección de fugas. La sectorización empieza a tomar importancia gracias a las conferencias desarrolladas por las Naciones Unidas (UN) en la década de los 70.<sup>4</sup>

Hoy en día se vive con gran preocupación el efecto del cambio climático sobre las aguas naturales, obligando a los gestores a tomar medidas más eficientes en cuanto a la gestión del agua. El agua comienza a ser un recurso escaso, por lo tanto debe ser gestionado de una manera muy eficiente, y uno de los puntales principales para mejorar dicha eficiencia es disminuyendo pérdidas de agua en el sistema de abastecimiento.<sup>5</sup>

Aracataca es un municipio que posee una población aproximada 37.753 habitantes de los cuales 24.306 se concentran en la cabecera municipal según el banco de datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) y la proyección realizada para el 30 de Junio del 2011, con base en el censo general del 2005; donde existe la necesidad, de tener un acueducto que le garantice el servicio de agua potable las veinticuatro (24) horas del día, de manera ininterrumpida, para mejorar las condiciones de salubridad y disminuir los índices de morbilidad que se presentan actualmente, especialmente en la población infantil tal y como son las enfermedades diarreicas, enfermedades respiratorias e infecciones de la piel, que son causadas principalmente por la deficiencia este servicio.

---

<sup>3</sup> PAVCO. Acueducto y redes de distribución [en línea].Bogotá: La Empresa [citado 2006]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.pavco.com.co/5/acueducto-y-redes-de-distribucion/7/i/41>>.

<sup>4</sup> Ibíd.

<sup>5</sup> ACODAL. Sectorización hidráulica. Op. cit.

Actualmente, el sistema implementado en el municipio, con el fin de brindar un servicio esencial a la comunidad presenta en gran medida una serie falencias que claramente dejan al descubierto una problemática que amerita una pronta intervención en la cual se organice, planifique, proyecte y preste de manera adecuada este servicio.

En la mayoría de esta red, se presentan fugas por falta de mantenimiento y cambio de tuberías en estado deplorable, generando grandes pérdidas del agua cruda. Así mismo, debido al crecimiento que ha ido teniendo la población a través de los años y la deficiencia del sistema para ampliar la cobertura, se han realizado una serie de conexiones fraudulentas y sin ningún tipo de control, que imprimen fuerza a la inequidad de distribución de presiones en la red. Gracias a este cúmulo de problemas y principalmente en la deficiencia de presión, en las viviendas se ven obligados a realizar la construcción de tanques que les sirvan de provisión para sus necesidades diarias; sin embargo, el almacenamiento de agua, conlleva a la proliferación de vectores (agentes productores de enfermedades) como la malaria y el dengue, aumentando el índice de morbilidad. Finalmente, analizando la cobertura; observamos que se encuentra sectorizada de tal forma, que solo presta el servicio a cada uno de estos sectores de manera independiente durante un mismo intervalo de tiempo, en donde no se evidencia una operatividad estructurada en base a la demanda real del municipio sino que se distribuye a una hora determinada para un sector y posteriormente va cambiando para cada uno de ellos mediante un sistema de válvulas distribuidas por el municipio.<sup>6</sup>

En vista de los acontecimientos y la necesidad del pueblo que continúa a la espera de una solución, se pretende desarrollar un análisis de la demanda y de la red de distribución de agua, apoyado sobre un análisis estadístico de las presiones de servicio del municipio.

---

<sup>6</sup> HATUM PONTON, Andres Felipe [et al.]. Estructuración y complementación del plan maestro del acueducto del municipio de Aracataca. Trabajo de grado. Ingeniero Civil. Santa Marta: Universidad del Magdalena. Programa de ingeniería Civil, 2013. p. 26-27.

## 2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Como se ha mencionado, el municipio de Aracataca presenta grandes inconvenientes con el suministro de agua potable lo que ha generado patrones de consumo de agua atípicos por parte de la población. El problema de abastecimiento del agua potable es un tema que cada día ocupa más la atención de la población del municipio. La creciente necesidad de lograr el equilibrio hidrológico que asegure el abastecimiento suficiente de agua para la población, se logrará armonizando la disponibilidad de las extracciones del recurso mediante el uso eficiente y óptimo del agua.

El municipio de Aracataca, actualmente presenta deficiencias de cobertura en la prestación de los servicios públicos domiciliarios; según cifras del DANE el 41 % de la población no cuenta con la prestación del servicio de acueducto y el 71% con el servicio de alcantarillado. Dicha cobertura, se encuentra por debajo de los promedios departamentales.<sup>7</sup> Esto evidencia la problemática que está afectando a la población actualmente.

Aracataca cuenta con una red de distribución que no tiene continuidad en el servicio, dando pie para que los consumidores construyan tanques para aprovechar el suministro de los días programados para el abastecimiento de dicho municipio. Por otro lado, las presiones de suministro son bajas por lo que el consumidor deja las llaves abiertas para el llenado de dichos tanques y de esta forma aprovechar el volumen suministrado. Se han realizado construcciones que no han tenido en cuenta la red de distribución a nivel general, lo que implica que se han hecho inversiones que no optimizan el sistema actual de la red

Teniendo en cuenta que, el propósito principal de un sistema de distribución de agua potable, es entregarla a todos los usuarios o consumidores finales en cantidades adecuadas con presiones suficientes, con una calidad mínima que permita su consumo y sobre todo de manera continua, se deberá plantear varias alternativas de optimización de la red de distribución para garantizar el servicio adecuado de agua potable para los habitantes.

---

<sup>7</sup> ALCALDÍA MUNICIPAL DE ARACATACA. Plan de Desarrollo Municipal 2012-2015 Municipio de Aracataca. Aracataca: Concejo Municipal 2012. p. 50ss.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Proponer un esquema de optimización hidráulica para el sistema de distribución de agua potable en el municipio de Aracataca, apoyado en un análisis estadístico de las presiones de servicio.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Recopilar la información necesaria para proponer un esquema de optimización para la red de distribución y el análisis de la demanda del municipio de Aracataca.
- Realizar un reconocimiento y diagnóstico del estado actual de la red existente.
- Hacer un análisis de la demanda actual y la demanda futura, para identificar las necesidades de servicio que debe suplir la red de distribución.
- Con base a los análisis realizados, desarrollar modelos hidráulicos con software adecuado que permita proponer unos escenarios que proporcionen una solución óptima de la red del municipio.

#### **4. JUSTIFICACIÓN**

Debido a la problemática presentada a finales del año 2013 en el servicio de acueducto del municipio de Aracataca, se presentó la oportunidad de desarrollar un plan de mejoramiento integral sobre el sistema de acueducto que permita coordinar las inversiones realizadas hasta el momento en producción con un sistema de distribución adecuado que gane la confianza de los usuarios y permita la sostenibilidad del mismo.

La pérdida de confianza en el sistema de distribución y suministro de agua potable por los usuarios de cualquier acueducto implica grandes problemas en la operación del mismo lo cual lleva a que sea una práctica común en nuestro país, y aún más frecuente en la región de la Costa Caribe, de prestar el servicio de acueducto de forma intermitente, entregando agua a cada turno de servicio de la red durante un corto tiempo mediante maniobras operativas complicadas, dejando una continuidad muy baja a los usuarios. Incluso en algunos sistemas, como en Aracataca, entregando agua cruda a los usuarios por las redes de distribución para satisfacer la necesidad de agua.

Aun si los sistemas de acueducto donde se presenta este problema fueron diseñados adecuadamente, previendo cubrir no solo las necesidades actuales sino las demandas de agua futuras durante el periodo de tiempo dispuesto según la normatividad nacional, no son capaces de cubrir el grado de demanda requerido por un usuario que para poder abastecerse ha construido un almacenamiento individual (tanques, etc.) y busca en el menor tiempo cubrir las necesidades de agua de varios días.

Teniendo en cuenta que, el propósito principal de un sistema de distribución de agua potable, es entregarla a todos los usuarios o consumidores finales en cantidades adecuadas con presiones suficientes, con una calidad mínima que permita su consumo y sobre todo de manera continua, se deberá plantear varias alternativas de optimización de la red de distribución para garantizar el servicio adecuado de agua potable para los habitantes.

## **5. DELIMITACIÓN**

### **5.1 ALCANCES**

El alcance estará enmarcado por la propuesta de unos escenarios de optimización basados en las modelaciones hidráulicas que se desarrollaran con EPANET.

Esta propuesta no implica la ejecución de obras de construcción, por lo tanto, no se contemplara la realización de diseños de estructuras hidráulicas.

### **5.2 LIMITACIONES**

- Solamente se va a trabajar con la información recopilada.
- No se realizarán visitas de campo.
- No se van a realizar estudios de suelos.
- No se va a realizar el diagnóstico de ninguna estructura hidráulica en específico.
- No se van a realizar diseños de ninguna estructura hidráulica.



## **6. MARCO REFERENCIAL**

Para desarrollar el marco de referencia se analizarán algunos criterios, conceptos y estadísticas a nivel mundial, dónde intervienen la demanda, el control de pérdidas y las redes de distribución de agua potable. Además, se analizarán algunos proyectos desarrollados a nivel internacional, en donde interviene la Gestión por Demanda.

Para realizar la optimización de la red de distribución de agua potable, utilizaremos la sectorización como propuesta para garantizar el buen servicio a toda la comunidad, por esta razón se presentará a continuación algunos criterios y estadísticas y ejemplos a nivel internacional como la Gestión del Agua en la Ciudad de Madrid, España.

### **6.1 MARCO CONCEPTUAL**

6.1.1 Criterios de sectorización. Los criterios de sectorización utilizados internacionalmente, se encuentran en manuales de empresas proveedoras del servicio de distribución de agua potable en el país, y hacen parte de las estrategias operativas de reducción de pérdidas, donde se especifica de alguna forma el proceso de la sectorización. Por ejemplo, la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) cuenta con el manual de sectorización más completo, el cual está enfocado al uso de la sectorización como herramienta para el control de pérdidas de agua. Adicionalmente, se evidencia dentro de la metodología de sectorización propuesta en el manual, un interés en cuanto a la disposición de las redes principales de transporte de agua o red matriz, la verificación de la operación de los sectores propuestos en condiciones de racionamiento y emergencia, y la proyección del consumo en los sectores según la demografía y el urbanismo. Estos pueden tomarse como criterios, o como pruebas de verificación hidráulica para determinar la forma en que se deberán trazar los límites de los sectores.

A nivel internacional se encuentran los criterios con los que se realiza la sectorización o la generación de áreas de medición por distritos (DMA), del Centro de Investigación en la Industria del Agua del Reino Unido y su aplicabilidad en los Estados Unidos de Norte América.

No todos los criterios de sectorización siguen motivos netamente hidráulicos; algunos se enfocan sobre alguna evaluación económica, como mantener un balance en el costo de las obras de sectorización y detección de fugas contra el ahorro de agua esperado. Otros criterios siguen simplemente lineamientos geográficos, como trazar los límites de los sectores siguiendo fallas naturales del terreno, ríos o incluso vías principales; Otros tienen un carácter comercial, como dividir por zonas políticas o por estratos socioeconómicos. Estas metodologías son

las tradicionalmente usadas y, en general, es difícil conformar un límite de sectorización.

6.1.2 Estadísticas. La AWWA (American Water Works Association) genera estadísticas detalladas de muchas empresas de agua asociadas, que le reportan información. Uno de los muchos datos que publica es, por ejemplo, el indicador de fallas o roturas de tuberías en conductos principales. Así, en el año 1998 reportaba que ese indicador, en promedio para 620 empresas, era de unas 0.16 roturas/kilómetro de tuberías.

En algunas ciudades del mundo la eficiencia física oscila entre 30% y 50%, pero aquellas que han trabajado duro, durante décadas, para resolver las fugas han podido bajarla al 15%. Algunas ciudades en Japón y Alemania, con infraestructura reconstruida totalmente después de la guerra y bajo estrictas normas de calidad, tienen pérdidas del orden del 10% respecto del volumen a la entrada del sistema.

En 1996 el Banco mundial publicó y analizó algunas estadísticas<sup>8</sup> para ciertas ciudades del mundo. Aparecen casos como los de Sao Paulo, Brasil o de Bogotá, Colombia donde se aprecia que durante algunos años los indicadores de eficiencia mejoraron, seguramente gracias a buenos programas de control de fugas, pero posteriormente las ineficiencias crecieron quizá por descuido en los programas.

Tabla 1. Estadísticas indicadores de eficiencia Banco Mundial.

Composition of UFW (%)				
Country/City	Year	Physical	Commercial	Total
Singapore	1989	4	7	11
Spain, 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>>.

Actualmente en el mundo hay mucho más estadísticas que hace una década. Ahora varias instituciones, internacionales se dedican específicamente a recopilar, comparar y publicar información de empresas de agua. Verdaderamente se ha percibido la importancia del tema y la de compartir y comparar información, y de unir esfuerzos sobre técnicas de monitoreo, de sectorización y de reparación de fugas. Las estadísticas de varias localidades son útiles, sin embargo el principal y

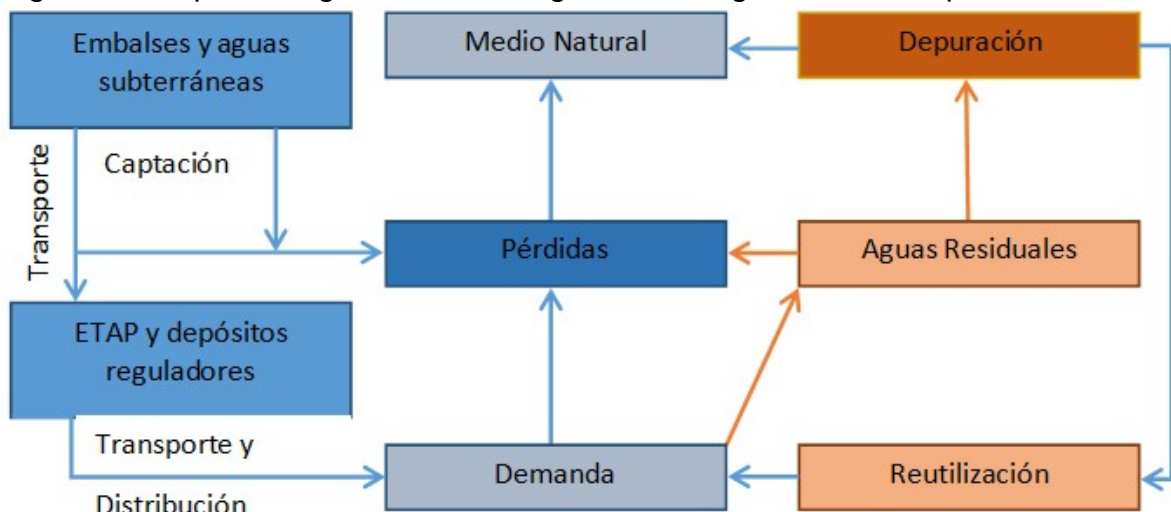
<sup>8</sup> THE WORLD BANK. Improved water source: indicators [en línea]. Washington [citado 06 Junio, 2013]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.worldbank.org/html/fpd/water/pdf/indicators.pdf>>.

verdadero interesado, que debe estar generando y aprovechando su propia información, es cada organismo operador de agua para una localidad específica.

6.1.3 Gestión del agua en la ciudad de Madrid, España. Para una gestión sostenible del agua es preciso tener en cuenta el ciclo completo de los sistemas hidrológicos urbanos, incluso en lo que se refiere a la extracción, tratamiento, distribución y consumo de agua, los sistemas de alcantarillado y el tratamiento y eliminación de aguas residuales. Todas esas funciones repercuten sobre la cantidad y calidad de los recursos hídricos y afectan también a otros aspectos del sistema natural.

La meta de una gestión sostenible del agua debe ser garantizar no sólo un servicio básico sino también la protección de los hábitats, la fauna y la flora, la capacidad de dilución y autodepuración y los valores estéticos y recreativos de los elementos acuáticos presentes en el paisaje.

Figura 1. Esquema organizacional de 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.

## 6.2 MARCO TEÓRICO

- **Agua potable.** Agua que por reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos es apta y aceptable para el consumo humano y cumple con las normas de calidad de agua.
- **Caudal de diseño.** Caudal estimado con el cual se diseñan los equipos, dispositivos y estructuras de un sistema determinado.
- **Caudal máximo diario.** Consumo máximo durante veinticuatro horas,

observado en un período de un año, sin tener en cuenta las demandas contra incendio que se hayan presentado.

- **Caudal máximo horario.** Consumo máximo durante una hora, observado en un período de un año, sin tener en cuenta las demandas contra incendio que se hayan presentado.
- **Caudal medio diario.** Consumo medio durante veinticuatro horas, obtenido como el promedio de los consumos diarios en un período de un año.
- **Continuidad de Servicio.** Un sistema de distribución se planea, diseña y construye para suministrar agua durante las 24 horas del día y los 7 días de la semana. Es decir se prevé que la red de distribución se mantenga permanentemente presurizada para así poder atender los requerimientos de los usuarios de una manera adecuada y estable. Es en función de este precepto que se requiere un adecuado dimensionamiento de cada componente del sistema de tal manera que las suspensiones de servicio obedezcan única y primordialmente a situaciones de emergencia y de mantenimiento temporales.<sup>9</sup>
- **Control de presiones.** Es de esperar que la reparación de tuberías rotas o con algún desperfecto, se refleje en una disminución del volumen de fugas, y eso a su vez, en algún grado, contribuya a bajar el volumen de agua que debe ingresar a la red. Es decir, la eliminación de fugas debiera ir a un ritmo más rápido que la aparición de nuevas roturas. Sin embargo en algunas ciudades hay experiencias de que aun sin aumentos en el consumo, la reparación de fugas realizada no se reflejó en el suministro requerido.<sup>10</sup>
- **Concentración de la Demanda.** Uno de los efectos identificables del servicio por turnos y la consecuente presencia de almacenamientos individuales, es la concentración de la demanda. En unas pocas horas se demanda el volumen requerido por cada usuario para uno, dos o más días de racionamiento. Es decir, se presenta una condición de demanda pico y anormal, para la cual el sistema no ha sido dimensionado porque el dimensionamiento de cada componente del mismo, se basa en la definición de la dotación neta, pensando en un sistema presurizado permanentemente.<sup>11</sup>

---

<sup>9</sup> GOBERNACIÓN DE LA GUAJIRA. Gestión de demanda [en línea]. Riohacha: Hydrogest [citado Agosto 15, 2011]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.laguajira.gov.co/web/images/contrataciones/ESTUDIO%20JUAN%20CAMILO%20GIL%20RIOHACHA.pdf>>.

<sup>10</sup> ADAPTADO DE: CONCEPTOS DE REDUCCIÓN Y CONTROL DE PERDIDAS, Y DE SECTORIZACIÓN DE REDES DE DISTRIBUCIÓN [en línea]. [Citado 06 Agosto 2014]. Disponible en Internet: <URL:[http://www.freewebs.com/mbuenfil/documentos\\_estudios/IMTA\\_6\\_control-perdidas.pdf](http://www.freewebs.com/mbuenfil/documentos_estudios/IMTA_6_control-perdidas.pdf)>.

<sup>11</sup> GOBERNACIÓN DE LA GUAJIRA. Gestión de demanda. Op. cit.

- **Despresurización.** El llenado de tanques o cisternas para el abastecimiento durante los períodos sin servicio, se realiza mediante la descarga libre (a atmósfera) durante el tiempo en el cual el usuario recibe agua. Parte de la energía de presión disponible en la red pública durante el llenado del tanque se transforma en energía cinética o de velocidad en el chorro de agua llenando el tanque, mientras que el resto se utiliza para vencer las pérdidas hidráulicas en la acometida. Por otra parte, los caudales de llenado de varios tanques simultáneamente superan notoriamente los caudales normales de diseño de la red de distribución. Dichos caudales generan mayores velocidades en las tuberías y por lo tanto mayores pérdidas de energía. Por lo tanto durante un turno de servicio, la presión en la red es apenas aquella necesaria para suministrar el caudal de llenado de cada tanque.<sup>12</sup>
- **Estación de bombeo.** Componente destinado a aumentar la presión del agua con el objeto de transportarla a estructuras más elevadas.
- **Flujo a presión.** Aquel transporte en el cual el agua ocupa todo el interior del conducto, quedando sometida a una presión superior a la atmosférica.
- **Gestión por demanda.** Se encarga de predecir y regular los ciclos de consumo, adaptando la producción a los picos de mayor exigencia para asegurar que el servicio se sigue prestando de acuerdo a los tiempos y niveles de calidad acordados con el cliente.

Por lo general, cuanto mejor funciona un servicio, mayor demanda genera. Ésta, a su vez, provoca exigencias de capacidad que los responsables compensan, como es natural, incrementando los activos del servicio. Se genera así un ciclo de consumo-producción en el que el consumo es un estímulo positivo para la producción y viceversa<sup>13</sup>.

- **Golpe de ariete.** Fenómeno hidráulico de tipo dinámico oscilatorio, causado por la interrupción violenta del flujo en una tubería, bien por el cierre rápido de una válvula o apagado del sistema de bombeo, que da lugar a la transformación de la energía cinética en energía elástica, tanto en el flujo como en la tubería, produciendo sobreelevación de la presión, subpresiones y cambios en el sentido de la velocidad del flujo.
- **Macromedición.** Sistema de medición de grandes caudales, destinados a totalizar la cantidad de agua que ha sido tratada en una planta de tratamiento y la que está siendo transportada por la red de distribución en diferentes sectores.

---

<sup>12</sup> *Ibíd.*

<sup>13</sup> ADAPTADO DE: GESTIÓN DE SERVICIOS [en línea]. [Citado 06 Agosto 2014]. Disponible en Internet: <URL: [http://itilv3.osiatis.es/estrategia\\_servicios\\_TI/gestion\\_demanda.php](http://itilv3.osiatis.es/estrategia_servicios_TI/gestion_demanda.php)>.

- **Optimización.** Proceso de diseño y/o construcción para lograr la mejor armonía y compatibilidad entre los componentes de un sistema o incrementar su capacidad o la de sus componentes, aprovechando al máximo todos los recursos disponibles.

- **Pérdidas de agua.** Es la diferencia entre el agua suministrada al sistema y el consumo autorizado. Se subdivide de la siguiente forma:

- Pérdidas aparentes, incluye todos los tipos de imprecisiones asociadas con la micromedición a los usuarios, los consumos no autorizados (consumos ilegales y clandestinos) y errores en el manejo de información de facturación. Se puede disgregar así:

- ✓ Consumos no autorizados, Incluye la toma ilegal de agua de hidrantes, conexiones ilegales y clandestinas, by-passes en las acometidas y manipulación de los micromedidores.

- ✓ Errores de micromedición, son pérdidas aparentes debidas a imprecisión en los micromedidores.

- ✓ Errores en el manejo de datos, son pérdidas aparentes causadas por el manejo de datos durante los procesos de lectura y facturación.

- Pérdidas reales, no pérdidas físicas en el sistema de distribución y en los tanques de almacenamiento. Los volúmenes perdidos dependen de la frecuencia, los caudales y la duración de las fugas individuales y los tiempos de reparación de éstas, así como el control de reboses en tanques. Cuando el caudal mínimo nocturno corresponde a fugas en el sistema, la estimación de pérdidas físicas se puede basar en la medición de caudales suministrados y la estimación de consumos nocturnos. En sistemas con caudales mínimos nocturnos similares al caudal promedio, puede requerirse estimar más apropiadamente las pérdidas comerciales o aparentes para obtener las físicas por diferencia respecto a las totales.

- **Pérdidas de Energía por Fricción.** Para el cálculo de las pérdidas por fricción debidas a la rugosidad del material de la tubería y a las características del flujo, se empleó la ecuación de Darcy-Weisbach presentada a continuación:

$$hf = f \frac{l v^2}{D 2g}$$

**Ecuación 1**

En donde  $hf$  son las pérdidas por fricción (mca),  $f$  es el factor de fricción,  $l$  es la longitud de la tubería sobre la cual se realiza el cálculo de pérdidas por fricción,  $D$

es el diámetro de la tubería (m),  $v$  es la velocidad del flujo (m/s) y  $g$  corresponde al valor de aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>).

Para flujo turbulento, que es el que se presenta comúnmente en las tuberías de acueducto, el factor de fricción está dado por la expresión que se presenta a continuación la cual fue deducida por los investigadores Colebrook y White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left( \frac{k_s}{3.7 D} + 2.5 \frac{\epsilon}{Re \sqrt{f}} \right) \quad \text{Ecuación 2}$$

En donde  $f$  es el factor de fricción,  $D$  es el diámetro de la tubería (m),  $k_s$  es la rugosidad de la tubería (m), y  $Re$  corresponde al número de Reynolds el cual es función de la velocidad y la viscosidad del flujo y del diámetro de la tubería.

- **Pérdidas Locales de Energía.** Las pérdidas locales de energía corresponden a las pérdidas de energía que se presenta en el flujo debido a la turbulencia causada por la presencia de elementos como válvulas y accesorios (uniones, tees, codos, cruces, entre otros) que conforman la tubería de conducción. A continuación se presenta la ecuación para el cálculo de las pérdidas localizadas en una tubería:

$$h_m = \sum K_m \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ecuación 3}$$

En donde  $h_m$  son las pérdidas menores (mca),  $K_m$  es el coeficiente de pérdida localizada que depende del tipo de accesorio instalado en la tubería,  $v$  es la velocidad del flujo (m/s) y  $g$  corresponde al valor de aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>).

- **Período de diseño.** Tiempo para el cual se diseña un sistema o los componentes de éste, en el cual su(s) capacidad(es) permite(n) atender la demanda proyectada para este tiempo.
- **Población de diseño.** Población que se espera atender por el proyecto, considerando el índice descubrimiento, crecimiento y proyección de la demanda para el período de diseño.
- **Presión nominal.** Presión interna máxima a la cual puede estar sometida una tubería, considerando un factor de seguridad, y que es dada por el fabricante según las normas técnicas correspondientes.

- **Red de distribución.** Conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde el tanque de almacenamiento o planta de tratamiento hasta los puntos de consumo.
- **Red matriz.** Parte de la red de distribución que conforma la malla principal de servicio de una población y que distribuye el agua procedente de la conducción, planta de tratamiento o tanques de compensación a las redes secundarias. La red primaria mantiene las presiones básicas de servicio para el funcionamiento correcto de todo el sistema, y generalmente no reparte agua en ruta.<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup> COLOMBIA. Ministerio de Vivienda. Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. Título B: Sistemas de Acueducto. 2 ed. Bogotá: Minvivienda, 2010. p. 108-119.



## 7. METODOLOGÍA

La metodología que se aplicará para desarrollar el Análisis de demanda y la red de distribución de agua en el municipio de Aracataca, estará regida por tres fases que a continuación se describen:

- **Fase I:**

- Aspectos Generales del Municipio: en esta parte del estudio se realiza una breve descripción de los aspectos relevantes que caracterizan el municipio de Aracataca.
- Realizar una recopilación de la información existente que permita identificar las necesidades hidráulicas del municipio.
- Diagnóstico de las actuales condiciones operativas que presenta el sistema de distribución, a partir de lo cual se registrarán los planteamientos de optimización.

- **Fase II:**

- Con base en la información recopilada determinar los componentes que generan las pérdidas del sistema, que están involucradas dentro del proceso de optimización de la red.
- Análisis de la demanda actual y proyectada, donde se incluirá el comportamiento diario del consumo tanto en días ordinarios como en fines de semana.
- Modelación hidráulica de la red de distribución: Donde se realiza una evaluación del escenario actual para el caudal estimado por dotaciones, utilizando software adecuado.

- **Fase III:**

- Análisis estadístico basado en las presiones de servicio:
  - ✓ Horas de máxima presión
  - ✓ Horas de máximo consumo.
- Modelación definitiva de la red de distribución de agua potable de manera optimizada, que permita suplir las necesidades que presenta el municipio de Aracataca actualmente, en cuanto a demanda y continuidad de servicio de la red de distribución.

## 8. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL MUNICIPIO DE ARACATACA

### 8.1 RESEÑA HISTÓRICA

La fundación de Aracataca se remonta a 1885, habiendo sido elevada a la categoría de municipio en 1915 por la Ordenanza No. 8, segregada de Pueblo Viejo. Fue primer secretario general de la alcaldía el señor Juan Jacobo Restrepo González (General).

Se inició Aracataca en las tierras de «La Santísima Trinidad de Aracataca» denunciadas como realengas y solicitadas en adjudicación por don Basilio García en 1797. Para su origen como población nucleada debió ocurrir la manumisión de los esclavos, en 1851, y sus consecuencias inmediatas: las Guerras Civiles entre liberales y conservadores, cruentas en las antiguas provincias de Padilla y del Valle de Upar. En los pueblos los grupos débiles de partido y de tierras huyeron a refugiarse en los montes; y encontraron, en 1857, en el antiguo «Camino de la Montaña», la hacienda del italiano Giacomino Costa Colón, quien les parceló parte de su «Santa Rosa de Aracataca» para iniciar las explotaciones de tabaco y de cacao y el corte de maderas. Para 1870 tenía Aracataca 292 habitantes, en su mayor parte refugiados, con marcada homogeneidad social y heterogeneidad cultural.<sup>15</sup>

En 1889 se tuvo el Corregimiento por Acuerdo Número 9 de 26 de noviembre del Honorable Concejo Municipal de San Juan del Córdoba. Luego la Compañía Francesa Inmobiliaria y de Plantaciones reemplazó en Aracataca la vocación de las parcelas de tabaco de los refugiados de las Guerras Civiles de la hacienda «Santa Rosa de Aracataca» del italiano Giacomino Costa Colón, por las de cacao, en las últimas décadas del Siglo XIX; surgió en Aracataca la vereda Theobromina como centro agrícola de explotación de la fruta Theobroma cacao, y con los inmigrantes franceses aparecieron las primeras memorias fotográficas del extraordinario pasado subregional.

En 1894 llegó el telégrafo, del que se conserva la construcción original, refaccionada en 1924, año en el cual laboró en sus instalaciones Gabriel Eligio García, por lo que hoy es Monumento Nacional.

Para 1908 llegó el ferrocarril a Aracataca, con la expectativa de un trazado final hasta el río Magdalena, ya fuere al puerto de Plato o al de Cerro de San Antonio: El inocente tren amarillo que tantas incertidumbres y evidencias, y tantos halagos y desventuras, y tantos cambios, calamidades y nostalgias, había de llevar a Macondo.

---

<sup>15</sup> ALCALDÍA MUNICIPAL DE ARACATACA. Plan de Desarrollo Municipal 2012-2015 Municipio de Aracataca. Aracataca: Concejo Municipal 2012. p. 62-65.

Sin embargo, la zona de riego con suelos de aluvión llegaba hasta la margen derecha del río San Sebastián de Taironaca, por lo que para los gringos no ameritaba seguir con la construcción férrea, puesto que en adelante existían suelos depreciados sin riego y por tanto sin posibilidad de explotación agrícola, que no aseguraban productos para los mercados de exportación.

Así, el terminal final del tren lo fue Buenos Aires, desde el 22 de octubre de 1906 hasta 1922, cuando fue trasladado a la ribera izquierda del mismo río, La Envidia, hoy, el centro urbano del Municipio de Fundación. La avalancha de nacionales y extranjeros que trajo el tren a la entonces cosmopolita Aracataca, inició el cambio y adoptó el nuevo cuadro de costumbres, el mestizaje, las nuevas vivencias; para bien de la cultura, de los ancestros de la caribeña isla Juana, nos trajo el tren, el son cubano para enraizar y generar nuevos grupos, y Aracataca presenta hoy orgullosa a Antonio Jaramillo, conocido en el ámbito cultural y musical de la nación como «El Perro Negro», intérprete y cantor que hereda de Ciro, Cueto y Miguel los cantos de La Loma y del Oriente cubano. También permitió el ferrocarril que los paseos del maestro Eulalio Meléndez y las guitarras cienagüeras intercambiasen en Aracataca con los juglares del acordeón de la antigua provincia de Padilla y naciera el primer paseo en este instrumento musical, del maestro Bolañito.<sup>16</sup>

“Santa Marta tiene tren, pero no tiene tranvía. Si no fuera por la Zona, ay, caramba, Santa Marta moriría, ay, hombre”.

Tal fue la importancia del intercambio cultural que generó el ferrocarril, que en Ciénaga, Santa Marta y después en La Habana se tarareaban canciones generadas en la simbiosis cultural de la Zona Bananera.

*“Yo me voy pa’ Cataca y no vuelvo más el amor de Carmela me va a matar”. (José María Peñaranda)*

*"Las cataqueras más hermosas se han venido a Europa, gracias Cataca".*

## **8.2 LOCALIZACIÓN**

El municipio de Aracataca está localizado a 25 kilómetros de Santa Marta (capital del departamento) y al norte del departamento del Magdalena, en la subregión Sierra Nevada de Santa Marta.

Comprende dos regiones perfectamente definidas, una al occidente: plana y baja de altas temperaturas, en las proximidades de la Ciénaga Grande de Santa Marta, y la otra al oriente, formada por la Sierra Nevada de Santa Marta, que tiene elevaciones hasta de 5.775 m, tiene una temperatura promedio de 28° C.

---

<sup>16</sup> *Ibíd.*, p. 78.

El municipio de Aracataca, pertenece a la Zona Bananera, la cual está constituida por mantos sedimentarios del terciario, consistentes en afloramientos micénicos de areniscas pardas limosas y de estratificación cruzada; arcillas arenosas y pizarrosas y material metamórfico e ígneo.<sup>17</sup>

Figura 2. Localización general del municipio de Aracataca.



Fuente: GOOGLE. Aracataca [en línea]. Bogotá [citado 06 Junio, 2013]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.google.es/maps/@10.6810827,-74.1717308,9z>>.

### 8.3 DESCRIPCIÓN

El municipio de Aracataca fue creado en 1912, pero sus linderos fueron modificados mediante la ordenanza N° 47 de 1915 y finalmente modificados para segregar en el año 1.996 el sector correspondiente al hoy municipio de El Retén.

<sup>17</sup> Ibíd., p. 79.

El municipio de Aracataca se encuentra localizado en la República de Colombia, región Caribe, en la zona noroeste del Departamento del Magdalena.

- **Extensión territorial:** el Municipio de Aracataca posee una extensión territorial de 1.736,26 Km<sup>2</sup>, distribuidos de la siguiente forma: Área urbana: 2 Km<sup>2</sup>. Área rural: 1.001,03 Km<sup>2</sup>. El área de resguardo y Parque Natural: 733,23 Km<sup>2</sup>.
- **Vías de acceso:** El acceso al municipio de Aracataca es a través de la carretera troncal del Caribe, que cubre la ruta Santa Marta – Santa Fe de Bogotá, pasando por el sector occidental del casco urbano de este municipio.<sup>18</sup>
- **Localización del espacio (coordenadas geográficas):** 10° 36' Latitud Norte. 74° 12' Longitud Oeste.
- **Límites del municipio:** al norte limita con los municipios de Ciénaga, Santa Marta y Zona bananera, al sur con los municipios de Fundación y Pivijay, al este con el departamento del Cesar y al oeste con los municipios de Pivijay y El Reten.
- **Hidrografía:** El municipio de Aracataca está ubicado dentro de la segunda vertiente hidrográfica del Departamento del Magdalena. Esta vertiente está dominada por la Ciénaga Grande de Santa Marta, hacia donde vierten sus aguas una gran cantidad de ríos, caños arroyos y quebradas. Dentro del Municipio se encuentra el río Aracataca, que está formado por el río Mamancanaca que a su vez recibe las aguas del Duraimena; el río Piedras que nace en la Sierra Nevada y desemboca en el río Fundación; y otros ríos de menor importancia. El casco urbano esta regado por el río Aracataca y los canales de riego Antioquia y Tolima que atraviesan el poblado, además recibe aguas del río Fundación, el río Tucurínca y otros ríos menores como el Maranchucua y el Duboncina. Los corregimientos de Buenos Aires y Sampues están regados por el canal de riego Corralito.

#### 8.4 CLIMA

Debido a la topografía del municipio de Aracataca, se presentan gran variedad de climas y microclimas. Las variaciones se presentan desde la llanura aluvial de los ríos Tucurínca, Aracataca y Fundación hasta las nieves perpetuas de los picos de la Sierra Nevada de Santa Marta. La zona urbana del municipio se encuentra a una altura promedio de 40 msnm, en un clima cálido y una temperatura promedio de 28°C.

---

<sup>18</sup> Ibíd., p. 81.

## **8.5 DIVISIÓN ADMINISTRATIVA**

Aracataca cuenta con:

- 6 Corregimientos: Sampués, Cauca, Buenos Aires, Río Piedra, Cerro Azul, Macaraquilla.
- 11 Veredas: Tehobromina, El Torito, La Escondida, Bocatoma, La Ribiera, La Fuente, El Volante, El Porvenir, Marimonda, La Arenosa, La Escondida.
- 4 Caseríos: Serankua, Yechikin, Dwanawimaku y Gunmaku.
- 33 Barrios: La Esperanza, La Esmeralda, Zacapita, 2 de Febrero, 20 de Julio, Ayacucho, Nariño, Loma Fresca, 7 de Agosto, El Carmen, Cataquita, Macondo, El Suiche, El Pradito, 11 de Noviembre, 7 de Abril, Ciudadela Macondo, San José, Base, Marujita, Las Delicias, Centro, Boston, El Porvenir, 1 de Mayo, Galán, San Martín, Bello Horizonte, Raíces, Macondo, Villa del Río I y II, Urbanización Gabriel García Márquez (Nuevo Barrio).

## **8.6 SISTEMA URBANO**

El suelo urbano de Aracataca está dividido en dos sectores principalmente: Centro y Raíces. En el sector centro se observa un trazado homogéneo mientras en el sector Raíces se observan zonas de un trazado irregular, como resultado de falta de planeación y de un diseño urbanístico. En el sector Raíces se encuentran irregularidades en el trazado de las manzanas y una configuración inadecuada del espacio público.

Estas diferencias morfológicas del trazado urbano han generado desigualdades territoriales dentro de la ciudad. Estas condiciones causan un desorden social y económico entre sectores, causando así, irregularidades en la obtención de servicios públicos, que terminan influyendo en la calidad de vida.

El perímetro urbano propuesto contiene el área del territorio ocupado actualmente por el asentamiento de la cabecera municipal y su correspondiente zona de expansión urbana, de conformidad a lo establecido por la ley 388 de 1997 que corresponde a un área de 404.9 hectáreas.

8.6.1 Comunas. El sector Urbano según el Plan de Ordenamiento Territorial del 2009 está compuesto por diferentes comunas que incluyen los distintos barrios de la ciudad. Las comunas se caracterizan por lo siguiente:

- Población superior a 5.000 e inferior a 10.000 habitantes.

- Vecindad geográfica entre los barrios integrantes.
- Existencia de una problemática básica común.
- Cierta grado de homogeneidad socioeconómica.

Las diferentes comunas están conformadas de la siguiente manera:

- Comuna No 1: Esta comuna está conformada por los barrios Boston, Villa del Río, 2 de Febrero, Ayacucho, Esperanza, 20 de Julio, Centro, Nariño, La Esmeralda, Zacapita, Loma Fresca y Camellón.
- Comuna No 2: Central. Compuesta por los barrios 7 de Agosto, El Carmen, Cataquita, el Suiche, El Pradito, las Delicias, Marujita, Invasión la Base, San José, 7 de Abril, Ciudadela Macondo, Barrio Macondo y Urbanización Villa Rosario.

## 9. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO ACTUAL

### 9.1 SISTEMA DE CAPTACIÓN ANTIGUO

El sistema de acueducto que abastecía a la población, cuenta con el suministro de agua de un canal de riego, que a su vez, toma sus aguas del río Aracataca en un lugar ubicado a 677 metros hacia el sur de la entrada principal del municipio sobre la vía hacia Bosconia.

Figura 3. Canal actual del municipio de Aracataca.



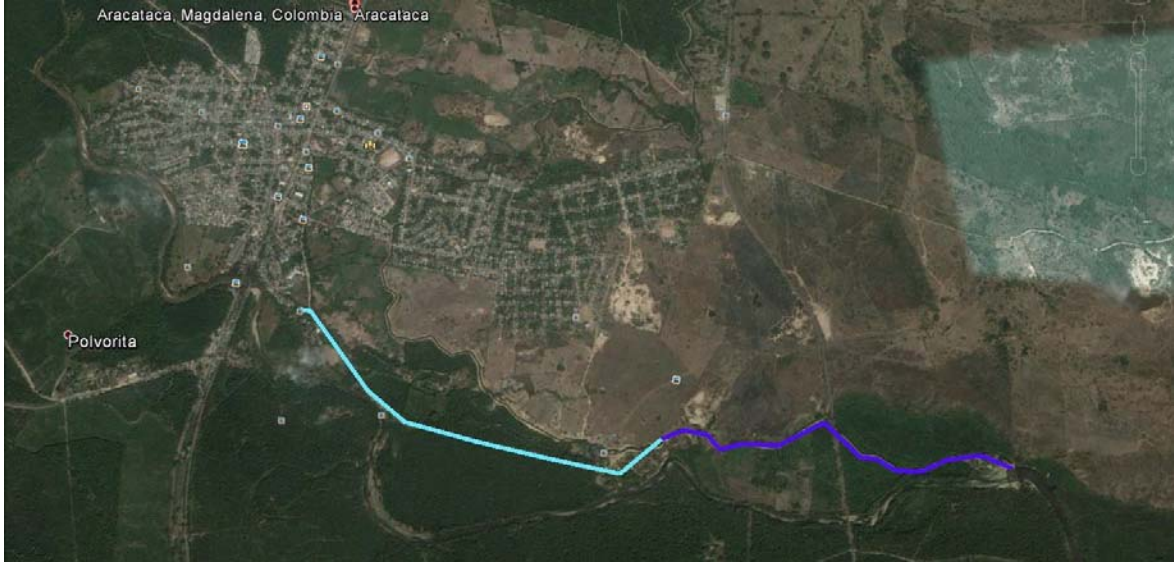
Fuente: IEH GRUCON S.A.

### 9.2 SISTEMA DE ADUCCIÓN ANTIGUO

El sistema de aducción antiguo estaba compuesto por una línea de 14" con una reducción a 12" a los 500 m y otra línea de 10" que comunicaban el punto de captación en el canal (barrio San José) existente con la PTAP antigua. Las dos líneas van por la margen izquierda de la vía que comunica la captación a la planta de tratamiento por 1.2 km y luego tiene un tramo de 800 m que pasa por debajo de la vía que comunica el ramal del canal y el río Aracataca. Las dos líneas están diseñadas para transportar un caudal de 120l/s.



Figura 4. Aducción antigua municipio de Aracataca.



Fuente: Google Herat.

### 9.3 ALMACENAMIENTO

La planta de tratamiento antigua presenta dos tanques rectangulares y un tanque circular con capacidad de 562 m<sup>3</sup> entre los tres, los cuales se encuentran interconectados, pero actualmente están abandonados y en muy mal estado, se presenta acumulación de arena en cada uno de los diferentes tanques que llega a tener un espesor de 80 cm aproximadamente, disminuyendo su capacidad de almacenamiento.

Tabla 2. Volumen de tanques existentes WASSER Ingeniería de Colombia.

Tanque	Área (m <sup>2</sup> )	Altura Física (m)	Altura Real por la Arena (m)	Vol. Físico (m <sup>3</sup> )	Vol. Real (m <sup>3</sup> )
1	95	3	2	285	190
2	10	3	2	92	62
3	62	3	2	185	123
Volumen Total		501		334	

Fuente: IEH GRUCON S.A.

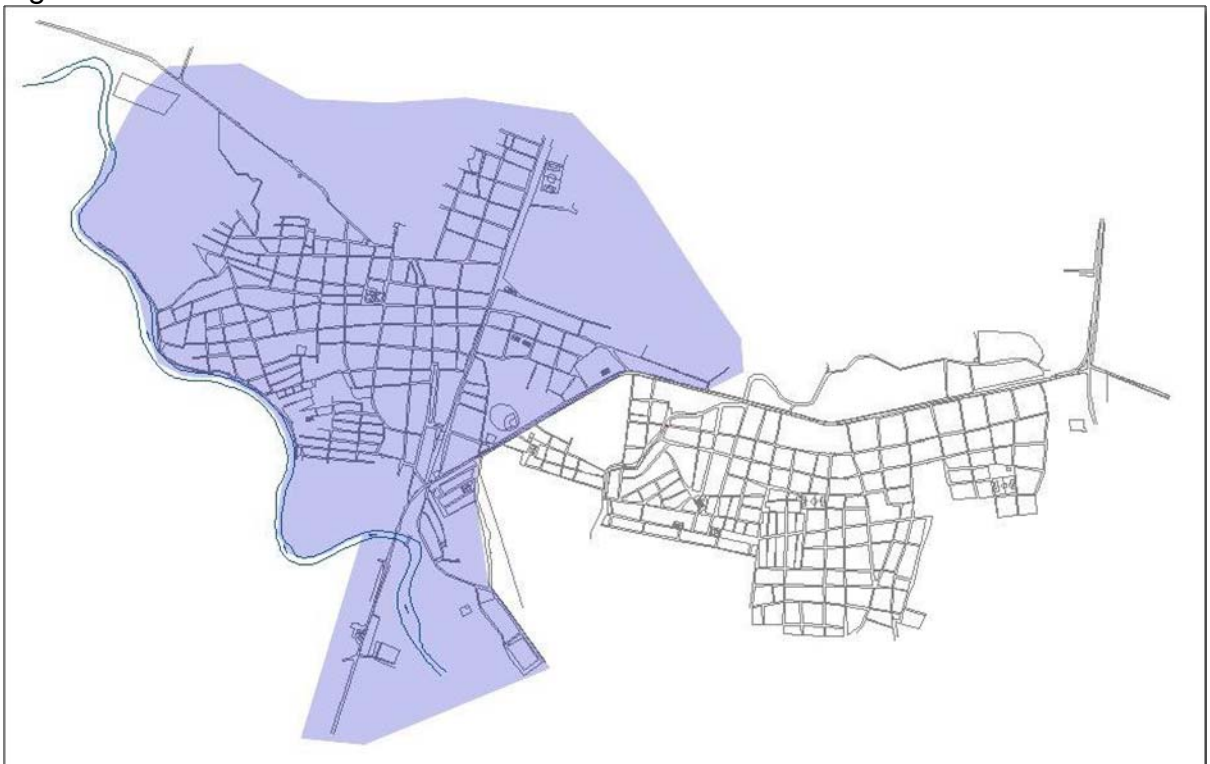
### 9.4 ESTACIÓN DE BOMBEO

El bombeo de agua hacia el municipio se realiza a través de dos estaciones separadas, una denominada “Centro” y la otra denominada “Raíces”. En la Figura

5, Sector Centro y la Figura 6, Sector Raíces, se presentan los esquemas de estos dos sectores con la cobertura del servicio en cada uno.

El Bombeo al Sector Centro se realiza mediante de una bomba de 100 Hp de potencia y con una capacidad de 80 l/s. La bomba no está en óptimas condiciones para funcionar, ya que presenta fugas que disminuyen el rendimiento real. La bomba está mal instalada, lo que impide garantizar estabilidad en su funcionamiento. La tubería de succión también está deteriorada, cuenta con fugas que aumentan las pérdidas. Solo es utilizada en caso de emergencia para suplir con agua cruda las necesidades del sector Centro.

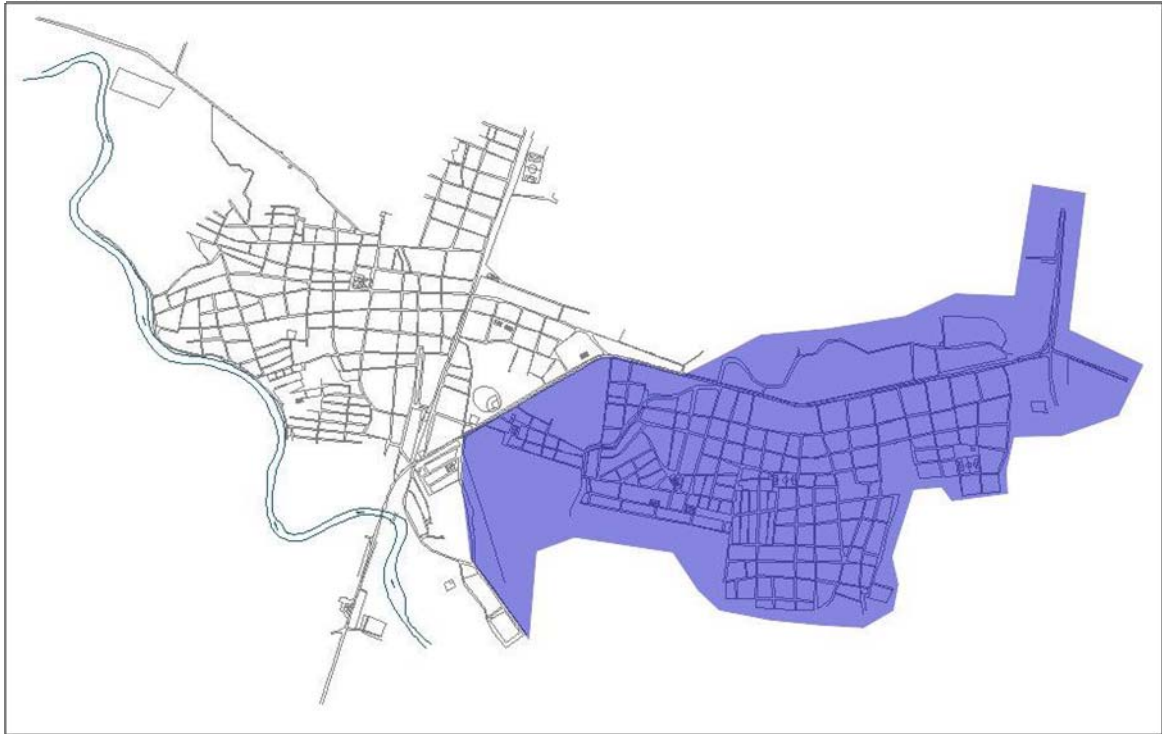
Figura 5. Sector Centro.



Fuente: Autores

El bombeo al Sector Raíces se realizaba mediante una bomba de 100Hp, que conducía el agua por una tubería de 6" en Asbesto Cemento, la cual funcionaba por 2 horas cada 15 días. Esta se encuentra en muy malas condiciones y ya no se emplea desde la entrada en funcionamiento de la nueva PTAP.

Figura 6. Sector Raíces.



Fuente: Autores.

## 9.5 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ACUEDUCTO

El municipio de Aracataca cuenta con un sistema de acueducto con una longitud total de 49.5 km, está conformado en su mayoría por PVC y Asbesto Cemento con presencia de otros materiales. Si bien la Zona centro cuenta con una tubería de diámetro considerable para su distribución como red matriz (Ø12" AC y Ø10" AC), esta parte de la planta antigua que se encuentra fuera de servicio y se encuentra con acometidas lo cual le impide una función adecuada como red matriz. La Zona Raíces no cuenta con una red principal y su malla de distribución se encuentra completamente dividida por la conformación de servicios por turno. En la Tabla 3 se presenta el resumen el catastro de redes realizado.

Tabla 3. Tubería existente.

<b>Diámetro (in)</b>	<b>PVC (m)</b>	<b>Asbesto Cemento (m)</b>	<b>Hierro Dúctil (m)</b>	<b>Hierro Fundido (m)</b>	<b>PEAD (m)</b>	<b>TOTAL (m)</b>
1.5	145	0	0	0	597	742
2	4667	0	640	294	0	5601
3	23856	6337	79	233	0	30505

<b>Diámetro (in)</b>	<b>PVC (m)</b>	<b>Asbesto Cemento (m)</b>	<b>Hierro Dúctil (m)</b>	<b>Hierro Fundido (m)</b>	<b>PEAD (m)</b>	<b>TOTAL (m)</b>
4	3734	0	0	79	0	3813
6	3740	823	4	378	0	4944
8	2615	0	129	0	0	2744
10	0	303	10	0	0	313
12	0	757	0	0	0	757
<b>TOTAL</b>	<b>38757</b>	<b>8220</b>	<b>861</b>	<b>984</b>	<b>597</b>	<b>49423</b>

Fuente: IEH GRUCON S.A.

En el sistema se presentan fugas, desperdicio en las soluciones de almacenamiento individuales, conexiones en mal estado, mala instalación de tuberías (al ser construidas artesanalmente por la comunidad sin supervisión), la utilización de tuberías con otro uso (riego, alcantarillado; no para agua potable), la fabricación artesanal de accesorios, obstrucciones naturales por sedimento, obstrucciones realizadas por los fontaneros en los intentos de realizar turnos de servicio, o el crecimiento de raíces que afectan gravemente el funcionamiento del sistema de distribución. Con el plan de choque realizado sobre el municipio se ha logrado prestar el servicio desde la Nueva PTAP manejando 3 turnos sobre la población cada uno de 8 horas, uno para la zona centro y dos para el sector de Raíces.

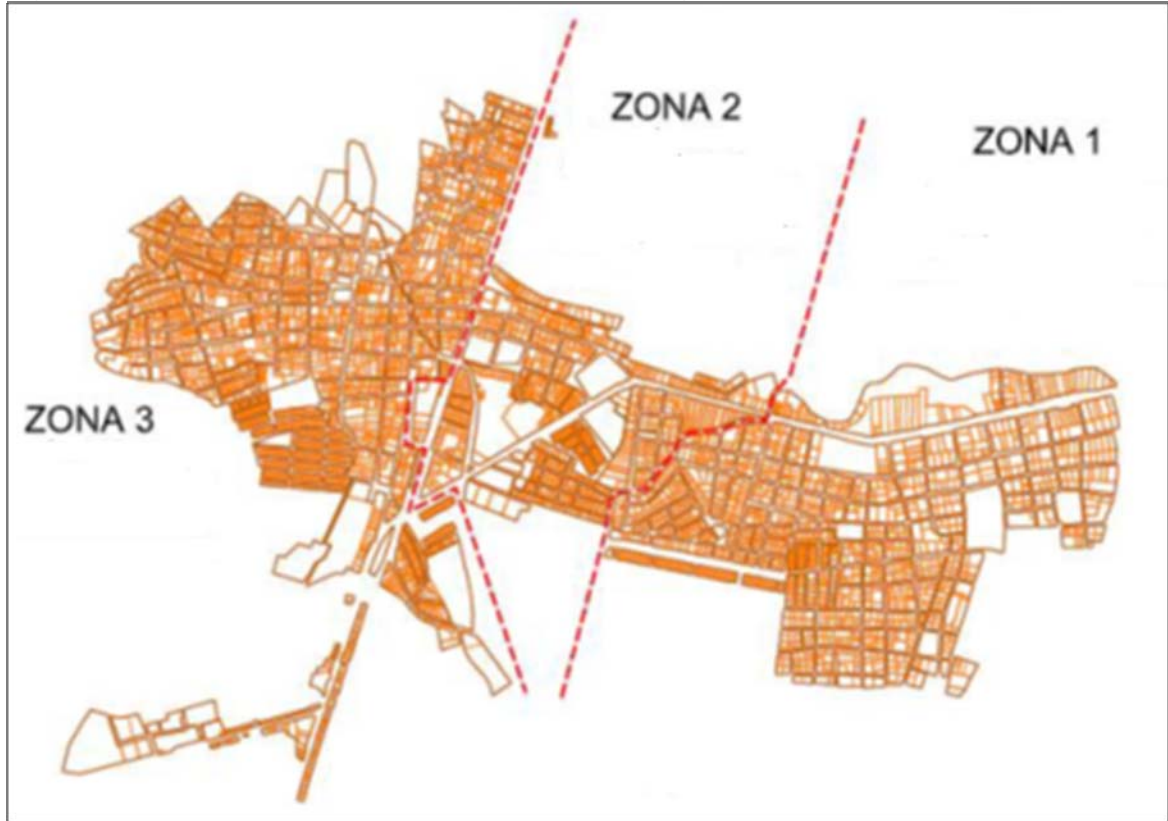
En la Tabla 4 se muestran los datos del suministro actual del sistema dividido por los sectores Centro y Raíces.

Tabla 4. Características de servicio actual (2014).

<b>Zona</b>	<b>Continuidad</b>	<b>Continuidad Efectiva</b>	<b>Presión Promedio</b>	<b>Dotación Estimada</b>	<b>Consumo Estimado Actual</b>
1	24h	8h	16mca	17 L/s	55L/s
2	24h	8h	12mca	10L/s	37L/s
3	8h	8h	7mca	30L/s	71L/s

Fuente: IEH GRUCON S.A.

Figura 7. Funcionamiento actual del sistema (agosto 2014).



Fuente: IEH GRUCON S.A.

Tabla 5. Descripción de zonas.

Zona	Continuidad	Continuidad Efectiva	Presión Promedio	Dotación estimada	Consumo Actual Estimado	Fugas
1	24 horas	8 horas	16 m.c.a.	17 l/s	55 l/s	Fuertes
2	24 horas	8 horas	12 m.c.a.	10 l/s	37 l/s	Fuertes
3	8 horas	8 horas	7 m.c.a.	30 l/s	71 l/s	-

Fuente: IEH GRUCON S.A.

El estado de las válvulas es regular, presentándose deficiencias en el sellado de las mismas a la hora de cerrarlas. Estas válvulas de compuerta tienen en su mayoría, más de 10 años de uso.

9.5.1 Tanque de almacenamiento nuevo. El tanque de almacenamiento enterrado tiene un volumen de 890 m<sup>3</sup>, fue diseñado como suministro por

gravidad para la Zona del Centro y a su vez es la succión para abastecer el nuevo tanque elevado que suministra el agua a la Zona Raíces.

9.5.2 Estación de bombeo Nueva EBAP. La estación de bombeo se encuentra construida sobre el tanque de almacenamiento de 890m<sup>3</sup>, donde se localizaron los tableros con los contadores eléctricos y se tiene planeado ubicar las bombas sumergibles que funcionarán por impulsión evitando línea de succión. Estas bombas serán las encargadas de conducir el agua al tanque elevado de 400m<sup>3</sup>.

9.5.3 Tanque elevado nuevo. El tanque de almacenamiento elevado tiene una capacidad 418m<sup>3</sup>, el cual tiene 25m de altura hasta la losa inferior, con una altura útil de 4.05m y un borde libre de 0.15m. Tiene una base rectangular. Las dimensiones internas son de 14,0m x 7,0m, el espesor de los muros es de 0,35m y la losa de fondo tiene 0,35m de espesor.

## 10. PROBLEMÁTICA DEL SISTEMA ACTUAL

Luego de presentar las características técnicas de los diferentes elementos que componen el sistema de acueducto de Aracataca, se procedió a identificar las principales problemáticas del funcionamiento actual del sistema.

Las problemáticas actuales del sistema de acueducto del municipio de Aracataca se caracterizan principalmente por:

- La falta de continuidad en el servicio, y las constantes y prolongadas interrupciones de este.
- Las presiones de servicio con las que actualmente opera el sistema son muy bajas lo cual no permite la operación de aparatos sanitarios.
- La red de distribución contiene un índice de pérdidas muy alto.
- Las obras realizadas para el mejoramiento del sistema se han hecho sobre componentes, dejando a un lado el sistema como conjunto.
- La operación del sistema se ha realizado por personal no especializado.
- La construcción de gran parte de la infraestructura de redes de distribución se ha realizado por las comunidades sin un seguimiento y control técnico adecuado.
- La falta de continuidad genera un aumento notable en el caudal durante las horas donde se dispone del servicio, superando el caudal de diseño de la red de distribución.
- La falta de continuidad genera cambios de presiones en la red lo cual representa un desgaste afectando su funcionamiento y aumentando las pérdidas.
- Los usuarios tienen malos hábitos en cuanto al consumo del agua y frecuentemente se desperdicia el recurso por mal manejo del usuario.
- Tubería en mal estado o mal instalada con presencia de fugas importantes con las cuales se convive.
- Conexiones sin anclajes y empatadas de forma forzosa.
- Tuberías antiguas que han transportado agua cruda con altos niveles de sedimentos, colores, y turbiedad, que se han deteriorado, resaltando la disminución del diámetro interno efectivo.

- Tuberías no idóneas (riego, alcantarillado, etc.) instaladas para trabajo como tubería a presión.



## 11. ANÁLISIS Y PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

### 11.1 PROYECCIÓN DE POBLACIÓN Y DEMANDA

### 11.2 NIVEL DE COMPLEJIDAD

En el Título A, numeral A.3 del Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2000), se establece la clasificación de los proyectos de acueducto y/o alcantarillado en un nivel de complejidad dependiendo del número de habitantes y su capacidad económica tal como se indica en la Tabla 6.

Tabla 6. Nivel de complejidad del sistema.

NIVEL DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA		
Nivel de Complejidad	Población en la Cabecera Municipal <sup>(1)</sup> (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.

La población actual de la cabecera del municipio de Aracataca es de 23.492 habitantes, que en su mayoría son estratos 1 y 2, lo cual significa que se tiene un nivel de complejidad MEDIO-ALTO del sistema.

Dado que la capacidad económica de los usuarios del sistema es BAJA pero la población total proyectada para el año 2042 es de 34.680 habitantes, se establece un nivel de complejidad MEDIO ALTO, ya que el RAS-2000 establece que la asignación del nivel de complejidad debe ser la que resulte mayor entre la clasificación obtenida por la población urbana que en este caso es Media Alta y la capacidad económica es Baja.

11.2.1 Periodo de diseño. Para todos los componentes del sistema de acueducto y/o alcantarillado según la Resolución 2320 del MAVDT del 27 de noviembre de 2009, el periodo de diseño se determina mediante la Tabla 7.

Tabla 7. Periodo de diseño.

Nivel de Complejidad del Sistema	Periodo de Diseño Máximo
Bajo, Medio y Medio - Alto	25 años
Alto	30 años

Fuente: COLOMBIA. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución número 2330, 30 de noviembre de 2009.

De acuerdo con el Nivel de Complejidad del sistema MEDIO ALTO, correspondiente a un periodo de diseño de 25 años. El horizonte de diseño será el año 2042.

### 11.3 DOTACIÓN NETA

De acuerdo con la Resolución 2320 del año 2009 por la cual se modifica parcialmente la Resolución No. 1096 de 2000 que adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico –RAS se asume una dotación neta de 135 L/hab.día de acuerdo con el nivel de complejidad del sistema el cual es MEDIO ALTO y un Clima Frío con una altura superior a los 1000 metros sobre el nivel mar.

11.3.1 Pérdidas técnicas máximas admisibles. De acuerdo a la resolución 2320 del año 2009 se asumen unas pérdidas técnicas admisibles del 25%.

### 11.4 DOTACIÓN BRUTA

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

Por consiguiente:

$$D_{bruta} = \frac{dneta}{1 - \% p} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$D_{bruta} = \frac{135}{1 - 25\%} \left( \frac{L}{hab - día} \right) \quad D_{bruta} = 180 \left( \frac{L}{hab - día} \right)$$

### 11.5 PROYECCIÓN DE DEMANDAS DE AGUA

A continuación se presenta la estimación y proyección de la demanda de agua. Los diferentes niveles de consumo están especificados en el RAS 2000 y se transcriben a continuación con sus respectivas ecuaciones.

- Caudal Medio Diario (Qmd): Es el caudal medio calculado para la población proyectada, teniendo en cuenta la dotación bruta asignada. Corresponde al

promedio de los consumos diarios en un período de un año y puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{md} = \frac{\text{Población} * \text{dotación bruta}}{86400} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$Q_{md} = \frac{34680 * 180}{86400} = 72.25(l/s)$$

- Caudal Máximo Diario (QMD): Corresponde al consumo máximo registrado durante 24 horas durante un período de un año. Se calcula multiplicando el caudal medio diario por el coeficiente de consumo máximo diario, k1. El caudal máximo diario se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$QMD = Q_{md} * k_1 \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde k1 es el coeficiente de consumo máximo diario y equivale a 1.20 de acuerdo con el RAS 2000.

$$QMD = Q_{md} * 1.2 \quad QMD = 72.25 * 1.2 = 86.70L/s$$

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

$$QMH = QMD * k_2 \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde k2 es el coeficiente de consumo máximo horario y equivale a 1.50 ya que hace parte de la red matriz de acuerdo con el RAS 2000.

$$QMH = QMD * 1,5 = 86.70 * 1.5 = 130.05(l/s)$$

Los parámetros de diseños utilizados para el cálculo se muestran en la Tabla 8 y los resultados de éste se encuentran en la Tabla 9.

Tabla 8. Resumen de parámetros de diseño.

<b>DATOS</b>	
Número de Habitantes Estimado	34,680
Nivel de Complejidad del Sistema por # de hab	Medio Alto
Capacidad económica de los usuarios	Baja
Nivel de Complejidad del Sistema por capacidad	Medio Alto

<b>DATOS</b>	
económica	
Nivel de Complejidad del Sistema	Medio Alto
Altura de la Población [msnm]	40
Clima de la Población	Clima Cálido

Fuente: Autores.

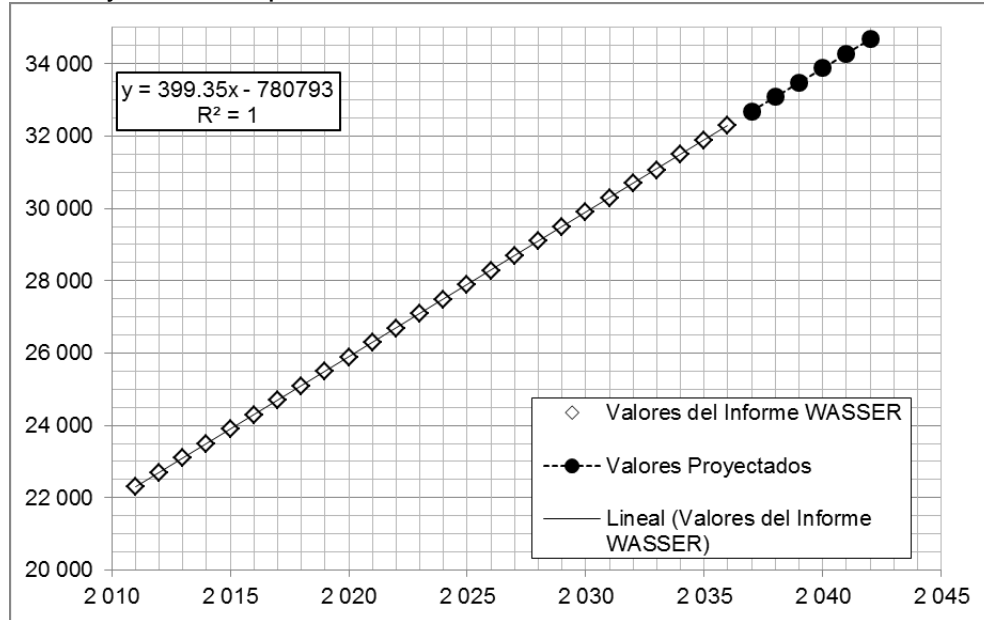
Tabla 9. Resumen del cálculo de caudal.

<b>CÁLCULO DE CAUDAL</b>	
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 ]	72.25
Coefficiente de consumo máximo diario k1	1.2
QMD - CAUDAL MÁXIMO DIARIO [ l/s ]	86.70
Coefficiente de consumo máximo horario k2	1,5
QMH - CAUDAL MÁXIMO HORARIO [ l/s ]	130.05

Fuente: Autores.

11.5.1 Proyección de población. Para el cálculo de la población proyectada se presenta la información presentada por WASSER en la Tabla 10.

Figura 8. Proyección de población.



Fuente: Autores.

En la Figura 8 se muestra la población calculada en el informe de WASSER para los años 2011 al 2036, la cual se encontró que era una proyección lineal (con un  $R^2$  de 1) como se indica en la figura; con lo cual se realizó la proyección hasta el horizonte de diseño planteado, año 2042.

Tabla 10. Población estimada.

		<b>Dot. Neta</b>	<b>%</b>	<b>Dot Bruta</b>	<b>Qmd</b>	<b>QMD</b>	<b>QMH</b>
<b>Año</b>	<b>Población</b>	<b>lt/hab/dia</b>	<b>Perdidas</b>	<b>lt/hab/dia</b>	<b>(lps)</b>	<b>(lps)</b>	<b>(lps)</b>
			<b>Técnicas</b>				
2 011	22 293	135	25%	180	46.4	55.7	<b>83.6</b>
2 012	22 692	135	25%	180	47.3	56.7	85.1
2 013	23 092	135	25%	180	48.1	57.7	86.6
2 014	23 492	135	25%	180	48.9	58.7	88.1
2 015	23 892	135	25%	180	49.8	59.7	89.6
2 016	24 291	135	25%	180	50.6	60.7	91.1
2 017	24 691	135	25%	180	51.4	61.7	92.6
2 018	25 091	135	25%	180	52.3	62.7	94.1
2 019	25 490	135	25%	180	53.1	63.7	95.6
2 020	25 890	135	25%	180	53.9	64.7	97.1
2 021	26 290	135	25%	180	54.8	65.7	98.6
2 022	26 689	135	25%	180	55.6	66.7	100.1
2 023	27 089	135	25%	180	56.4	67.7	101.6
2 024	27 489	135	25%	180	57.3	68.7	103.1
2 025	27 889	135	25%	180	58.1	69.7	104.6

		<b>Dot. Neta</b>	<b>% Perdidas</b>	<b>Dot Bruta</b>	<b>Qmd</b>	<b>QMD</b>	<b>QMH</b>
<b>Año</b>	<b>Población</b>	<b>lt/hab/día</b>	<b>Técnicas</b>	<b>lt/hab/día</b>	<b>(lps)</b>	<b>(lps)</b>	<b>(lps)</b>
2 026	28 288	135	25%	180	58.9	70.7	106.1
2 027	28 688	135	25%	180	59.8	71.7	107.6
2 028	29 088	135	25%	180	60.6	72.7	109.1
2 029	29 487	135	25%	180	61.4	73.7	110.6
2 030	29 887	135	25%	180	62.3	74.7	112.1
2 031	30 287	135	25%	180	63.1	75.7	113.6
2 032	30 686	135	25%	180	63.9	76.7	115.1
2 033	31 056	135	25%	180	64.7	77.6	116.5
2 034	31 486	135	25%	180	65.6	78.7	118.1
2 035	31 866	135	25%	180	66.4	79.7	119.5
2 036	32 285	135	25%	180	67.3	80.7	121.1
2 037	32 683	135	25%	180	68.4	82.1	123.1
2 038	33 082	135	25%	180	69.2	83.1	124.6
2 039	33 482	135	25%	180	70.1	84.1	126.1
2 040	33 881	135	25%	180	70.9	85.1	127.6
2 041	34 280	135	25%	180	71.7	86.1	129.1
2 042	34 680	135	25%	180	72.6	87.1	130.7

Fuente: WASSER. Ingeniería del agua [en línea]. Madrid [Citado: agosto 15, 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.wasser.es/documentos.html>>.

Para complementar los estudios realizados se realizó un nuevo cálculo teniendo en cuenta las pérdidas iniciales del 85 % para tratar de estimar el comportamiento actual del sistema y se supuso que en un periodo de 10 años se reducirán las pérdidas. Los datos obtenidos se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11. Verificación cálculo población proyectada.

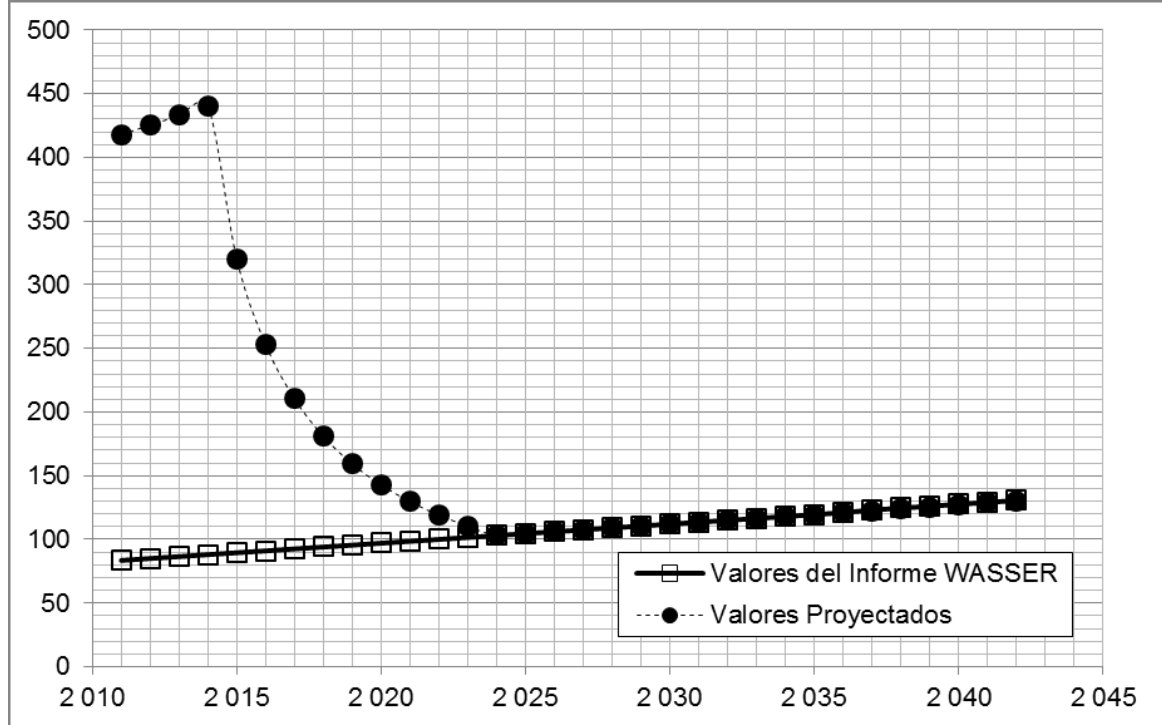
		<b>Dot. Neta</b>	<b>% Perdidas</b>	<b>Dot Bruta</b>	<b>Qmd</b>	<b>QMD</b>	<b>QMH</b>
<b>Año</b>	<b>Población</b>	<b>lt/hab/día</b>	<b>Técnicas</b>	<b>lt/hab/día</b>	<b>(lps)</b>	<b>(lps)</b>	<b>(lps)</b>
2 011	22 293	135	85%	900.00	232.22	278.66	417.99
2 012	22 692	135	85%	900.00	236.38	283.65	425.48
2 013	23 092	135	85%	900.00	240.54	288.65	432.98
2 014	23 492	135	85%	900.00	244.71	293.65	440.48
2 015	23 892	135	79%	642.86	177.77	213.32	319.98
2 016	24 291	135	73%	500.00	140.57	168.69	253.03
2 017	24 691	135	67%	409.09	116.91	140.29	210.43
2 018	25 091	135	61%	346.15	100.52	120.63	180.94
2 019	25 490	135	55%	300.00	88.51	106.21	159.31
2 020	25 890	135	49%	264.71	79.32	95.18	142.78
2 021	26 290	135	43%	236.84	72.07	86.48	129.72

		Dot. Neta	% Perdidas	Dot Bruta	Qmd	QMD	QMH
Año	Población	lt/hab/día	Técnicas	lt/hab/día	(lps)	(lps)	(lps)
2 022	26 689	135	37%	214.29	66.19	79.43	119.15
2 023	27 089	135	31%	195.65	61.34	73.61	110.42
2 024	27 489	135	25%	180.00	57.27	68.72	103.08
2 025	27 889	135	25%	180.00	58.10	69.72	104.58
2 026	28 288	135	25%	180.00	58.93	70.72	106.08
2 027	28 688	135	25%	180.00	59.77	71.72	107.58
2 028	29 088	135	25%	180.00	60.60	72.72	109.08
2 029	29 487	135	25%	180.00	61.43	73.72	110.58
2 030	29 887	135	25%	180.00	62.26	74.72	112.08
2 031	30 287	135	25%	180.00	63.10	75.72	113.58
2 032	30 686	135	25%	180.00	63.93	76.72	115.07
2 033	31 056	135	25%	180.00	64.70	77.64	116.46
2 034	31 486	135	25%	180.00	65.60	78.72	118.07
2 035	31 866	135	25%	180.00	66.39	79.67	119.50
2 036	32 285	135	25%	180.00	67.26	80.71	121.07
2 037	32 683	135	25%	180.00	68.09	81.71	122.56
2 038	33 082	135	25%	180.00	68.92	82.71	124.06
2 039	33 482	135	25%	180.00	69.75	83.70	125.56
2 040	33 881	135	25%	180.00	70.59	84.70	127.05
2 041	34 280	135	25%	180.00	71.42	85.70	128.55
2 042	34 680	135	25%	180.00	72.25	86.70	130.05

Fuente: Autores.

En la Figura 9 se observa la comparación del caudal máximo horario considerando las pérdidas estimadas en la actualidad y las calculadas mediante la proyección de demandas. Se debe tener en cuenta que el sistema no fue diseñado para soportar un caudal de la magnitud que suponen las demandas estimadas actualmente que superan en gran manera a las de diseño y es por esto que la problemática de las pérdidas debe ser un punto importante a solucionar. Se debe tener en cuenta que el porcentaje de pérdidas fue establecido con lo establecido en el RAS 2000, Numeral B.3. Todo tipo de pérdidas están incluidas en el porcentaje de Pérdidas Técnicas (fugas, irregularidades de consumo, etc.).

Figura 9. Comparación de QMH proyectados calculados.



Fuente: Autores.

## 11.6 SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

La sectorización se realiza para disminuir las pérdidas comerciales y técnicas. La sectorización incluye el reconocimiento de la delimitación de la red de acueducto en sectores homogéneos. Se debe poder medir el volumen suministrado y el volumen facturado por sector, para optimizar el recurso, calcular el índice de agua no contabilizada, conocer las causas de pérdida y generar soluciones para el control de la misma.

El desarrollo de la actividad de sectorización se plantea bajo el siguiente orden:

- Planteamiento de objetivos
- Definición de la red matriz
- Definición de sectores y subsectores
- Verificación de límites con el modelo hidráulico preliminar
- Análisis de operación en condiciones de racionamiento y emergencias
- Análisis de los aspectos comerciales
- Proyecciones por sectores, según demografía y urbanismo
- Materialización en campo.



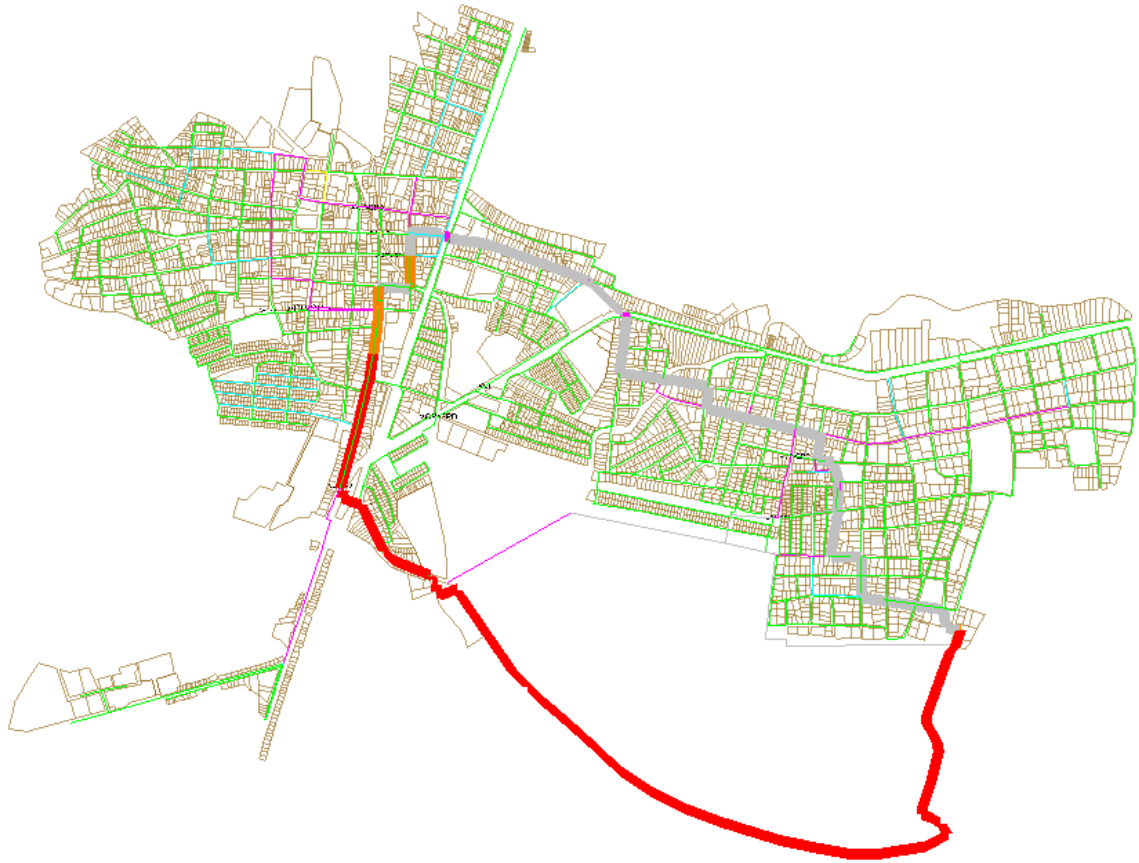
## **11.7 SECTORIZACIÓN DE REDES EN SISTEMAS CON INTERMITENCIA DE SERVICIO**

La sectorización permite generar una presurización parcial de uno de los sectores. La sectorización adecuada del sistema, la definición de la red matriz y las condiciones de funcionamiento del sistema completo, como las de cada sector propuesta deben permitir el desarrollo de una estrategia adecuada para la presurización total del sistema.

## **11.8 DEFINICIÓN DE LA RED MATRIZ**

Es necesario definir la red matriz dentro de todo el sistema de acueducto, para comenzar con la presurización de esta. La red matriz debe permitir la alimentación de cada uno de los sectores propuestos de manera independiente, para un mayor control y mejor monitoreo. Puede ser necesaria la construcción de tuberías secundarias que vayan paralelas a la de la red matriz para que estas últimas no vayan a perder su condición de líneas expresas y evitar que existan conexiones directas a la red matriz de uso individual.

Figura 10. Red matriz.

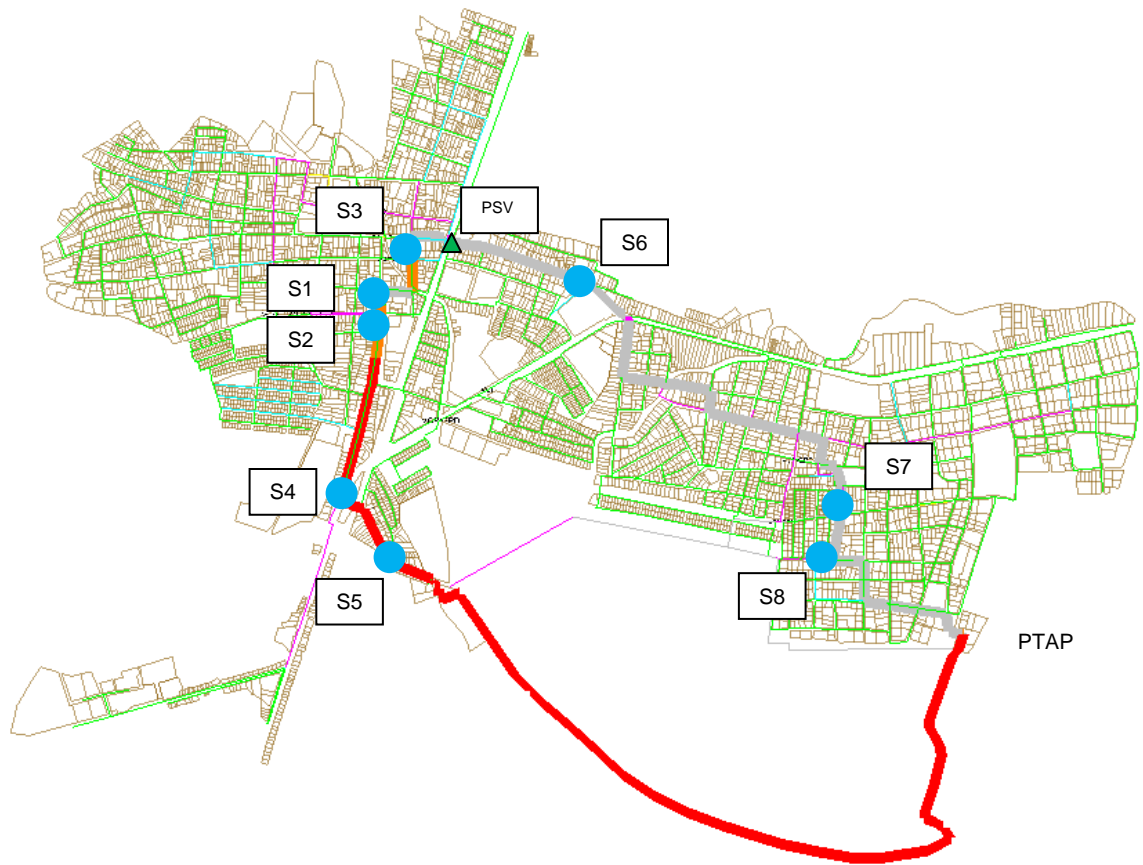


Fuente: Autores.

En la Figura 10, Red Matriz, se muestra la localización de la red matriz definida para abastecer los 8 sectores. La red matriz está compuesta por dos tramos principales: el tramo superior comunica la PTAP nueva con el sector bajo del municipio por la conexión donde se ubica la válvula de control de presión. El segundo tramo inferior conecta la PTAP con el Sector Bajo, este tramo funciona por gravedad.

La red matriz se definió, reconociendo un recorrido que abarcara una posible alimentación del casco urbano. Para esto se tuvo en cuenta el funcionamiento de la red de distribución actualmente, reconociendo los tubos que cumplían una función primaria y los tubos que podían llegar a ser parte de esta red cerrada. Los tubos de asbesto cemento que salían de la planta de tratamiento antigua hacia el sector centro y la aducción a esta planta, son algunos de los tubos existentes que se utilizaron para la definición de la red matriz. En el sector raíz se definió el trazado de la tubería existente de 6" que se encargaba de llevar agua a gran parte de este sector, para comunicarla con el sector centro por el cruce existente de la carrilera. La tubería de 6" se encuentra en regular estado por lo que se propone la construcción de un trazado similar pero en tubería de PVC de 8".

Figura 11. Localización de puntos de conexión a la red matriz.



Fuente: Autores.

### 11.9 PARÁMETROS DE SECTORIZACIÓN

A continuación se muestran los límites físicos presentes en el Municipio de Aracataca, como son vías principales (color rojo), canales y ríos (color verde), que generan divisiones físicas en el territorio.

Figura 12. Límites físicos.



Fuente: Autores.

El casco urbano es atravesado por la vía férrea, la cual divide los dos sectores principales del Municipio (Centro y Raíces). La otra línea divisoria de flujo es la vía principal, la cual une la carretera Fundación – Aracataca con la carretera 45. Los 2 canales que atraviesan el casco urbano también generan divisiones físicas dentro de los dos sectores. El Plan de Ordenamiento Territorial del 2009 establece que el perímetro de la zona urbana está delimitado según las coordenadas que forman el polígono de la figura 13.

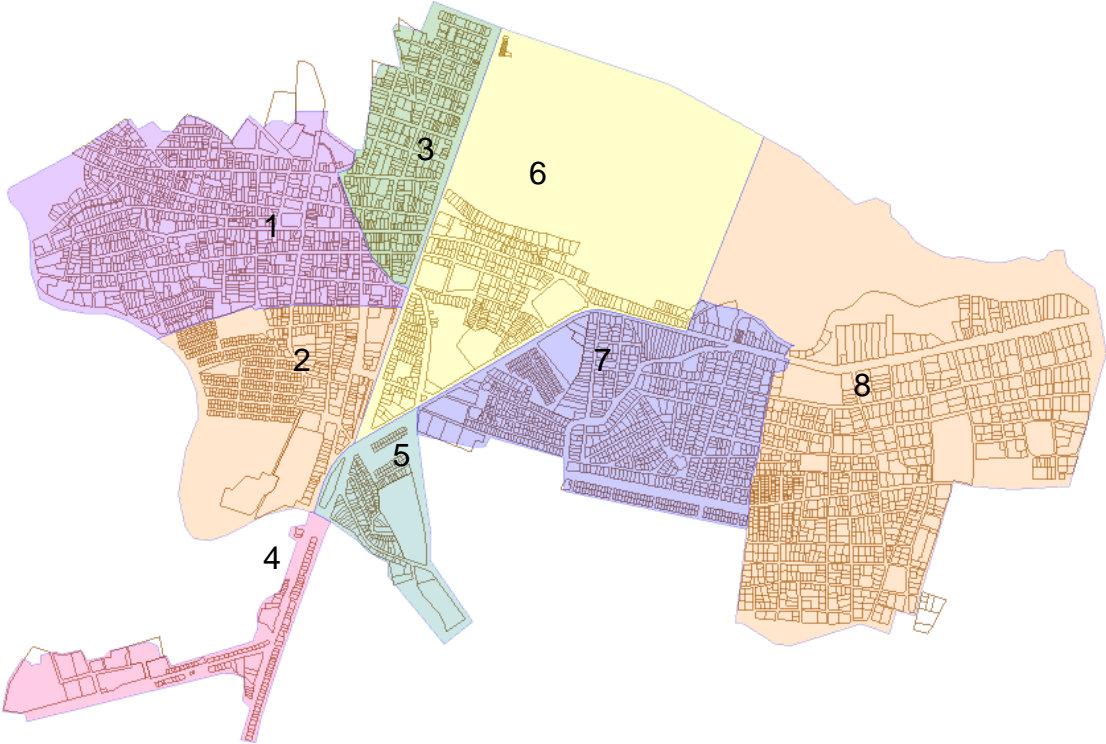
Figura 13. Área rural-POT 2009.



Fuente: Autores.

De acuerdo a las características comerciales, normativas, físicas e hidráulicas del municipio se propone la sectorización, compuesta por 8 sectores presentados en la Figura 14.

Figura 14. Sectorización.



Fuente: Autores.

## 12. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 12.1 RED EXISTENTE PRESIONES A LAS 12:00 am

Una vez modelada la red de acueducto existente del municipio de Aracataca, se realiza un histograma de frecuencias para realizar un análisis cuantitativo de las presiones existentes a las 12:00 am como se muestra a continuación en la tabla 12.

Tabla 12. Frecuencia de presiones en la red a las 12:00 am.

<b>CLASE</b>	<b>FRECUENCIA</b>	<b>% ACUMULADO</b>
76.9999	3	0.32%
77.9999	1	0.43%
78.9999	4	0.85%
79.9999	13	2.23%
80.9999	17	4.04%
81.9999	35	7.77%
82.9999	33	11.28%
83.9999	59	17.55%
84.9999	45	22.34%
85.9999	40	26.60%
86.9999	46	31.49%
87.9999	20	33.62%
88.9999	35	37.34%
89.9999	29	40.43%
90.9999	33	43.94%
91.9999	35	47.66%
92.9999	13	49.04%
93.9999	7	49.79%
94.9999	16	51.49%
95.9999	30	54.68%
96.9999	21	56.91%
97.9999	25	59.57%
98.9999	38	63.62%
99.9999	87	72.87%
100.9999	110	84.57%
101.9999	136	99.04%
102.9999	9	100.00%
y mayor...	0	100.00%

Fuente: Autores.

A continuación se relaciona en la Tabla 13 los datos estadísticos de las presiones existentes en la red a las 12:00 am.

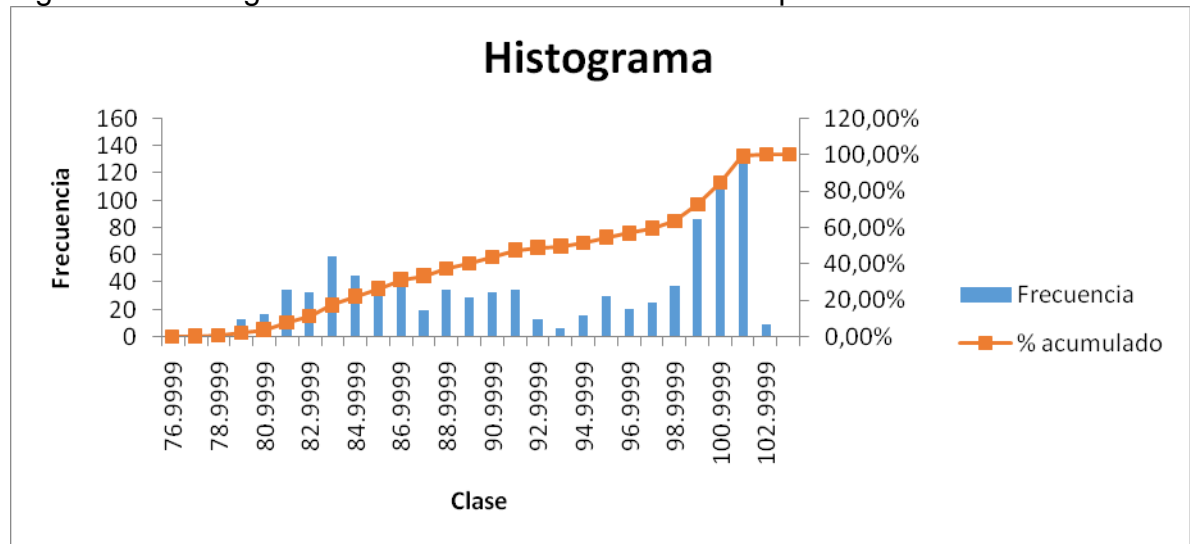
Tabla 13. Análisis estadístico presiones 12:00 am.

PRESIÓN	
MIN	MAX
76.58	102.62

media	92.8
mediana	94.4
moda	101.9
desv. Estándar	7.5
varianza	56.0

Fuente: Autores.

Figura 15. Histograma de frecuencias – red existente presiones a las 12:00 am.



Fuente: Autores.

En el caso de la red existente presenta una desviación estándar de presiones del 7.5, luego de plantear una alternativa de optimización de la red se sectorizó logrando una desviación estándar de 4.4, logrando optimizar la red ajustando todos los puntos de suministro a presiones cercanas.

Como se puede observar en la gráfica de análisis de frecuencia la presión promedio es de 92.8 m.c.a y la moda de 120 puntos de suministro con un caudal de 101.99 m.c.a.

Se tienen presiones con un intervalo demasiado alto, en este caso la presión mínima es de 65 m.c.a y una presión Máx de 103 m.c.a.

## 12.2 RED SECTORIZADA CON PRESIONES A LAS 12:00 am

Una vez modelado la red de acueducto sectorizada del municipio de Aracataca, se realiza un histograma de frecuencias para realizar un análisis cuantitativo de las presiones existentes a las 12:00 am como se muestra a continuación en la tabla 14.

Tabla 14. Frecuencia de presiones en la red a las 12:00 am.

<b>CLASE</b>	<b>FRECUENCIA</b>	<b>% ACUMULADO</b>
12.9999	5	0.47%
13.9999	0	0.47%
14.9999	5	0.95%
15.9999	30	3.80%
16.9999	37	7.31%
17.9999	73	14.25%
18.9999	117	25.36%
19.9999	161	40.65%
20.9999	48	45.20%
21.9999	77	52.52%
22.9999	83	60.40%
23.9999	64	66.48%
24.9999	56	71.79%
25.9999	49	76.45%
26.9999	60	82.15%
27.9999	40	85.94%
28.9999	47	90.41%
29.9999	36	93.83%
30.9999	22	95.92%
31.9999	15	97.34%
32.9999	19	99.15%
33.9999	4	99.53%
y mayor...	5	100.00%

Fuente: Autores.

A continuación se relaciona en la Tabla 15 los datos estadísticos de las presiones presentes en la red sectorizada a las 12:00 am.



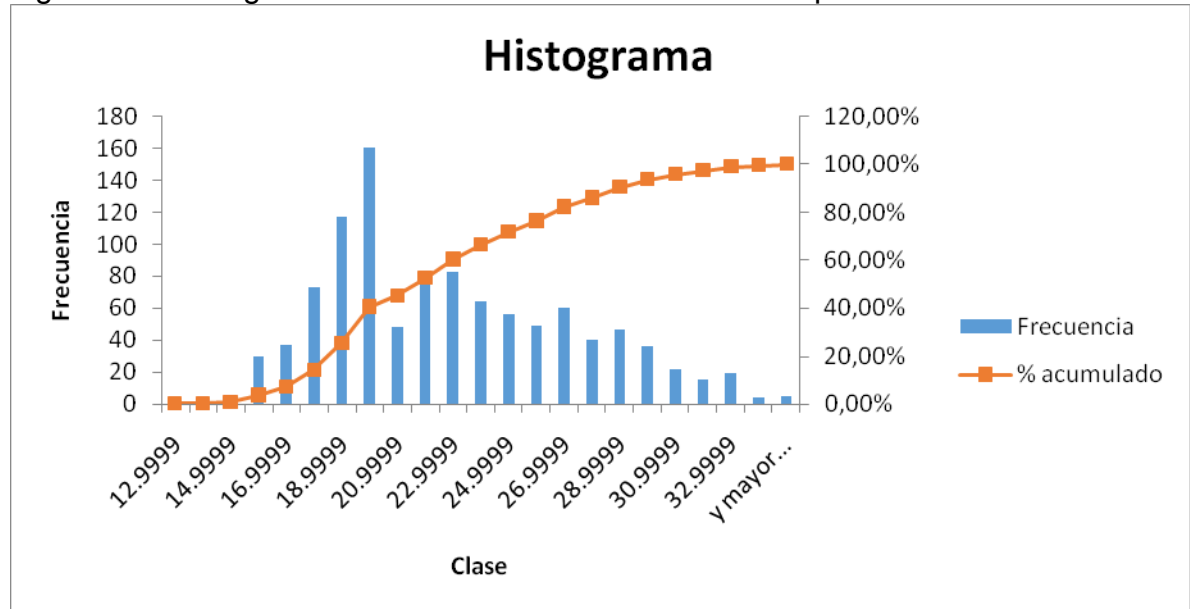
Tabla 15. Análisis estadístico presiones 12:00 am.

PRESIÓN	
MIN	MAX
12.54	40.84

media	22.3
mediana	21.7
moda	19.0
desv. Estandar	4.4
varianza	19.6

Fuente: Autores.

Figura 16. Histograma de frecuencias – red sectorizada presiones a las 12:00 am.



Fuente: Autores.

En el caso de la red sectorizada presenta una desviación estándar de presiones del 7.5 a las 12:00 am, luego de plantear una alternativa de optimización de la red se sectorizó logrando una desviación estándar de 4.4 a las 12:00 am, logrando optimizar la red ajustando todos los puntos de suministro a presiones cercanas.

Como se puede observar en la gráfica de análisis de frecuencia la presión promedio es de 22.3 m.c.a y la moda de 160 puntos de suministro con un caudal de 19 m.c.a.

Se tienen presiones con un intervalo normal en este caso la presión mínima es de 12.54 m.c.a y una presión Máx de 40.8 m.c.a optimizando la red.

### 12.3 RED EXISTENTE CON PRESIONES A LAS 7:00 am

Al realizar el análisis del modelo existente en las horas de máximo consumo en este caso a las 7:00 am, encontrando presiones negativas razón por la cual no se tuvieron en cuenta en el análisis estadístico.

### 12.4 RED SECTORIZADA CON PRESIONES A LAS 7:00 am

Una vez modelado la red de acueducto existente del municipio de Aracataca, se realiza un histograma de frecuencias para realizar un análisis cuantitativo de las presiones existentes a las 7:00 am como se muestra a continuación en la tabla 16.

Tabla 16. Frecuencia de presiones en la red a las 7:00 am.

<b>Clase</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>% acumulado</b>
4.9999	7	0.66%
5.9999	11	1.71%
6.9999	13	2.94%
7.9999	16	4.46%
8.9999	15	5.89%
9.9999	30	8.74%
10.9999	58	14.25%
11.9999	125	26.12%
12.9999	250	49.86%
13.9999	99	59.26%
14.9999	95	68.28%
15.9999	72	75.12%
16.9999	69	81.67%
17.9999	48	86.23%
18.9999	57	91.64%
19.9999	48	96.20%
20.9999	10	97.15%
21.9999	16	98.67%
22.9999	5	99.15%
23.9999	2	99.34%
y mayor...	7	100.00%

Fuente: Autores.

A continuación se relaciona en la Tabla 17 los datos estadísticos de las presiones encontradas en la red sectorizada a las 7:00 am.

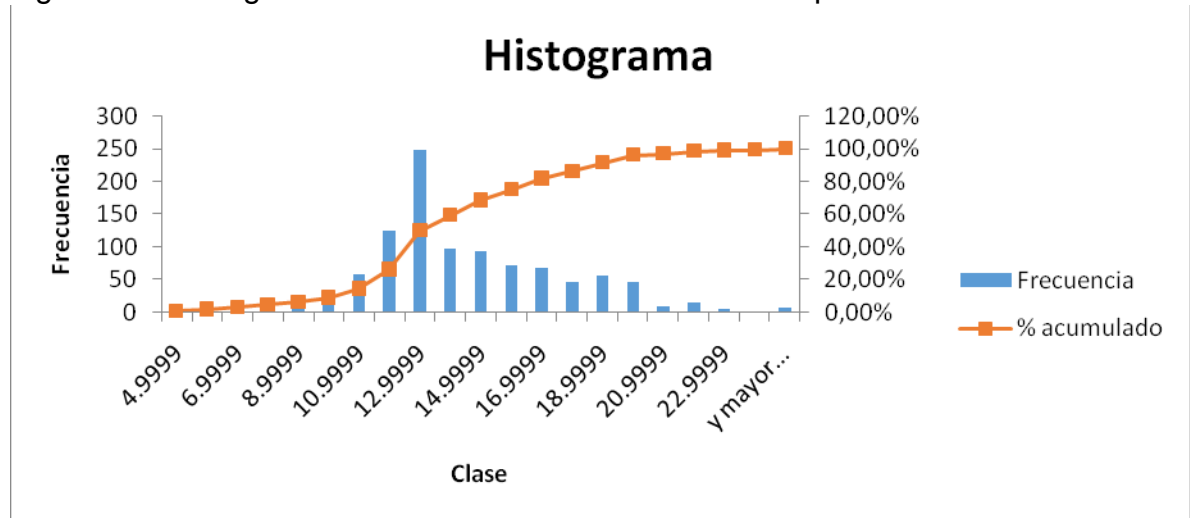
Tabla 17. Análisis estadístico presiones 7:00 am.

PRESIÓN	
MIN	MAX
4.36	41.36

media	13.8
mediana	12.9
moda	12.4
desv. Estandar	3.6
varianza	12.7

Fuente: Autores.

Figura 17. Histograma de frecuencias – red sectorizada presiones a las 7:00 am.



Fuente: Autores.

En luego de plantear una alternativa de optimización de la red, se sectorizó logrando una desviación estándar de 3,6 a las 7:00 am, optimizando la red ajustando todos los puntos de suministro a presiones cercanas.

Como se puede observar en la gráfica de análisis de frecuencia la presión promedio a las 7:00 am es de 13.8 m.c.a y la moda de 250 puntos de suministro con un caudal de 12.4 m.c.a.

Se tienen presiones con un intervalo normal en este caso la presión mínima es de 4.3 m.c.a y una presión Máx de 24 m.c.a que se presentan a la 7:00 am.

## **13. SIMULACIÓN DIGITAL**

Un modelo hidráulico es una representación matemática de un sistema real de distribución ilustrada mediante una interface gráfica que simula o imita el comportamiento del sistema real replicando las condiciones dinámicas de su operación.

La utilización de un modelo de simulación hidráulica es de gran ayuda en los siguientes procesos:

- Evaluación de la capacidad instalada de la red actual
- Definición de la red matriz
- Formulación de la sectorización.

Para identificar las obras complementarias necesarias para la optimización del sistema de acueducto del municipio de Aracataca se tienen en cuenta fundamentos teóricos relacionados con flujo, velocidad, presión, continuidad, energía, pérdidas menores, etc. El proceso de modelación hidráulica se lleva a cabo haciendo uso del programa EPANET del cual se procede hacer su respectiva presentación y posteriormente los conceptos teóricos más importantes.

### **13.1 PROGRAMA DE MODELACIÓN**

Los avances existentes en desarrollo de Software especializado en ingeniería de consulta, han posibilitado hoy en día, obtener mayor flexibilidad en la conceptualización básica y el posterior desarrollo de proyectos, agilizando el estudio de alternativas y mejorando sosteniblemente la calidad de la información requerida en los diseños.

Para las Empresas de Acueducto, una de las mayores dificultades que se presenta, es el tener que tomar decisiones que influyen en el funcionamiento de su sistema desde el punto de vista hidráulico, sin conocer exactamente la forma en que éste se verá afectado. Resoluciones sobre instalación de válvulas, construcción de nuevas redes matrices, cierre de tuberías, aislamiento de sectores, etc., suelen ser planeadas y ejecutadas sin tener un conocimiento exacto de las consecuencias que éstas van a tener sobre la totalidad de la red de distribución de agua. De esta forma se corre el riesgo de tener resultados imprevistos en el comportamiento de la red y/o cometer equivocaciones que redundan no solo en perjuicios económicos, sino también en una disminución en la calidad del servicio prestado.

Es por esto que se requiere el apoyo permanente de herramientas que le permitan evaluar el estado o funcionamiento operativo del sistema de acueducto y tomar decisiones operativas, constructivas y de mantenimiento en forma rápida y

acertada. Es así, que el diagnóstico operativo de las redes de distribución se ha realizado con la ayuda de herramientas computacionales de modelación hidráulica, para el caso específico, EPANET es un programa de ordenador, desarrollado por la U.S. EPA, que realiza simulaciones en período extendido (o cuasiestático) del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en redes de tuberías a presión. Una red puede estar constituida por tuberías, nudos (uniones de tuberías), bombas, válvulas y depósitos de almacenamiento o embalses. EPANET permite seguir la evolución del flujo del agua en las tuberías, de la presión en los nudos de demanda, del nivel del agua en los depósitos, y de la concentración de cualquier sustancia a través del sistema de distribución durante un período prolongado de simulación. Además de las concentraciones, permite también determinar los tiempos de permanencia del agua en la red y su procedencia desde los distintos puntos de alimentación.

EPANET ha sido diseñado como una herramienta de investigación para mejorar el conocimiento del movimiento y evolución de los constituyentes del agua en el interior de los sistemas de distribución. El módulo de calidad del agua de EPANET permite modelizar fenómenos tales como la reacción de los constituyentes en el seno del agua, la reacción con las paredes de las tuberías, y el transporte de masa entre las paredes y el fluido trasegado.

El programa EPANET es un simulador dinámico en período extendido para redes hidráulicas a presión compuesto por:

- Un módulo de análisis hidráulico que permite simular el comportamiento dinámico de la red bajo determinadas leyes de operación. Admite tuberías (tres opciones para el cálculo de las pérdidas), bombas de velocidad fija y variable, válvulas de estrangulación, reductoras, sostenedoras, controladoras de caudal, rotura de carga, depósitos de nivel fijo o variables, leyes de control temporales o por consignas de presión o nivel, curvas de modulación, etc.
- Un módulo para el seguimiento de la calidad del agua a través de la red. Admite contaminantes reactivos y no reactivos, cálculo de concentraciones, procedencias y tiempos de permanencia.

EPANET permite calcular:

- El caudal que circula por cada una de las conducciones,
- La presión en cada uno de los nudos,
- El nivel de agua en cada tanque,
- La concentración de diferentes componentes químicos a través de la red,
- El tiempo de permanencia del agua en las tuberías,
- La procedencia del agua en cada punto de la red.

## 13.2 PROCESO DE MODELACIÓN

El proceso de modelación hidráulica tiene varias etapas que se resumen en la introducción de parámetros de entrada, cálculo hidráulico y obtención de resultados.

### 13.2.1 Parámetros de entrada.

13.2.1.1 Caudal de diseño. Para un nivel de complejidad alto la aducción y conducción deben diseñarse en base al Caudal Máximo Diario (QMD) el cual es de 86.7 L/s.

13.2.1.2 Material de conducción. Los materiales utilizados en el sistema son:

- Policloruro de Vinilo – PVC
- Asbestos Cemento – AC
- Hierro Dúctil – HD
- Hierro Fundido – HF.

13.2.2 Escenarios. El programa de modelación permite la realización de escenarios de modelación que permiten comparar el sistema modelado con diferentes alternativas de funcionamiento. En este caso se configuraron 4 escenarios los cuales son:

13.2.2.1 Escenario existente. En este escenario se modelaron la PTAP nueva, el tanque elevado antiguo, el tanque elevado nuevo, todas las tuberías existentes, con sus respectivas válvulas tipo mariposa y las fugas existentes del sistema.

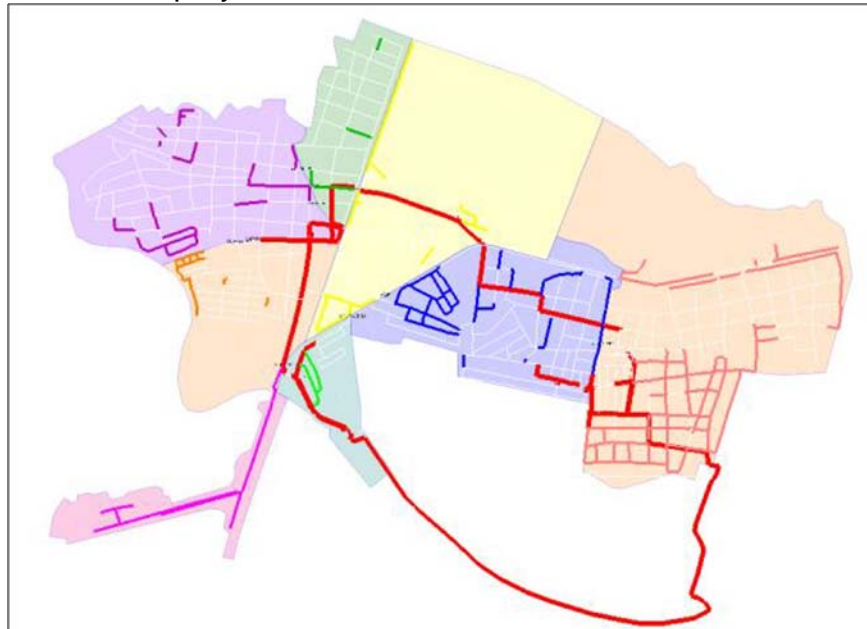
Figura 18. Escenario existente.



Fuente: Autores.

13.2.2.2 Escenario proyectado. En este escenario se modelaron la PTAP nueva, el tanque elevado nuevo y la red matriz, las redes de distribución de los diferentes sectores propuestos (8) con su respectiva conexión a la red matriz y válvula tipo mariposa. Se modeló una válvula de control de presión aguas arriba en la conexión del Sector Centro y Sector Raíces.

Figura 19. Escenario proyectado.



Fuente: Autores.

13.2.3 Información de Infraestructura. La información de infraestructura de los elementos hidráulicos de la línea de conducción se basa en la introducción de diferentes parámetros físicos propios para cada elemento o estructura. Estos parámetros comprenden:

- Tubería: diámetro, la longitud, el material y la rugosidad.
- Tanque Elevación Nuevo: área, elevación (base), nivel inicial, nivel mínimo y nivel máximo.
- Tanque Almacenamiento PTAP: área, sección, elevación (base), demanda de salida, elevación inicial, elevación mínima y elevación máxima.
- Válvulas de Mariposa: Diámetro, coeficiente de pérdidas, material, estado (abierta o cerrada) y elevación.
- Válvulas De Control de Presión Aguas Arriba: Diámetro, coeficiente de pérdidas, material, presión de control aguas arriba y elevación.

La construcción geométrica del modelo se realizó con base en el plano de Catastro de las Redes de Acueducto de Aracataca del 2014 y el plano topográfico existente del Municipio de Aracataca del cual se dibujó toda la tubería existente conectada a la nueva PTAP. Se asignaron nodos en los cambios de diámetro nominal de tubería o cambios de dirección en la misma, en accesorios y puntos intermedios de la red.

A continuación se presentan los datos de entrada utilizados para la alimentación del modelo:

- **Tanque PTAP:** La PTAP se modeló como un tanque que requiere a una elevación en la base de 45,98 msnm, con una elevación inicial de 47,00 msnm, una elevación mínima de 45,98 msnm y una elevación máxima de 48,98 msnm. El área de sección del tanque se modeló de 256 m<sup>2</sup> con sección No-Circular. (Aplica para todos los escenarios).

Tabla 18. Caudales de producción simulados en la PTAP.

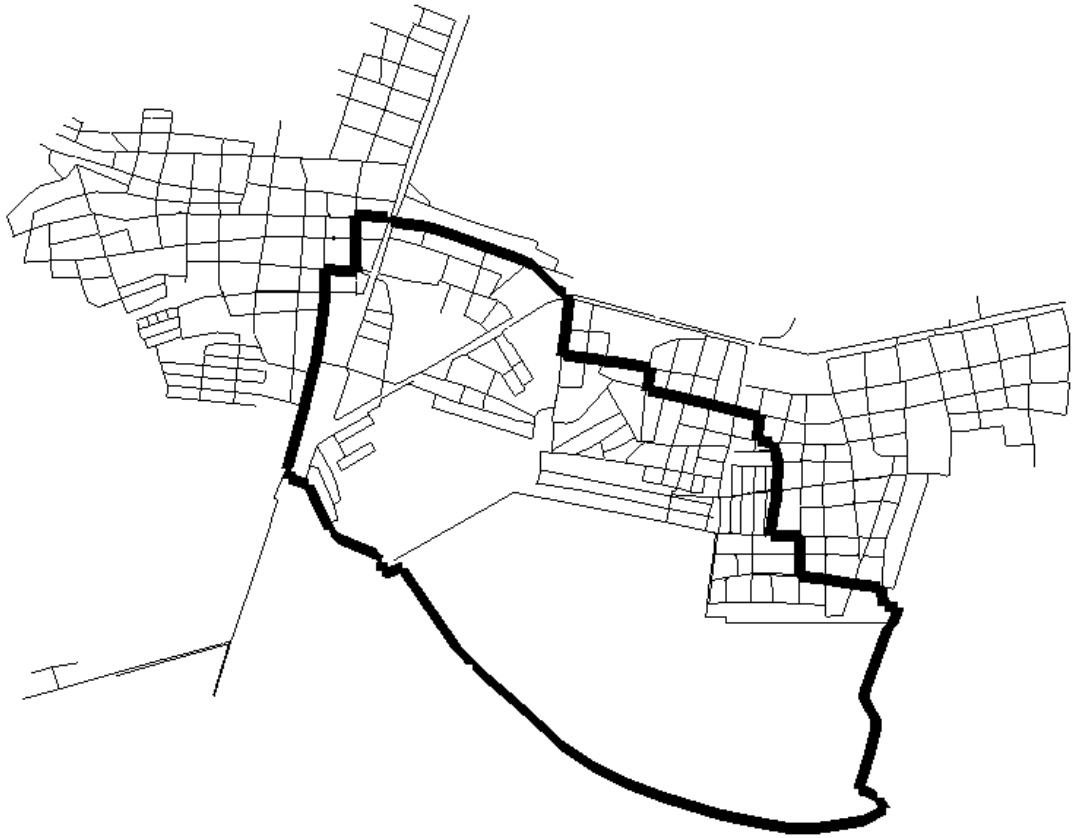
<b>Escenario</b>	<b>Producción de PTAP LPS</b>
Existente sin fugas sin obras a corto plazo	80
Existentes con fugas sin obras a corto plazo	80
Existentes sin fugas con obras a corto plazo	80
Proyectado	90

Fuente: IEH GRUCON S.A.

- **Tanque Elevado Viejo:** El tanque elevado se modeló como un tanque, en una elevación en la base de 47,20 m, con un nivel inicial de 65.43 m, un nivel mínimo de 65,44 m y un nivel máximo de 68,62 m. El área de sección del tanque se modeló de 56 m<sup>2</sup> con sección No-Circular. (No aplica para el escenario Proyectado).
- **Tanque Elevado Nuevo:** El tanque elevado se modeló como un tanque, en una elevación en la base de 56,22 m, con un nivel inicial de 26,00 m, un nivel mínimo de 23,84 m y un nivel máximo de 27,84 m. El área de sección del tanque se modeló de 98 m<sup>2</sup> con sección No-Circular. (Aplica para todos los escenarios).
- **Tuberías de Red Matriz:** La tubería de la red matriz planteada, está compuesta por tramos de tubería ya existentes de una longitud estimada de 8175 m, de diámetros que varían entre 6" y 12". Se completó la red matriz por medio de nuevos tramos de 8" de diámetro con una longitud estimada de 2126m.



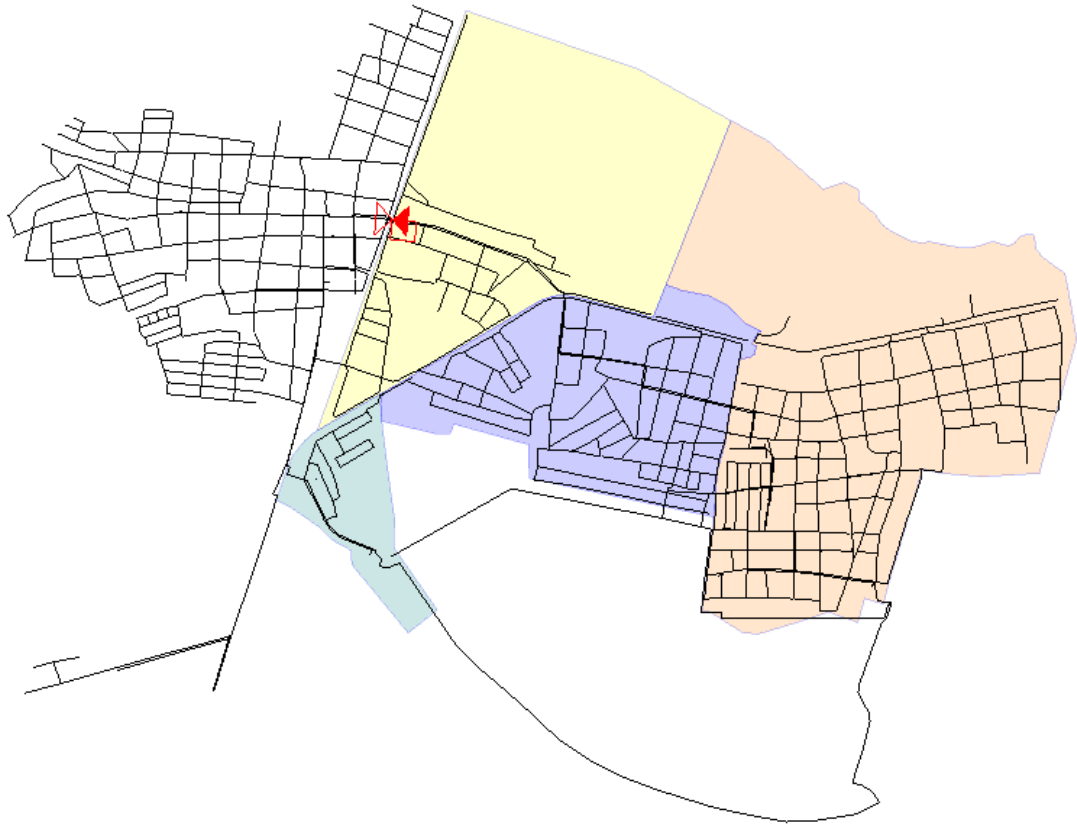
Figura 20. Esquema localización red matriz.



Fuente: Autores.

- Válvulas de Control de Presión Aguas Arriba: se utilizó una válvula PSV para mantener controlada la presión en la red matriz en los sectores 5, 6, 7 y 8. Se modeló en un diámetro de 6", a una elevación de 30.80 m, con un coeficiente de pérdida de 2,00 y una presión aguas arriba de 20 mca.

Figura 21. Esquema localización válvula PSV.



Fuente: Autores.

- Válvulas de Mariposa: Para los escenarios existentes se modelaron las válvulas existente como válvulas TCV tipo mariposa y los diámetros varían entre 3" y 12 ". En el caso del escenario proyectado se ubicaron válvulas TCV en los puntos que abastecen los diferentes sectores saliendo de la red matriz, en dos puntos como mínimo para cada sector y se colocaron otras en tubería que conecta sectores. Se modelo como válvula tipo mariposa, los diámetros varían entre 3" y 8".

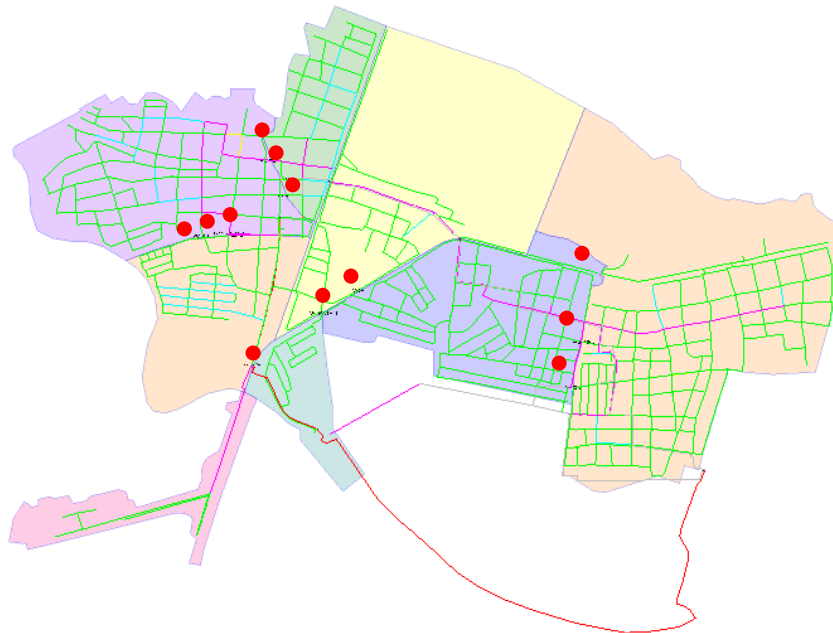
Figura 22. Esquemas localización válvulas TCV.



Fuente: Autores.

Las válvulas de cierre permanente se modelaron como válvulas TCV de tipo mariposa en estado "Cerrado".

Figura 23. Esquema localización de válvulas de cierre permanente.



Fuente: Autores.

## 14. CONCLUSIONES

Luego de realizar el proceso de recopilación de información, se llevó a cabo la identificación del estado actual de la red de distribución de agua potable del municipio de Aracataca, encontrando que tenía bastantes deficiencias en su funcionamiento. Dado lo anterior, se lograron identificar los parámetros que se tuvieron en cuenta para el planteamiento de la optimización de la red, como lo fueron la demanda y las presiones de servicio.

Se llevó a cabo un análisis de la demanda actual y proyectada, teniendo en cuenta los lineamientos dados por el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y los datos extraídos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE.

Se realizó una sectorización de la red actual del municipio con el fin de optimizar la red y generar presiones óptimas de servicio. Se trazó una red matriz compuesta por tubería existente con una longitud de 8200m y diámetros de Ø6" y Ø8" y una tubería proyectada con una longitud de 2150m y un diámetro de Ø8".

Se logró proponer un esquema de optimización hidráulica para el sistema de distribución de agua potable en el municipio, el cual fue desarrollado con el software EPANET. Se realizó la modelación hidráulica de la red evaluando el escenario actual y el escenario sectorizado.

Se realizó un análisis estadístico de las presiones de servicio, encontrando que es muy útil para la optimización de la red. Con este análisis pudimos observar que el escenario de optimización propuesto, proporciona a la red las presiones adecuadas que se ajustan a la necesidad actual del municipio y principalmente de los usuarios.

## BIBLIOGRAFÍA

ACODAL. Sectorización hidráulica [en línea]. Cali: Gerencia de Unidad Estratégica de Acueducto y Alcantarillado EMCALI [citado 06 Junio, 2013]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.acodal.com/docs/2%20%20PRESENTACION%20SECTORIZACION%20HIDRAULICA.pdf>>.

ALCALDÍA MUNICIPAL DE ARACATACA. Plan de Desarrollo Municipal 2012-2015 Municipio de Aracataca. Aracataca: Concejo Municipal 2012. 118 p.

AYUNTAMIENTO DE MADRID. Diagnóstico de sostenibilidad de la Ciudad de Madrid: Agenda 21 Local de Madrid. Madrid: Autor, 2012. 36 v.

COLOMBIA. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución número 2330, 30 de noviembre de 2009.

------. Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. 2 ed. Bogotá: Minvivienda, 2010. 480 p.

CONCEPTOS DE REDUCCIÓN Y CONTROL DE PERDIDAS, Y DE SECTORIZACIÓN DE REDES DE DISTRIBUCIÓN [en línea]. [Citado 06 Agosto 2014]. Disponible en Internet: <URL:[http://www.freewebs.com/mbuenfil/documentos\\_estudios/IMTA\\_6\\_control-perdidas.pdf](http://www.freewebs.com/mbuenfil/documentos_estudios/IMTA_6_control-perdidas.pdf)>.

GESTIÓN DE SERVICIOS [en línea]. [Citado 06 Agosto 2014]. Disponible en Internet: <URL: [http://itilv3.osiatis.es/estrategia\\_servicios\\_TI/gestion\\_demanda.php](http://itilv3.osiatis.es/estrategia_servicios_TI/gestion_demanda.php)>.

GOBERNACIÓN DE LA GUAJIRA. Gestión de demanda [en línea]. Riohacha: Hydrogest [citado Agosto 15, 2011]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.laguajira.gov.co/web/images/contrataciones/ESTUDIO%20JUAN%20CAMILO%20GIL%20RIOHACHA.pdf>>.

GOOGLE. Aracataca [en línea]. Bogotá [citado 06 Junio, 2013]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.google.es/maps/@10.6810827,-74.1717308,9z>>.

HATUM PONTON, Andres Felipe [et al.]. Estructuración y complementación del plan maestro del acueducto del municipio de Aracataca. Trabajo de grado. Ingeniero Civil. Santa Marta: Universidad del Magdalena. Programa de ingeniería Civil, 2013. 109 p.

PAVCO. Acueducto y redes de distribución [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 2006]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.pavco.com.co/5/acueducto-y-redes-de-distribucion/7/i/41>>.

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>>.

WASSER. Ingeniería del agua [en línea]. Madrid [Citado: agosto 15, 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.wasser.es/documentos.html>>.

Anexo A. Modelo hidráulico.

