

Realizar el Diagnóstico Técnico y Comercial General del Sistema de Acueducto del  
Municipio de Moniquirá (Boyacá)

Fabian Eduardo Reyes Rivera

Trabajo de Grado para Optar el título de Ingeniero Civil

Director

Sergio Alonso Anaya Estevéz

Magister en Tecnologías de la Información Geográfica.

Maestrando en Gestión de Ciencia, Tecnología e Innovación

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

Año 2020

### **Dedicatoria**

A Dios, quien me ha brindado salud, sabiduría y fortaleza cuando lo he necesitado permitiéndome compartir con personas maravillosas a lo largo de mi vida y quienes han aportado tanto en mi desarrollo personal como profesional.

A mi madre y mi hermana quienes en estos años de vida me han motivado, alentado y apoyado incondicionalmente para cada día superarme como persona, haciendo grandes esfuerzos para que pudiese recibir educación superior y hoy día con orgullo adquirir el título de Ingeniero Civil.

A mis compañeros de estudio con quienes compartí incontables momentos de alegría, en algunos casos tristezas, de quienes pude aprender y conocer otros puntos de vista durante los años de estudio y a quienes guardo un gran aprecio y solo me queda agradecer por su amistad porque son excelentes personas y profesionales.

A mis amigos de toda una vida, aquellos que han estado incondicionalmente, aquellos con quienes crecí, y que motivo para que sigan cumpliendo sus sueños y muy pronto también sean profesionales, pero por encima de todo, no dejen de crecer como personas.

### **Agradecimientos**

A la Universidad Industrial de Santander por acogerme en estos años de estudio brindando una excelente calidad de educación, y de la cual me siento orgulloso por formar parte de ella.

A mi director de trabajo de grado por su acompañamiento en este proceso, quien considero una gran persona, profesional y docente buscando siempre superarse y compartir sus conocimientos.

A la Empresa de Servicios Públicos de Moniquirá S.A. por su colaboración y entera disposición para la realización del proyecto de grado.

**Tabla de Contenido**

	Pág.
Introducción.....	14
1. Objetivos.....	16
1.1. Objetivo General.....	16
1.2. Objetivos Específicos .....	16
2. Marco Teórico .....	17
2.1. Marco Referencial .....	17
3. Metodología.....	18
3.1. Recopilación y revisión de información.....	19
3.1.1. Recopilación de información: .....	19
3.1.2. Revisión de la información obtenida:.....	20
3.2. Revisión del estado de funcionamiento .....	20
3.2.1. Análisis técnico .....	20
3.2.2. Análisis comercial .....	20
3.3. Creación de un modelo hidráulico.....	22
3.3.1. Parámetros del Modelo Hidráulico .....	23
3.3.2. Esquema de la red .....	24
3.3.3. Asignación de atributos elementos del modelo hidráulico.....	29
4. Resultados.....	30
4.1. Diagnóstico.....	30
4.1.1. Revisión del estado de la información .....	30
4.1.2. Análisis técnico .....	30
4.1.3. Análisis comercial .....	35
4.2. Modelo hidráulico de la red.....	39
4.2.1. Modelo hidráulico sin elementos reguladores de presión .....	39
4.2.2. Modelo hidráulico inicial .....	40
4.3. Estrategias para la gestión integral de redes.....	41

4.3.1.	Regulación de presión en la red .....	41
4.3.2.	Sectorización .....	43
4.3.3.	Actualización información .....	44
4.3.4.	Registro de daños .....	44
4.4.	Estrategias control pérdidas comerciales.....	46
4.4.1.	Detección pérdidas por micromedición:.....	46
4.4.2.	Detección pérdidas por conexiones fraudulentas .....	47
4.5.	Propuestas de instalación de elementos de la red. ....	47
4.5.1.	Instalación válvulas .....	47
4.5.2.	Instalación Hidrantes .....	48
4.5.3.	Instalación Macromedidores .....	49
	Conclusiones.....	49
	Referencias Bibliográficas.....	51

**Lista de Tablas**

Tabla 1. Discriminación de la tubería por material.....	30
Tabla 2. Consumo cero por suscriptor. Año 2018. ....	36
Tabla 3. Frecuencia consumo consecutivo repetido mayor a 0. Año 2018. ....	37
Tabla 4. Consumo menor a $0.2 \cdot \text{Dotación neta máxima por suscriptor}$ .....	38
Tabla 5. Consumo menor a $0.5 \cdot \text{promedio consumo}$ . ....	38
Tabla 6. Daños registrados en la bitácora. ....	45
Tabla 7. Registro de ubicación de daños. ....	46
Tabla 8. Categorización de válvulas necesarias en la red de distribución. ....	48

**Lista de Figuras**

Figura 1. Cuadro de información solicitada como base para la realización del proyecto. ....	19
Figura 2. Procedimiento para crear un modelo hidráulico.....	23
Figura 3. Capa tubería Red acueducto. ArcGIS.....	24
Figura 4. Esqueleto red acueducto. (EPANET).....	25
Figura 5. Patrón demanda empleado.....	26
Figura 6. Esquema malla vial del municipio de Moniquirá (Boyacá). ....	28
Figura 7. Cuadro ejemplo estructuración de direcciones.....	28
Figura 8. Cuadro de la información de la estructura geocoding de direcciones. ....	28
Figura 9. Visualización usuarios localizados.....	29
Figura 10. Gráfico de proporción de tubería por diámetro y material. ....	31
Figura 11. Distribución de tuberías en el plano por material.....	31
Figura 12. Localización válvulas en la red. ....	32
Figura 13. Localización de hidrantes. ....	33
Figura 14. Localización micromedidores dañados. ....	34
Figura 15. Consumo cero facturado por mes. Año 2018. ....	35
Figura 16. Gráfica de análisis por bloques de consumo. ....	39
Figura 17. Análisis hidráulico de la red sin válvulas. ....	40
Figura 18. Análisis hidráulico de la red con válvulas existentes reguladoras de presión. ....	41
Figura 19. Presión normalizada. ....	42
Figura 20. Sectorización. ....	43
Figura 21. Propuesta ubicación Hidrantes. ....	48

Figura 22. Propuesta ubicación macromedidores. .... 49

### **Lista de Apéndices**

(Los apéndices están adjuntos en el CD y pueden visualizarlos en la base de datos de la  
Biblioteca UIS)

Apéndice A. Plano base de la infraestructura física de la red.

Apéndice B. Esquema de la red en EPANET.

Apéndice C. Procedimiento de localización espacial de suscriptores.

Apéndice D. Procedimiento de asignación de atributos del modelo hidráulico.

Apéndice E. Evaluación del estado de la información.

Apéndice F. Comportamiento primer modelo hidráulico.

Apéndice G. Comportamiento modelo hidráulico red preliminar.

Apéndice H. Procedimiento de regulación de presión en la red.

Apéndice I. Cambios en el modelo hidráulico preliminar para regular la presión.

Apéndice J. Comportamiento de la red con presión normalizada.

Apéndice K. Sectorización y manejo de válvulas.

Apéndice L. Características de los sectores.

Apéndice M. Ubicación válvulas.

Apéndice N. Ubicación hidrantes.

Apéndice O. Ubicación macromedidores.

## Resumen

**Título:** Realizar el diagnóstico técnico y comercial general del sistema de acueducto del municipio de Moniquirá (Boyacá).\*

**Autor:** Fabian Eduardo Reyes Rivera \*\*

**Palabras clave:** Pérdidas técnicas y comerciales, Estrategias de reducción del IANC, Modelo hidráulico en EPANET, Red acueducto ArcGIS.

### Descripción:

Dado el nivel de complejidad, dificultad de operación y mantenimiento que puede adquirir un sistema de distribución de agua potable, junto con las condiciones actuales de los acueductos municipales de Colombia, donde hay baja implementación de herramientas tecnológicas y actualización de los métodos empleados por las empresas de acueducto para facilitar el control de la red, se realiza un diagnóstico técnico y comercial del municipio de Moniquirá - Boyacá, donde se determine el estado actual de funcionamiento con base en la información atributiva de la infraestructura física y los registros de consumo facturado, como parámetros base en el proceso de plantear estrategias operacionales derivadas del uso de los Sistemas de Información Geográfica (GIS) y software especializado de análisis hidráulico (EPANET), que permita generar un modelo computacional que represente el comportamiento hidráulico de la red de distribución. Esto, a fin de evidenciar las ventajas de hacer uso de este tipo tecnologías y el concepto de “Gestión integral de redes”, como herramientas para proponer acciones de control en la red como en la toma de decisiones siendo una solución ante la necesidad de un manejo y operación eficiente de la red que propenda por la reducción del índice de agua no contabilizada (IANC).

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director Sergio Alonso Anaya Estevéz.

### Abstract

**Title:** Perform the general technical and commercial diagnosis of the aqueduct system of the municipality of Moniquirá (Boyacá).\*

**Author:** Fabian Eduardo Reyes Rivera \*\*

**Key Words:** Technical and commercial losses, IANC reduction strategies, Hydraulic model in EPANET, ArcGIS aqueduct network.

### Description:

Given the level of complexity, difficulty of operation and maintenance that a potable water distribution system can acquire, along with the current conditions of the Colombian municipal aqueducts, where there is low implementation of technological tools and updating of the methods used by companies of aqueduct to facilitate the control of the network, a technical and commercial diagnosis of the municipality of Moniquirá - Boyacá is made, where the current state of operation is determined based on the attribute information of the physical infrastructure and the records of invoiced consumption, such as base parameters in the process of proposing operational strategies derived from the use of Geographic Information Systems (GIS) and specialized hydraulic analysis software (EPANET), which allows generating a computational model that represents the hydraulic behavior of the distribution network. This, in order to demonstrate the advantages of making use of this type of technologies and the concept of “Integral network management”, as tools to propose control actions in the network as in decision making being a solution to the need for a efficient management and operation of the network that is propelled by the reduction in the index of water not accounted for (IANC).

---

\* Bachelor Thesis

\*\* Faculty of Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director Sergio Alonso Anaya Estevéz.

## Introducción

El recurso hídrico apto para el consumo (Agua potable), debe ser suministrado a toda población, razón por la cual son creadas las empresas de acueducto, encargándose de llevar a cabo la adecuada prestación del servicio, garantizando la potabilización, abastecimiento, operación, y mantenimiento de las redes de distribución y elementos asociados, además de recaudar un rublo por el consumo de este, el cual está enfocado para mantener el sistema en las mejores condiciones a fin de cumplir la normativa del país y mantener las pérdidas de la red por debajo del 25% (Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS, 2000)).

(Yamijala, Guikema, & Brumbelow, 2009) señala que, por sus características topológicas, las empresas de acueductos ya sean públicas o privadas están expuestas a pérdidas técnicas y comerciales, razón por la que el deterioro de las tuberías en los sistemas urbanos de distribución de agua presenta un gran desafío en todo el mundo. No obstante, todo el proceso de localización de fugas puede requerir largos períodos de tiempo (es decir, semanas, meses) con un volumen importante de agua perdido antes de que esta sea detectada (Pérez et al., 2011).

La gestión integral de redes es un concepto cuyo enfoque facilita la toma de decisiones a partir de la implementación de software; Por lo que empresas pioneras han dedicado esfuerzos para emplear este tipo de tecnologías, facilitando el control de la red de distribución de agua, lo cual es un factor importante ya que la automatización y digitalización permite manipular gran cantidad de información de forma dinámica (Anaya, 2015).

Kleiner y Rajani (como se citó en (Rahman, Devera, & Reynolds, 2014) indica que, el mantenimiento y operación de los sistemas de distribución de agua representa aproximadamente el 80% de todos los fondos de capital invertidos en la infraestructura de suministro de agua de una ciudad. Siendo así, de interés a cualquier empresa de acueducto ya sea pública o privada reducir estos porcentajes que a fin de cuentas se representa en costos.

Debido a la complejidad que puede tener el sistema de distribución de agua y la dificultad para controlar las fugas por su difícil detección, se quiere realizar un diagnóstico de la red de acueducto del municipio de Moniquirá (Boyacá), donde se determine sí a partir del planteamiento de estrategias derivadas del uso de la modelación hidráulica y los Sistemas de Información Geográfica, se pueden gestionar las pérdidas técnicas y comerciales en una red de distribución de agua.

De manera que este proyecto es un enfoque para el mejoramiento en el control de pérdidas técnicas y comerciales en los acueductos municipales, permitiendo optimizar el uso del recurso hídrico, el cual es vital y debemos cuidar ante los efectos producidos por el cambio climático como el desabastecimiento en temporadas secas debido a las altas temperaturas y falta de lluvias.

## **1. Objetivos**

### **1.1. Objetivo General**

Realizar un diagnóstico general técnico y comercial de la red de acueducto del municipio de Moniquirá, a partir del uso de Sistemas de Información Geográfica y modelos hidráulicos de las redes de distribución de agua

### **1.2. Objetivos Específicos**

Recopilar información técnica y comercial existente sobre la red de acueducto del municipio de Moniquirá y evaluar el estado actual de funcionamiento.

Generar una representación computacional preliminar de la infraestructura física de la red de acueducto mediante el uso de software especializado.

Plantear estrategias operacionales orientadas a la gestión integral de redes en la red de acueducto del municipio de Moniquirá, Boyacá.

## 2. Marco Teórico

### 2.1. Marco Referencial

La Red local de acueducto es el conjunto de tuberías y accesorios que conforman el sistema de suministro del servicio público de acueducto a una comunidad llevando agua potable, la cual debe cumplir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos, en las condiciones señaladas en el Decreto 1575 y resolución 2115 del año 2007, según la constitución política de Colombia y que puede ser consumida por la población humana sin producir efectos adversos a la salud (RAS, 2000).

Como se ha venido enfocando, en la red de acueducto se presentan fugas por accidentes en la operación, tales como rotura o fisura de tubos, rebose de tanques, o fallas en las uniones entre las tuberías y los accesorios. Siendo estas detectadas o cuantificadas al comprar los sistemas de macromedición (medición caudal a la salida de PTAP) y los sistemas de micromedición (medición consumo por usuario) (RAS, 2000). Logrando totalizar las pérdidas y representar en el índice de agua no contabilizada, el cual se considera un indicador que incluye la pérdida técnica, la pérdida no-técnica y el consumo legal no-facturado. Haciendo parte estos dos últimos componentes de la llamada pérdida comercial (CRA, 2007).

Las pérdidas comerciales son aquellas relacionadas con el funcionamiento comercial y técnico de la empresa prestadora del servicio (UNAD, 2014)., puede ser ocasionada, por conexiones clandestinas y la imprecisión de los medidores que registran los consumos de los usuarios; por otra parte, las pérdidas técnicas corresponden a los volúmenes de agua que se pierden como consecuencia de fallas en la infraestructura física instalada (fisuras, roturas y

filtraciones), siendo causadas por numerosos factores. Estas pérdidas someten el sistema a un riesgo con consecuencias económicas y sociales que se pueden generar como resultado de los daños o la pérdida de función de un sistema durante un tiempo de exposición definido y se expresa matemáticamente, como la probabilidad de exceder una pérdida en un sitio y durante un lapso determinado, resultado de relacionar la vulnerabilidad del sistema y la amenaza a la cual se encuentra sometido (RAS, 2000).

Dada esta problemática, y a partir de la gestión integral de redes la cual es un conjunto de estrategias y metodologías que optimizan todos los procesos operativos, basado en suficiente información para dar respuesta a las necesidades actuales y a los acontecimientos futuros (Anaya, 2015). Se pueden controlar de forma más eficiente el sistema y mitigar las pérdidas del sistema.

### **3. Metodología**

Procedimiento el cual a partir de análisis y refinamiento de información, permite diagnosticar el estado actual de la red desde los aspectos técnicos y comerciales, generar una representación computacional de la infraestructura física de acueducto junto con un análisis de comportamiento de presiones en la red (modelo hidráulico), para finalmente proponer estrategias operacionales orientadas a la gestión integral de redes, a fin de controlar y reducir las pérdidas técnicas y comerciales de la red de acueducto con base en la información que posee la Empresa de Servicios Públicos de Moniquirá S.A. ESP.

### 3.1. Recopilación y revisión de información.

**3.1.1. Recopilación de información:** Proceso realizado a partir de dos fuentes, siendo la Empresa de servicios públicos de Moniquirá S.A. ESP y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), los actores y entes descentralizados que administran y establecen los protocolos de accesibilidad a la información consignada en la Figura 1, la cual es parte fundamental en el desarrollo de un diagnóstico que permita proponer soluciones a la problemática presentada.

En el caso de la Empresa de servicios públicos de Moniquirá S.A. ESP, se realizaron reuniones con el gerente, siendo este el principal representante y autoridad de esta entidad, a fin de exponer los objetivos del proyecto y lograr el aval para acceder a la información solicitada.

Dado que el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), es una entidad gubernamental, la información fue obtenida accediendo a su página web oficial <https://geoportal.igac.gov.co> y siguiendo la ruta de búsqueda “Contenido -datos abiertos - Catastro - Capas de información geográfica individuales - Cobertura nacional”.

Entidad	Información Requerida
ACUEDUCTO	Catastro de Usuarios.
	Catastro de redes.
	Registro de consumo año 2018.
	Registro de daños.
	Información micromedidores.
	Información macromedidores.
	Registro de presiones.
	Topografía.
IGAC	Nomenclatura vial.
	Nomenclatura Domiciliaria.
	Catastro Urbano

Figura 1. Cuadro de información solicitada como base para la realización del proyecto.

**3.1.2. Revisión de la información obtenida:** Evaluación cualitativa de la información a fin de evidenciar las condiciones actuales de manejo por parte de la Empresa de Servicios Públicos de Moniquirá S.A ESP, tomando criterios de calificación basados en el medio en que se recibe, el tipo de documento, el estado de la información (Organizada, actualizada, completa) y el cumplimiento de las características mínimas para ser empleados en el diagnóstico técnico y comercial general, como en la elaboración de un modelo hidráulico y estrategias operacionales de la gestión integral de redes siendo catalogada como (Excelente, buena, regular, mala).

### **3.2. Revisión del estado de funcionamiento**

**3.2.1. Análisis técnico:** Revisión de la infraestructura física de la red de distribución con el objeto de establecer las condiciones en que se encuentra la información atributiva de los diferentes elementos físicos de la red (tuberías, válvulas, hidrantes, e instrumentos de medición). Este proceso se lleva a partir del plano base (Anexo A).

**3.2.2. Análisis comercial:** Realizar procesos estadísticos y de análisis de datos con base en el registro de facturación del año 2018, a fin de identificar posibles anomalías que se estén presentando en el consumo facturado y puedan relacionarse con los elementos de micromedición. Por esta razón, se establecen como parámetros de estudio los consumos facturados equivalentes a cero, los consumos repetitivos consecutivos, revisión de posible consumo submedido y un análisis por bloques de consumo.

3.2.2.1. *Consumo cero facturado*: Revisión del porcentaje mensual y el número de meses que los suscriptores registra dicho valor para determinar posibles anomalías directamente relacionadas con los elementos de micromedición.

3.2.2.2. *Consumo repetido consecutivo facturado*: Conteo del número de registros mayores a cero que se presentan repetitivamente en la facturación de cada uno de los suscriptores, como medida para seleccionar los usuarios críticos a los que se debe realizar posteriores investigaciones de las causas y tomar acciones de control.

3.2.2.3. *Consumo Submedido*: Análisis basado en la suposición de dos parámetros discriminatorios que permiten identificar aquellos suscriptores cuyo valor de consumo facturado mensual puede estar siendo submedido y por ende requieren revisión por parte del acueducto para comprobar si realmente es el caso y así tomar las acciones pertinentes.

- El primer parámetro consiste en contar la cantidad de consumos facturados por suscriptor que son menor a la mitad de su consumo promedio.
  - El segundo parámetro consiste en revisar aquellos suscriptores cuyos consumos facturados son menores al 20% de la dotación neta máxima por suscriptor.
- Cálculo Dotación neta máxima por suscriptor: Como se estipula en (Resolución 0330, 2017), para el municipio de Moniquirá, que se encuentra ubicado a 1700 m.s.n.m. (Alcaldía de Moniquirá, 2020), la dotación neta máxima por habitante corresponde a 130 [L/hab\*día], siendo equivalente a 3.9 [m<sup>3</sup>/hab\*mes]. Con base en el último censo realizado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2020) se registra en

promedio 3.1 habitantes por vivienda. Por tanto, la dotación neta máxima por suscriptor corresponde a:

$$Dot_{neta\ máx} = 3.9 * 3.1 = 12.09 \left[ \frac{m^3}{mes} \right]$$

3.2.2.4. *Análisis por bloques de consumo*: Es un diagrama que permite realizar un análisis global relacionando los suscriptores y el volumen promedio facturado, mediante una categorización por grupos de consumo.

### 3.3. Creación de un modelo hidráulico

Es la simulación gráfica computacional de la red de distribución del sistema de acueducto que representa el comportamiento hidráulico, teniendo en cuenta las condiciones existentes de infraestructura, geografía y demanda de agua del municipio de Moniquirá, Boyacá. Este proceso de creación del modelo hidráulico ha sido resumido en el esquema de la Figura 2, donde a groso modo se muestran las etapas necesarias para poder obtener una representación preliminar empleando los Sistemas de Información Geográfica (ArcGIS) y software especializado de modelación Hidráulica (EPANET).

Dado que cada uno de los procesos mostrados están compuestos por subprocesos, es necesario ahondar en los procedimientos internos realizados a fin de brindar un panorama más completo de la forma como se generó el modelo hidráulico.

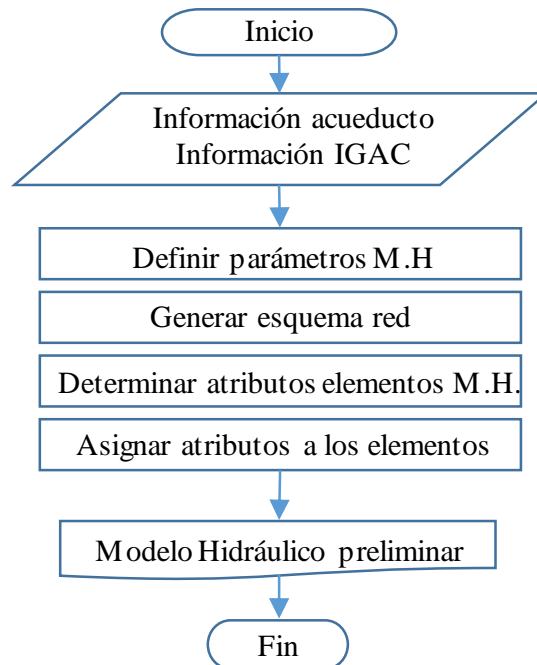


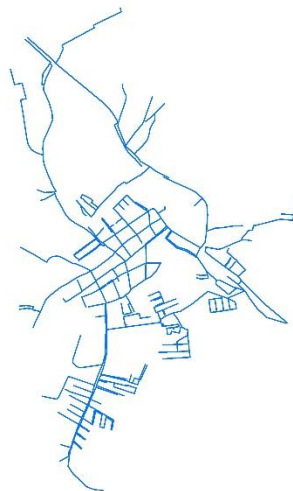
Figura 2. Procedimiento para crear un modelo hidráulico.

**3.3.1. Parámetros del Modelo Hidráulico:** Defina los lineamientos del modelo hidráulico (unidades, ecuación de pérdidas, periodo de análisis) y las características de los componentes de la red (Tuberías, nodos y fuente de abastecimiento), dado que son los requisitos mínimos para generar un modelo hidráulico.

- Unidades: Se debe determinar las unidades de trabajo para que los valores de los datos asignados correspondan a las unidades de cálculo del sistema.
- Ecuación de pérdidas: Método de cálculo para las pérdidas del sistema por fricción en las tuberías y elementos de la red.

- Periodo de análisis: Lapso en el cual se quiere analizar el comportamiento de presiones en la red de acueducto. En este caso corresponde a 24 horas por que el acueducto posee suministro continuo del servicio de agua potable.
- Características de los componentes de la red: Información atributiva que indica las propiedades de tuberías (Diámetro, material, rugosidad), nodos (Cota, demanda base, patrón de demanda), válvulas (Diámetro, tipo de válvula, consigna) y fuente de abastecimiento (Corresponde al elemento que representa en este caso la PTAP y simula el suministro de agua al sistema).

**3.3.2. Esquema de la red:** En este ítem tomamos la información existente de la infraestructura de la red (Plano base), que está representado en AutoCAD (Software de dibujo asistido por computadora), y mediante el aprovechamiento de las ventajas de ArcGIS (Software de Sistemas de Información Geográfica), a la cual se realiza el procedimiento indicado en el Anexo B, obteniendo la red representada en la Figura 3 y el esquema de la red de acueducto con sus nodos como se muestra en la Figura 4.



*Figura 3.* Capa tubería Red acueducto. ArcGIS.



Figura 4. Esqueleto red acueducto. (EPANET).

Cabe resaltar la importancia de dividir las líneas de tubería que se interceptan gráficamente en los puntos que se consideran nodos de la red, para posteriormente no presentar problemas en la creación del modelo hidráulico.

#### ***3.3.2.1. Características asignadas directamente en EPANET***

- Fuente de abastecimiento: se define su localización, se asigna la cota correspondiente y se conecta a la red.
- Patrón de demanda: Esta curva representa el comportamiento de consumo en la red durante el día, siendo un factor multiplicador de la demanda base. Dado que Empresa de Servicios Públicos de Moniquirá S.A. ESP, no cuenta con información de la curva patrón asociada al consumo del municipio, se emplea para el proceso de análisis hidráulico en

periodo extendido la curva patrón de la Figura 5, la cual corresponde a la demanda de Bucaramanga.

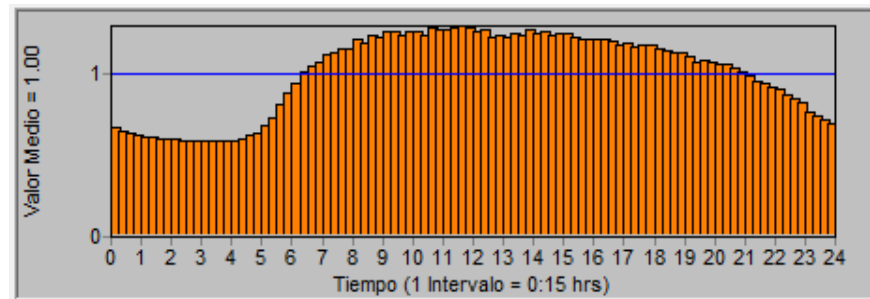


Figura 5. Patrón demanda empleado.

- Incorporación de válvulas: Este proceso es tal vez el más dispendioso, dado que se debe hacer manualmente la inserción de las válvulas teniendo en cuenta la dirección, y las características que posee cada una.

### 3.3.2.2. Características determinadas con uso de ArcGIS.

#### 3.3.2.2.1. Atributos de la tubería

- Longitud: Característica de cada tramo de tubería el cual corresponde a la distancia entre nodos de tubería del sistema, siendo determinada a partir de las propiedades de cada elemento.
- Diámetro: Asignación manual a cada elemento de la red junto con el material. Se obtiene a partir del plano base.
- Rugosidad: Dato asignado que está en función del material asignado en la tabla de atributos de la capa de tuberías.

#### 3.3.2.2.2. *Atributos de los nodos*

- Cota nodos: Dato calculado con base en las curvas de nivel del municipio, las cuales se obtuvieron de un levantamiento topográfico realizado previamente por la Empresa de Servicios Públicos de Moniquirá S.A ESP. El proceso consiste en asignar el valor de la curva de nivel más cercana a cada nodo. La efectividad de este proceso está en función del nivel de detalle del levantamiento topográfico.
- Demanda base: La demanda base corresponde a la suma de consumo de los suscriptores asociados a cada nodo, siendo necesario la localización espacial de los suscriptores de manera que puedan ser asignados los valores de consumo a los nodos de la red.

Dada la cantidad de suscriptores de la red y su difícil localización, por medio de ArcGIS se emplea un geocoding de direcciones el cual requiere la creación de una capa denominada malla vial (Figura 6), la cual está conformada con información de la nomenclatura vial del municipio debidamente estructurada en su tabla de atributos, de manera que la ubicación de los suscriptores espacialmente se realiza automáticamente a partir del registro de catastro de usuarios.

Cabe destacar que el catastro de usuarios debe poseer una adecuada estructuración de la nomenclatura domiciliaria como se muestra en la Figura 7, al igual que el geocoding empleado en el proceso de localización de usuarios posee la estructura definida de la Figura 8, siendo estos los parámetros empleados para la ubicación espacial los suscriptores, permitiendo localizarlos espacialmente en la malla vial como se observa en la Figura 9.



Figura 6. Esquema malla vial del municipio de Moniquirá (Boyacá).

Dirección	Calle 15, Carrera 11 - 18	
Tipo	Calle	CLL
Nombre	15	15
Tipo Prefijo	Carrera	CR
Nombre Prefijo	11	11
Id Vivienda	18	18
Dirección estructurada		CLL 15 # 11-18

Figura 7. Cuadro ejemplo estructuración de direcciones.

Longitud	Longitud en la que se ubican los suscriptores	
Tamaño ID viviendas	left (1-99) Impares	Right (0-100) Pares
Desplazamiento lateral respecto a la malla vial	3 [m]	
Municipio	Moniquirá	
Dato entrada	Dirección	CLL 15 # 11-18
Dato salida	Coordenadas (X, Y) de la ubicación	

Figura 8. Cuadro de la información de la estructura geocoding de direcciones.



*Figura 9.* Visualización usuarios localizados.

El proceso de ubicación de suscriptores se realizó conforme se especifica en el Anexo C, siendo posible localizar el 70% de los suscriptores del catastro de usuarios, los cuales tienen su nomenclatura domiciliar completa, siendo posible estructurarla. El 30% restante de suscriptores no fue localizado por varias razones entre ellas, nomenclatura incompleta, sin nomenclatura o malla vial desactualizada a causa de urbanizaciones de las que no se tiene registro de su nomenclatura vial.

**3.3.3. Asignación de atributos elementos del modelo hidráulico:** Finalmente se debe asignar los atributos a los elementos del esquema de la red, el cual se realizó conforme se expresa en el Anexo D, para así tener completo el modelo hidráulico.

## 4. Resultados

### 4.1. Diagnóstico

**4.1.1. Revisión del estado de la información:** El proceso de revisión del estado de la información arroja buenos resultados como se muestra en el Anexo E, donde a partir de una descripción se detalla la razón por la que se otorga dicha valoración cualitativa a los documentos obtenidos.

#### 4.1.2. Análisis técnico

- Tuberías: La información atributiva permite determinar únicamente características asociadas al diámetro y material de la tubería, dejando por fuera información importante como la fecha de instalación, relación diámetro espesor (RDE) y rugosidad de la tubería. Sin embargo, el análisis de la información existente permitió determinar su proporción en la red a partir del material conforme se muestra en la Tabla 1, su localización espacial como se muestra en la Figura 10 y su distribución por material según el diámetro de tubería.

Tabla 1.

*Discriminación de la tubería por material.*

Material	Longitud [m]	Proporción [%]
Asbesto cemento	3598.96	11.42%
PVC	27924.86	88.58%

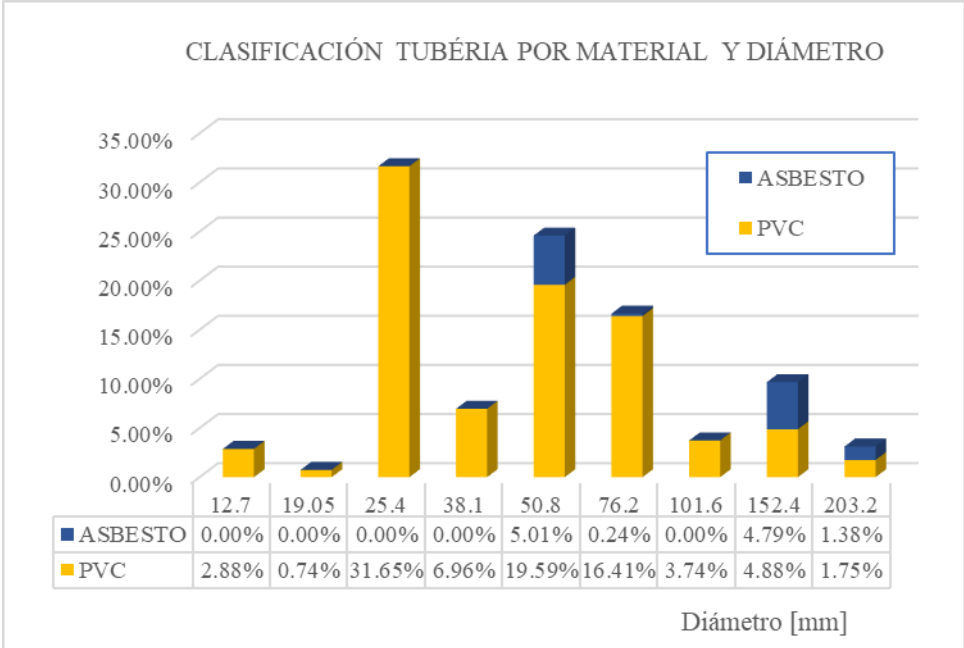


Figura 10. Gráfico de proporción de tubería por diámetro y material.

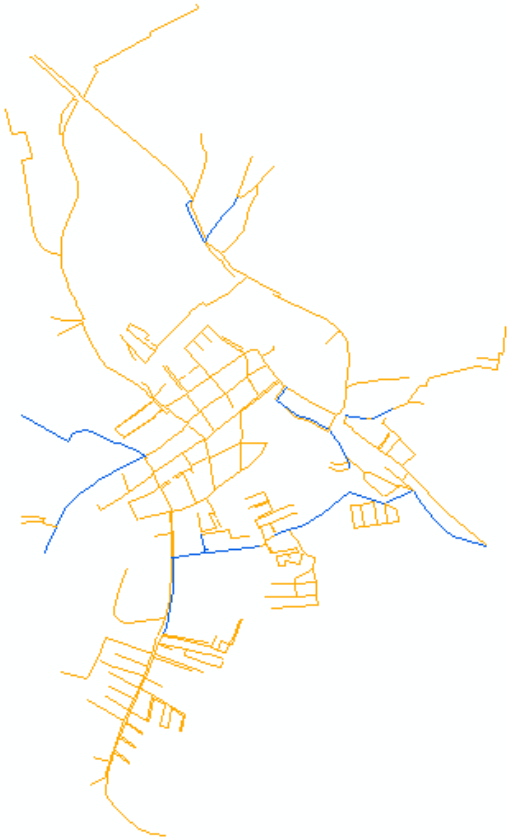
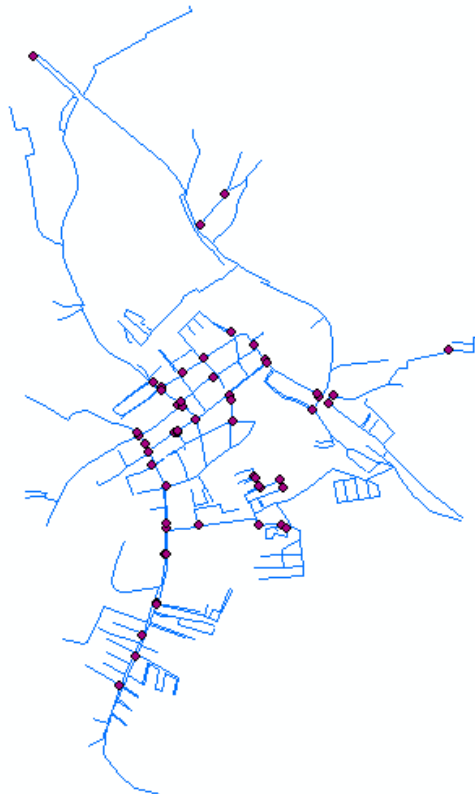


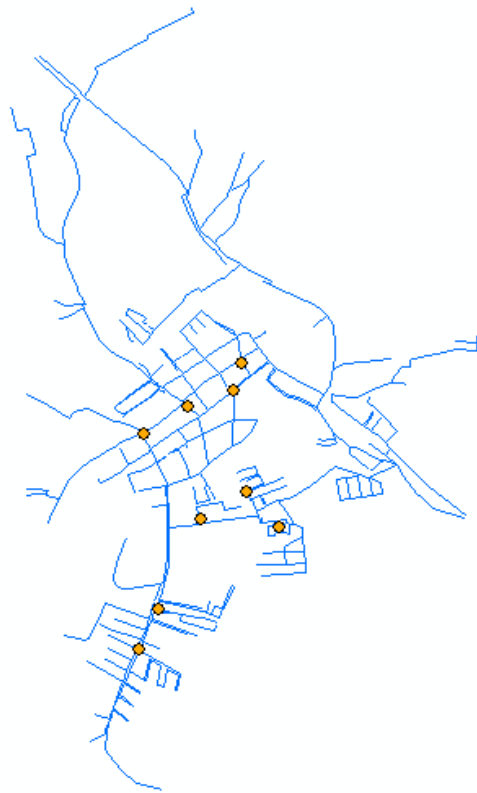
Figura 11. Distribución de tuberías en el plano por material.

- Válvulas: Elementos sin información referente a diámetro, tipo de válvula, material y fecha de instalación, por lo que se determina control de la información atributiva casi nulo, siendo solo posible conocer su ubicación en el plano base de la infraestructura física de la red, donde hay 54 válvulas representadas y distribuidas como se observa en la Figura 12.



*Figura 12.* Localización válvulas en la red.

- Hidrantes: La red cuenta con 9 hidrantes representados como se observa en la Figura 13, de los cuales no se tiene ninguna información atributiva referente al color del hidrante, caudal máximo, fecha de instalación. Se destaca que algunos de ellos no cumplen la distancia máxima entre hidrantes como se especifica en (Resolución 0330, 2017), razón por la que no están en cumplimiento de la normativa vigente.



*Figura 13.* Localización de hidrantes.

- **Macromedidores:** El sistema de acueducto no posee macromedidores en la salida de los tanques de distribución, ni en ningún punto de la red de tuberías, y con solo un macromedidor ubicado en la entrada de la planta de tratamiento de agua potable, se infiere falta de sectorización y deficiencia en el control de las pérdidas técnicas y comerciales por la falta de instrumentos de medición.
- **Medidores de presión:** La red de acueducto no cuenta con instrumentos y/o elementos que permiten el registro de datos presión en distintos puntos de la red de distribución, por tanto, no se puede conocer actualmente el comportamiento de presión en la red de distribución, y se está incumpliendo la normativa vigente (Resolución 0330,2017).

- Micromedidores: El acueducto no posee registro de las características de los micromedidores instalados desconociendo su diámetro, marca y fecha de instalación, razón por lo que se observa falta de control en estos instrumentos de medición, con el agravante de falta de acciones de mantenimiento y reposición de micromedidores, dado que actualmente se estiman por parte de la empresa de acueducto 465 micromedidores dañados, localizados en la red como se evidencia en la Figura 14.

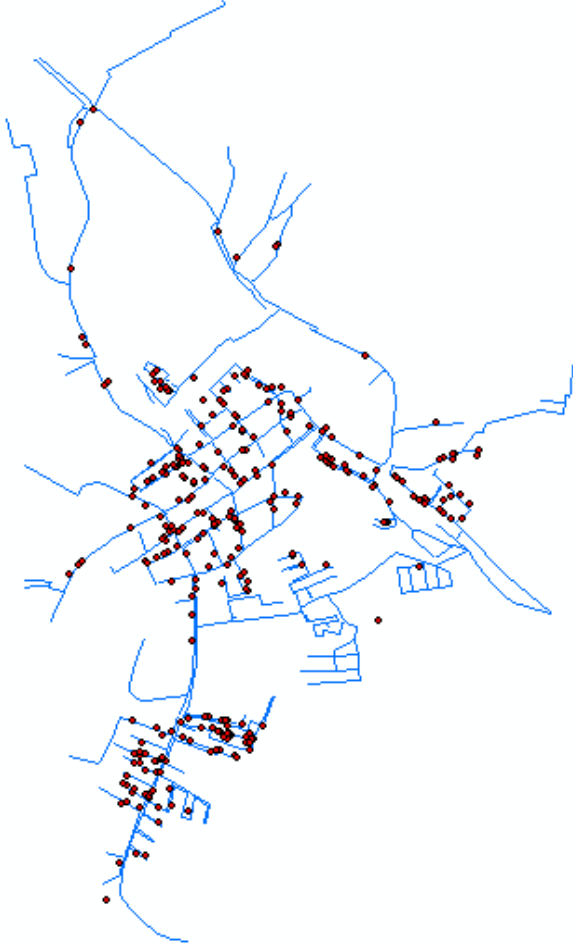


Figura 14. Localización micromedidores dañados.

### 4.1.3. Análisis comercial

- Análisis consumo cero: Como se observa la tendencia mostrada en la Figura 15, mensualmente un porcentaje de suscriptores similar factura un valor de consumo equivalente a cero, pudiendo relacionarse directamente con cuentas clausuradas, usuarios que ya no hacen parte del sistema, micromedidores pegados o en su defecto dañados.

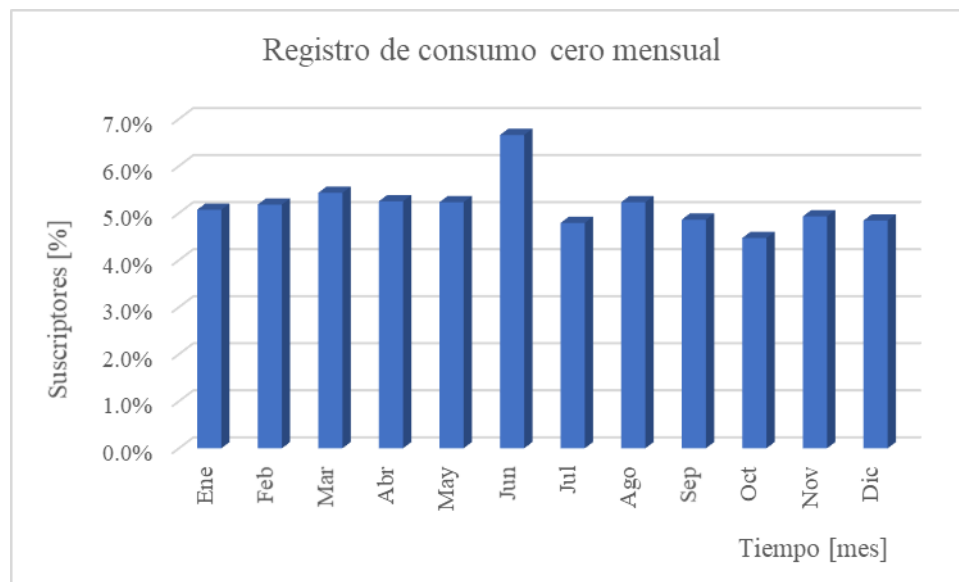


Figura 15. Consumo cero facturado por mes. Año 2018.

Sin embargo, la información mostrada es un poco ambigua y no permite identificar la cantidad de veces que este tipo de consumo es facturado por cada suscriptor. Por lo que, al revisar la frecuencia de ocurrencia podemos priorizar la intervención a los usuarios con mayor tendencia de consumo cero mostrados en la Tabla 2, a fin de determinar las causas y tomar las acciones pertinentes.

Tabla 2.

Consumo cero por suscriptor. Año 2018.

Número Meses	Suscriptores	%
0	3886	88.680%
1	217	4.95%
2	32	0.73%
3	19	0.43%
4	20	0.46%
5	6	0.14%
6	7	0.16%
7	4	0.09%
8	11	0.25%
9	9	0.21%
10	8	0.18%
11	9	0.21%
12	154	3.51%
TOTAL	4382	100.00%

- Análisis consumo repetido consecutivo: Se determinó la mayor cantidad de consumos repetidos consecutivos que fueron facturados por suscriptor en el periodo de análisis, obteniendo algunos porcentajes muy altos como se muestra en la Tabla 3, donde tan solo el 20.56% de los suscriptores está exento de valores de consumo facturados repetidos. Se recomienda investigar las causas que podrían estar generando este tipo de consumo facturado.

Nota: Este análisis se realizó sin tener en cuenta los valores de consumo cero facturado a fin de no inflar las cifras, puesto que estos valores fueron empleados para un análisis distinto.

Tabla 3.

*Frecuencia consumo consecutivo repetido mayor a 0. Año 2018.*

Número Meses	Suscriptores	%
1	901	20.56%
2	1470	33.55%
3	529	12.07%
4	212	4.84%
5	131	2.99%
6	79	1.80%
7	68	1.55%
8	53	1.21%
9	42	0.96%
10	22	0.50%
11	27	0.62%
12	542	12.37%
0	306	6.98%
<b>TOTAL</b>	<b>4382</b>	<b>100%</b>

- Análisis consumo submedido: La revisión de este tipo de consumo es una medida para identificar posibles suscriptores que lo presentan, de manera que se realice una intervención a fin de corroborar si realmente son casos de submedición con base en los resultados de las Tablas 4 y 5.
- Análisis por bloques de consumo: A partir de la Figura 16, se observa el comportamiento entre suscriptores y consumo promedio mensual, determinando de esta manera algunos parámetros como medida de priorización en la ejecución de acciones para el control de pérdidas comerciales que se puedan tomar por parte de la Empresa de Servicios Públicos de Moniquirá S.A. ESP.

Tabla 4.

*Consumo menor a 0.2\*Dotación neta máxima por suscriptor.*

Frecuencia	Suscriptores	%
0	2349	53.61%
1	438	10.00%
2	234	5.34%
3	156	3.56%
4	133	3.04%
5	100	2.28%
6	101	2.30%
7	100	2.28%
8	91	2.08%
9	69	1.57%
10	113	2.58%
11	151	3.45%
12	347	7.92%
<b>TOTAL</b>	<b>4382</b>	<b>100.00%</b>

Tabla 5.

*Consumo menor a 0.5\*promedio consumo.*

Frecuencia	Suscriptores	%
0	2221	50.68%
1	811	18.51%
2	457	10.43%
3	290	6.62%
4	194	4.43%
5	138	3.15%
6	121	2.76%
7	59	1.35%
8	41	0.94%
9	24	0.55%
10	12	0.27%
11	14	0.32%
12	0	0.00%
<b>TOTAL</b>	<b>4382</b>	<b>100.00%</b>

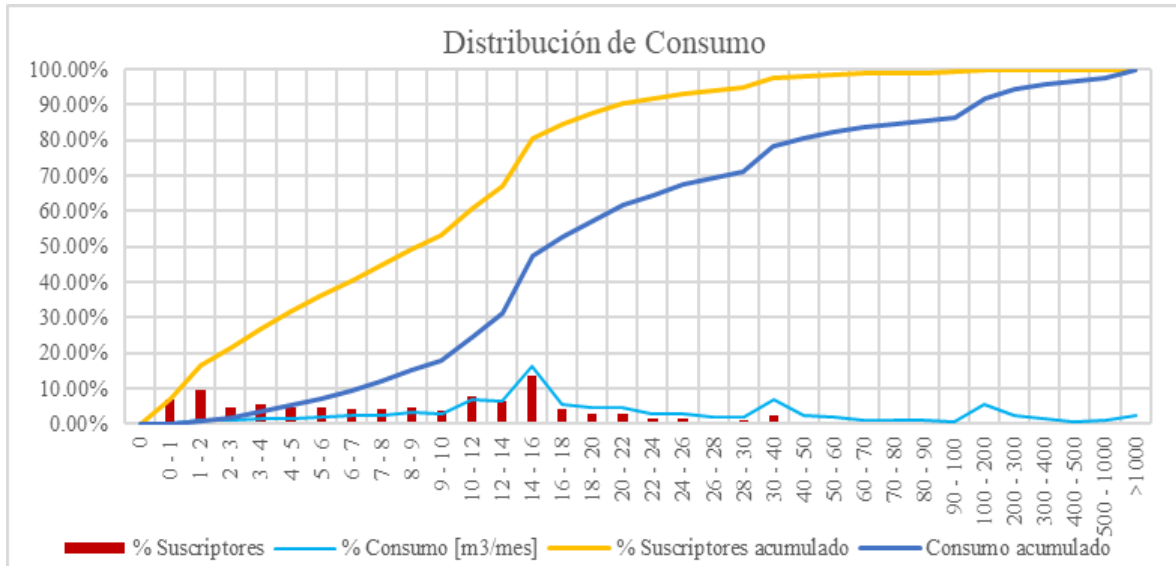


Figura 16. Gráfica de análisis por bloques de consumo.

Por ejemplo, encontramos que el 80% de los suscriptores están en un rango de consumo facturado menor a 16 [m3/mes], representando el 50% del volumen promedio mensual facturado.

De manera que el 20% restante de usuarios tiene un mayor impacto en el rublo recaudado, por tanto, en el momento de realizar acciones de control de pérdidas comerciales se debería priorizar la intervención a este grupo, el cual Comprende valores de consumo mayores de 16 [m3/mes].

## 4.2. Modelo hidráulico de la red

**4.2.1. Modelo hidráulico sin elementos reguladores de presión:** Con el cálculo de las características de los elementos y la asignación de valores al esquema de la red de distribución, se obtiene un modelo hidráulico donde se observa en un periodo de 24 horas los cambios de

presión en los nodos de la red, teniendo zonas de sobre presión, presión normal, baja presión y presiones negativas.

Cabe destacar que este primer modelo hidráulico (Figura 17), muestra los resultados del análisis hidráulico en periodo extendido (Anexo F), sin tener ningún elemento regulador en la red, debido a la falta de información de las válvulas (reguladora o de corte).

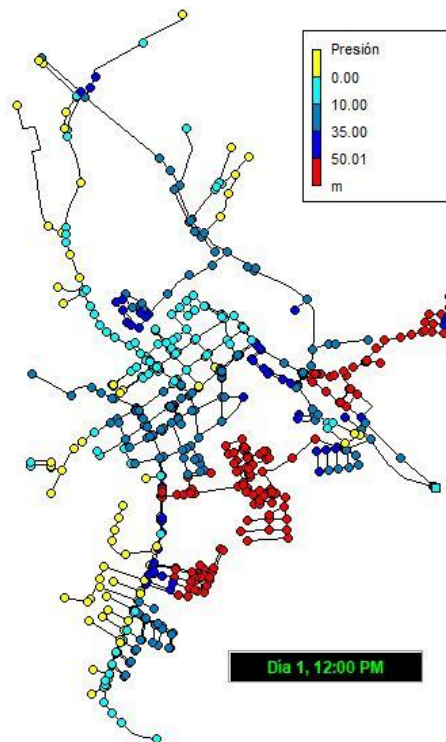


Figura 17. Análisis hidráulico de la red sin válvulas.

**4.2.2. Modelo hidráulico inicial:** Dado que la red cuenta con válvulas representadas en el plano base y pese a la falta de información atributiva de estas, se asume que las válvulas existentes son reguladoras de presión, por lo que se incluyen en el primer modelo hidráulico, de manera que para el mismo periodo de análisis hidráulico se obtiene un comportamiento diferente

de presión (Anexo G). Por tanto, tomamos el modelo hidráulico de la Figura 18, como modelo hidráulico inicial para proponer estrategias técnicas y comerciales que ayuden al mejoramiento de la prestación del servicio de agua potable.

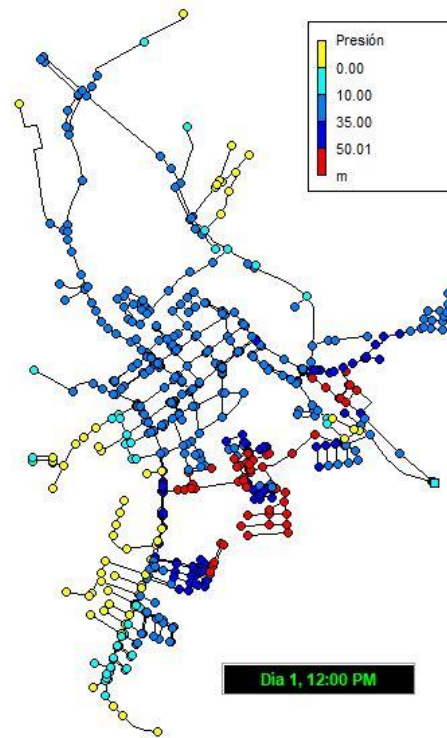


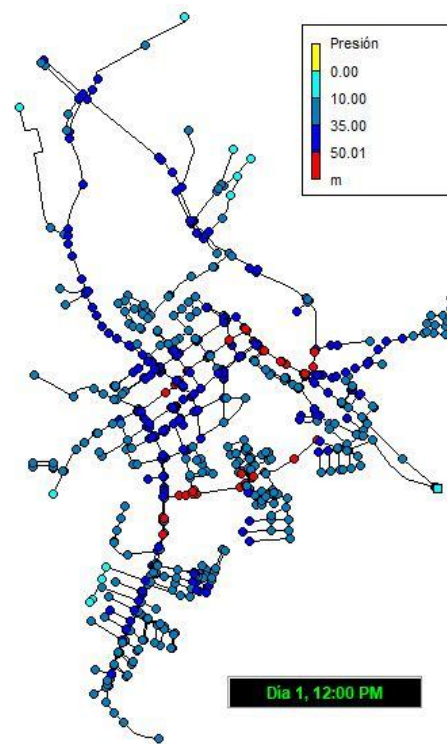
Figura 18. Análisis hidráulico de la red con válvulas existentes reguladoras de presión.

### 4.3. Estrategias para la gestión integral de redes

**4.3.1. Regulación de presión en la red:** Cumpliendo con la norma colombiana vigente de regulación (Resolución 0330, 2017), la cual establece el valor mínimo y máximo de presión permitido en la red de distribución y a partir de un modelo hidráulico se plantean cambios que permitan regular la presión en la red de manera que se garantice el servicio de agua potable de

forma continua; esto se obtiene mediante la inserción de válvulas reguladoras de presión, válvulas de control de flujo inverso y también el cambio de algunos tramos por tubería de mayor o menor diámetro según sea el caso.

El procedimiento utilizado para lograr la normalización de presión en todo el sistema se consigna en el Anexo H, y los cambios realizados en la red se encuentran en el Anexo I, dando como resultado el modelo hidráulico de la Figura 19.



*Figura 19.* Presión normalizada.

Cabe resaltar que, para poder dar servicio continuo sin la utilización de bombas en el sistema como solución para suministrar el servicio de agua potable en las zonas más altas, se opta por mantener dos tramos de tubería con sobrepresión, obteniendo un comportamiento de presión como se muestra en el Anexo J en periodo extendido.

**4.3.2. Sectorización:** La sectorización es una parte importante para el control de la red y como se establece en (Resolución 0330, 2017), tiene múltiples funciones las cuales son significativas para mejorar el índice de agua no contabilizada (IANC) y llevar a cabo intervenciones en la red garantizando la prestación de servicio en el resto de la red con solo aislar la zona donde se llevan a cabo trabajos ya sea de mantenimiento y reparación de daños.

Para nuestra red a partir del modelo hidráulico con presión normalizada, se lleva a cabo el proceso de sectorización creando un registro guía de las válvulas involucradas y la acción pertinente para que solo la zona de interés quede aislada. Como se indica en el Anexo K, se determinaron 30 zonas las cuales se distribuyen como se observa en la Figura 20 y poseen las características consignadas en el Anexo L.



*Figura 20.* Sectorización.

A partir de la sectorización se debe ubicar estratégicamente los elementos de medición (macromedidores y medidores de presión), de manera que se pueda registrar el volumen de agua que se entrega a cada sector mensualmente y junto con el consumo facturado de dicho lugar determinar las estrategias que la empresa de servicios públicos de Moniquirá realizará para combatir fugas, conexiones fraudulentas, o cambio de micromedidores.

En el proceso de gestión integral de redes es necesario contar con un modelo hidráulico para realizar una adecuada sectorización, a fin de definir las zonas de interés y definir las acciones necesarias (instalación de válvulas, instrumentos de medición) que permiten aislar un determinado grupo de suscriptores, sin quitar continuidad a la prestación de servicio a otras zonas ante situaciones como racionamiento, mantenimiento de la red, reparación de daños y lo más importante el control de las pérdidas técnicas y comerciales.

**4.3.3. Actualización información:** Dado que el sistema está sujeto a cambios todo el tiempo por la creación de nuevas urbanizaciones, remplazo y adición de elementos de la infraestructura de la red (Tuberías, válvulas) entre otros, el proceso de actualización de esta información debe ser constante de manera que cualquier cambio sea registrado casi tan pronto se lleva a cabo, razón por lo que surge la necesidad de contar siempre con personal capacitado en el manejo de las tecnologías de la información.

**4.3.4. Registro de daños:** Los daños en la red son un fenómeno que afectan la prestación del servicio ocasionando pérdidas a la empresa de acueducto por concepto de reparación de las tuberías, obras complementarias e interrupción del servicio y aunque no se pueden eliminar del todo, si es posible mitigarlas y esto se puede realizar a partir de información

específica que permita ahondar en el problema, siendo importante contar con un excelente registro de los daños presentados en la red.

La empresa de servicios públicos de Moniquirá S.A. ESP, posee un registro físico de los daños en la red registrados desde el año 2012 hasta el 2018 (Tabla 6), y al cual se le realizó un proceso de digitalización, estructurando la información allí consignada con la intención de emplear herramientas de análisis de datos, a fin de evidenciar la frecuencia con que estos ocurren y las zonas donde mayormente se presentan.

Tabla 6.

*Daños registrados en la bitácora.*

Año	Número daños
2012	212
2013	152
2014	105
2015	98
2016	124
2017	124
2018	181

Sin embargo, el registro daños por parte de los funcionarios del acueducto es muy ambiguo, y no permite ubicarlos con exactitud debido a que la descripción de localización de los daños se registró como se muestra en la Tabla 7.

Por esta razón el registro debe ser lo más específico posible permitiendo la lectura exacta de la fecha, lugar, tipo de daño y la causa, y de preferencia, esta información debe ser digitalizada con la intención de localizar los daños sobre la red usando el mismo método empleado en el proceso de localización de usuarios y así poder representarlos en un plano y determinar en base a

la concentración, frecuencia, o tipo de daño los factores que pueden estar ocasionando estos problemas y así establecer una solución al problema.

Tabla 7.

*Registro de ubicación de daños.*

Forma de localización	# Daños
Barrio	219
Nombre puntual	470
Nombre persona	214
Seudónimos	38
Dirección	55

#### **4.4. Estrategias control pérdidas comerciales**

Dadas las diversas causas que pueden ocasionar pérdidas comerciales de agua no contabilizada, siendo las más notables aquellas asociadas a la micromedición y actividades fraudulentas en la red (Duran, 2014), se establece operaciones que permitan detectarlas.

**4.4.1. Detección pérdidas por micromedición:** Partiendo del registro de facturación se realiza una discriminación de los suscriptores con base en el consumo facturado, como se realizó en la tabla 2 y 3, dando prioridad a estos suscriptores para ser intervenidos y así determinar las causas que generan dicha facturación de manera que se pueda llevar a cabo los correctivos necesarios ante situaciones como medidores desajustados, medidores detenidos o medidores en propiedad privada.

**4.4.2. Detección pérdidas por conexiones fraudulentas:** En las pérdidas de este tipo encontramos dos grandes grupos como son los micromedidores manipulados y las conexiones clandestinas, siendo dispendioso detectar estas alteraciones por las diversas situaciones presentadas como:

- Medidores manipulados
- Suplantación micromedidor
- Medidor invertido
- Desconexión micromedidor para generar paso directo
- Conexiones clandestinas

Dada la dificultad de detectar en ocasiones este tipo de pérdidas se sugiere apoyo de instrumentos de macromedición y sectorización que permita la organización de campañas de revisión de la red y micromedidores a fin de detectar cualquier anomalía.

#### **4.5. Propuestas de instalación de elementos de la red.**

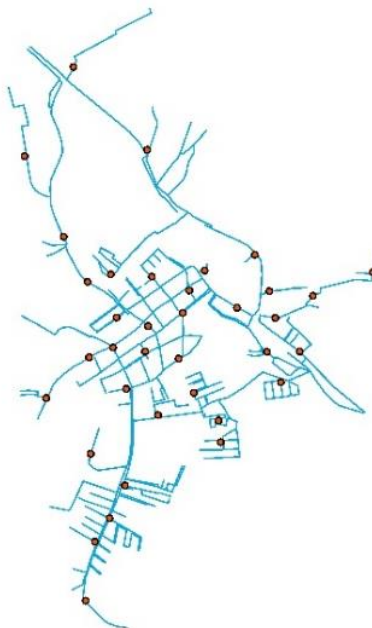
**4.5.1. Instalación válvulas:** La instalación de válvulas en la red es uno de los factores más importantes para tener control sobre las situaciones que se presentan continuamente, por esta razón en el Anexo M, se consignan las válvulas que se determinó mediante el modelo hidráulico eran necesarias para obtener presiones normalizadas pasando de 54 válvulas inicialmente en la red a un total de 139 válvulas que cuentan con información atributiva de su localización y diámetro correspondiente.

Tabla 8.

*Categorización de válvulas necesarias en la red de distribución.*

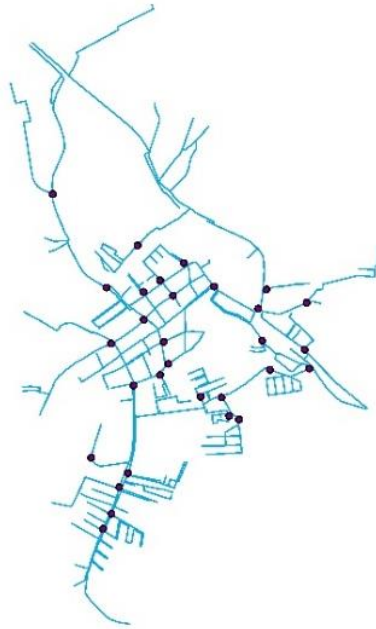
Diámetro [mm]	Cantidad Válvulas
12.7	1
25.4	22
38.1	5
50.8	37
76.2	32
101.6	10
152.4	23
203.2	10

**4.5.2. Instalación Hidrantes:** En cuanto a la falta de hidrantes mostrado en la Figura 13, se propone la adquisición e instalación de nuevos elementos distribuidos por el municipio como se muestra en la Figura 21, de manera que se cubra todas las zonas pobladas. En el Anexo N se consigna la locación tanto de los hidrantes existentes como de los nuevos pasando de 9 hidrantes a un total de 36.



*Figura 21. Propuesta ubicación Hidrantes.*

**4.5.3. Instalación Macromedidores:** Como propuesta para dar cumplimiento a la normativa vigente y en función a la falta de estos elementos se propone la adquisición e instalación de macromedidores en las locaciones consignadas en el Anexo O, obteniendo una localización en la red de distribución como se muestra en la Figura 22.



*Figura 22.* Propuesta ubicación macromedidores.

### **Conclusiones**

El sistema de acueducto de Moniquirá, Boyacá, presenta bastantes retos en cuanto actualización de la información referente a infraestructura, e implementación de instrumentos de medición que junto con el uso de tecnologías de la información permita crear estrategias operacionales orientadas a la gestión integral de sus redes.

El uso de software de simulación y los sistemas de información geográfica son dos herramientas de gran utilidad para los procedimientos que se llevan a cabo en un acueducto, brindando una mayor capacidad de manejo de información y una visión del comportamiento de la red de distribución.

La empresa de Servicios públicos de Moniquirá S.A. ESP necesita ahondar esfuerzos en el control que se tiene sobre los micromedidores como primera medida de reducción de pérdidas, mientras se ejecuta un plan de instalación de macromedidores en la red a fin de calcular y reducir las pérdidas técnicas y comerciales para mejorar el IANC.

Como primera estrategia operacional, la empresa de servicios públicos de Moniquirá S.A. ESP debe crear una división en su organización compuesta de profesionales enfocados al manejo de los aspectos técnicos de la red, a fin de cimentar las bases necesarias para desarrollar un buen proceso de gestión integral de redes.

**Referencias Bibliográficas**

ALCALDÍA DE MONIQUIRÁ. (05 de Enero de 2020). <http://www.moniquira-boyaca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/InformacionMunicipio.aspx> del

Anaya, S. (2015). Modelo de gestión y optimización operacional de los daños en redes de distribución de agua (Tesis de Maestría). Universidad de Manizales. Manizales, Colombia.

COMISIÓN DE REGULACIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO (CRA). (2007). Proyecto de Reducción de Pérdidas de Agua Potable y Reforma del Marco Regulador. Informe Final.

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (DANE). (25 de Enero de 2020). Obtenido de [https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas\\_por\\_tema/demografia\\_y\\_poblacion/censo\\_nacional\\_de\\_poblacion\\_y\\_vivenda\\_2018/como\\_vivimos](https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas_por_tema/demografia_y_poblacion/censo_nacional_de_poblacion_y_vivenda_2018/como_vivimos).

Duran, L. (2014). Plan de acción para la reducción de pérdidas comerciales de agua no contabilizada en el Acueducto metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P. (Tesis Pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO ECONÓMICO. (2000) Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2000. Titulo A. Colombia.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO ECONÓMICO. (2000) Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2000. Titulo B. Colombia.

MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. (17 de Junio 2017) Resolución 0330 del 08 de Junio de 2017. Bogotá D.C, Colombia.

- Pérez, R., Puig, V., Pascual, J., Quevedo, J., Landeros, E., & Peralta, A. (2011). Methodology for leakage isolation using pressure sensitivity analysis in water distribution networks. *Control Engineering Practice*, 19(10), 1157–1167. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2011.06.004>
- Rahman, S., Devera, J., & Reynolds, J. (2014). Risk assessment model for pipe rehabilitation and replacement in a water distribution system. In *Pipelines 2014: From Underground to the Forefront of Innovation and Sustainability - Proceedings of the Pipelines 2014 Conference* (pp. 1997–2006). <https://doi.org/10.1061/9780784413692.181>
- Yamijala, S., Guikema, S. D., & Brumbelow, K. (2009). Statistical models for the analysis of water distribution system pipe break data. *Reliability Engineering and System Safety*, 94(2), 282–293. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2008.03.011>
- Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). (2014). Lección 7. Cálculo de pérdidas en el sistema de acueducto. Disponible en: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358040/Contenido\\_en\\_linea\\_Disenio\\_de\\_Plantas\\_Potabilizadoras/leccin\\_7\\_\\_clculo\\_de\\_prdidas\\_en\\_el\\_sistema\\_de\\_acueducto.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358040/Contenido_en_linea_Disenio_de_Plantas_Potabilizadoras/leccin_7__clculo_de_prdidas_en_el_sistema_de_acueducto.html)