

OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO  
DE VILLETA – CUNDINAMARCA

CARLOS JAVIER CASTRO SANCHEZ

VALERIE DANIELA HERNANDEZ SANCHEZ

ANDREA JIMENA MORENO VANEGAS

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA

PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ D.C.

MAYO 11 DEL 2021

OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO  
DE VILLETA – CUNDINAMARCA

TRABAJO PARA OBTENER EL TÍTULO COMO PROFESIONAL EN INGENIERÍA CIVIL

DIRECTORA:

ING. YURI ALEJANDRA CAICEDO PÁEZ

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA

PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ D.C.

MAYO 11 DEL 2021

Nota de Aceptación

---

---

---

---

---

---

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

## AGRADECIMIENTOS

Le agradecemos a Dios por habernos dado la sabiduría, fortaleza y dedicación para enfrentar cada uno de los retos necesarios para alcanzar los propósitos durante la formación académica.

También agradecemos por su apoyo, amor y paciencia a nuestras familias, ya que son los principales promotores de nuestros sueños y nos ayudan a ser cada día mejores personas y profesionales.

Finalmente, agradecemos a la Ingeniera Yuri Alejandra Caicedo Páez, directora de investigación en este trabajo de grado, que con paciencia, conocimiento y experiencia nos apoyó y fue nuestra guía en la realización de este proyecto.

## Contenido

1. INTRODUCCIÓN .....	11
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	12
3. OBJETIVOS .....	13
3.1 OBJETIVO GENERAL .....	13
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	13
4. JUSTIFICACIÓN .....	13
5. ANTECEDENTES .....	14
6. MARCO REFERENCIAL .....	17
6.1. MARCO TEORICO .....	17
6.1.1. SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE .....	17
6.1.2. TIPOS DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA .....	18
6.1.3. PÉRDIDAS DE AGUA EN SISTEMAS DE ACUEDUCTO .....	21
6.1.4. ALCANCE DE PÉRDIDAS .....	24
6.1.5. CÁLCULO DE CAUDALES EN SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA	
25	
6.1.6. CAPTACIÓN .....	25
6.1.7. CONDUCCIÓN .....	26
6.1.8. PÉRDIDAS POR FUGAS .....	27

6.1.9.	VOLUMEN DE AGUA .....	27
6.1.10.	DETERIORO DE LA CALIDAD DEL AGUA .....	28
6.2.	MARCO CONCEPTUAL.....	28
6.2.1.	ESPACIO .....	28
6.2.2.	TIEMPO .....	29
6.2.3.	ALCANCE .....	29
6.2.4.	DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE SISTEMA DE ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE VILLETA .....	30
6.2.4.1.	CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA DE VILLETA .....	30
6.2.5.	DESCRIPCIÓN ACUEDUCTO MUNICIPIO.....	31
7.	MÉTODO Y METODOLOGÍA.....	32
7.1	ETAPAS.....	32
7.1.1	PRIMERA ETAPA, EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO.....	32
7.1.2	SEGUNDA ETAPA CARACTERIZACIÓN SOCIODEMOGRÁFICA Y ECONÓMICA DE POBLACIÓN .....	34
7.1.3	TERCERA ETAPA DISEÑO DE LA PROPUESTA .....	34
7.2	ELABORACIÓN RED EN EPANET .....	35
7.2.1	MODELADO TRAMO EN EPANET .....	35
7.2.2	IMPORTACIÓN Y EXPORTACIÓN EN EPACAD.....	39

7.2.3	IMPORTACIÓN RED EN EPANET.....	43
7.3	PYTHON.....	46
7.3.1	COMPATIBILIDAD EPANET Y PYTHON.....	47
7.3.2	PROGRAMACIÓN.....	48
8.	RESULTADOS.....	52
8.1	MODELACIÓN .....	52
8.2	CAUDAL DE DISEÑO.....	57
8.3	RED EPANET (Propiedades predeterminadas) .....	59
8.3.1	TUBERÍAS .....	59
8.3.2	Nodos .....	64
9.	CONCLUSIONES.....	67
10.	RECOMENDACIONES .....	68
11.	GLOSARIO.....	68
12.	BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS .....	74
13.	ANEXOS .....	78
13.1	Anexo 1 .....	78
13.2	Anexo 2 .....	81
13.3	Anexo 3 .....	83

## INDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1. CONFIGURACIÓN DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE.....	18
ILUSTRACIÓN 2. ABASTECIMIENTO POR GRAVEDAD .....	19
ILUSTRACIÓN 3. ABASTECIMIENTO POR BOMBEO. ....	21
ILUSTRACIÓN 4. TABLA DE COEFICIENTES .....	23
ILUSTRACIÓN 5. DIVISIÓN TERRITORIAL MUNICIPIO DE VILLETA .....	29
ILUSTRACIÓN 6. RED DE ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE VILLETA .....	36
ILUSTRACIÓN 7. ÁREA DE LA RED DE ACUEDUCTO LIMITADA PARA EL DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN. ....	37
ILUSTRACIÓN 8. MÉTODO DE GUARDADO EN FORMATO (.DXF) PATA EXPORTAR LA RED A EPANET	38
ILUSTRACIÓN 9. EPACAD HERRAMIENTA DE EXPORTACIÓN DE REDES DIBUJADAS EN AUTOCAD A EPANET CON SUS ATRIBUTOS. ....	39
ILUSTRACIÓN 10. IMPORTACIÓN DE RED LIMITADA DEL MUNICIPIO DE VILLETA CUNDINAMARCA EN EPACAD. ....	42
ILUSTRACIÓN 11. RED IMPORTADA DEL TRAMO SELECCIONADO CON LOS ATRIBUTOS .....	43
ILUSTRACIÓN 12. IMPORTACIÓN DE RED CREADA EN EPACAD.....	44
ILUSTRACIÓN 13. IMPORTACIÓN DE RED EN FORMATO (.INP). ....	45
ILUSTRACIÓN 14. RED DE VILLETA (TRAMO SELECCIONADO). ....	46
ILUSTRACIÓN 15. USOS DE PYTHON .....	47
ILUSTRACIÓN 16. CÓDIGO LECTURA DE DATOS DE LA RED.. ....	48
ILUSTRACIÓN 17. DEFINIR VARIABLES EN PYTHON .....	48
ILUSTRACIÓN 18. CORRER LA RED EN PYTHON .....	49
ILUSTRACIÓN 19. CAMBIO DE DIÁMETROS DEFINIDOS .....	49



ILUSTRACIÓN 20. IMPRESIÓN LISTA DE LOS NUEVOS DIÁMETROS .....	50
ILUSTRACIÓN 21. CAMBIO DE RUGOSIDADES.....	50
ILUSTRACIÓN 22. DEFINIR VARIABLE DE PRESIÓN Y LEER PRESIONES.....	51
ILUSTRACIÓN 23. GRAFICAS DE PRESIONES .....	51
ILUSTRACIÓN 24. TRAMO DE RED A TOMAR DIBUJADO EN AUTOCAD .....	52
ILUSTRACIÓN 25. RED ESTRUCTURADA EN EPANET CON LOS ATRIBUTOS NECESARIOS PARA CORRER EL SISTEMA .....	55
ILUSTRACIÓN 26. POLÍGONOS DE THIESSEN CON LOS NODOS AFERENTES.....	56
ILUSTRACIÓN 27. DEMANDA CARGADA EN EPANET .....	57
ILUSTRACIÓN 28. CONSUMO DE LO DIFERENTES SECTORES EN VILLETA MENSUALMENTE .....	58
ILUSTRACIÓN 29. CAUDAL DE CONSUMO PROMEDIO EN EL MUNICIPIO .....	59
ILUSTRACIÓN 30. CAUDAL PROMEDIO POR ESTRATO .....	59
ILUSTRACIÓN 31. DIÁMETROS DE TUBERÍA EN LA RED .....	59
ILUSTRACIÓN 32. ESCALA DE DIÁMETROS EN LAS TUBERÍAS.....	60
ILUSTRACIÓN 33. TABLA CATÁLOGO DE PAVCO .....	60
ILUSTRACIÓN 34. LONGITUD DE TUBERÍAS EN LA RED.....	62
ILUSTRACIÓN 35. ESCALA DE LONGITUDES EN LA RED .....	62
ILUSTRACIÓN 36. PERDIDAS EN LA RED POR TRAMO DE TUBERÍA .....	63
ILUSTRACIÓN 37. ESCALA DE PERDIDAS EN LA RED.....	63
ILUSTRACIÓN 38. COTAS EN CADA NODO DE LA RED .....	64
ILUSTRACIÓN 39. ESCALA DE COTAS EN LOS NODOS .....	64
ILUSTRACIÓN 40. DEMANDAS EN LOS NODOS.....	65
ILUSTRACIÓN 41. ESCALA DE DEMANDAS EN LOS NODOS .....	65
ILUSTRACIÓN 42. PRESIONES EN LOS NODOS DE LA RED .....	66

ILUSTRACIÓN 43. ESCALA DE PRESIONES EN LA RED .....	66
---	----

### INDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1. PÉRDIDAS POR FRICCIÓN DARCY WEISBACH .....	22
--	----

ECUACIÓN 2. CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR FRICCIÓN UTILIZANDO LA ECUACIÓN DE LA CONTINUIDAD. .....	22
---	----

### INDICE DE TABLAS

TABLA 1. TUBERÍAS DE LA RED DE ACUEDUCTO DE VILLETA.....	53
--	----

TABLA 2. NODOS RED DE ACUEDUCTO DE VILLETA .....	54
--	----

## 1. INTRODUCCIÓN

El sistema de acueducto del municipio de Villeta ubicado en el departamento de Cundinamarca cuenta con una red con antigüedad de 48 años según la información brindada por la Empresa De Servicios Públicos De Villeta.

El diseño de un sistema de acueducto se realiza con una proyección a 25 años, lo que permite entender que falta poco para cumplir 2 veces el tiempo de diseño óptimo de la red de distribución. Con el transcurso de los años se han realizado mejoras, pero cada vez la demanda en el volumen de agua que se maneja aumenta exponencialmente. Según el DANE la población de Villeta es de 25.821 personas con un crecimiento anual promedio de +0.43% anual, reflejando siempre un aumento de población y por ende del consumo en el sector rural del municipio dado al crecimiento de los usos comerciales y nuevas viviendas, lo que causa discontinuidad en el servicio afectando a sus habitantes.

Teniendo en cuenta lo anterior, se busca desarrollar un método utilizando herramientas actuales de programación como lo es el programa Python; el cual cuenta con uno de los lenguajes más fuertes e importantes en la actualidad, debido al gran aumento de desarrollo de cursos en plataformas de aprendizaje y la gran demanda de empresas como Google, Facebook y Netflix.

Trabajando en conjunto se tiene Epanet; un software de uso libre, el cual permite realizar simulaciones de comportamiento hidráulico en sistemas de acueducto y de esta manera ver la evolución que se tiene en la calidad del servicio del agua con las presiones en las de bajo y alto consumo.

Estas dos herramientas tienen algo en común y es el uso de “libre”, lo cual da la libertad de realizar procesos como la optimización en una zona rural de un municipio como Villeta,

Epanet ayuda a modelar la red con la cual se realiza el trabajo y Python resuelve problemas de eficiencia al momento de aplicar los conceptos de guía en la RAS 0330 del cumplimiento del acueducto para su óptimo desempeño.

Por ello, al momento de combinar estas dos herramientas se tienen identificadas las posibles problemáticas de presiones en la red con Epanet en las diferentes horas de suministros y con Python se puede programar la lectura de red e intervenir esos posibles puntos críticos con algoritmos genéticos programados para la optimización de la parte urbana del acueducto de Villeta.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La red de acueducto del municipio de Villeta fue construida en el año 1973, a la fecha completa 48 años de antigüedad.

Según informa la Empresa de Servicios Públicos de Villeta se logran identificar las siguientes problemáticas:

- Discontinuidad en la prestación del servicio de agua potable.
- Red de distribución obsoleta en material de Gress, lo que genera rompimiento de tuberías con el cambio brusco de presiones (golpe de ariete).
- Falta de sectorización por medio de válvulas, con el fin de realizar mantenimientos o en época de sequías.
- Pérdidas entre un 45% - 55%, por conexiones fraudulentas y fugas en tuberías.
- Los diámetros de la tubería existentes no son los adecuados para la capacidad de servicio.

Luego de analizar las problemáticas, se decide enfocar la atención en los cuellos de botella existentes en el sistema trabajando de esta manera en la optimización de la red de distribución.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Optimizar la red de distribución existente del acueducto del municipio de Villeta, por medio de la simulación en Epanet e implementación de la herramienta de Python.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Modelar la red de distribución en el área urbana del municipio de Villeta, Cundinamarca para detectar posibles puntos críticos.
- Brindar un tratamiento eficaz a los posibles problemas en nudos y tuberías para contribuir al mejoramiento de la red para que se preste un servicio de calidad.
- Dar una posible solución adaptada única y exclusivamente a la problemática de la red de distribución del acueducto del municipio de Villeta.

### **4. JUSTIFICACIÓN**

La presente investigación, se enfoca en optimizar la red de distribución existente del acueducto del municipio de Villeta Cundinamarca; con el fin de mejorar la calidad del servicio por medio de las herramientas de modelación que permitan localizar los puntos críticos de la red y así brindar un tratamiento efectivo de los mismos.

Analizando el estado de antigüedad de la red de distribución de Villeta- Cundinamarca, se han encontrado fallas en las tuberías como agrietamiento que generan filtraciones y pérdidas del recurso, también se ha evidenciado conexiones fraudulentas en el sistema por lo que la Empresa De Servicios Públicos de Villeta ha venido identificando y trabajando en estos para darles una solución adecuada. Estos factores derivan una prestación del servicio poco favorable y baja en las temporadas de sequía.

Epanet es una herramienta para el sistema de distribución de agua potable; el cual evalúa los comportamientos en la red con el fin de llegar a una posible solución y/o mejora en el sistema de distribución. De igual manera Python es uno de los lenguajes de programación más usados actualmente, que utiliza dos herramientas en conjunto, ya que por medio del Toolkit implementado entre Python y Epanet se podrá trabajar sobre un código para la posible optimización de la red de distribución.

## **5. ANTECEDENTES**

En el municipio de Villeta la población que se tenía proyectada para el 2018 era de 26.873 habitantes según el censo realizado por el DANE, se espera que para el 2023 sea aproximadamente de 32.125 habitantes según esta misma entidad. (DANE)

La red del sistema de distribución de acueducto del municipio desde su implementación en 1973 no recibe ninguna intervención significativa para su ampliación, por lo cual el servicio no es el adecuado.

Dado que el municipio de Villeta tiene una ubicación geográfica privilegiada y cuenta con una temperatura promedio de 24°C, se considera un municipio con una alta demanda turística, al punto de depender económicamente del turismo y la recreación. Al ser un atractivo turístico en donde se pueden realizar actividades como uso de balnearios ya sea ríos o piscinas, se genera un alto consumo del recurso hídrico, dado que se encuentra la población radicada permanentemente y la población flotante. Por ello se requiere de una puesta en acción para mejorar la prestación del servicio, ya que actualmente se encuentran en trámite aproximadamente 4.000 solicitudes de viabilidad de servicio según información suministrada por la alcaldía del municipio.

Debido a lo anterior, la demanda del recurso hídrico está aumentando considerablemente, pero no la capacidad del acueducto para acaparar la misma.

De acuerdo con la investigación realizada, en cuanto al estado del arte del problema planteado se han encontrado investigaciones de optimización de acueductos por medio de algoritmos genéticos que dan solución a problemáticas similares a la planteada en el presente documento.

La investigación del ingeniero Cesar Augusto Calderón Pineda, año 2016, denominada “Optimización de redes de acueductos veredales”, consiste en plantear un diseño óptimo de redes de acueductos rurales de población dispersa alimentada por gravedad, logrando el mínimo costo de construcción por medio de programación lineal entera mixta con el apoyo del software Xpress además de hacer una comparación de los resultados con los obtenidos en programas como Epanet y Redes; concluyendo que esta metodología es de gran apoyo para la disminución de los costos en la construcción de acueductos rurales ya sea en redes de distribución o en conducciones, también puede servir para punto de partida del estudio de optimización de redes que sigan la configuración de redes abiertas y que requiera disminuir presiones en la misma. (Calderón Pineda, 2016)

Según la investigación del ingeniero Daniel Eduardo Luna Beltrán, año 2014 denominada, “Utilización de MDE para resolver el problema de modelamiento simultáneo de redes de Acueducto y Alcantarillado”, esta consiste en presentar un lenguaje gráfico que permita modelar tipos de redes de forma simultánea. Con este lenguaje se buscaba crear un modelo inicial de la red, por medio de una Cadena de Transformación de Modelos (MTC) generando archivos de entrada para las herramientas que realizan cálculos hidráulicos.

La información generada por los motores es regresada a Hydraulic Networks (lenguaje presentado) a través de la MTC, donde los usuarios son informados de los eventos realizados de forma individual y analiza las excepciones que se generan de forma conjunta entre las redes, esto permite que el ingeniero entienda el funcionamiento de las redes urbanas, tenga una aproximación cercana a la realidad y facilite su labor. (Luna Beltrán, 2014)

La investigación del ingeniero Juan Sebastián Hernández Suárez, año 2014, denominada “Análisis de la capacidad predictiva de un modelo dinámico de calidad del agua aplicando técnicas de computación evolutiva, optimización multiobjetivo y procesamiento recursivo de datos”; donde propone una metodología para calibrar modelos dinámicos de calidad de agua, para esto se usó tres tramos del río Bogotá, haciendo una revisión detallada de la estructura del modelo unidimensional agregado e integrado ADZ-MDLC-QUASAR, esto permite extender los resultados encontrados en la modelación basada en la ecuación de advección-dispersión y viceversa.

Usando los datos reales tomados del río Bogotá y el modelo AMQQ, se describen y aplican diferentes algoritmos para la estimación de dicho modelo; los resultados arrojados estiman que se deje hacer una aplicación conjunta de diferentes formas de agregación de funciones objetivo y técnicas de calibración que sirvan como marco de referencia, estas deben ser efectivas y eficientes en la identificación de combinaciones óptimas de los parámetros y que hagan una descripción de la incertidumbre paramétrica. Concluyendo que el uso de la GLUE, SCE-UA y SCEM-UA, en conjunto con el análisis multiobjetivo sencillo permite obtener un conocimiento amplio de la capacidad predictiva y así poder obtener conjunto de soluciones que expliquen consistentemente el comportamiento observado del sistema de modelado y el orden de magnitud de los determinantes medidos. (Hernández Suárez, 2014)



Con base a lo anterior, se puede observar que los sistemas de acueducto pueden presentar deterioros por el uso o pueden ser insuficientes debido al crecimiento de la poblacional; es por esto, que se requiere una intervención que permita la optimización de este tipo de acueductos, para poder brindar un mejor suministro de agua que cumplan con las condiciones mínimas adecuadas con la demanda para satisfacer las necesidades de la población.

## **6. MARCO REFERENCIAL**

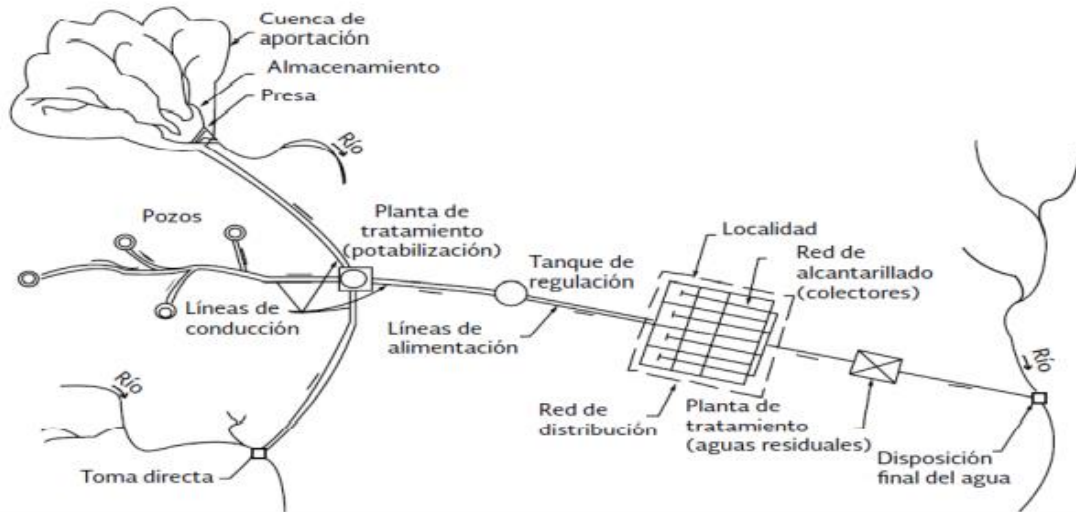
### **6.1. MARCO TEORICO**

#### **6.1.1. SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE**

Los sistemas de abastecimiento están compuestos de sistemas de captación (cuencas hidrográficas, ríos y quebradas), sistemas de distribución (túneles y tuberías), sistemas de almacenamiento (embalses) y producción (plantas de tratamiento). (Acueducto agua y alcantarillado de Bogotá, 2020). En síntesis, estos sistemas de abastecimiento de agua potable consisten en un conjunto de obras que son necesarias para captar, conducir, tratar, almacenar y distribuir agua desde las fuentes naturales sean superficiales o subterráneas hasta los usuarios beneficiados con estos servicios.

La función principal de un sistema de abastecimiento de agua potable es brindar una mejor calidad de vida, salud y así mismo buscar el desarrollo de la población.

Ilustración 1. Configuración de un sistema de abastecimiento de agua potable.



FUENTE. COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO. DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE. MÉXICO: SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE, 2010. P. 1

### 6.1.2. TIPOS DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

Según el ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial los tipos de abastecimiento de agua potable se clasifican según la topografía del terreno y la diferencia de altura entre el sitio de donde se tome el agua y la comunidad que va a consumir, no obstante, existen dos tipos de abastecimiento que son sistemas por gravedad y por bombeo. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006)

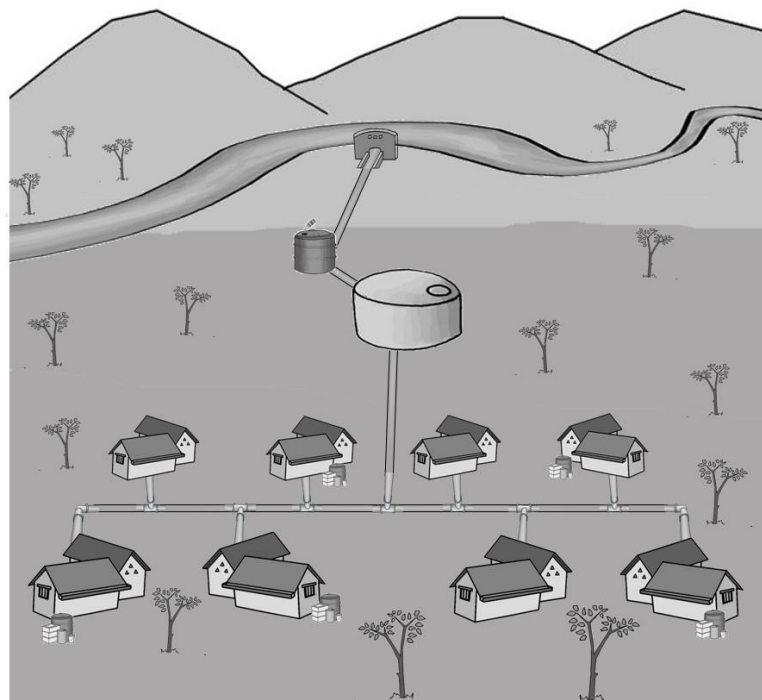
- **SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO POR GRAVEDAD**

Este sistema de agua es un conjunto de estructuras en el cual el agua cae por su propio peso, por medio de una red de conexiones, a partir de la captación de agua, el sistema de tratamiento, el almacenaje y terminando en las conexiones público y/o domiciliarias.

Para estos sistemas, generalmente se usan fuentes de agua superficial (Rodríguez & Cisneros, GASS Perspective, 2020) es como ríos, riachuelos, lagos, lagunas y embalses; las estructuras de estos sistemas son de concreto u otro material que permite la entrada de agua de la fuente. (Rodríguez, Sawyer, & García, GASS Perspective, 2020)

La línea de conducción es un conjunto de tuberías con cierto grado de inclinación, que permite la conducción del agua desde la fuente de captación, pasando por el sistema de tratamiento hasta llegar al destino; debido a que estas fuentes generalmente superficiales pueden tener un alto contenido de materia orgánica, sedimentos, sólidos disueltos y otros minerales que pueden llegar a afectar la calidad del agua por lo que es de suma importancia que sea tratada.

*Ilustración 2. Abastecimiento por gravedad*



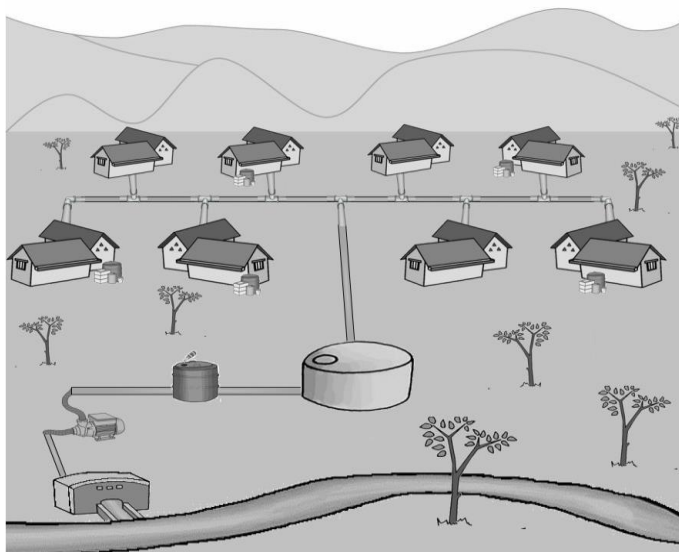
*Fuente: abastecimiento comunal por gravedad con tratamiento.*

- **SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO POR BOMBEO**

Este sistema está compuesto por un conjunto de estructuras donde se hace uso de un sistema de bombeo, que se encarga de extraer e impulsar el agua desde el punto de captación superficial como ríos, lagos, riachuelos, embalses, entre otros, hasta las viviendas, por medio de una red de conducción a un tanque de almacenamiento. Este tipo de sistema es usado, cuando no es posible el abastecimiento por gravedad debido a que el punto de captación se encuentra a un nivel inferior al de las viviendas; este tipo de sistemas también es necesario en los casos en que las aguas subterráneas se usen como fuente.

Su sistema estructura depende del tipo de agua superficial que se use, por lo que se aconseja que se usen procesos físicos de limpieza como rejillas y desarenadores, para eliminar materiales flotantes o sedimentos arrastrados por el agua y posibles fallas en el sistema de bombeo. El funcionamiento de este sistema se basa en impulsar el agua a través de la línea de conducción, que se compone de un conjunto de tuberías, estructuras y accesorios. (Rodríguez & Cisneros, GASS Perspective, 2020)

*Ilustración 3. Abastecimiento por bombeo.*



*Fuente: Abastecimiento comunal por bombeo con tratamiento /*

*SSWM*

### **6.1.3. PÉRDIDAS DE AGUA EN SISTEMAS DE ACUEDUCTO**

Las pérdidas de agua en los sistemas de acueducto se pueden clasificar en pérdidas técnicas y pérdidas comerciales.

- Pérdidas técnicas: corresponden a aquellas debidas a fugas por fallas en los elementos de la red, tales como conductos, conexiones y tanques de almacenamiento.
- Pérdidas comerciales: corresponden a consumos ilegales, consumos no medidos, consumos medidos no facturados y a errores de micro medición y facturación. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2020).

Con lo anterior, existen varias teorías que ayudan a estimar las pérdidas por fricción asociadas al flujo que pasa por una determinada sección; dentro de estas

teorías se encuentra la de Hazen-Williams que a menudo es la más común, esta teoría se explica a continuación:

Esta teoría plantea una ecuación empírica de extendido uso en el Campo de la Ingeniería Civil para el cálculo de las Pérdidas por Fricción en Conducciones a presión. Surge, a principios del siglo XX, como una tendencia de, precisamente, solventar lo complejo que resultaba el cálculo de estas pérdidas con la Ecuación de Darcy-Weisbach referida anteriormente” (INGENIERÍA CIVIL , 2017) lo anterior, esta expresado por medio de la siguiente ecuación:

*Ecuación 1. Pérdidas por fricción Darcy Weisbach*

$$V = 0.85 * C * R^{0.63} * S^{0.54}$$

Nombre ecuación: pérdidas de fricción ecuación de Hazen Williams donde:

V= es la velocidad media en la sección del flujo (m/s).

C= coeficiente de fricción de Hazen-Williams.

R= radio hidráulico (área mojada/ perímetro mojado) (m).

S= pendiente de fricción o pérdida de energía por unidad de longitud de conducción (m/m).

La ecuación anterior, se considera para el cálculo de perdidas por fricción en tuberías que estén completamente llenas de agua y utilizando la ecuación de continuidad expresada en función del caudal conducido, así como el diámetro y longitud de la tubería se puede obtener la expresión más conocida por pérdidas totales:

*Ecuación 2. Cálculo de pérdidas por fricción utilizando la ecuación de la continuidad.*

$$hf = 10.67 * (Q/C)^{1.852} L/D^{4.87}$$

Nombre de la ecuación: cálculo de pérdidas por fricción utilizando la ecuación de la continuidad.

En diversas bibliografías se pueden encontrar valores de coeficientes de fricción de Hazen Williams en función del material y revestimiento interno de la tubería o conducto.

*Ilustración 4. Tabla de coeficientes*

Coeficiente	
Material	C <sub>H-W</sub>
Vidrio	140
PVC, CPVC	150
Asbesto cemento	140
Hierro dulce	De 55 a 130
Mampostería	100
Hierro galvanizado	120
Arcilla vitrificada	100
Madera	120
Concreto	De 135 a 140
Acero soldado	De 118 a 120
Acero bridado	De 107 a 113

FUENTE: DE PLAZA P. 82

- Es importante resaltar que se debe solicitar la información técnica de las tuberías que se va a realizar para así tener las especificaciones exactas de las tuberías al momento de diseñar. (De Plaza Solórzano, 2017).

#### **6.1.4. ALCANCE DE PÉRDIDAS**

Este balance de pérdidas de agua se realiza con el fin de facilitar la determinación de las causas de pérdidas del líquido, así mismo, para adoptar las medidas correctivas; se debe realizar en cada uno de los grupos que componen el sistema de abastecimiento de agua.

El balance de agua en la conducción es la diferencia entre el volumen de agua tratada y el volumen de agua captado, este balance es de gran importancia en las zonas rurales, ya que en estas zonas se registran muchos daños en la red y desperdicio por parte de los usuarios.

Por otra parte, el control de pérdidas se debe realizar mediante dos acciones: la primera es la inspección de las instalaciones de captación y conducción, estas inspecciones son de suma importancia, ya que permiten detectar de manera oportuna las pérdidas de agua visibles para así actuar y tomar medidas pertinentes. La segunda acción, es realizar un aforo periódico en la entrada y salida de la línea de conducción con el fin de permitir verificar los aparatos o instalaciones de medición de estos caudales y establecer la existencia de pérdidas significativas de agua en el recorrido que no hayan sido detectadas en el caudal de llegada. (SENA, 2020) (Valdez, Felipe, & Padilla, 2016).



### **6.1.5. CÁLCULO DE CAUDALES EN SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA**

Uno de los métodos más usados para la determinación del caudal en una red cuyos diámetros son conocidos es la teoría de Hardy-Cross; se basa en suponer caudales en cada una de las tuberías de la red e ir corrigiendo esta suposición, dado que todas las características de la tubería se conocen, este método es de comprobación de diseño.

Una de las ventajas de usar este método es la preparación de datos inicial ya que es muy fácil suponer las cabezas iniciales, en cambio suponer los caudales en cada tubería y que éstos cumplan con la ecuación de conservación de la masa (continuidad) en cada nodo puede ser un proceso complicado, además de lento. El esfuerzo requerido en la preparación de los datos y su interpretación inicial acaba pronto con la ventaja de convergencia rápida del método con corrección de caudales, lo cual es especialmente cierto cuando el análisis se realiza con ayuda del computador; unas cuantas iteraciones extra hoy en día significan unos pocos segundos adicionales de proceso. (Valdez, Felipe, & Padilla, 2016).

### **6.1.6. CAPTACIÓN**

La captación consiste en recolectar y almacenar agua proveniente de diversas fuentes para su uso benéfico. El agua captada de una cuenca y conducida a estanques reservorios puede aumentar significativamente el suministro de ésta para el riego de huertos, bebederos de animales, la acuicultura y usos domésticos. (Auburn University, 2020).

En conclusión, es la parte inicial del sistema de abastecimiento, se en carga de captar el agua con la que se abastecerá una población. Cabe resaltar que las características y tamaño de la estructura de captación dependerá del caudal de agua que una comunidad necesite. (Stauffer & Spuhler, 2020).

#### **6.1.7. CONDUCCIÓN**

El diseño de las obras de conducción y distribución presenta variables propias de cada proyecto, por ejemplo, el lugar de captación, su distancia a la planta de tratamiento, ubicación de esta y su distancia el lugar de distribución y consumo, por lo que iremos tratando los temas por separado, y será tarea de los profesionales, integrarlos en su proyecto específico. (Orellana, 2005).

Existen acueductos con conducción cerrados de tuberías y abiertos (canales), los canales abiertos se usan en algunas ocasiones para transportar el agua desde el lugar de captación hasta la planta de tratamiento para ser tratada, si bien estos canales tienen la ventaja de permitir el uso de materiales baratos y ahorrar en obra, estos canales no se usan para transportar aguas tratadas debido a las desventajas nombradas a continuación: a la existencia de posibles contaminantes del líquido, especialmente en zonas pobladas o industriales, que la conducción de agua por estos canales dependerá del clima ya que en se pueden producir evaporaciones en climas cálidos y puede generar hielo en climas fríos haciendo que se produzca pérdidas de carga. Los conductos cerrados en acueductos son los encargados de transportar el agua tratada, así como aguas servidas; para definir el tipo de conducción se debe tener en cuenta la topografía y la distancia. (Orellana, 2005).

### **6.1.8. PÉRDIDAS POR FUGAS**

Es la pérdida de agua resultado de la rotura de alguna tubería. Las pérdidas por fugas se clasifican a su vez en: Fugas notificadas: Son las fugas visibles o fugas detectadas por falta de suministro a clientes. Fugas no notificadas: Son las roturas de tuberías que no se detectan sin el uso de medidas de detección de fugas. Son las fugas que provocan el mayor volumen anual de pérdida de agua. El tiempo de fuga o tiempo de existencia de una fuga se divide en tres periodos:

- Tiempo de Detección: Tiempo desde que se produce la fuga hasta que se detecta en el área.
- Tiempo de Localización: Tiempo de localización exacta de la fuga dentro del área.
- Tiempo de Reparación: Tiempo de planificación de la reparación de la fuga hasta que queda arreglada la tubería. Los efectos de la presión del agua pueden influir en el volumen de pérdidas. Así si se define  $P_0$  como la presión inicial,  $L_0$  el flujo de pérdida inicial y  $P_1$  un nuevo valor de presión, entonces el nuevo flujo de pérdidas se define como:  $L_1 = L_0 (P_1/P_0)^N$  Donde  $N$  varía de 0.5 a 1.5, dependiendo del tipo de fuga y de la rigidez de los materiales que componen la tubería. Se suele asumir como 1 en sistemas grandes, por lo que la relación entre presión y fugas es lineal. (García, Racero, Eguia, & Ricardo, 2008).

### **6.1.9. VOLUMEN DE AGUA**

Es el espacio ocupado por el líquido, siendo el resultado de tres dimensiones y representado por unidades como litro (L) o metro cubico ( $m^3$ ).

### **6.1.10. DETERIORO DE LA CALIDAD DEL AGUA**

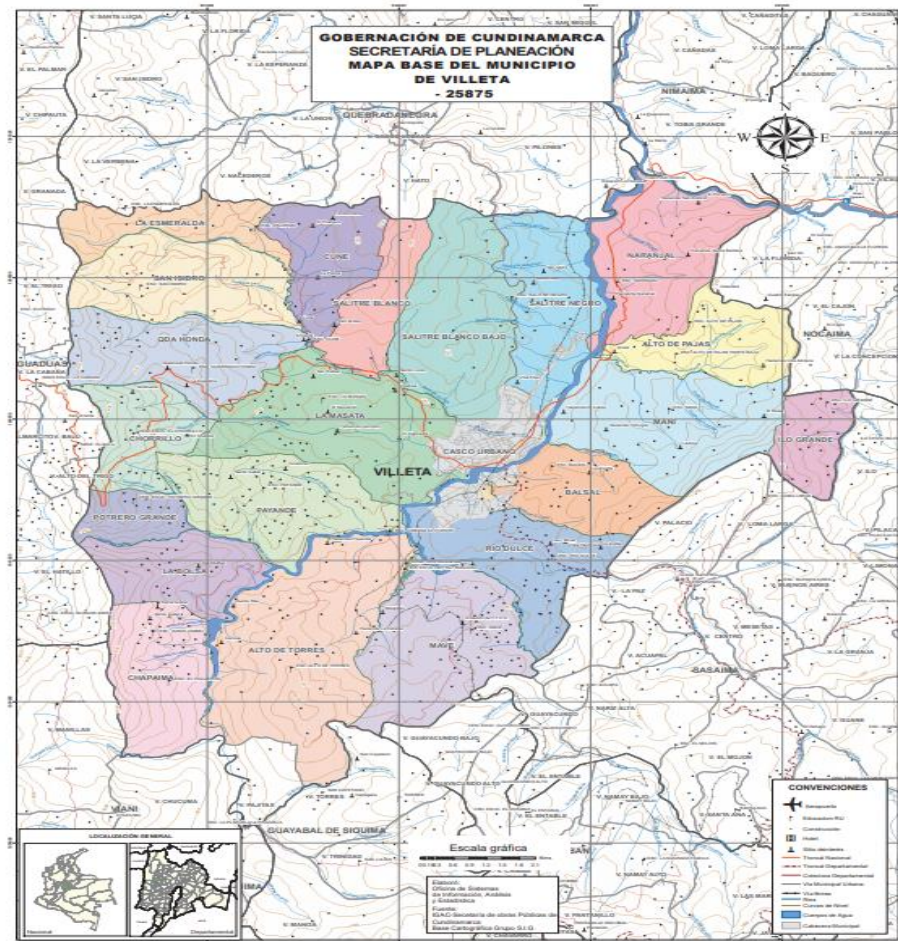
Las fuentes de agua superficial son eje de desarrollo de los seres humanos que permiten el abastecimiento para las diferentes actividades socioeconómicas llevadas a cabo en los asentamientos poblacionales; no obstante, de forma paradójica muchas de estas actividades causan alteración y deterioro de estas. En general, las aguas superficiales están sometidas a contaminación natural (arrastre de material particulado y disuelto y presencia de materia orgánica natural –MON–) y de origen antrópico (descargas de aguas residuales domésticas, escorrentía agrícola, efluentes de procesos industriales, entre otros). (Rojas, 2002).

## **6.2. MARCO CONCEPTUAL**

### **6.2.1. ESPACIO**

Se desarrollará en Villeta Cundinamarca, capital de la provincia del Gualivá. A nivel geográfico el municipio se encuentra ubicado a 5° 01´ de latitud norte y 74° 28´ de longitud occidental y a una altitud de 850 m.s.n.m.

*Ilustración 5. División Territorial Municipio de Villeta*



*FUENTE. ALCALDÍA DE VILLETA. PLAN BÁSICO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL, 2016 P.1*

### **6.2.2. TIEMPO**

La investigación se desarrolló en un tiempo aproximado de 10 meses contados a partir del 1 de septiembre de 2020 y hasta la fecha de sustentación del proyecto.

### **6.2.3. ALCANCE**

El alcance de la investigación será proporcionar una solución adaptada a las falencias que se identificaron, para optimizar la red de distribución del municipio de Villeta Cundinamarca. A través del modelamiento de está en Epanet y Python, logrando trabajar en los puntos críticos de manera acertada.

Con estos resultados se generará la propuesta de optimización de la red de distribución, mostrando en ella como se puede dar tratamiento a cada punto crítico, si hay que cambiar materiales, diámetros y/o accesorios que generen demasiadas pérdidas.

#### **6.2.4. DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE SISTEMA DE ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE VILLETA**

##### **6.2.4.1. CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA DE VILLETA**

El municipio se encuentra ubicado en la provincia del Gualivá, zona noroccidental del departamento de Cundinamarca. Al noroeste de Bogotá D. C., a hora y media de la misma saliendo por la calle 80 por la ruta que pasa por La Vega y a dos horas por la calle 13 ruta que pasa por Sasaima.

Limita con los municipios de Quebrada negra y Nimaima al norte, Albán y Vianí al sur, Nocaima y Sasaima al oriente y Guaduas al occidente. (Alcaldía de Villeta , s.f.)

##### **6.2.4.2. SUELOS**

Cuenta con un terreno quebrado montañoso, con una extensión total de 140.67 **km<sup>2</sup>**, área urbana de 2,89 **km<sup>2</sup>** y rural de 137.78 **km<sup>2</sup>**. (Alcaldía de Villeta , s.f.)

Sus suelos contienen materia orgánica, tienen minerales como feldespatos, anfíboles, piroxenos y cuarzo. Son casi neutros.

##### **6.2.4.3. CLIMATOLOGÍA**

Villeta tiene un clima cálido seco, dándose allí periodos de sequía durante el verano y de lluvias en el invierno. Su humedad varía entre el 80 y 85% y

su temperatura promedio es de 24°C, muy rara vez supera los 30°C. Cuenta con precipitaciones anuales entre los 1500 mm y 2500 mm.

#### **6.2.4.4. HIDROGRAFÍA**

El municipio está ubicado en la cuenca del río Negro, a donde pertenece la subcuenca del río Tobia y río Villeta que está conformado por las microcuencas de las quebradas Maní, Acatá, Cantarrana, El Cojo y Guanábana, quebrada Grande, río Dulce, río Namay, quebrada La Mugrosa, quebrada Santibáñez, quebrada La Masata y quebrada Cune.

### **6.2.5. DESCRIPCIÓN ACUEDUCTO MUNICIPIO**

#### **6.2.5.1. COBERTURA**

Actualmente se encuentran en trámite aproximadamente 4.000 solicitudes de viabilidad de servicio según información suministrada por la alcaldía del municipio.

#### **6.2.5.2. CONDICIONES PRESTACIÓN DE SERVICIO**

La Empresa De Servicios Públicos E. S. P. Villeta ofrece un servicio de captación, almacenamiento, tratamiento, distribución y comercialización del recurso hídrico.

Brindando así un abastecimiento de agua de manera sectorizada en horarios establecidos para poder suministrar a cada uno de los usuarios conectados a la red de distribución.

#### **6.2.5.3. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA**

La red de acueducto del municipio de Villeta fue construida en el año 1973 a la fecha completa 47 años de antigüedad y según estudios de la

Empresa de Servicios Públicos de Villeta una parte de la red de distribución aún se encuentra en material de Gress.

De acuerdo con los resultados obtenidos como diagnóstico por parte de la E. S. P. municipal se identifican las siguientes problemáticas:

- Discontinuidad en la prestación del servicio de agua potable.
- Red de distribución obsoleta, por lo que se genera rompimiento de tuberías dado el cambio brusco de presiones (golpe de ariete).
- Hace falta la sectorización a través de válvulas, con el fin de realizar mantenimientos o en época de sequías.
- Pérdidas entre un 45% - 55%, por conexiones fraudulentas y fugas en tuberías.
- Los diámetros existentes no son los adecuados para la capacidad de servicio.

## **7. MÉTODO Y METODOLOGÍA**

### **7.1 ETAPAS**

#### **7.1.1 PRIMERA ETAPA, EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO**

Inicialmente, se realizó una reunión con funcionarios de la empresa de acueducto del municipio de Villeta con el fin de contextualizar las principales problemáticas de la empresa. Se encontraron varias, entre ellas:

- Discontinuidad en la prestación del servicio de agua potable.
- Red de distribución obsoleta porque se genera rompimiento de tuberías dado el cambio brusco de presiones (golpe de ariete).



- Hace falta la sectorización a través de válvulas para poder realizar mantenimientos o en época de sequías.
- Pérdidas entre un 45% a 55%, por conexiones fraudulentas y fugas en las tuberías.
- Los diámetros existentes no son los adecuados para la capacidad de servicio.
- Conexiones fraudulentas.

Se logra decidir así enfocar la investigación en brindar una solución a las pérdidas y puntos críticos para lograr la optimización de la red de distribución del acueducto del municipio.

Debido a que la antigüedad de la red es considerable; tiene desde el año 1973 sin que se le realicen intervenciones de ampliación, se encontraron fallas en las tuberías como agrietamiento, generándose filtraciones y pérdidas.

Por otra parte, se busca encontrar puntos críticos en donde se pueda dar solución generando cambios de diámetro, agregar o quitar válvulas y/o demás accesorios. Con el fin de que se dé mayor presión en algunas zonas y sectorizar sin que se afecten los demás usuarios.

A través del software Epanet y Python se puede realizar un modelamiento de la red existente, por medio del Toolkit se puede trabajar sobre un código para generar dicha optimización.

## **7.1.2 SEGUNDA ETAPA CARACTERIZACIÓN SOCIODEMOGRÁFICA Y ECONÓMICA DE POBLACIÓN**

Villeta basa su actividad económica en la agricultura, al caracterizarse por ser la ciudad dulce de Colombia por su producción panelera y derivados de la caña.

La ganadería y avicultura también se encuentran presentes en el municipio.

El municipio tiene una temperatura promedio de 24°C, se ubica a una hora y media saliendo por la calle 80 de Bogotá D. C., además, tiene el privilegio para tener un movimiento económico enfocado en el turismo. Tiene a su disposición varios balnearios, restaurantes, hoteles y condominios. Teniendo de esta forma, una notable población flotante.

## **7.1.3 TERCERA ETAPA DISEÑO DE LA PROPUESTA**

La propuesta, se basa en plantear un diseño óptimo de la red de distribución del acueducto del municipio de Villeta, utilizando Epanet, al ser una herramienta enfocada a la distribución de sistemas de agua potable, evaluando los comportamientos en la red, se puede llegar a una posible alternativa de mejora en el sistema de distribución y el software(Python) como uno de los lenguajes de programación más usados actualmente que utiliza dos herramientas en conjunto, ya que por medio del Toolkit implementado entre Python y Epanet se podrá trabajar sobre un código para la posible optimización de la red de distribución.

La planta de tratamiento es alimentada por dos fuentes hídricas las cuales son la Quebrada Cune que suministra 54 L/s y el Rio Dulce 35 L/s de los cuales se tienen perdidas aproximadas entre el 45 y 50 %. Por ello este modelamiento de la red permitirá encontrar los puntos críticos, con un lenguaje gráfico, para modificar presiones y facilitar que el recurso hídrico llegue sin complicación a cada uno de los usuarios.

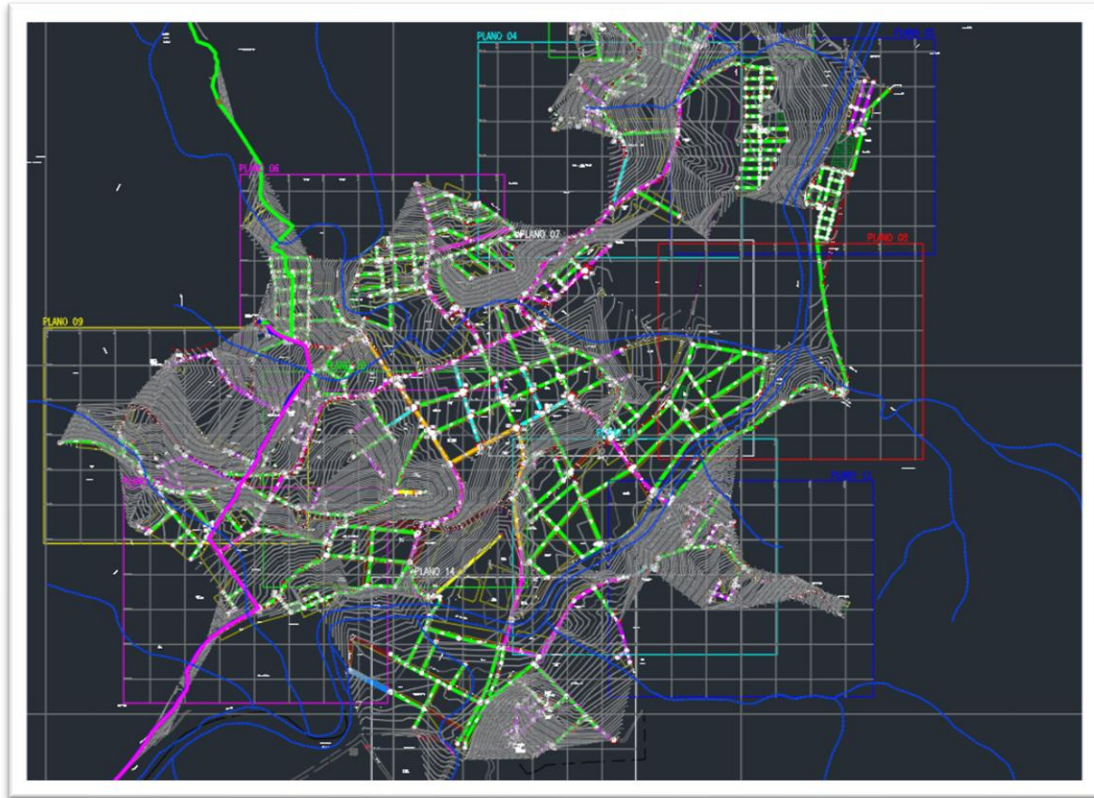
De esta forma, se aporta a la comunidad urbana de Villeta, un diseño para mejorar de servicio y se logra plantear este proyecto como posible solución al estado de la red actual.

#### ELABORACIÓN RED EN EPANET

##### **7.1.4 MODELADO TRAMO EN EPANET**

El municipio de Villeta tiene acueducto en parte rural y urbana, para el trabajo de investigación, se toma la parte del acueducto de la zona urbana, en donde se encuentra el centro del municipio y por ende, se concentra la población.

*Ilustración 6. Red de acueducto del municipio de Villeta.*

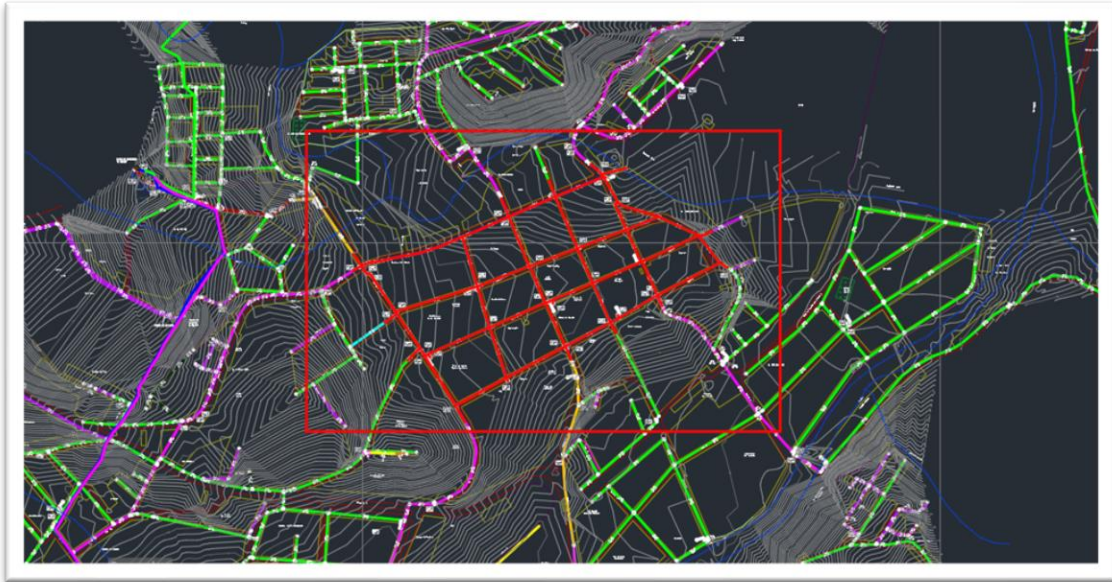


*FUENTE: Propia.*

Nota: Red de acueducto del municipio de Villeta suministrada por el ente prestador del servicio.

En AutoCAD se delinea el tramo que se va a utilizar en una capa independiente, se realiza un rectángulo, el cual muestra el área del mapa que se va a trabajar al momento de exportar con el objetivo de tener las coordenadas, y proceder a su escalado en Epanet.

*Ilustración 7. Área de la red de acueducto limitada para el desarrollo del trabajo de investigación.*

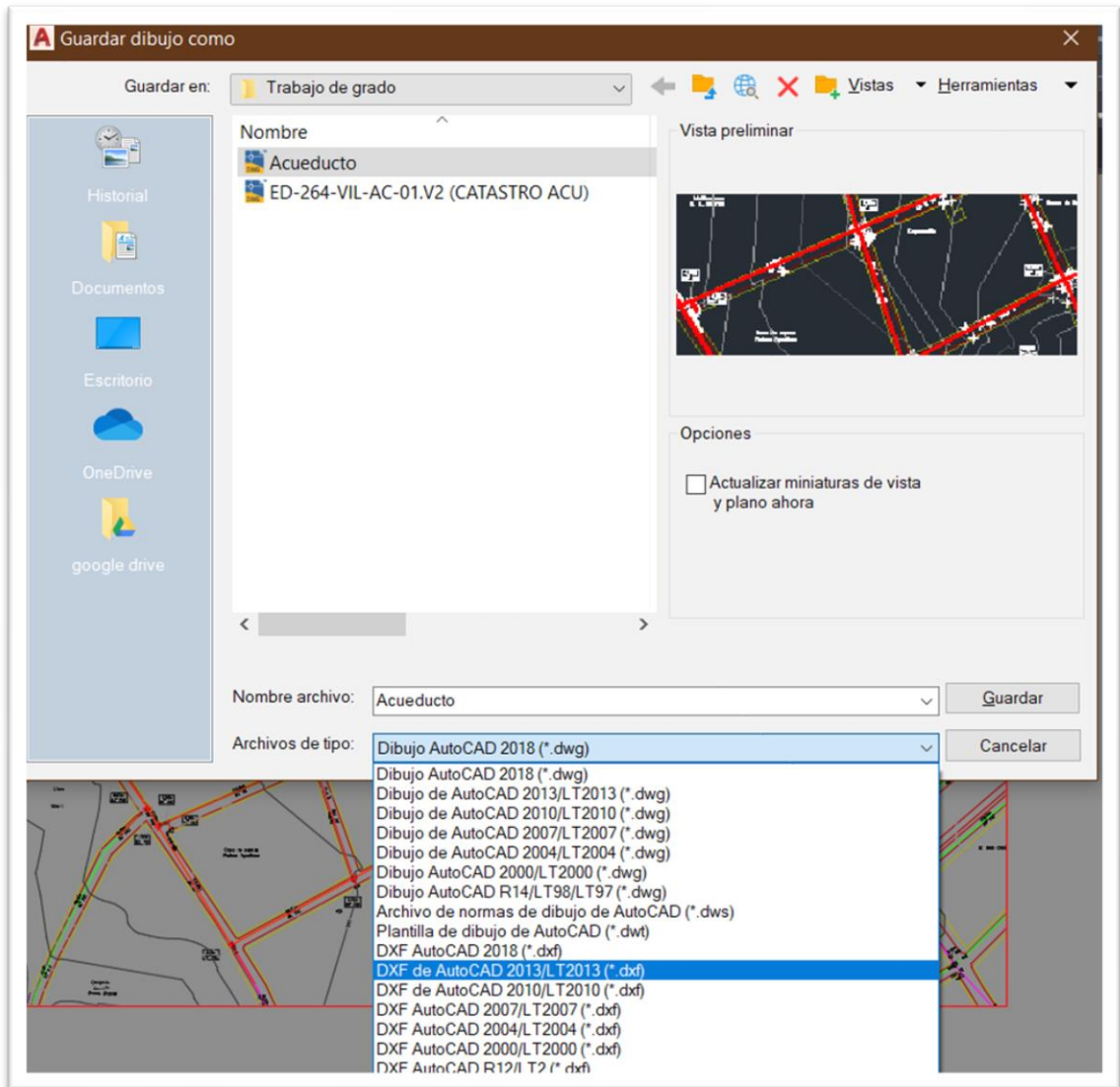


*FUENTE: Propia.*

Nota: Se toma el área urbana del sector de Villeta para limitar los nodos los cuales se van a importar a Epanet.

Al momento de tener la red delineada, se procede a realizar su exportación en un formato especial Drawing Exchange Format (DXF), un formato diseñado para crear una interoperabilidad entre los archivos creado en AutoCAD en formato (DWG).

Ilustración 8. Método de guardado en formato (.dxf) para exportar la red a Epanet.



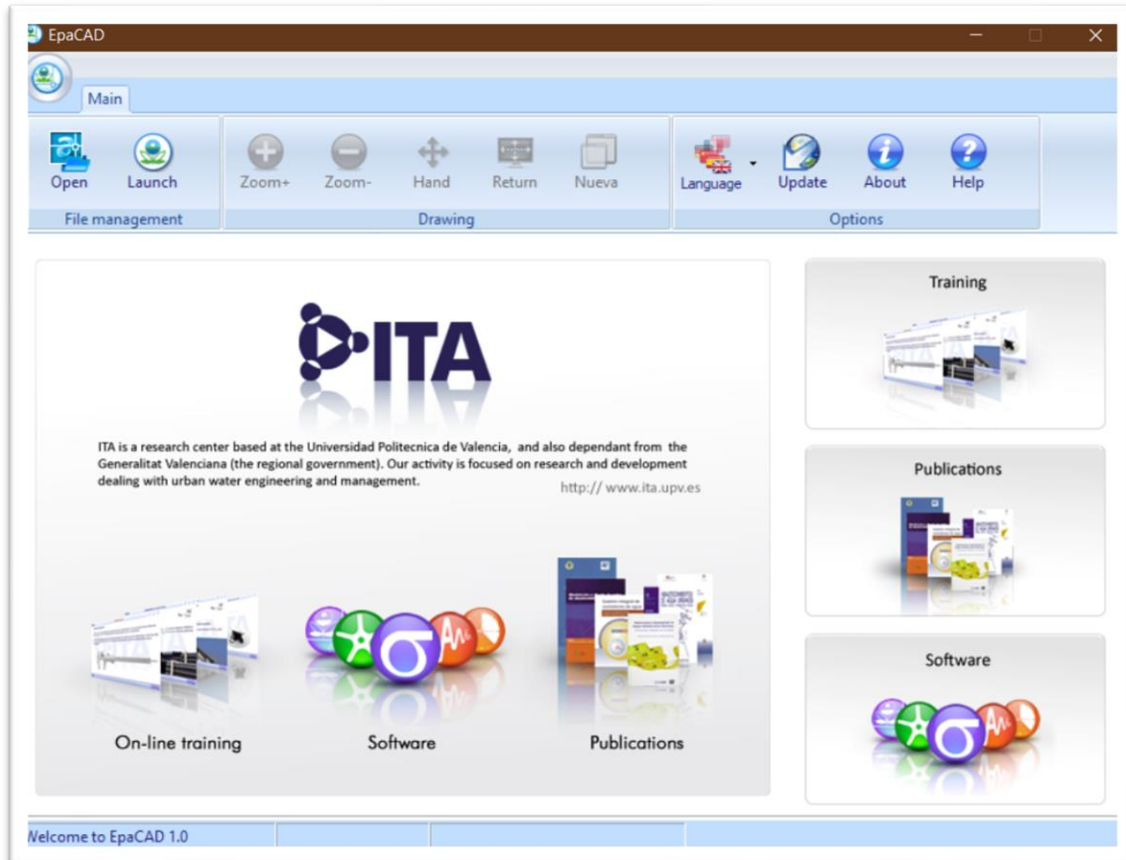
FUENTE: Propia.

Nota: El archivo abierto en AutoCAD en formato (.DWG) se exporta en formato (.DXF) para usar la herramienta del programa EpaCAD para la exportación de tuberías y nodos con sus correspondientes atributos.

## 7.1.5 IMPORTACIÓN Y EXPORTACIÓN EN EPACAD

En EpaCAD importamos el archivo (DXF) de nuestra red seleccionada.

*Ilustración 9. EpaCAD herramienta de exportación de redes dibujadas en AutoCAD a Epanet con sus atributos.*



*FUENTE: Propia.*

Nota: Es un software de uso libre desarrollado para facilitar la exportación de redes a Epanet desde archivos en formato (.DXF).

Después de importar el dibujo en AutoCAD se encontrarán varias opciones:

A. Pipe layes selection: Encontramos todas las capas de trabajo exportadas desde AutoCAD, debemos escoger la capa donde delineamos las tuberías a trabajar en Epanet.

## B. Conversion mode:

- Vertex Mode: En modo vértice, las tuberías dibujadas con polilínea se convierten en una sola tubería, pero si la tubería es dibujada con línea cada unión de la tubería se convierte en un nodo; es un factor para tener en cuenta al dibujar las tuberías dependiendo del tramo, se puede encontrar al momento de exportar más nodos en la red exportada a Epanet que la original.

AutoCAD Polilínea



EpaCAD Tubería



- Nodes Mode: En modo nodo las tuberías son dibujadas con polilíneas cada segmento se convierte en un nodo; hay que tener en cuenta en las tuberías de tramos largos con diferentes direcciones en el tramo de recorrido, se pasa de tener una tubería de una distancia a tener la tubería segmentada con distintos nodos.

AutoCAD Polilínea



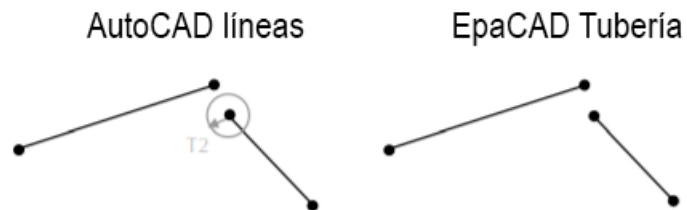
EpaCAD Tubería





### C. Connection Tolerance:

- Do not consider tolerance: La opción de no considerar tolerancia, toma cualquier tubería que no esté conectada desde que se realiza el dibujo en AutoCAD, se tomará como nodo independiente así sea una distancia mínima e imperceptible al momento de dibujar. Se recomienda realizar nodos en el dibujo con puntos y activar la opción en AutoCAD de referencia de opción en modo centro.



- Consider the following value: La opción de considerar una tolerancia con valor son las distancia a considerar, el programa se debe introducir en metros para comprobar que tuberías deben estar conectadas dependiendo de la distancia a determinar.

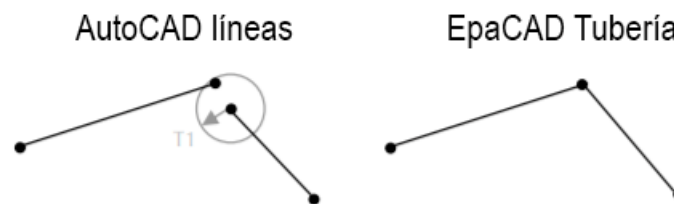
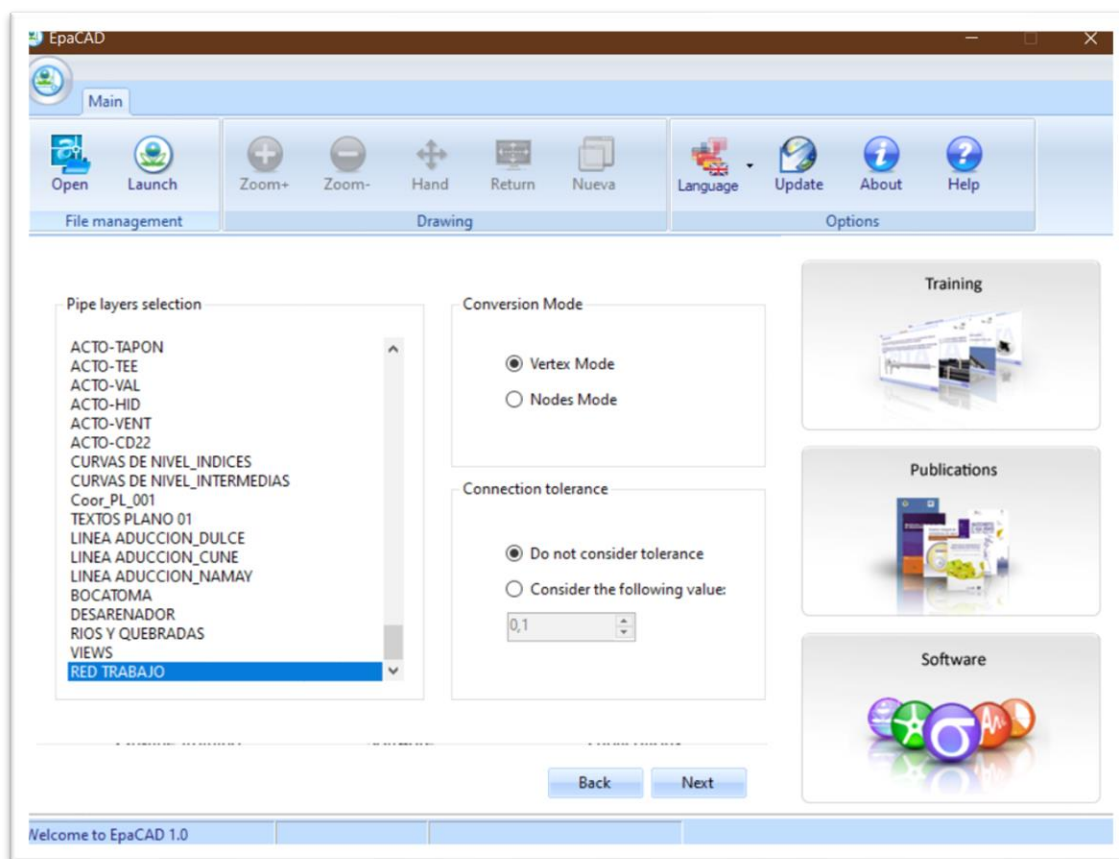


Ilustración 10. Importación de red limitada del municipio de Villeta Cundinamarca en EpaCAD.

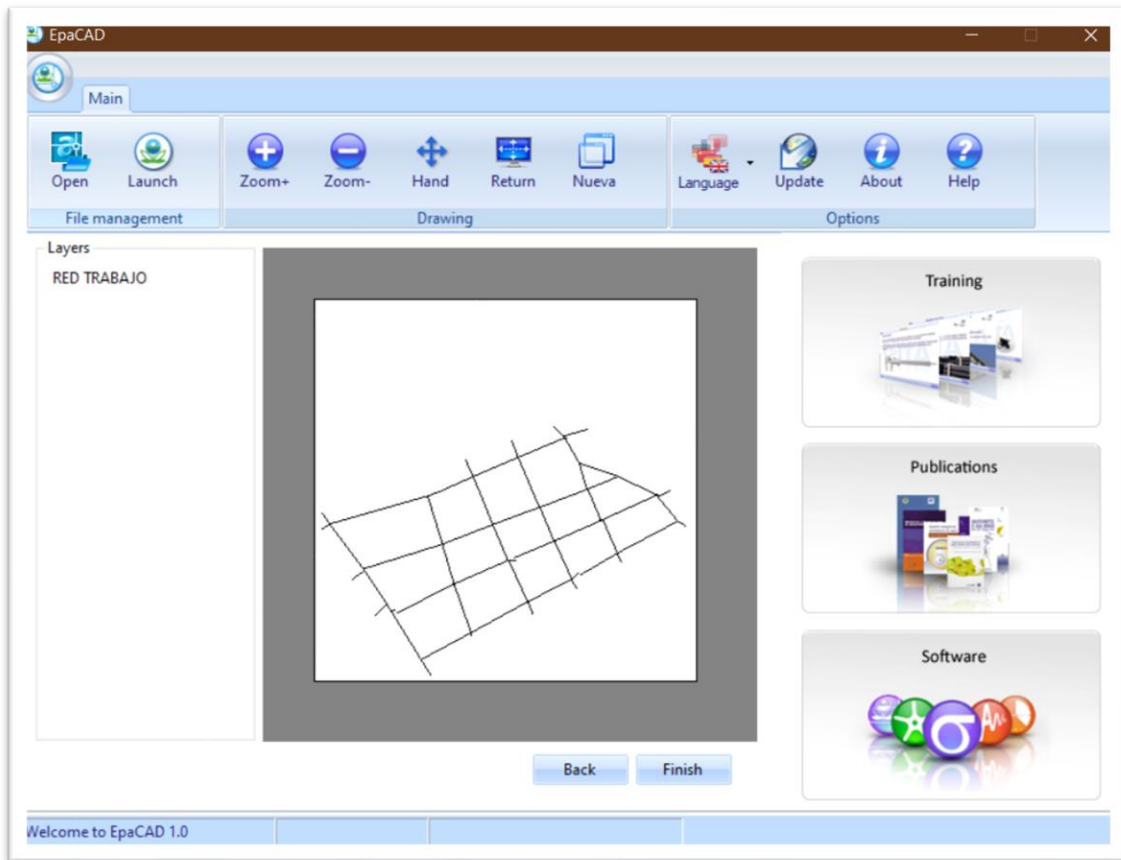


FUENTE: Propia.

Nota: Se muestran la configuración de importación de la red en el trabajo de investigación.

Terminada la configuración de la red se procede a terminar el proceso para abrir la red en Epanet.

Ilustración 11. Red Importada del tramo seleccionado con los atributos.



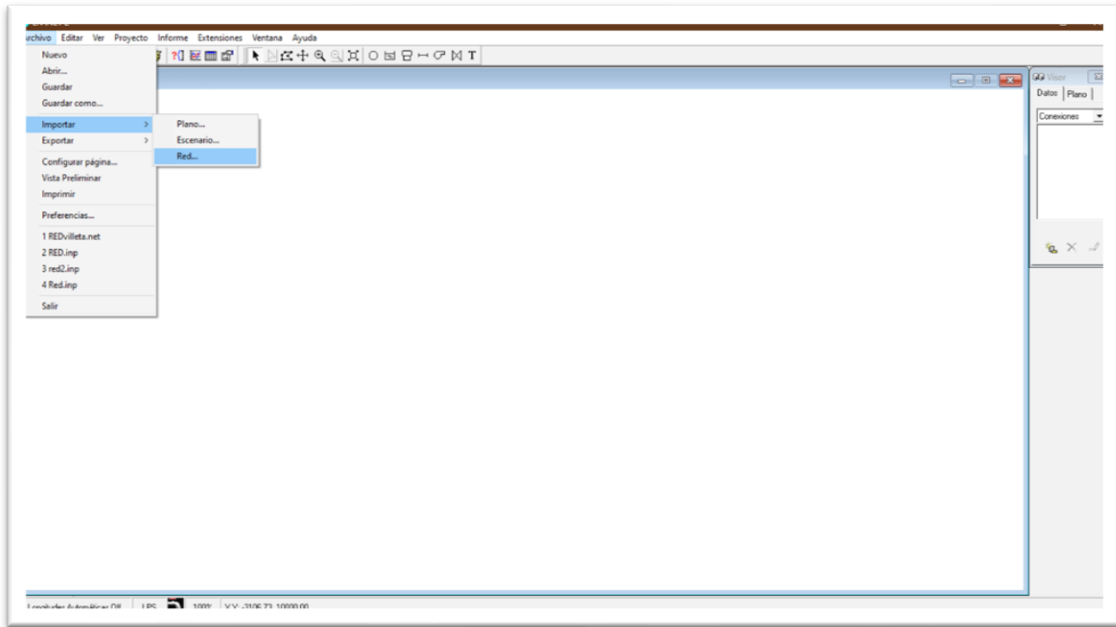
FUENTE: Propia.

Nota: Se escoge la capa donde está la red aferente para el trabajo de investigación.

### 7.1.6 IMPORTACIÓN RED EN EPANET

Al momento de importar la red en Epanet, se busca en el archivo el formato (INP) el cual en EpaCAD es el único formato de exportación predeterminado.

*Ilustración 12. Importación de red creada en EpaCAD.*

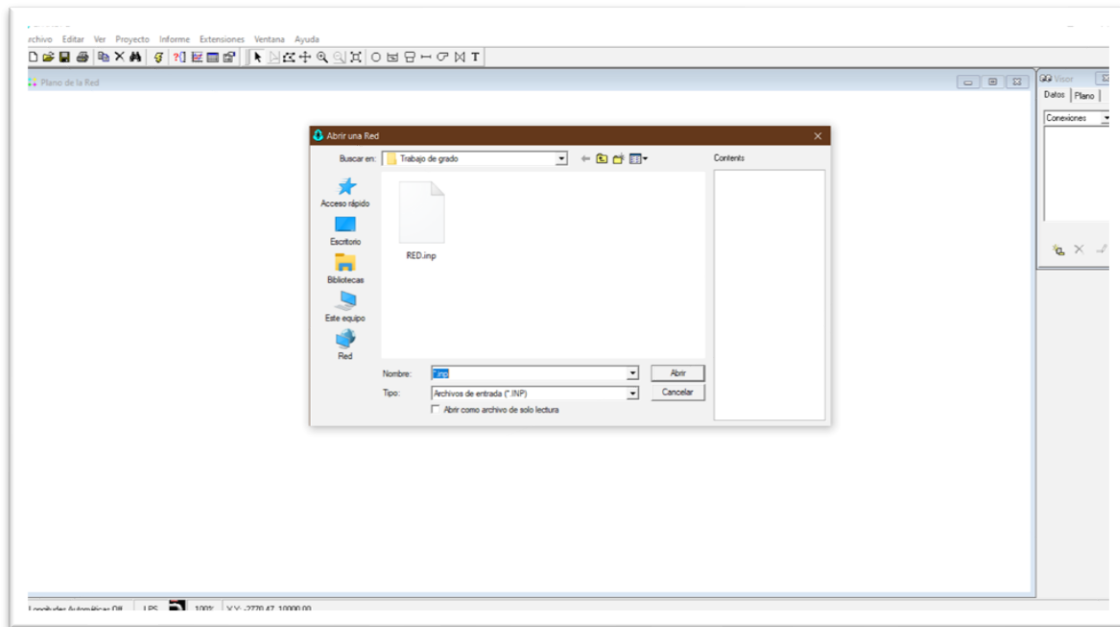


*FUENTE: Propia.*

Nota: Se importa la red exportada por EpaCAD para su verificación.

Se selecciona el archivo con el nombre elegido al momento de exportar y saber su dirección para no tener problemas al momento de buscarlo, es recomendable tener una carpeta donde guardar los archivos de AutoCAD y EpaCAD.

*Ilustración 13. Importación de red en formato (.INP).*

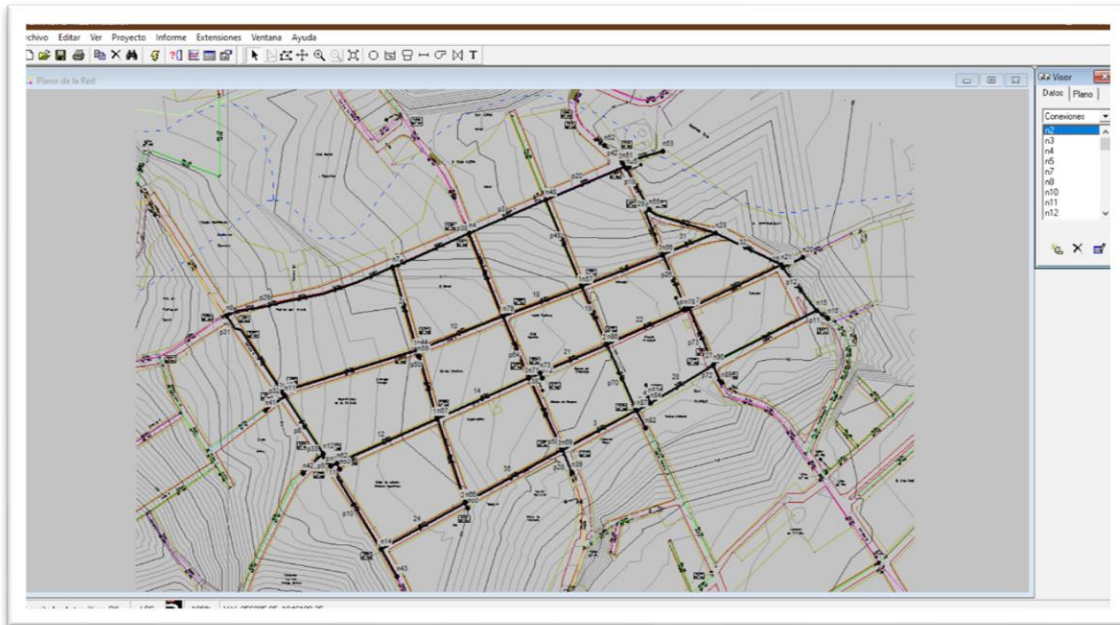


*FUENTE: Propia.*

Nota: El archivo exportado en el proceso de EpaCAD es en formato (.INP) lo que permite su información.

Una vez Importada la red procedemos a realizar la verificación de los nodos y tuberías con la red en AutoCAD, en caso de no escoger las opciones correspondientes las propiedades de nodos y tuberías no serán las importadas del archivo original.

*Ilustración 14. Red de Villeta (tramo seleccionado).*



*FUENTE: Propia.*

Nota: Red importada con sus respectivas cotas y mapa de referencia.

## **7.2 PYTHON**

De acuerdo con el lenguaje de programación, se usa PYTHON un lenguaje de multiplataforma usada globalmente en usos de Big data, Inteligencia artificial, Data Science, frame Works de pruebas y desarrollo web. (Crehana 2021)

Ilustración 15. Usos de Python



Fuente: CREHANA 2021.

### 7.2.1 COMPATIBILIDAD EPANET Y PYTHON

Se escoge debido a su extensa biblioteca entre ellas Epanet 2 (Toolkit) donde se saca el máximo provecho a las propiedades de Epanet con ayuda de algoritmos enfocados a la red de Villeta.

## 7.2.2 PROGRAMACIÓN

- **Lectura de datos:** Python mediante la librería de Epanet permite leer la red incluyendo los nodos, bombas, tuberías, embalses y tanques que se tengan en la red, se busca por dirección de destino donde este el archivo .inp el formato único de lectura.

*Ilustración 16. Código lectura de datos de la red.*

```
from epanettools.epanettools import EPANetSimulation,Node,Link,Network
from epanettools.examples import simple
file= os.path.join(os.path.dirname(simple.__file__), 'REDvilleta1.inp')
es= EPANetSimulation(file)
```

*FUENTE: Propia.*

- **Definir variables y parámetros:** se definen los parámetros en donde se va a editar la red al momento de leer sus datos, antes de correr la red en Python hay que definir que variables son importantes, en este caso las tuberías y nodos son aquellas que se tendrán en cuenta. Como se muestra en la ilustración 17.

*Ilustración 17. Definir variables en Python*

```
#Variables nodos y conductos
cond=es.network.links
nod=es.network.nodes

#obtener la cantidad de tubos
ret,num_links=es.ENgetcount(es.EN_LINKCOUNT) #numero de tuberias
ret,num_nodos=es.ENgetcount(es.EN_NODECOUNT) #numero de nodos

#Definir los objetos link y nodos del modelo
diametros=Link.value_type['EN_DIAMETER']
presiones=Node.value_type['EN_PRESSURE']
flow=Link.value_type['EN_FLOW']
vel=Link.value_type['EN_VELOCITY']
elevaciones=Node.value_type['EN_ELEVATION']
```



*FUENTE: Propia.*

- **Correr la red:** Por medio de la librería de Epanet 2 es posible correr la red en el momento indicado, ya que se va a estar cambiando entre posibles diámetros en tuberías debemos guardar los cambios antes de volver a probar la red.

*Ilustración 18. Correr la red en Python.*

```
es.run()
P=[]
#para mostrar las presiones
print('')
print('P originales:')
for i in range(num_nodes-1):
    print(nod[i+1].results[presiones][0]) #comienza en i+1 porque Epanet no acepta indice 0
    P.append(nod[i+1].results[presiones][0])
```

*FUENTE: Propia.*

- **Cambio de diámetros:** Como se necesita probar varios diámetros en algunos puntos de la red, hay que cambiar los diámetros desde Python, variar el tamaño del diámetro y guardar esos cambios en nuevos archivos para tener siempre copias de los cambios realizados.

*Ilustración 19. Cambio de diámetros definidos.*

```
def setDIAMETER (Diameters,es):
    cond=es.network.links # Definir parametro de epanet 2 para tuberias
    diametros=Link.value_type['EN_DIAMETER'] #Definir de las tuberias necesitamos el diametro
    ret,num_links=es.ENgetcount(es.EN_LINKCOUNT) #numero de tuberias
    if len(Diameters)==num_links:
        for i in range(1,num_links+1):
            r=es.ENsetlinkvalue(i ,diametros,Diameters[i-1]) #Relizar el cambio del diametro
            C=es.ENgetlinkvalue(i,diametros)[1]
    else:
        print ('No tienen DIMENSIONES correctas')
    es.ENsaveinfile('nuevos_diametros.inp') #comentar si no quiero modificar el inp
```

*FUENTE: propia.*

Nota: Se puede guardar el archivo con los nuevos diámetros, también permitiendo comentar la línea de código para seguir sin guardar.

*Ilustración 20. Impresión lista de los nuevos diámetros.*

```
def setDIAMETER_selected(link_selected,Diam_selected,es):
    if len(link_selected)==len(Diam_selected):
        cond=es.network.links #Definir parametro de epanet 2 para tuberias
        diametros=link.value_type['EN_DIAMETER'] #Definir de las tuberias necesitamos el diametro
        ret,num_links=es.ENgetcount(es.EN_LINKCOUNT) #numero de tuberias
        for i in range(num_links):
            for index,link in enumerate(link_selected):
                if link==i:
                    es.ENsetlinkvalue(link,diametros,Diam_selected[index])
                    print(es.ENgetlinkvalue(link ,diametros) ) #Mostras nuevos diametros
    else:
        print('ERROR en dimensiones')
```

*FUENTE: propia.*

Nota: Por medio de una lista, es posible verificar el cambio de diámetro en las tuberías. Con aplicación de líneas de código acomodar o buscar por orden la lectura de los diámetros que se necesitan.

*Ilustración 21. Cambio de rugosidades.*

```
def setROUGHNEES (Roughness,es):
    cond=es.network.links # Definir que necesitamos
    rugosidades=Link.value_type['EN_ROUGHNESS'] # Definir de las tuberias necesitamos la rugosidad
    ret,num_links=es.ENgetcount(es.EN_LINKCOUNT)
    if len(Roughness)==num_links:
        for i in range(1,num_links+1):
            r=es.ENsetlinkvalue(i ,rugosidades,Roughness[i-1]) #cambiamos el diametro del tubo
            C=es.ENgetlinkvalue(i,rugosidades)[1]
    else:
        print ('Las rugosidades No tienen DIMENSIONES correctas')
    es.ENsaveinfile(['nuevas_rugosidades.inp'])
```

*FUENTE: propia.*

Nota: Como se trabaja en una optimización es posible cambiar las rugosidades dependiendo del material de las tuberías.

- **Presiones:** Las presiones hay que leerlas después de realizar una modificación tanto en diámetros y rugosidades para cumplir las mínimas y máximas establecidas por las RAS 0330 de 2017.

*Ilustración 22. Definir variable de presión y leer presiones.*

```
P=[]
#para mostrar las presiones
print('')
print('P modificadas:')
for i in range(num_nodos-1):
    print(nod[i+1].results[presiones][0]) #comienza en i+1 porque Epanet no acepta indice 0
    P.append(nod[i+1].results[presiones][0])
```

*FUENTE: propia.*

Por medio de la librería de Matplotlib se grafican las presiones obtenidas por los diferentes cambios de diámetros realizados en el proceso.

*Ilustración 23. Graficas de presiones.*

```
#Analizar variaciones de presion|
P1=[];P2=[];P3=[]
for j in range(100,121,10):
    es.ENsetnodevalue(indice_emb,elevaciones,j) #cambiamos la elevacion
    if j==100:
        for i in range(num_nodos-1):
            P1.append(nod[i+1].results[presiones][0])
    if j==110:
        for i in range(num_nodos-1):
            P2.append(nod[i+1].results[presiones][0])
    if j==120:
        for i in range(num_nodos-1):
            P3.append(nod[i+1].results[presiones][0])
```

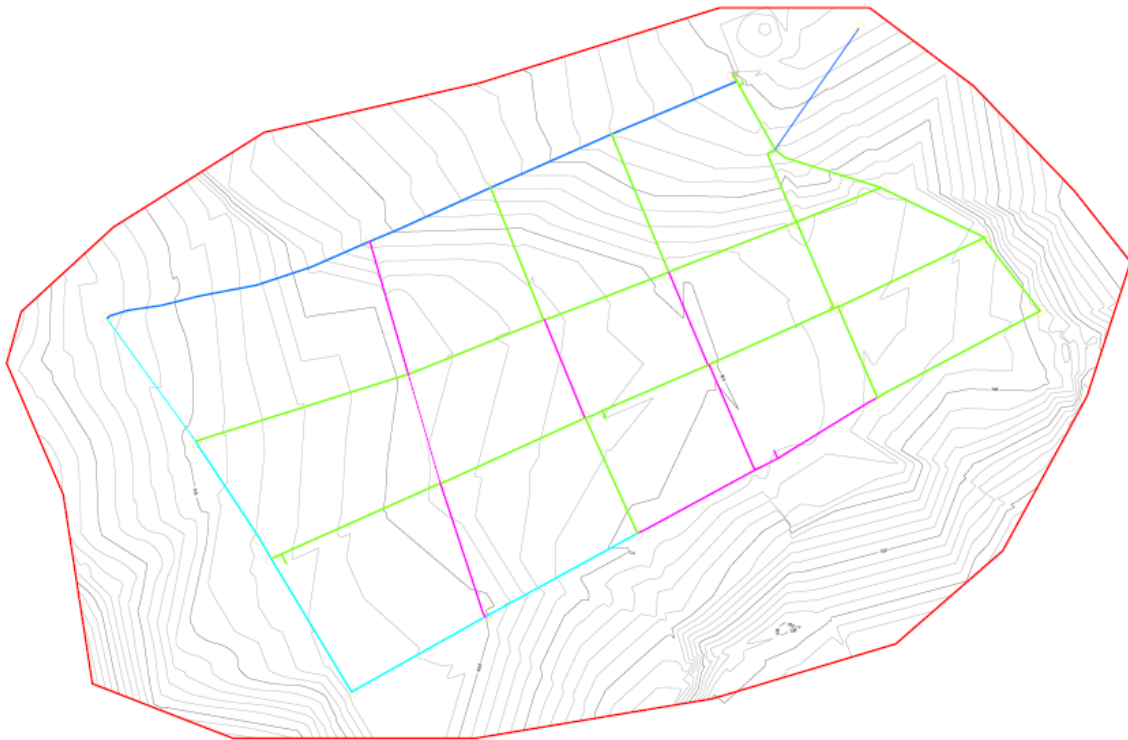
*FUENTE: Propia.*

## 8. RESULTADOS

### 8.1 MODELACIÓN

La red se delimita al sector del centro del municipio donde abarca desde la calle 4 hasta la calle 7, entre la transversal 4 y carrera 9 generando un polígono de aforo definido.

*Ilustración 24. Tramo de red a tomar dibujado en AutoCAD.*



*FUENTE: Propia.*

Nota: Las tuberías están diferenciadas en colores debido a la variedad de diámetros encontrados en el tramo.

El tramo de red del municipio se modela en Epanet exportada por la información suministrada por E.S.P Villeta por medio de un archivo en AutoCAD con la red del municipio del ultimo dibujo realizado por la

empresa, al momento de exportar la información a Epanet se encuentra la siguiente información:

- Tuberías:

*Tabla 1. Tuberías de la red de acueducto de Villeta.*

<b>ID</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Diámetro (mm)</b>
T1	87.64	152.22
T2	3.97	198.21
T3	72.11	198.21
T4	15.16	198.21
T5	101.4	198.21
T6	61.23	80.42
T7	2.978	80.42
T8	183	152.22
T9	101.69	198.21
T10	92.66	80.42
T11	75.13	80.42
T12	97.39	80.42
T13	91.71	103.42
T14	82.5	80.42
T15	69.83	103.42
T16	74.87	103.42
T17	64.57	80.42
T18	107.3	80.42
T19	83.24	103.42
T20	148.04	80.42
T21	65.56	103.42
T22	118.23	103.42
T23	893.978	152.22
T24	52.55	80.42
T25	59.93	80.42
T26	75.26	80.42
T27	114.45	198.21
T28	118.59	152.22
T29	89.11	152.22
T30	55.07	80.42
T31	73.88	103.42

<b>ID</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Diámetro (mm)</b>
T32	122.08	80.42
T33	97.26	80.42
T34	88.63	80.42
T35	90.98	80.42
T36	105.83	80.42
T37	88.83	80.42
T38	90.58	80.42
T39	101.49	198.21
T40	89.10	103.42
T41	93.29	103.42
T42	60.36	80.42

*FUENTE: Propia.*

- Nodos:

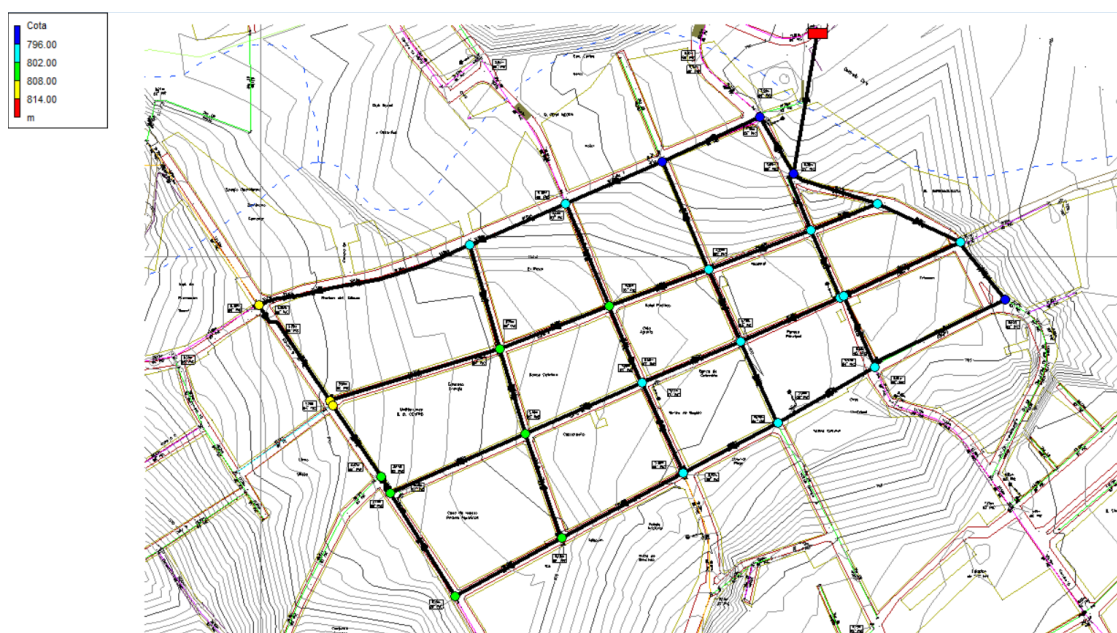
*Tabla 2. Nodos red de acueducto de Villeta.*

<b>ID</b>	<b>Elevación</b>	<b>Demanda (Lps)</b>
N1	797.15	1.34
N2	792.99	1.24
N3	800.78	2.23
N4	812.39	2.02
N5	809.7	1.16
N6	809.64	0.94
N7	807.84	1.08
N8	807.5	1.48
N9	806.96	1.40
N10	793.75	1.47
N11	796.23	0.71
N12	797.54	1.29
N13	791.93	0.72
N14	804.77	1.31
N15	799.22	0.95
N16	798.96	0.40
N17	797.48	0.56
N18	798.87	0.42
N19	790.29	1.14
N20	805.05	1.83
N21	803.76	1.25

ID	Elevación	Demanda (Lps)
N22	799.56	2.12
N23	801.31	0.98
N24	802.33	0.99
N25	800.12	0.84
N26	799.09	2.14
N27	797.46	2.23

*FUENTE: Propia.*

*Ilustración 25. Red estructurada en Epanet con los atributos necesarios para correr el sistema.*

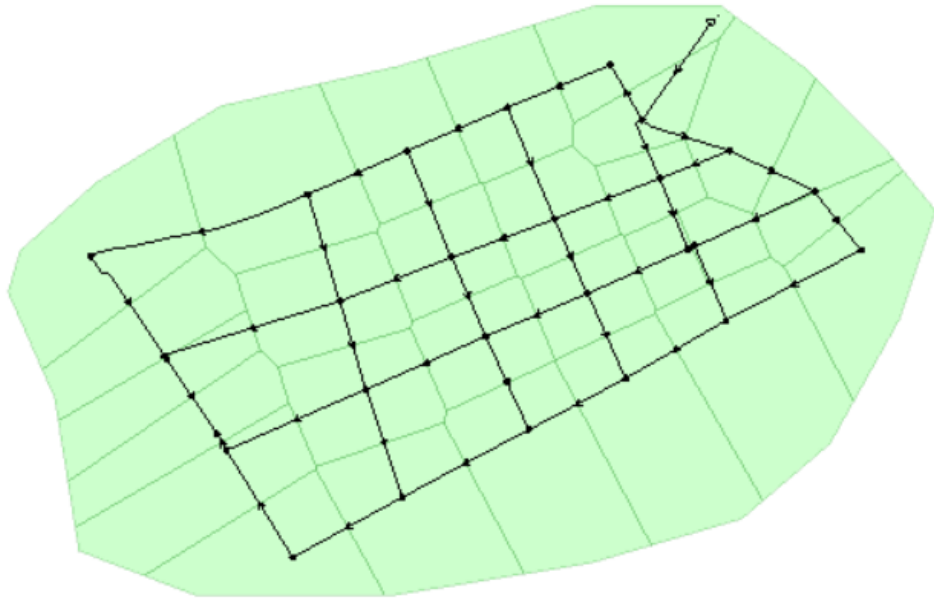


*FUENTE: Propia.*

Nota: Se evidencia la variación de cotas en el sistema.

Es fundamental tener la información de la red y el área aferente, se realiza por medio del programa ArcGIS Pro y los polígonos de Thiessen para determinar las áreas que influyen en cada uno de los nodos del sistema y así encontrar las demandas base.

*Ilustración 26. Polígonos de Thiessen con los nodos aferentes.*



*Fuente: propia.*

Teniendo como mediana en el área de los polígonos 9.082,68 metros cuadrados, y una demanda con mediana de 1,2029 Lps.

Con la información obtenida en ArcGIS Pro, se inserta los datos de demanda en cada uno de los 27 nodos por medio de la modificación del archivo de red, ya que es más sencillo que insertarlos manualmente en el programa.



*Ilustración 27. Demanda cargada en Epanet.*

ID Nudo	Caudal m	Demanda Base LPS
Conexión N1	797.15	1.34
Conexión N2	792.99	1.24
Conexión N3	800.78	2.23
Conexión N4	812.39	2.02
Conexión N5	809.7	1.16
Conexión N6	809.64	0.94
Conexión N7	807.84	1.08
Conexión N8	807.5	1.48
Conexión N9	806.96	1.40
Conexión N10	793.75	1.47
Conexión N11	796.23	0.71
Conexión N12	797.54	1.29
Conexión N13	791.93	0.72
Conexión N14	804.77	1.31
Conexión N15	799.22	0.95
Conexión N16	798.96	0.40
Conexión N17	797.48	0.56
Conexión N18	798.87	0.42
Conexión N19	790.29	1.14
Conexión N20	805.05	1.83
Conexión N21	803.76	1.25
Conexión N22	799.56	2.12
Conexión N23	801.31	0.98
Conexión N24	802.33	0.95
Conexión N25	800.12	0.84
Conexión N26	799.09	2.14
Conexión N27	797.46	2.23

*Fuente: propia.*

## 8.2 CAUDAL DE DISEÑO

Según la CAR, en su guía de planeación del programa de uso eficiente del agua de Villeta, tiene dos zonas de captación para abastecer la red el municipio, uno de ellos es río dulce el cual aporta 34.72 Lps de captación superficial y el segundo es la quebrada cune con un aporte de 50 Lps con tipo de captación superficial.

El mismo estudio nos da el consumo básico que tiene cada sector en el municipio como se evidencia en la ilustración 28.

*Ilustración 28. Consumo de los diferentes sectores en Villeta mensualmente.*

<b>COSTOS DE PRESTACIÓN DEL SERVICIO</b>		
<b>Estrato o sector</b>	<b>Consumo básico m<sup>3</sup>/mes</b>	<b>Tarifa básica o cargo fijo</b>
<b>Estrato 1</b>	6617	2805.28
<b>Estrato 2</b>	32101	3670.36
<b>Estrato 3</b>	19563	4590.46
<b>Estrato 4</b>	4387	5100.51
<b>Estrato 5</b>	735	8160.82
<b>Estrato 6</b>	1206	8670.87
<b>Sector industrial</b>	354	7140.71
<b>Sector comercial</b>	11346	8160.82
<b>Sector Oficial</b>	3735	5100.51

*Fuente: CAR PUEAA 2018.*

El caudal procesado por la PTAP varía dependiendo de la época en las épocas de poca precipitación se trata un caudal de 60 Lps donde se entrega a los suscriptores en esa misma época 30 Lps, cuando se encuentra en época de precipitación el agua tratada aumenta a 32 Lps con entrega a los suscriptores de 32 Lps. Ya que el municipio no cuenta con micro medición no tenemos una medición exacta en los diferentes estratos del municipio y así la empresa de servicios públicos de Villeta pueden reducir el índice de agua no contabilizada.

Ilustración 29. Caudal de consumo promedio en el municipio.

<b>Estrato</b>	<b>Total l.p.s</b>
Residencial	26.399
Industrial	0.205
Comercial	4.329
Oficial	1.077
<b>Total</b>	<b>32.010</b>

Fuente: CAR PUEAA 2018.

Ilustración 30. Caudal promedio por estrato.

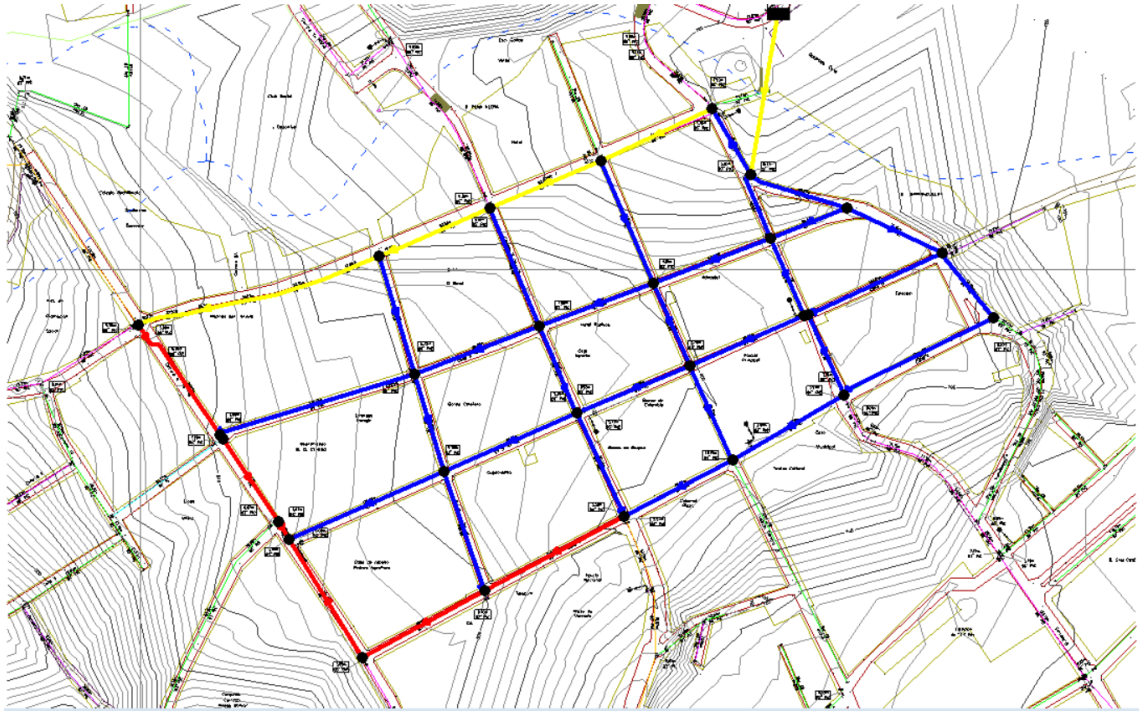
<b>Estrato</b>	<b>Total l.p.s</b>
1	3.012
2	12.788
3	7.773
4	1.758
5	0.403
6	0.666

Fuente: CAR PUEAA 2018.

### 8.3 RED EPANET (Propiedades predeterminadas)

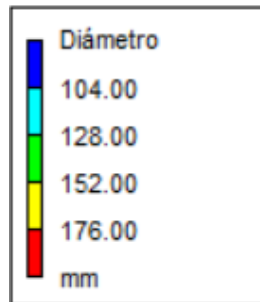
#### 8.3.1 TUBERÍAS

Ilustración 31. Diámetros de tubería en la red.



*Fuente: propia.*

*Ilustración 32. Escala de diámetros en las tuberías*



*Fuente: propia.*

En red encontramos 4 diámetros establecidos por la empresa prestadora de servicios públicos de Villeta en material de pvc, revisando el catálogo de Pavco se toman los diámetros internos de las tuberías para pasar a entrar esos datos en Epanet.

*Ilustración 33. Tabla catálogo de PAVCO*

## RDE 21 PVC Tipo 1, Grado 1

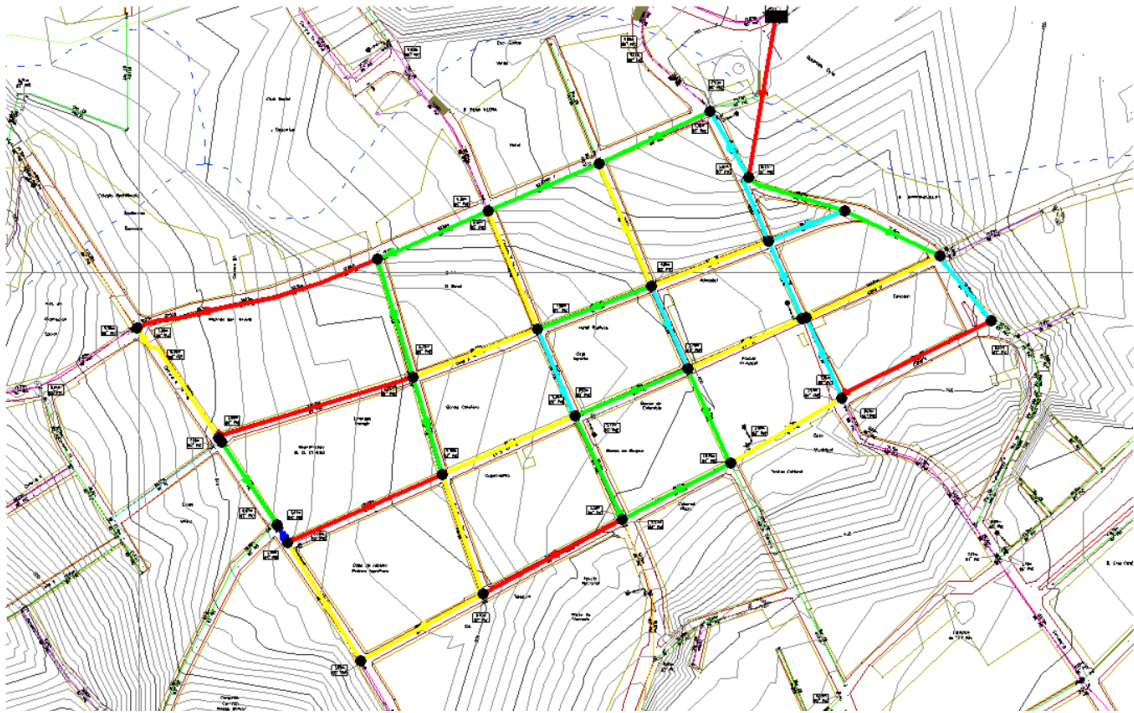
Presión de trabajo a 23°C: 200 psi - 1.38 MPa - 14.06 Kg/cm<sup>2</sup>

Diámetro Nominal pulg	Referencia	Peso Aprox. Kg/m	Diámetro Exterior Prom.		Espesor de Pared Mínimo		Diámetro Interior Prom. mm
			mm	pulg.	mm	pulg.	
2	2900010	0.81	60.32	2.37	2.87	0.11	54.58
2.1/2	2900018	1.18	73.03	2.87	3.48	0.14	66.07
3	2900022	1.76	88.90	3.50	4.24	0.17	80.42
4	2900033	2.90	114.30	4.50	5.44	0.21	103.42
6	2900043	6.31	168.28	6.62	8.03	0.32	152.22
8	2900054	10.67	219.08	8.62	10.41	0.41	198.21
10	2902411	16.63	273.05	10.75	12.98	0.51	247.09
12	2902421	23.45	323.85	12.75	15.39	0.60	293.07
14	2902431	28.14	355.60	14	16.92	0.67	321.76
16	2902435	36.78	406.40	16	19.35	0.76	367.70
18	2902439	46.53	457.20	18	21.77	0.86	413.66
20	2902443	53.82	508.00	20	24.18	0.95	459.64
24	NUEVO	80.62	609.6	24	29.03	1.14	551.54

*Fuente: Catalogo de tuberías platimun PAVCO.*

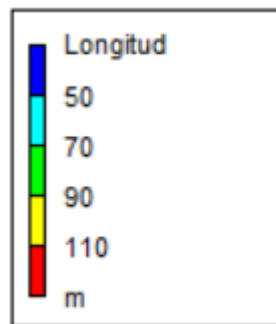
Nota: Se toma el diámetro interno promedio para el trabajo.

Ilustración 34. Longitud de tuberías en la red.



Fuente: Propia.

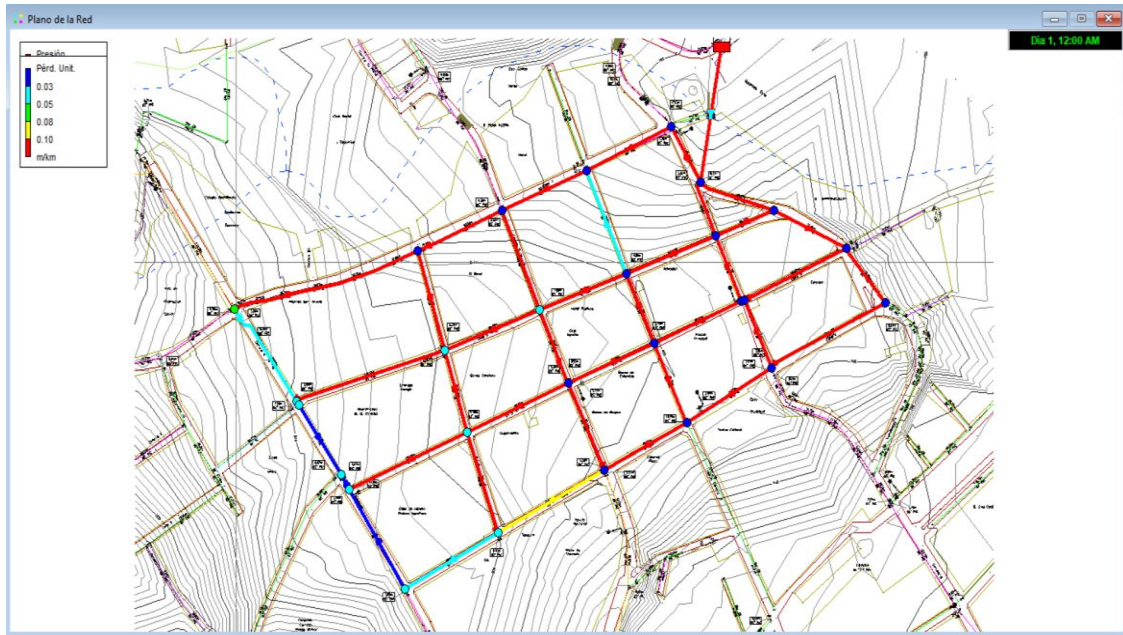
Ilustración 35. Escala de longitudes en la red



Fuente: propia.

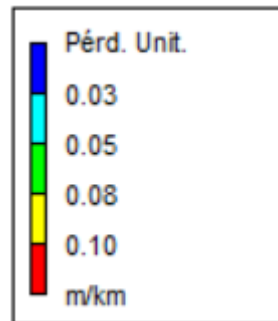


Ilustración 36. Pérdidas en la red por tramo de tubería.



Fuente: Propia.

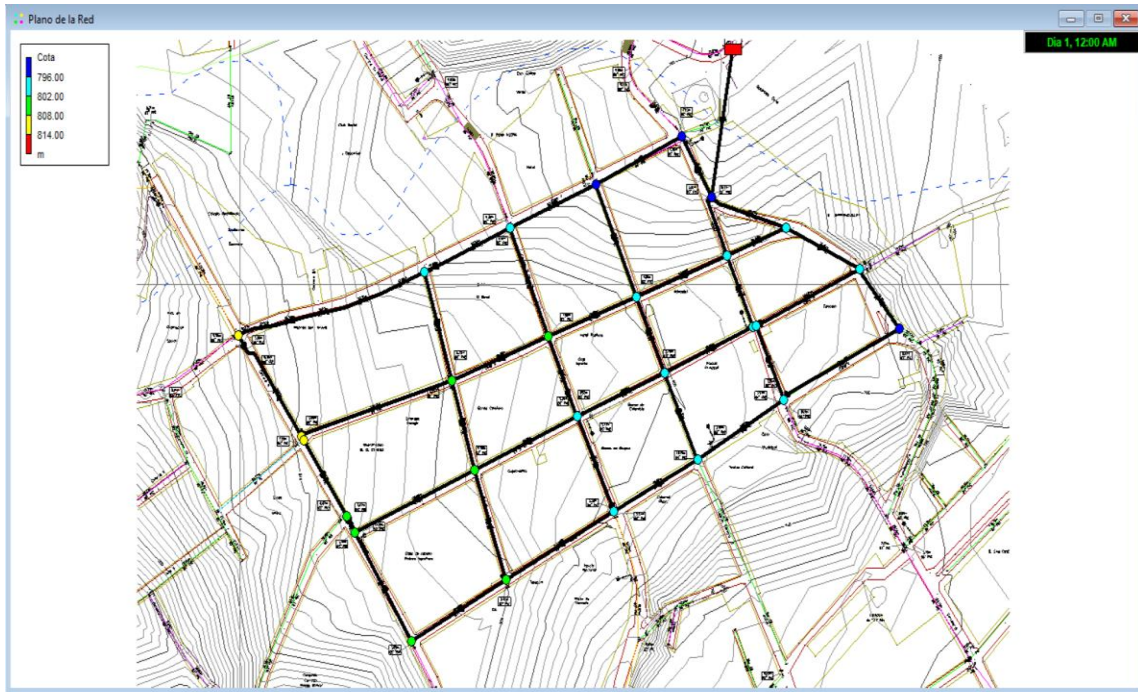
Ilustración 37. Escala de pérdidas en la red.



Fuente: propia.

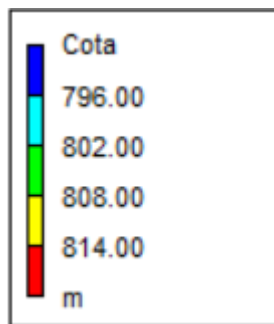
### 8.3.2 Nodos

*Ilustración 38. Cotas en cada nodo de la red.*



*Fuente: Propia.*

*Ilustración 39. Escala de cotas en los nodos.*

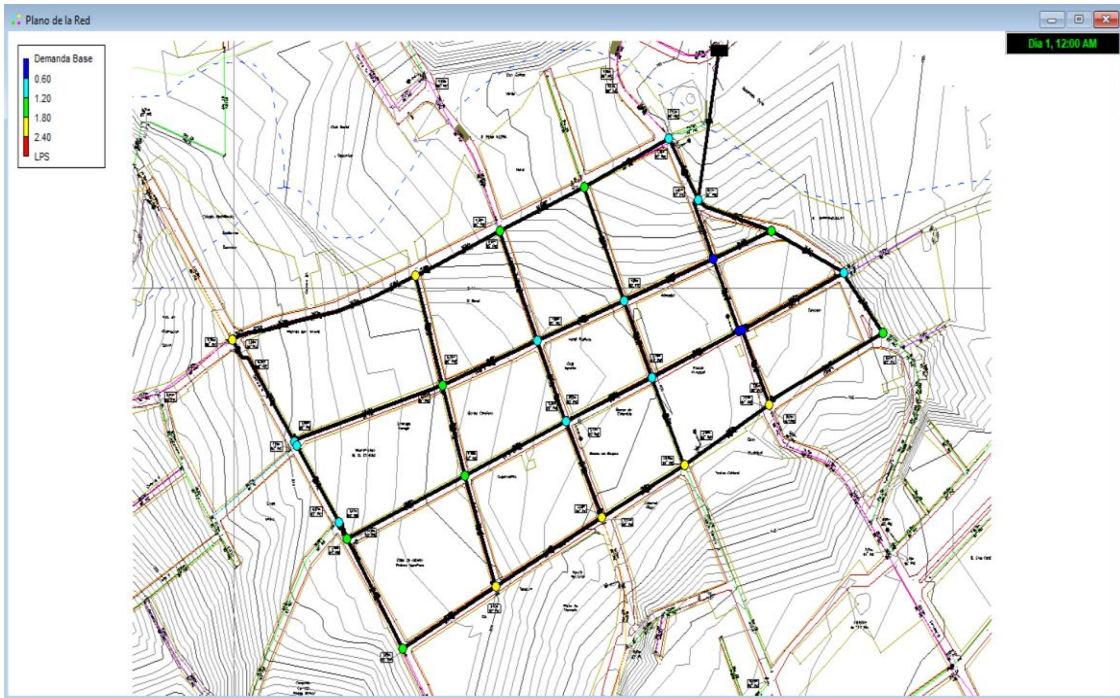


*Fuente: propia.*

Los nodos en la red tienen una variación de altura de los 780 msnm hasta los 850 msnm donde encontramos el punto más alto, el cual es el embalse donde se abastece la red.

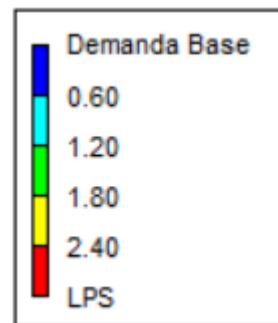


*Ilustración 40. Demandas en los nodos.*



*Fuente: propia.*

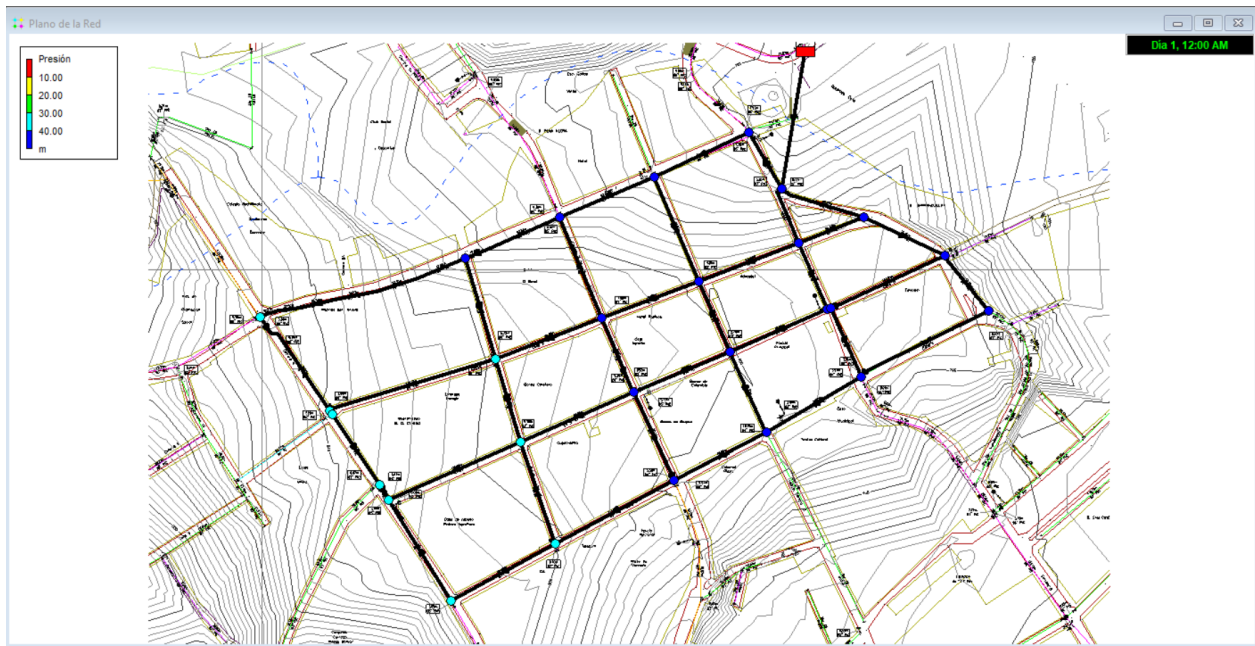
*Ilustración 41. Escala de demandas en los nodos.*



*Fuente: propia.*

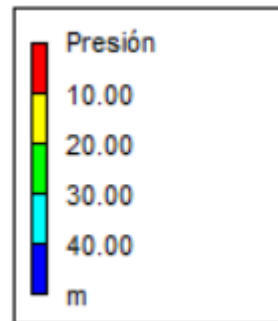
Después de usar ArcGIS Pro para hacer los polígonos de Thiessen, se anexan esas demandas por área a cada uno de los nodos y así poder correr la red en Epanet.

*Ilustración 42. Presiones en los nodos de la red.*



*Fuente: propia.*

*Ilustración 43. Escala de presiones en la red.*



*Fuente: propia.*

En el artículo 61 de las RAS 0330 de 2017, las presiones mínimas para poblaciones mayores a 12500 habitantes deben ser mayores a 15 m.c.a mirando las escales y Epanet estas presiones están por encima de lo establecido, pero en el artículo 62 encontramos también que la mayor presión

no debe ser mayor a 50 m.c.a, es ahí donde encontramos varios nodos con presiones mayores a las establecidas.

## **9. CONCLUSIONES**

La red del municipio de Villeta puede ser optimizada por medio de tramos con el modelamiento en Epanet y edición en Python, esto permite expandir las soluciones para resolver el problema, en este caso las presiones en el sistema. La propuesta de trabajar estas herramientas en conjunto que ayuda a generar mayor beneficio a la comunidad.

La modelación de red urbana en la zona centro de Villeta por medio de la exportación de AutoCAD hacia Epanet con la ayuda de WaterCAD, dio la primera vista el estado de la red que se trabajó, el uso de graficas para visualizar en Epanet, el estado de las presiones dio una primera idea de cómo llegar a una posible solución con la variación de diámetros en los tramos de la red.

El uso de herramientas como Python, son de gran utilidad en el uso de sistemas de redes, con la investigación e implementación de líneas de código puede ser posible el cambio de diámetros en el sistema sin necesidad de hacer un cambio manual en Epanet, lo que ahorra tiempo al momento de optimizar una red.

Por medio de las líneas de código se implementa la edición de varias propiedades del sistema como rugosidad, flujo, diámetros, elevación, modificación de accesorios en el sistema, dejando una gran cantidad de criterios que puede se puede expandir adecuándose a las necesidades de la red.

La red de distribución de agua potable en la zona urbana de municipio debe ser actualizada en la zona urbana ya que las presiones encontradas desde el diseño en Epanet nos cumplen con

la normatividad, la posible solución que se plantea con los diámetros brindados por el catálogo de PAVCO no ofrece cambios menores en la red para su optimización.

## 10. RECOMENDACIONES

- Se recomienda actualizar el trazo de dibujo de la red de agua potable, ya que con el tiempo se realizan actualizaciones y pueden no estar contempladas en el trabajo.
- Tomar en cuenta la población flotante que entra al municipio como es el ejemplo de los turistas que ingresan los fines de semana, ya que puede ocasionar grandes variaciones en el consumo y la red, si no se contempla puede perjudicar a los habitantes.
- Observar y analizar los materiales actuales de la red, para así mejorar el sistema y mejorar el rendimiento de esta.
- Buscar nuevas fuentes de captación viables para el municipio y el medio ambiente, para aumentar el abastecimiento debido al crecimiento poblacional que se presenta.
- Actualizar los sistemas de información de la empresa pública prestadora de servicio, permitiendo así mejorar el control del agua que entra y sale en el municipio.

## 11. GLOSARIO

- **Accesorios:** elementos componentes de un sistema de tuberías, diferentes de las tuberías en sí, tales como uniones, codos, tees, etc.
- **Aducción:** componente a través del cual se transporta agua cruda, ya sea a flujo libre o a presión.
- **Almacenamiento:** acción destinada a almacenar un determinado volumen de agua para cubrir los picos horarios y la demanda contra incendios.

- **Ampliación:** se denomina ampliación de un sistema al conjunto de acciones y obras requeridas para aumentar su capacidad en una misma área de cobertura.
- **Bocatoma:** estructura hidráulica que capta el agua desde una fuente superficial y la conduce al sistema de acueducto.
- **Calibración:** consiste en la modificación de parámetros del modelo matemático de la red. Esta modificación se realiza con el fin de mejorar la semejanza entre el modelo hidráulico y la red existente en campo. La calibración proporciona las variables optimas de tal forma que mejoren el modelo tanto como sea posible.
- **Capacidad de almacenamiento:** volumen de agua retenido en un tanque o embalse.
- **Capacidad de producción:** caudal que puede tratar una planta de potabilización.
- **Capacidad hidráulica:** caudal que puede manejar un componente o una estructura hidráulica conservando sus condiciones normales de operación.
- **Captación:** conjunto de estructuras necesarias para tomar el agua de una fuente de abastecimiento.
- **Caudal:** cantidad de fluido que pasa por determinado elemento en la unidad de tiempo.
- **Caudal de diseño:** caudal estimado al final del periodo de diseño con el cual se diseñan los equipos, dispositivos y estructuras de un sistema determinado.
- **Caudal máximo diario (QMD):** consumo máximo durante veinticuatro horas, observado en un periodo de un año, sin tener en cuenta las demandas contra incendio que se hayan presentado.
- **Caudal máximo horario (QMH):** consumo máximo durante una hora, observado en un periodo 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 periodo de un año.
- **Conducción:** componente a través del cual se transporta agua potable, ya sea a flujo libre o a presión.
- **Consumo:** cantidad de agua utilizada por un usuario en un periodo determinado.
- **Cuenca hidrográfica:** superficie geográfica que drena hacia un punto determinado.
- **Diámetro:** diámetro real interno de conductos circulares.
- **Expansión:** la expansión es el conjunto de acciones encaminadas a implementar obras cuyo propósito es aumentar el área de cobertura de la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo.
- **Georreferenciar (referenciación):** acción de ubicar uno o varios puntos a partir de un grupo de puntos semejantes previamente localizados.
- **Golpe de ariete:** fenómeno hidráulico de tipo dinámico oscilatorio, causado por la interrupción violenta del flujo en una tubería, bien sea por el cierre rápido de una válvula o por el apagado del sistema de bombeo, que da lugar a la transformación de la energía cinética en elástica, tanto en el flujo como en la tubería, produciendo sobre elevación de la presión, supresiones y cambios en el sentido de la velocidad del flujo.
- **Índice de agua no contabilizada:** Indicador porcentual que relaciona el volumen total de agua que se suministra a las redes con el volumen total del agua que se fractura a los suscriptores de estas, en un periodo determinado.
- **Macromedición:** sistema de medición de grandes caudales, destinado a totalizar la cantidad de agua que está siendo transportada por diferentes sectores del sistema.

- **Mantenimiento:** grupo de actividades que se llevan a cabo en un equipo, instrumento con el fin de que opere en su máxima eficiencia así mismo prevenir daños o reparaciones
- **Medición:** método utilizado para registrar la cantidad de líquido transportado por un conducto.
- **Micromedición:** técnica de medición de volumen hídrica destinada a conocer la proporción de agua consumida dentro de un periodo, por cada suscriptor de un sistema de acueducto.
- **Modelo hidráulico:** formulación idealizada que representa la respuesta de un sistema hidráulico a estímulos externos.
- **Optimización:** es el conjunto de acciones enfocadas a optimizar la capacidad, eficiencia y eficacia del sistema de acueducto, alcantarillado mediante la intervención parcial o total.
- **Parámetros de diseño:** criterios preestablecidos con los que se diseñan y construyen cada uno de los componentes.
- **Patrón de consumo:** conjunto de factores multiplicadores que representan la variación horaria de la demanda en una red de distribución. Tiene como característica que es unitaria, es decir, el promedio de los factores es igual a 1.
- **Pérdidas:** diferencia entre el volumen de agua que entre en un sistema de acueducto y aquel que sale facturado, dependiendo del sistema.
- **Pérdidas comerciales:** aquellas debidas a volúmenes consumidos no facturados, volúmenes no contabilizados por defectos en los micromedidores, consumos a través de conexiones clandestinas, etc.
- **Pérdidas menores:** pérdida de energía causada por accesorios o válvulas en una conducción de agua.

- **Pérdidas por fricción:** pérdida de energía causada por los esfuerzos cortantes del flujo en las paredes de un conducto.
- **Pérdidas técnicas en la red de distribución:** corresponden a las fugas de agua tanto detectables como no detectables.
- **Periodo de diseño:** tiempo para el cual se diseña un sistema o los componentes de este, en el cual su capacidad permite atender la demanda proyectada para este tiempo.
- **Planta de tratamiento de agua potable (PTAP):** grupo de obras, equipos, materiales, instalaciones y procesos necesarios para el tratamiento de aguas.
- **Población de diseño:** población que se espera atender por el proyecto, considerando el índice de cubrimiento, crecimiento y proyección de la demanda para el periodo de diseño.
- **Población equivalente:** población estimada al relacionar la carga total o volumen total de un parámetro en un efluente con el correspondiente aporte per cápita.
- **precipitación:** porción de agua lluvia caída en un espacio durante un tiempo o período determinado.
- **Red de conducción:** grupo de tuberías que transportan agua desde las plantas de tratamiento hacia los tanques de compensación
- **Red de distribución:** conjunto de tuberías que transportan el agua desde las plantas de tratamiento hacia los tanques de almacenamiento o planta de tratamiento hasta los puntos de consumo.
- **Revestimiento:** aplicación sobre la superficie interna o externa con el fin de proteger el material contra la erosión y corrosión, entre otros.
- **Sectorización:** red de distribución en dos o más sectores hidráulicos con puntos definidos de entrada de agua la cual garantiza el óptimo servicio a los usuarios-



- **Sistema de acueducto:** grupo elementos cuya función es la captación de agua el transporte y almacenamiento de agua potable con unos requerimientos mínimos de calidad, cantidad y presión.
- **Tanque de almacenamiento:** sistema de acopio de agua de acueducto, cuyo fin es suplir las necesidades te manda en los momentos pico permitiendo una recuperación en las horas de mínimo consumo, para proveer sin problemas en las horas de mayor demanda
- **Tramo:** colector comprendido entre dos estructuras de conexión.
- **Tubería o tubos:** conducto prefabricado, o construido en sitio, de materiales cuya tecnología y proceso de fabricación cumplan con las normas técnicas correspondientes. Por lo general de forma circular.
- **Válvula:** accesorio cuyo objetivo es regular y controlar el caudal y la presión de agua en una red de conducción y/o distribución de agua potable.
- **Vida útil:** tiempo estimado para la duración de un equipo o componente de un sistema sin que sea necesaria la sustitución de este; en este tiempo solo se requieren labores de mantenimiento para su adecuado funcionamiento.
- **Zona de presión de la red de distribución:** es una de las partes en que se divide la red de acueducto para evitar que las presiones mínimas, dinámicas y máxima estática sobrepasen los límites.

## 12. BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

Acueducto agua y alcantarillado de Bogotá. (2020). *Acueducto agua y alcantarillado de Bogotá*.

Recuperado el 2021, de

[https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/acueducto-y-alcantarillado/la-infraestructuraAcueducto/sistemas-](https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/acueducto-y-alcantarillado/la-infraestructuraAcueducto/sistemas-abastecimiento/!ut/p/z1/tVRRb9owEP4r9CGPwRcnhLC3ELVM0JSGjgF-)

[abastecimiento/!ut/p/z1/tVRRb9owEP4r9CGPwRcnhLC3ELVM0JSGjgF-](https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/acueducto-y-alcantarillado/la-infraestructuraAcueducto/sistemas-abastecimiento/!ut/p/z1/tVRRb9owEP4r9CGPwRcnhLC3ELVM0JSGjgF-)

[QU5iIFtip46B9d\\_PGdLUtKxZ12HJsnK-77u7z5dDBC0R4fSQbanKBKe5\\_14Rd-](https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/acueducto-y-alcantarillado/la-infraestructuraAcueducto/sistemas-abastecimiento/!ut/p/z1/tVRRb9owEP4r9CGPwRcnhLC3ELVM0JSGjgF-)

[1GAVge4LuRewMQRSMfP](https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/acueducto-y-alcantarillado/la-infraestructuraAcueducto/sistemas-abastecimiento/!ut/p/z1/tVRRb9owEP4r9CGPwRcnhLC3ELVM0JSGjgF-)

Alcaldia de Villeta . (s.f.). Obtenido de [https://www.villeta-](https://www.villeta-cundinamarca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx)

[cundinamarca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx](https://www.villeta-cundinamarca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx)

Auburn University. (2020). *Introducción a la captación del agua* . Obtenido de

[https://cals.arizona.edu/azaqua/AquacultureTIES/publications/Spanish%20WHAP/GT3%](https://cals.arizona.edu/azaqua/AquacultureTIES/publications/Spanish%20WHAP/GT3%20Water%20Harvesting.pdf)

[20Water%20Harvesting.pdf](https://cals.arizona.edu/azaqua/AquacultureTIES/publications/Spanish%20WHAP/GT3%20Water%20Harvesting.pdf)

Calderón Pineda, C. A. (2016). *Optimización de redes de acueductos veredales* . Tesis maestría ,

Universidad de los Andes, Bogotá. Recuperado el Septiembre de 2020, de

[https://biblioteca.uniandes.edu.co/visor\\_de\\_tesis/web/?SessionID=L1R1c2lzMjAxNjk5Lz](https://biblioteca.uniandes.edu.co/visor_de_tesis/web/?SessionID=L1R1c2lzMjAxNjk5LzEwOTIzLnBkZg%3D%3D)

[EwOTIzLnBkZg%3D%3D](https://biblioteca.uniandes.edu.co/visor_de_tesis/web/?SessionID=L1R1c2lzMjAxNjk5LzEwOTIzLnBkZg%3D%3D)

DANE. (s.f.). *DANE*. Obtenido de [https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-](https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion)

[tema/demografia-y-poblacion](https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion)

De Plaza Solórzano, J. S. (2017). • *DE PLAZA SOLÓRZANO, Juan SebEjercicios básicos de*

*mecánica de fluidos e hidráulica aplicados a través del software de distribución gratuita*

*EPANET*

2.0.

Obtenido

de

<http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/4469/LibroEpanet.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

García, J., Racero, J., Eguia, I., & Ricardo, G. (2008). *Modelo de análisis de pérdidas de agua en redes de distribución*. Obtenido de [http://www.adingor.es/congresos/web/uploads/cio/cio2008/QUANTITATIVE\\_METHODS/1533-1542.pdf](http://www.adingor.es/congresos/web/uploads/cio/cio2008/QUANTITATIVE_METHODS/1533-1542.pdf)

Hernández Suárez, J. S. (2014). *Análisis de la capacidad predictiva de un modelo dinámico de calidad del agua aplicando técnicas de computación evolutiva, optimización multiobjetivo y procesamiento recursivo de datos*. Tesis Maestría, Bogotá. Recuperado el Septiembre de 2020, de [file:///C:/Users/jimen/Downloads/300504\\_2014.pdf](file:///C:/Users/jimen/Downloads/300504_2014.pdf)

INGENIERÍA CIVIL. (2017). *Principios de la hidráulica que necesitas conocer: las pérdidas de energía - parte i: pérdidas por fricción*. Obtenido de <http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/principios-de-la-hidraulica-que-necesitas-conocer-las-perdidas-de-energia-%E2%80%933-parte-i-perdidas-por-friccion/>

Luna Beltrán, D. E. (2014). *Utilización de MDE para resolver el problema de modelamiento simultáneo de redes de Acueducto y Alcantarillado*. Tesis Maestría, Bogotá. Recuperado el septiembre de 2020, de <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/12496/u685980.pdf?sequence=1>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2006). Fontanería rural: municipios menores y zonas rurales. En V. y. Colombia. Ministerio de Ambiente, *Fontanería rural: municipios menores y zonas rurales* (pág. 141). Bogotá: MAVDT.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2020). *Pérdidas de agua en sistemas de acueducto, uso eficiente y ahorro del agua*. Obtenido de <https://www.smart-energy.com/wp-content/uploads/Cristian.pdf>

Orellana, J. (2005). *Conducción de las aguas*. Obtenido de [https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing\\_sanitaria/Ingenieria\\_Sanitaria\\_A4\\_Capitulo\\_07\\_Conduccion\\_de\\_las\\_Aguas.pdf](https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_07_Conduccion_de_las_Aguas.pdf)

Rodríguez, S., & Cisneros, P. (2020). *GASS Perspective*. Obtenido de <https://sswm.info/gass-perspective-es/sistemas-de/sistemas-de-abastecimiento-de-agua/sistemas-de-abastecimiento-de/abastecimiento-comunal-por-bombeo-con-tratamiento#:~:text=El%20sistema%20de%20abastecimiento%20comunal,las%20viviendas%2C%20pasando%20a%20tr>

Rodríguez, S., Sawyer, R., & García, M. (2020). *GASS Perspective*. Obtenido de <https://sswm.info/gass-perspective-es/sistemas-de/sistemas-de-abastecimiento-de-agua/sistemas-de-abastecimiento-de/abastecimiento-comunal-por-gravedad-con-tratamiento#:~:text=El%20sistema%20de%20agua%20por,AG%20C3%9CERO%201997%203B%20BARRIOS%20et%20al.>

Rojas, R. (2002). *Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano*. Obtenido de <http://cidbimena.desastres.hn/pdf/spa/doc14574/doc14574-contenido.pdf>

SENA. (2020). *SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE*.

Stauffer, B., & Spuhler, D. (2020). *GASS Perspective*. Obtenido de <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/captaci%C3%B3n-de-r%C3%ADos%2C-lagos-y-embalses-%28reservorios%29>

Valdez, V., Felipe, L., & Padilla, L. (2016). *Habilitación de la red de Cross para el estudio de presiones y velocidades en tuberías de distribución de agua potable.*

## 13. ANEXOS

### 13.1 Anexo 1

Código main del Proyecto

```
import setPROPERTY
import numpy,pandas,os
import epanettools
import cython
import pprint
from matplotlib import pyplot

##Cargar la red del municipio (VILLETA)
from epanettools.epanettools import EPANetSimulation,Node,Link,Network, Nodes
from epanettools.examples import simple
file= os.path.join(os.path.dirname(simple.__file__),'REDvilleta1.inp')
es= EPANetSimulation(file)

##Llamar Nodos y tuberias
nodos = es.network.nodes #Llamamos los nodos
tuberias = es.network.links #Llamamos las tuberias
print("La cantidad de tuberias es:", len(tuberias)) #Impresion tamaño de la lista
print("La cantidad de nodos es:", len(nodos)) #Impresion tamaño de la lista

##Caractariasticas de la red (DIAMETROS, ELEVACIONES Y RUGOSIDAD)
diametro = Link.value_type['EN_DIAMETER'] #mm
elevaciones = Node.value_type['EN_ELEVATION'] #m
rugosidades = Link.value_type['EN_ROUGHNESS'] #PVC
presiones = Node.value_type['EN_PRESSURE'] #mca
print("%-
2f" % es.network.links[1].results[diametro][0]) #PONER VALOR TUBERIA A CONOCER
print("%-
2f" % es.network.nodes[3].results[elevaciones][0]) #PONER VALOR TUBERIA A CONOCER
print("%-
2f" % es.network.links[3].results[rugosidades][0]) #PONER VALOR TUBERIA A CONOCER
ret,num_links=es.ENgetcount(es.EN_LINKCOUNT)
```

```

ret,num_nodes=es.ENgetcount(es.EN_NODECOUNT)

#Informacion conectividad
Id_tuberia_1 = tuberias[1].id
print([tuberias[1].start.id, tuberias[1].end.id])
print(Id_tuberia_1)

#Correr la red
es.run()

##Presiones y demandas en la red
presion = Node.value_type['EN_PRESSURE']
print(es.network.nodes['N1'].results[presion])
demanda= Node.value_type['EN_DEMAND'] #DEMANDA
print(es.network.nodes['N1'].results[demanda])#puedo poner 1
a demanda por horas

#saber la presión en un nodo predeterminado
print(min(es.network.nodes['N5'].results[presion])) #minima
print(max(es.network.nodes['N5'].results[presion]))

##Mirar en una lista los nodos con presiones negativas
nodos_negativos = sorted([y.id for x,y in nodos.items() if m
in(y.results[presion])<10])
print("LOS NODOS CON PRESIONES MENORES:")
print(nodos_negativos)
print("La cantidad de nodos con presiones menores a 10 mca s
on:",len(nodos_negativos),"Se debe mejorar la presión para a
lcanzar el minimo en la RAS 0330")

##Mirar en una lista los nodos con presiones negativas}
nodos_mayores = sorted([y.id for x,y in nodos.items() if min
(y.results[presion])>30])
print("LOS NODOS CON PRESIONES MAYORES:")
print(nodos_mayores)
print("La cantidad de nodos con presiones mayores a 30 mca s
on:",len(nodos_mayores), "Se debe bajar la presión a la dete
rminada por la RAS 0330")

##Diametros internos PAVCO
d_prom = [54.58, 66.07, 80.42, 103.42, 152.22, 198.21, 247.0
9, 293.07, 321.76, 367.7, 413.66, 459.64, 551.54]
d_prom1 =[103.42, 152.22, 198.21, 247.09, 293.07]

```

```

##Sectores De tuberias
Sector1=[tuberias['T30'].index,tuberias['T29'].index,tuberias['T1'].index,tuberias['T23'].index,tuberias['T8'].index]
Sector2=[tuberias['T11'].index,tuberias['T25'].index,tuberias['T35'].index,tuberias['T34'].index,tuberias['T33'].index,tuberias['T20'].index,]
Sector3=[tuberias['T18'].index,tuberias['T38'].index,tuberias['T37'].index,tuberias['T36'].index,tuberias['T32'].index,]
Sector4=[tuberias['T22'].index,tuberias['T41'].index,tuberias['T40'].index,tuberias['T27'].index,tuberias['T39'].index,]
print("Las tuberias del sector 1 son:",Sector1)
print("Las tuberias del sector 2 son:",Sector2)
print("Las tuberias del sector 3 son:",Sector3)
print("Las tuberias del sector 4 son:",Sector4)
es.run()
p_antiguas=[]
d_antiguos = []
#Presiones antes de comenzar a cambiar los diametros
for j in range(num_nodos-1):
    p=nodos[j+1].results[presiones][0]
    diametroos=nodos[j+1]
    p_antiguas.append(p)
for yy in range(num_links-1):
    dd = tuberias[yy+1].results[diametro][0]
    d_antiguos.append(dd)
print(p_antiguas)
print('dddd')
print(d_antiguos)
print('dddd')
##Cambio de diametros por tramo

for d in d_prom:
    #Diameters = [d]*num_links
    #print(d)
    setPROPERTY.setDIAMETER_selected(Sector1,d_prom1,es) #Llamamos la funcion de cambio de diametro
    es.run()
    p_nuevass=[]
    d_nuevos = []
    #Guardar los diametros en una lista para imprimir
    for j in range(num_nodos-1):
        p=nodos[j+1].results[presiones][0]
        p_nuevass.append(p)
    for yy in range(num_links-1):

```



```

        dd = tuberias[yy+1].results[diametro][0]
        d_nuevos.append(dd)
    #presión apta de la red
    if 10< min(p_nuevass) <30:
        print(p_nuevass)
        d_definitivo = d
        #Graficar
        x = ["N{a}"].format(a=v) for v in range(len(p_nuevass
    ))]

    print(p_nuevass)
    pyplot.bar(x,p_nuevass,align='center', alpha=0.5)
    pyplot.tick_params(axis='x', which='major', labelsiz
e=5)

    pyplot.show()

    break
print('presiones')
print(p_nuevass)
print('diametros')
print(d_nuevos)

```

## 13.2 Anexo 2

Código para cambio de propiedades en la red

```

from epanettools.epanettools import EPANetSimulation, Node,
Link, Network, Nodes,Links, Patterns, Pattern, Controls, Co
ntrol

def setDIAMETER (Diameters,es):
    cond=es.network.links # Definir parametro de epanet 2
    para tuberias
    diametros=Link.value_type['EN_DIAMETER'] #Definir de las
    tuberias necesitamos el diametro
    ret,num_links=es.ENgetcount(es.EN_LINKCOUNT) #numero de
    tuberias
    if len(Diameters)==num_links:
        for i in range(1,num_links+1):
            r=es.ENsetlinkvalue(i ,diametros,Diameters[i-
1]) #Relizar el cambio del diametro
            C=es.ENgetlinkvalue(i,diametros)[1]

```

```

else:
    print ('No tienen DIMENSIONES correctas')
    #es.ENsaveinfile('nuevos_diametros.inp') #comentar si n
o quiero modificar el inp

def setDIAMETER_selected(link_selected,Diam_selected,es):
    if len(link_selected)==len(Diam_selected):
        cond=es.network.links    #Definir parametro de epane
t 2 para tuberias
        diametros=Link.value_type['EN_DIAMETER'] #Definir de
las tuberias necesitamos el diametro
        ret,num_links=es.ENgetcount(es.EN_LINKCOUNT) #numer
o de tuberias
        for i in range(num_links):
            for index,link in enumerate(link_selected):
                if link==i:
                    ##SI LA PRESION DEL NODO DE ESA TUBERIA
ES !10 < PRESION < 20 ASIGNELO
                    es.ENsetlinkvalue(link,diametros,Diam_se
lected[index])
                    print(es.ENgetlinkvalue(link ,diametros)
) #Mostras nuevos diametros
    else:
        print('ERROR en dimensiones')

def setROUGHNEES (Roughness,es):
    cond=es.network.links    # Definir que necesitamos
rugosidades=Link.value_type['EN_ROUGHNESS'] # Definir de
las tuberias necesitamos la rugosidad
    ret,num_links=es.ENgetcount(es.EN_LINKCOUNT)
    if len(Roughness)==num_links:
        for i in range(1,num_links+1):
            r=es.ENsetlinkvalue(i ,rugosidades,Roughness[i-
1]) #cambiamos el diametro del tubo
            C=es.ENgetlinkvalue(i,rugosidades)[1]
    else:
        print ('Las rugosidades No tienen DIMENSIONES correc
tas')
    es.ENsaveinfile('nuevas_rugosidades.inp')

```

### 13.3 Anexo 3

Código muestra de presiones

```
from epanettools.epanettools import EPANetSimulation, Node,
    Link, Network, Node, os
from matplotlib import pyplot
from epanettools.examples import simple
from setPROPERTY import setDIAMETER, setDIAMETER_selected, set
ROUGHNEES

#leer la red
file= os.path.join(os.path.dirname(simple.__file__), 'REDvilla
eta1.inp')
es= EPANetSimulation(file)

#Variables nodos y conductos
cond=es.network.links
nod=es.network.nodes

#obtener la cantidad de tubos
ret,num_links=es.ENgetcount(es.EN_LINKCOUNT) #numero de tub
erías
ret,num_nodes=es.ENgetcount(es.EN_NODECOUNT) #numero de nod
os

#Definir los objetos link y nodos del modelo
diametros=Link.value_type['EN_DIAMETER']
presiones=Node.value_type['EN_PRESSURE']
flow=Link.value_type['EN_FLOW']
vel=Link.value_type['EN_VELOCITY']
elevaciones=Node.value_type['EN_ELEVATION']

es.run()
P=[]
#para mostrar las presiones
print('')
print('P originales:')
for i in range(num_nodes-1):
    print(nod[i+1].results[presiones][0]) #comienza en i+1 p
orque Epanet no acepta indice 0
    P.append(nod[i+1].results[presiones][0])
```

```

indice_emb=nod['1'].index #obtener indice del embalse
#es.ENsetnodevalue(indice_emb,elevaciones,95) #cambiamos la
elevacion

es.run()
P=[]
#para mostrar las presiones
print('')
print('P modificadas:')
for i in range(num_nodos-1):
    print(nod[i+1].results[presiones][0]) #comienza en i+1 p
orque Epanet no acepta indice 0
    P.append(nod[i+1].results[presiones][0])

#Analizar variaciones de presion
P1=[];P2=[];P3=[]
for j in range(10,30,10):
    es.ENsetnodevalue(indice_emb,elevaciones,j) #cambiamos l
a elevacion
    if j==100:
        for i in range(num_nodos-1):
            P1.append(nod[i+1].results[presiones][0])
    if j==110:
        for i in range(num_nodos-1):
            P2.append(nod[i+1].results[presiones][0])
    if j==120:
        for i in range(num_nodos-1):
            P3.append(nod[i+1].results[presiones][0])

# Basic stacked area chart.
x=range(1,num_nodos);x=list(x)
pyplot.bar(x,P1, P2, P3, labels=['H=100m', 'H=110m', 'H=120m' ]
)
pyplot.legend(loc='upper left')
pyplot.ylabel('Presiones mca') # Ponemos etiqueta al eje y
pyplot.xlabel('Id`s tubos') # Ponemos etiqueta al eje x
pyplot.show()

```