

ELABORACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO PARA LA RED DE DISTRIBUCIÓN
DE AGUA POTABLE DE FUNZA CUNDINAMARCA UTILIZANDO EL SOFTWARE
EPANET



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

JORGE ALEXANDER GAMBOA BOHÓRQUEZ
CÓDIGO: 505706

JUAN SEBASTIAN RICO RODRIGUEZ
CÓDIGO: 504864

UNIVERSIDAD CATOLICA DE
COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTÁ, D. C; 15 DE MAYO DE
2020

ELABORACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO PARA LA RED DE DISTRIBUCIÓN
DE AGUA POTABLE DE FUNZA CUNDINAMARCA UTILIZANDO EL SOFTWARE
EPANET



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

JORGE ALEXANDER GAMBOA BOHÓRQUEZ
CÓDIGO: 505706

JUAN SEBASTIAN RICO RODRIGUEZ
CÓDIGO: 504864

Proyecto presentado para optar por el título de
INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR
ING. MARÍA FERNANDA ACERO FONSECA MS.C

UNIVERSIDAD CATOLICA DE
COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTÁ, D. C; 15 DE MAYO DE
2020

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma de Presidente Jurado

Firma de Jurado

Firma Jurado

Bogotá D.C, 15 de mayo de 2020



Atribución-NoComercial-CompartirIgual 2.5 Colombia (CC BY-NC-SA 2.5)

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

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



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



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



Compartir bajo la Misma Licencia — Si altera o transforma esta obra, o genera una obra derivada, sólo puede distribuir la obra generada bajo una licencia idéntica a ésta.

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA

Para nosotros es primordial agradecerle a Dios, por permitirnos llegar a este punto de nuestras vidas, tanto en el ámbito personal como profesional y darnos la sabiduría y el entendimiento para caminar y trabajar por esta grandiosa meta.

A nuestros padres, por ser quienes nos han apoyado incondicionalmente, siempre nos han tendido la mano en los momentos difíciles y nos orientaron a tomar las mejores decisiones, gracias por su amor, por sus consejos y por ayudarnos a subir un escalón más en nuestra vida.

A la Ingeniera María Fernanda, quien con su oportuna orientación contribuyo en el desarrollo del presente trabajo, gracias por su tiempo tan valioso que invirtió para transmitirme su conocimiento.

A la Empresa de Acueducto del Municipio de Funza, Cundinamarca por abrirnos las puertas y permitirme llevar a cabo esta meta junto con ellos.

Y a todas las personas, quienes directa o indirectamente aportaron en la realización del presente proceso.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	15
2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	16
2.1 Justificación	16
2.2 Antecedentes.....	17
2.3 Pregunta Problema.....	21
3. OBJETIVOS	22
3.1. General.....	22
3.2. Específicos	22
4. MARCO DE REFERENCIA.....	23
4.1. Marco Teórico.....	23
4.2. Descripción Geográfica	24
4.3. Marco Conceptual.....	25
4.4. Marco Legal.....	26
5. METODOLOGÍA.....	27
5.1. Alcances y Limitaciones.....	30
5.2. Descripción de la Red.....	30
5.3. Diámetros	31
5.4. Longitudes	33
5.5. Materiales	35
5.6. Bombas.....	36
5.7. Tanques.....	37
5.8. Descripción de la Red.....	39
5.9. Obtención de la Información	40
5.10. Procedimiento.....	40
6. ANALISIS DE RESULTADOS	46
6.1. Análisis Hidráulico	46
6.1.1. Informe Consumo de energía.....	46
6.1.2. Presiones	47
6.1.3. Análisis presiones en el modelo	47

6.2.	Velocidades	72
6.2.3.	Análisis de velocidad en el modelo	72
6.3.	Graficas del sistema	98
7.	CONCLUSIONES.....	107
8.	REFERENCIAS.....	109
9.	ANEXOS	112

LISTA DE TABLAS

Tabla 5.1	Compilado Epanet	32
Tabla 5.2.	Diámetros reales presentes en la red de distribución del acueducto de Funza, Cundinamarca.	33
Tabla 5.3.	Consolidado de longitudes y Áreas de Funza	35
Tabla 5.4.	Tabulación diferentes materiales presentes en la red de distribución de Funza, Cundinamarca	36
Tabla 5.5.	Consolidado de clase de material presente en el modelo hidráulico de Funza	36
Tabla 5.6.	Comportamiento de los tanques reportados por el Epanet entre las horas 00:00 a las 9:00.....	38
Tabla 5.7.	Comportamiento de los tanques reportados por el Epanet entre las horas 10:00 a las 18:00.....	38
Tabla 5.8.	Comportamiento de los tanques reportados por el Epanet entre las horas 19:00 a las 24:00.....	38
Tabla 5.9.	Tabulación de datos Curva de demanda para el municipio de Funza	45
Tabla 6.1.	Informe de consumo de energía del modelo hidráulico de Funza Cundinamarca.....	46
Tabla 6.2.	Consolidado en porcentajes de las presiones mostradas en el modelo hidráulico de Funza Cundinamarca, entre las horas 00:00 a 08:00 ...	71
Tabla 6.3.	Consolidado en porcentajes de las presiones mostradas en el modelo hidráulico de Funza Cundinamarca, entre las horas 09:00 a 16:00 ...	71
Tabla 6.4.	Consolidado en porcentajes de las presiones mostradas en el modelo hidráulico de Funza Cundinamarca, entre las horas 16:00 a 24:00 ...	72
Tabla 6.5.	Consolidado en porcentajes de las velocidades mostradas en el modelo hidráulico de Funza Cundinamarca, entre las horas 00:00 a 08:00 ...	97
Tabla 6.6.	Consolidado en porcentajes de las velocidades mostradas en el modelo hidráulico de Funza Cundinamarca, entre las horas 09:00 a 16:00 ...	97
Tabla 6.7.	Consolidado en porcentajes de las velocidades mostradas en el modelo hidráulico de Funza Cundinamarca, entre las horas 17:00 a 24:00 ...	98

LISTA DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACION 4-1 Elaboración del modelo hidráulico para la red de distribución de agua potable de Funza Cundinamarca utilizando el software Epanet.....	25
ILUSTRACION 5-1. Sistema de bombeo presente en Funza, Cundinamarca .	31
ILUSTRACION 5-2. Imagen del rango de diámetros presentes en el modelo hidráulico de Funza software Epanet.....	32
ILUSTRACION 5-3. Diámetros presentes en el modelo hidráulico de Funza..	34
ILUSTRACION 5-4. Imagen estimación del crecimiento poblacional de Funza, Cundinamarca	34
ILUSTRACION 5-5. Imagen del rango de rugosidades presentes en el modelo hidráulico de Funza	35
ILUSTRACION 5-6. Referencia de bombas presentes en el sistema de bombeo de Funza, Cundinamarca.....	37
ILUSTRACION 5-7. Curva de bomba reportada por el software Epanet	37
ILUSTRACION 5-8 Catastro de redes del municipio de Funza, Cundinamarca	40
ILUSTRACION 5-9 Imagen satelital de Funza Cundinamarca	41
ILUSTRACION 5-10 Referencia de bombas presentes en el sistema de bombeo de Funza	43
ILUSTRACION 5-11 Curva Diaria típica para el municipio de Funza	44
ILUSTRACION 5-12 Curva de demanda Utilizada en el municipio de Funza ..	44
ILUSTRACION 6-1 Modelo hidráulico de Funza, Sector Tienda nueva a las 5 am evidenciando las presiones de cada conexión.....	48
ILUSTRACION 6-2 Modelo hidráulico de Funza, Sector Tienda nueva a las 9 am evidenciando las presiones de cada conexión.....	49
ILUSTRACION 6-3 Modelo hidráulico de Funza, Sector Tienda nueva a las 10 am evidenciando las presiones de cada conexión.....	50
ILUSTRACION 6-4 Modelo hidráulico de Funza, Sector Tienda nueva a las 11 am evidenciando las presiones de cada conexión.....	51
ILUSTRACION 6-5 Modelo hidráulico de Funza, Sector Tienda nueva a las 8 pm evidenciando las presiones de cada conexión.....	52

ILUSTRACION 6-6 Modelo hidráulico, Sector Tienda nueva, a las 9 pm evidenciando las presiones de cada conexión.	53
ILUSTRACION 6-7 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano 1, a las 5 am evidenciando las presiones de cada conexión.	54
ILUSTRACION 6-8 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano 1, a las 9 am evidenciando las presiones de cada conexión.	55
ILUSTRACION 6-9 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano 1, a las 10 am evidenciando las presiones de cada conexión.	56
ILUSTRACION 6-10 Modelo hidráulico Funza, Sector Casco Urbano 1, a las 11 am evidenciando las presiones de cada conexión.	57
ILUSTRACION 6-11 Modelo hidráulico de Funza elaborado en el software Epanet, Sector Casco Urbano 1, a las 8 pm evidenciando las presiones de cada conexión.	58
ILUSTRACION 6-12 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano 1, a las 9 pm evidenciando las presiones de cada conexión.	59
ILUSTRACION 6-13 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano 2, a las 5 am evidenciando las presiones de cada conexión.	60
ILUSTRACION 6-14 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano 2, a las 9 am evidenciando las presiones de cada conexión.	61
ILUSTRACION 6-15 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano 2, a las 10 am evidenciando las presiones de cada conexión.	62
ILUSTRACION 6-16 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano 2, a las 11 am evidenciando las presiones de cada conexión.	63
ILUSTRACION 6-17 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano 2, a las 8 pm evidenciando las presiones de cada conexión.	64
ILUSTRACION 6-18 Modelo hidráulico, Sector Casco Urbano 2, a las 9 pm evidenciando las presiones de cada conexión.	65
ILUSTRACION 6-19 Modelo hidráulico de Funza, Sector Industrial, a las 5 am evidenciando las presiones de cada conexión.	66
ILUSTRACION 6-20 Modelo hidráulico de Funza, Sector Industrial, a las 5 am evidenciando las presiones de cada conexión.	67
ILUSTRACION 6-21 Modelo hidráulico de Funza, Sector Industrial, a las 10 am evidenciando las presiones de cada conexión.	68
ILUSTRACION 6-22 Modelo hidráulico Funza, Sector Industrial, a las 11 am evidenciando las presiones de cada conexión.	69

ILUSTRACION 6-23 Modelo hidráulico de Funza, Sector Industrial, a las 8 pm evidenciando las presiones de cada conexión.	70
ILUSTRACION 6-24 Modelo hidráulico de Funza, Sector Industrial, a las 9 pm evidenciando las presiones de cada conexión	71
ILUSTRACION 6-25 Modelo hidráulico de Funza, Sector Tienda nueva, a las 5 am evidenciando las velocidades de sistema.	73
ILUSTRACION 6-26 2 Modelo hidráulico de Funza, Sector Tienda nueva, a las 9 am evidenciando las velocidades de sistema.	74
ILUSTRACION 6-27 Modelo hidráulico de Funza, Sector Tienda nueva, a las 10 am evidenciando las velocidades de sistema.	75
ILUSTRACION 6-28 Modelo hidráulico de Funza, Sector Tienda nueva, a las 11 am evidenciando las velocidades de sistema.	76
ILUSTRACION 6-29 Modelo hidráulico de Funza elaborado en el software Epanet, Sector Tienda nueva, a las 8 pm evidenciando las velocidades de sistema.	77
ILUSTRACION 6-30 Modelo hidráulico de Funza elaborado en el software Epanet, Sector Tienda nueva, a las 9 pm evidenciando las velocidades de sistema.	78
ILUSTRACION 6-31 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano1, a las 5 am evidenciando las velocidades de sistema.	79
ILUSTRACION 6-32 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano1, a las 9 am evidenciando las velocidades de sistema.	80
ILUSTRACION 6-33 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano1, a las 10 am evidenciando las velocidades de sistema.	81
ILUSTRACION 6-34 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano1, a las 11 am evidenciando las velocidades de sistema.	82
ILUSTRACION 6-35 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano1, a las 8 pm evidenciando las velocidades de sistema.	83
ILUSTRACION 6-36 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano 1, a las 9 pm evidenciando las velocidades de sistema.	84
ILUSTRACION 6-37 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano2, a las 5 am evidenciando las velocidades de sistema.	85
ILUSTRACION 6-38 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano2, a las 9 am evidenciando las velocidades de sistema.	86
ILUSTRACION 6-39 15 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano2, a las 10 am evidenciando las velocidades de sistema.	87

ILUSTRACION 6-40 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano2, a las 11 am evidenciando las velocidades de sistema.....	88
ILUSTRACION 6-41 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano2, a las 8 pm evidenciando las velocidades de sistema.....	89
ILUSTRACION 6-42 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano2, a las 9 pm evidenciando las velocidades de sistema.....	90
ILUSTRACION 6-43 Modelo hidráulico de Funza, Sector Industria, a las 5 am evidenciando las velocidades de sistema.....	91
ILUSTRACION 6-44 Modelo hidráulico de Funza, Sector Industria, a las 9 am evidenciando las velocidades de sistema.....	92
ILUSTRACION 6-45 Modelo hidráulico de Funza, Sector Industria, a las 10 am evidenciando las velocidades de sistema.....	93
ILUSTRACION 6-46 Modelo hidráulico de Funza, Sector Industria, a las 11 am evidenciando las velocidades de sistema.....	94
ILUSTRACION 6-47 Modelo hidráulico de Funza, Sector Industria, a las 8 pm evidenciando las velocidades de sistema.....	95
ILUSTRACION 6-48 Modelo hidráulico de Funza, Sector Industria, a las 9 pm evidenciando las velocidades de sistema.....	96
ILUSTRACION 6-49 Grafico de presiones en el nodo 1763 del modelo hidráulico de Funza Cundinamarca, dicho nodo se encuentra al inicio del sector tienda nueva.....	99
ILUSTRACION 6-50 Grafico de caudales de la tubería 1405 la cual une el nodo 1763 y 1764 del modelo hidráulico de Funza Cundinamarca, dicha tubería se encuentra al inicio del sector de tienda nueva.....	99
ILUSTRACION 6-51 Grafico de velocidades de la tubería 1405 la cual une el nodo 1763 y 1764 del modelo hidráulico de Funza Cundinamarca, dicha tubería se encuentra al inicio del sector de tienda nueva.....	100
ILUSTRACION 6-52 Grafico de presiones en el nodo 710 del modelo hidráulico de Funza Cundinamarca, dicho nodo se encuentra al inicio del sector Casco urbano 1.....	101
ILUSTRACION 6-53 Grafico de caudales de la tubería 1509 la cual une el nodo 710 y 711 del modelo hidráulico de Funza Cundinamarca, dicha tubería se encuentra al inicio del sector de casco urbano 1.....	101
ILUSTRACION 6-54 Grafico de velocidades de la tubería 1509 la cual une el nodo 710 y 712 del modelo hidráulico de Funza Cundinamarca, dicha tubería se encuentra al inicio del sector de casco urbano 1.....	102

ILUSTRACION 6-55 Grafico de presiones en el nodo 853 del modelo hidráulico de Funza Cundinamarca, dicho nodo se encuentra al inicio del sector Casco urbano 2	103
ILUSTRACION 6-56 Grafico de caudales de la tubería 1882 la cual une el nodo 853 y 854 del modelo hidráulico de Funza Cundinamarca, dicha tubería se encuentra al inicio del sector de casco urbano 2.	103
ILUSTRACION 6-57 Grafico de velocidades de la tubería 1882 la cual une el nodo 853 y 854 del modelo hidráulico de Funza Cundinamarca, dicha tubería se encuentra al inicio del sector de casco urbano 2.	104
ILUSTRACION 6-58 10 Grafico de presiones en el nodo 31 del modelo hidráulico de Funza Cundinamarca, dicho nodo se encuentra al inicio del sector zona industrial.....	105
ILUSTRACION 6-59 Grafico de caudales de la tubería 437	105
ILUSTRACION 6-60 Grafico de velocidades de la tubería 437	106
ILUSTRACION 9-1 Fotografía momento de entrega del modelo a la empresa de acueducto y alcantarillado municipal de Funza.....	112

1. INTRODUCCIÓN

Los acueductos son de gran importancia en todas las organizaciones de grupos poblacionales, ya sean países, ciudades, regiones, departamentos y/o municipios, dado que, el no contar con el abastecimiento de agua potable significa un atraso a nivel social, tecnológico, cultural, económico, como lo es la repercusión en problemáticas de saneamiento en la comunidad, en especial la población infantil, ya que no existe el mecanismo idóneo para la dotación de agua potable, sino por el contrario, su recolección se realizaría por medio de fuentes de agua no aptas para el consumo humano como lo son las aguas lluvias y crudas. Lo anterior, se genera ya que por parte del estado no se da total cumplimiento a la normativa y destinación de recursos públicos que brinden el debido tratamiento al agua para generar un abastecimiento y consumo seguro (ALCALDIA DE FUNZA CUNDINAMARCA, 2018).

Según la organización mundial de salud, se estima que el 80% de las enfermedades se transmiten por el agua, a partir de la observación de las estadísticas y estudios realizados en varios municipios de Colombia por esta organización, se evidencia la diferencia entre los asentamientos que cuentan con el suministro de agua potable con los demás refiriendo la deficiencia de los niveles de sanidad (OMS citado por (DELGADO, 2009).

Es por esta razón que todos los acueductos deben tener el objetivo de brindar y transportar el servicio de agua potable a toda la población. Al llevar a cabo tal fin, se pueden encontrar múltiples variables que generan un cambio positivo y, por ende, la facilidad de contar con el servicio de agua potable en la totalidad del municipio (ALCALDIA DE FUNZA CUNDINAMARCA, 2018).

Teniendo en cuenta lo anterior, se desarrolla la presente con la intención de brindar y facilitar al acueducto municipal de Funza, Cundinamarca un modelo digital donde se podrá indicar en que parte del circuito de red hidráulica local se sitúan diferentes datos que no se encuentren acorde a lo establecido por el Gobierno Nacional y así, poder obtener un modelo ideal de acueducto, donde a la población en general se le brinde el servicio adecuado en el suministro de agua potable.

2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

2.1 JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto nace con el fin de proporcionarle al municipio de Funza, Cundinamarca un modelo digital de la red hidráulica actual de este, con miras a evidenciar el cumplimiento de las normativas que deben de tener las redes de distribución de agua potable, así mismo brindar un modelo que cuenta con la respectiva recolección de información en una misma plataforma, para así facilitar la toma de acciones frente a posibles fallas en el sistema de distribución o en futuras expansiones del acueducto, se inicia a partir de las consideraciones expuestas en la normativa colombiana que rigue dichas operaciones, como lo es la resolución 0330 del 2017 (MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO, 2017), permitiendo realizar una comparación, entre la norma y lo más acorde con la realidad, para evidenciar así si el cumplimiento es óptimo o deficiente según corresponda.

Es necesario tener presente que, las principales ciudades de Colombia cuentan con modelos hidráulicos de sus redes de distribución, de tal forma que tienen un control de las posibles fallas del modelo real que se emplea en dicha ciudad. Por ejemplo, Bogotá cuenta con un modelo realizado en el software WaterCAD, el cual fue implementado a través de una consultoría de ingeniería y el desarrollado por EPM (empresas públicas de Medellín) (ACUEDUCTO, Agua y Alcantarillado de Bogotá), este modelo junto con el EPANET a las empresas prestadoras del servicio realizar proyecciones y nuevos diseños para la expansión de sus regiones, además anticipar las posibles fallas en el sistema, haciendo así una medida de mitigación para cualquier posible daño en la red (United States Environmental Protection Agency, 2001).

De acuerdo con lo anterior, se pretende generar la implementación de un modelo digital del sistema hidráulico de agua potable del Municipio de Funza-Cundinamarca, estipulando mitigar los problemas presentados por la adecuación de tuberías y así mismo, mejorar de una u otra forma el servicio prestado por la EMAAF EPS (empresa de acueducto y alcantarillado de Funza), adicionalmente, la utilidad que tiene dicha modelación es incalculable, dado que, por medio de esta se podrán mejorar las presiones y evitar pérdidas que se encuentren por la mala adecuación del catastro de redes (EMPRESA MUNICIPAL DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO, 2019).

De igual forma, el programa permitirá realizar análisis hidráulicos de redes de tuberías para identificar fácilmente las zonas donde se encuentren presiones bajas y/o muy altas, puntos muertos de la red, permitiendo el fácil diagnóstico para que

las

entidades estatales realicen la inversión necesaria para la renovación de las redes y optimización del sistema de distribución de agua potable. Todo esto se realizará a partir del estudio de las características físicas de los conductos como lo son la rugosidad, diámetro, tipo de material, entre otros, y las distintas dinámicas de los nodos para obtener la presión.

Por otro lado, con la modelación en el software EPANET es posible el análisis de las velocidades en las tuberías en el Municipio, el tiempo del recorrido de este desde la planta de tratamiento hasta los nodos del sistema.

2.2 ANTECEDENTES

ANTECEDENTES DEL MUNICIPIO, Funza, Cundinamarca se encuentra ubicado en la sabana occidental del departamento de Cundinamarca, formando parte del área metropolitana de Bogotá. A lo largo de su historia, su población ha tenido un crecimiento lineal, actualmente el municipio cuenta 75.350 pobladores. (Alcaldía de Funza, 2018), su nombre significa Varón Poderoso y fue fundada por Gonzalo Jiménez de Quesada a partir del día 20 de abril de 1537 (ALCALDIA DE FUNZA CUNDINAMARCA, 2018).

No obstante, aun con el crecimiento y desarrollo que ha vivenciado el municipio a lo largo de los años, actualmente Funza, Cundinamarca no cuenta con una modelación digital en ningún software propio de la modelación de redes de distribución de aguas, causando así que no existen antecedentes de desarrollo digital en la red hidráulica del municipio. Sin embargo, de acuerdo con la reseña histórica realizada por la empresa de acueducto y alcantarillado de Funza, desde el año 1784 el municipio se abastecía de agua del Rio Subachoque, la cual era transportada mediante un canal abierto, haciendo la captación del agua proveniente del Rio en el municipio de Subachoque hasta llegar al municipio de Funza, dentro del recorrido que realizaba el agua por el canal, esta era dividida para que existiera una mayor distribución en cada una de las veredas, dicho recorrido más conocido como la Toma de san Patricio. De esta forma EMAAF-ESP ofrece una reseña histórica en referencia a la evolución paralela que ha sucedido en relación a la expansión poblacional de forma que se encuentra que:

El mencionado canal fue construido por el Marqués de San Jorge como consecuencia de un convenio realizado con el superior jerárquico de la Iglesia, el cual consistía en la realización la obra de conducción del agua para el Municipio de Funza a cambio de obtener como esposa a la sobrina del superior. Muchos años más tarde, antes del año 1960, se instaló por medio de una estructura metálica un tanque elevado a 20 metros del nivel del terreno con capacidad de almacenar 25000 Litros de agua, los cuales eran bombeados por medio de una motobomba 3HP, para

que, a partir del año 1975 fuera distribuida por gravedad a la población a través de la tubería. Como otro dato relevante en los antecedentes, se encontró que, hasta mediados del año 1970, el agua que provenía del Río Subacho que se suministraba cruda ya que el municipio no realizaba ningún tipo de tratamiento químico y, a partir de esta fecha, EMPOCUNDI quien era la entidad responsable de la prestación del servicio construyó una planta de tratamiento de 25 l/s donde el procedimiento para tratar el agua constaba en agregar sulfato de aluminio y cal; en ese tiempo la población de Funza era alrededor de 5000 habitantes y la capacidad de la planta era alrededor de 3 a 4 litros por segundo (EMPRESA MUNICIPAL DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO, 2019).

Diez años después la población había incrementado a 10000 habitantes y la planta de tratamiento abastecía de 5 a 7 litros por segundo. Llevando la relación tiempo, luego de ser elegido el primer alcalde por elección popular se realiza la perforación del primer pozo profundo para tener una nueva alternativa de fuente de abastecimiento debido al incremento desahogado de la población, pero, aun así, se tenía que traer agua potable de Bogotá (EMPRESA MUNICIPAL DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO, 2019). EMPOCUNDI le entrega el Acueducto a Funza en 1992 y era administrada inicialmente por la Alcaldía Municipal, adicionalmente, se realiza la construcción de una nueva planta de tratamiento compacta en concreto para que se realizara el procedimiento a 20 litros por segundo cumpliendo el objetivo de ampliar la capacidad de tratamiento.

Es en el año 1995 donde se empieza a tomar el agua del humedal Gualí- Tres Esquinas debido a que durante los tres años que pasaron la población incremento más del 5% de acuerdo con las estadísticas de (ALCALDIA DE FUNZA CUNDINAMARCA, 2018) y el agua que estaba siendo tratada no era suficiente para cubrir la demanda. Teniendo en cuenta la calidad del agua proveniente del humedal, de desencadenan diferentes problemas de Salud, en particular gastrointestinales, los cuales llevó a que la población presentase diferentes acciones populares en contra del agua que les era suministrada. Como solución a esto, el municipio realizó la conducción que traería el agua hacia Funza desde la localidad de Fontibón-Bogotá; y es así, que para el mes de marzo del año 1996 se realiza la apertura oficial de la válvula para abastecer al municipio de agua tratada proveniente del pozo profundo y del humedal Gualí-Tres esquinas como una alternativa, ya que la conducción del agua desde Bogotá tenía altos costos.

Por los fenómenos ambientales que ocurrieron en el transcurso del año 1998, se colapsó el pozo profundo y como fuente de abastecimiento propia solo se contaba con el humedal, sin embargo, se siguieron presentando diferentes problemas de salubridad y se decide quitarla, es decir que, para entonces, solo se contaba con el suministro de agua de Bogotá con cierto horario establecido por la administración del municipio de Funza.

Para el mismo año, de acuerdo con la Ley 142 de 1994 de servicios Públicos Domiciliarios y su decreto reglamentario No. 034 de diciembre 4 de 1995, se constituyó la empresa de alcantarillado y acueducto de Funza - EMAAF ESP, como una empresa industrial y comercial del estado, con estatutos aprobados por el Concejo Municipal de Funza (EMPRESA MUNICIPAL DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO, 2019).

Una vez fueron tomadas y desarrolladas las medidas pertinentes para el arreglo de las fuentes de abastecimiento del agua potable, como lo fueron la perforación de nuevos pozos, actualmente el pozo cuenta con una capacidad de explotación de 58 litros por segundo repartidos en cada una de las plantas con las que hoy cuenta Funza; en primer lugar, la planta compacta en lámina tiene capacidad de 33 litros por segundo, por otro lado, en la planta convencional hecha en concreto operan 25 litros por segundo y, en la planta compacta de concreto donde se realiza el reciclaje del agua de lavado de filtros, tiene la capacidad de distribuir 7 litros por segundo.

Hay que tener claro que el objetivo principal de la EMMAF siempre ha sido tener autosuficiencia hídrica, es decir, no depender de la fuente hídrica de Bogotá, pues el costo por metro cubico producido de agua de pozo es aproximadamente la mitad del costo por metro cubico de agua que la EAAB le vende a la EMAAF mediante la modalidad de venta en bloque (EMPRESA MUNICIPAL DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO, 2019).

Finalmente la EMMAF realiza una inversión de aproximadamente 2.493 millones de pesos para la adquisición de dos plantas de tratamiento de agua potable con capacidad de 30 litros por segundo, la construcción de un tanque de almacenamiento con una cabida de 350 metros cúbicos, una estación de bombeo con capacidad de 90 litros por segundo, la construcción de un laboratorio, sub estación eléctrica, cerramientos, oficinas, piscinas para el tratamiento de lodos así también se hizo necesaria la extensión de 1.350 metros lineales de 10 pulgadas de diámetro para conectar la nueva planta con la red de distribución que abastece el casco urbano.

2.3 PREGUNTA PROBLEMA.

¿Qué información se puede obtener a partir del modelo hidráulico de la red de acueducto de Funza Cundinamarca, sabiendo las diferentes variables que se pueden presentar en la elaboración y haciendo una coyuntura propia para un control adecuado de la red?

3. OBJETIVOS

3.1. GENERAL

Elaborar y analizar el modelo hidráulico de la red de distribución de agua potable de Funza Cundinamarca, teniendo en cuenta la carencia del mismo y los beneficios que este puede traer para el acueducto del municipio.

3.2. ESPECÍFICOS

- Averiguar el catastro de redes con la empresa de acueducto de Funza.
- Realizar en Epanet el modelo hidráulico para la red de distribución de agua potable en Funza Cundinamarca.
- Analizar el comportamiento hidráulico (presiones respecto a las que exige la resolución 330)
- Analizar el comportamiento hidráulico de la red de distribución de agua potable, revisando la variación de presiones en periodo extendido.
- Proporcionar el modelo hidráulico al municipio de Funza con el fin de que les sirva de herramienta para tomar decisiones de optimización de la red.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1. MARCO TEÓRICO

RED HIDRÁULICA: Es un sistema conformado por elementos tales como tubería, bombas, válvulas, entre otros, que tiene como función la conducción del agua desde los tanques de servicio o distribución hasta las tomas domiciliarias. Su objetivo es proporcionar el abastecimiento de agua eficiente a los suscriptores para los diferentes usos tales como el doméstico, comercial, industrial, entre otros. “La red debe proporcionar este servicio todo el tiempo, en cantidad suficiente, con la calidad requerida y a una presión adecuada”. (PLINCO, 2019).

CATASTRO DE REDES: Base de datos técnico geo-referenciada que contiene información real del sistema de agua potable y alcantarillado sanitario de una parte del territorio. Con este se puede realizar una eficiente operación y mantenimiento de las redes de agua potable, adicionalmente, por medio del catastro de redes se puede determinar la ubicación exacta y referenciada de cada uno de los elementos del abastecimiento del agua (PEREZ, y otros, 2004).

EPANET: Es una aplicación de software para el análisis de sistemas de distribución de agua potable. El programa es de dominio público y es desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. El programa es capaz de trabajar con períodos de simulación hidráulicos y el comportamiento de la calidad de las aguas dentro de una red presurizada, además de estar diseñada para ser "una herramienta de investigación que mejore nuestro conocimiento del movimiento y destino del agua potable y sus constituyentes en una red de aguas". Si bien fue diseñado para agua potable también puede ser utilizado para el análisis de cualquier fluido no compresible con flujo de presión. La primera versión de EPANET fue lanzada en 1993 (United States Environmental Protection Agency, 2001)

EPANET 2: Está también disponible como programa de código libre en C. Este paquete informático es usado por muchas compañías de software, que lo incorporan dentro de sus paquetes propietarios, centrados a menudo en sistemas GIS. El archivo de entrada de Epanet, el "inp" que representa la conexión de la red y los consumos es usado por muchos programas comerciales y está ampliamente reconocido (United States Environmental Protection Agency, 2001).

4.2. DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA

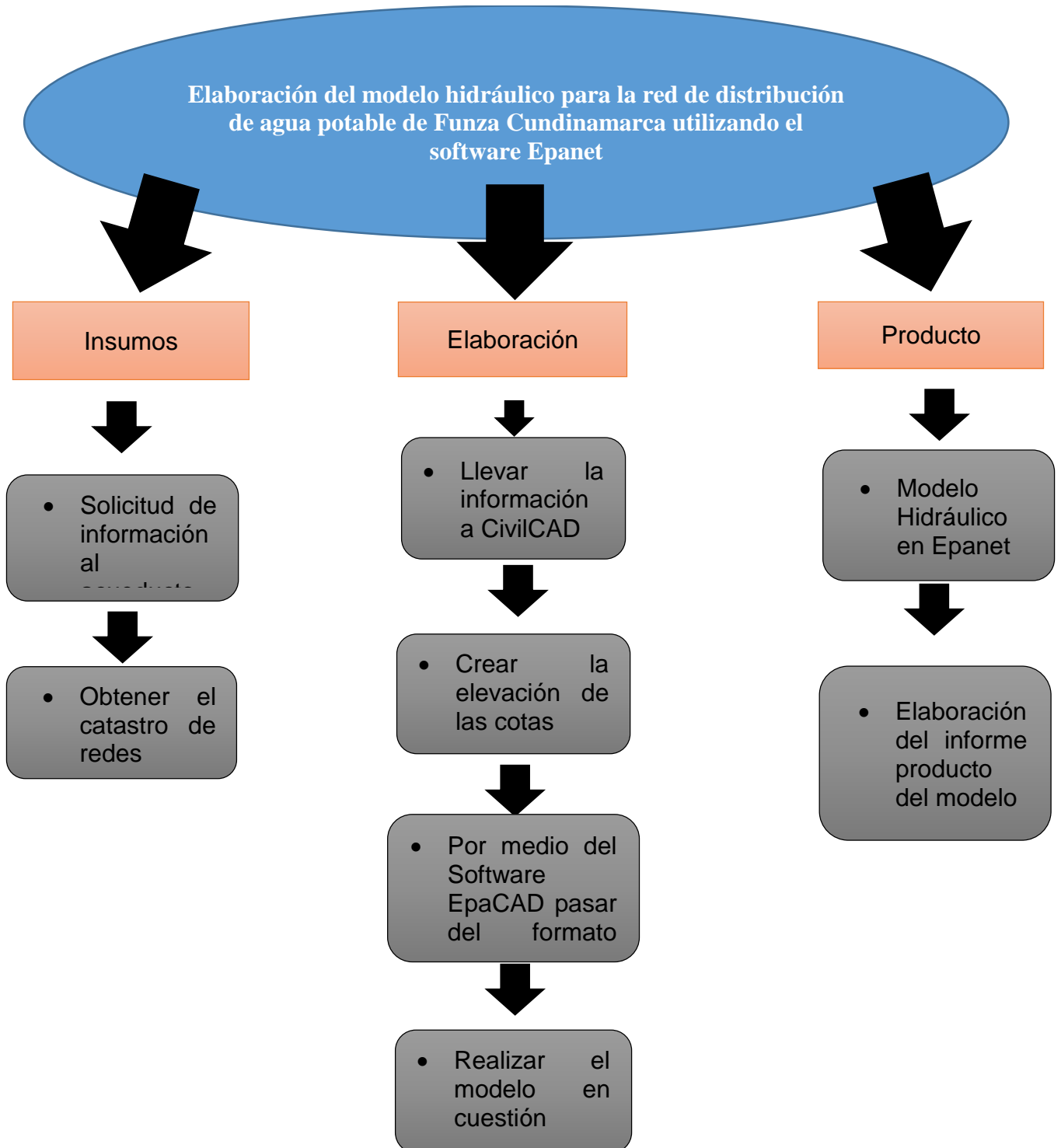
Funza está ubicada en la provincia de sabana de Occidente a 15 Km. De la ciudad de Bogotá. Limita al norte con Madrid y Tenjo, al Oriente con Cota y Bogotá, al Sur con Mosquera y al Occidente con Madrid. Tiene una extensión urbana de 4 km² y una extensión rural de 66 km², para un total de 70 km². Su altura sobre el nivel del mar es de 2.548 m, y su altitud de 4° 43´ (ALCALDIA DE FUNZA CUNDINAMARCA, 2018).

La superficie del municipio es plana, presentando las características típicas de las altiplanicies cundinamarqueses con pendientes hasta del 3%; sus suelos (Andepts, Tropepts), que corresponden a la serie Funza Fz, se caracterizan por su relieve plano con pendiente entre 0 -1% moderadamente profundo, bien drenados y con una fertilidad moderada, originados a partir de ceniza volcánica. A menudo a partir de los 40 a 50 cm. de profundidad aparecen saturados con agua, o por lo menos húmedos aún en periodos secos. Son medianamente ácidos y de muy alta capacidad de intercambio catiónico. El suelo de Funza por su capacidad de uso ha sido clasificado en la clase agrológica 11 hc -1 de uso y manejo, drenaje natural moderado e imperfecto, susceptibles a heladas e irregular distribución de la lluvia, con una temperatura de 14°C. Hidrografía La fuente principal de abastecimiento de agua superficial del municipio, son los ecosistemas de los humedales, los cuales abarcan un área de 186.4 hectáreas del total del área del Municipio, representando el 2.7% de la superficie total.

Otra fuente importante es el distrito de riego La Ramada, el cual riega y drena terrenos dedicados a la agricultura y a la ganadería, permitiendo el desarrollo agropecuario en zonas de alto potencial para la producción. Y también se cuenta con un gran porcentaje de agua subterránea, que abastecen la zona rural con más de 200 pozos en uso. (ALCALDIA DE FUNZA CUNDINAMARCA, 2018)

4.3. MARCO CONCEPTUAL

ILUSTRACION 4-1 Elaboración del modelo hidráulico para la red de distribución de agua potable de Funza Cundinamarca utilizando el software Epanet



4.4. MARCO LEGAL

La Resolución 0330 de 2017 expedida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio “Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009”. (MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO, 2017)

La Resolución reglamenta los requisitos técnicos que se deben cumplir en las etapas de diseño construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura relacionada con los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo.

La Resolución aplica a los prestadores de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo, a las entidades formuladoras de proyectos de inversión en el sector, a los entes de vigilancia y control, a las entidades territoriales y las demás con funciones en el sector de agua potable y saneamiento básico, en el marco de la Ley 142 de 1994. Así como a los diseñadores, constructores, interventores, operadores, entidades o personas contratantes que elaboren o adelanten diseños, ejecución de obras, operen y mantengan obras, instalaciones o sistemas propios del sector de agua y saneamiento básico.

Específicamente, se plantea la tesis con los parámetros de diseño y puesta en marcha, para validar los rangos que debe tener la red para aplicar dentro de las anotaciones establecidas por la normativa de la resolución 0330 de 2017. Detallando que los parajes de la resolución que son tomados en cuenta son: Capítulo 2 “diseño”, Capítulo 3 “puesta en marcha”, Sección 3 “sistemas de transporte y distribución” haciendo un especial énfasis en el artículo 56 y 57 del mismo.

5. METODOLOGÍA

Antes de continuar se hace pertinente mencionar la elaboración previa de un estado del arte, en donde se realiza una revisión bibliográfica de estudios previos de la red hídrica en Colombia usando este tipo de programas que miden variables de calidad-movimiento-destino del flujo del agua, la presión, “realizar análisis hidráulicos de redes de tuberías a partir de las características físicas de las tuberías y dinámicas de los nudos (consumos) para obtener la presión y los caudales en nodos y tuberías respectivamente” (Blog del Agua); la revisión bibliográfica permite a los autores tener apropiación del conocimiento y manejo del programa EPANET, en cuanto a su funcionamiento y análisis de información arrojada donde se busca el apoyo desde la página principal de dicho software:

EPANET es una aplicación de software utilizada en todo el mundo para modelar sistemas de distribución de agua. Fue desarrollado como una herramienta para comprender el movimiento y el destino de los componentes del agua potable dentro de los sistemas de distribución, y puede usarse para muchos tipos diferentes de aplicaciones en el análisis de sistemas de distribución. Hoy en día, los ingenieros y consultores utilizan EPANET para diseñar y dimensionar nueva infraestructura de agua, modernizar la infraestructura existente, optimizar las operaciones de tanques y bombas, reducir el uso de energía, investigar problemas de calidad del agua y prepararse para emergencias. También se puede usar para modelar amenazas de contaminación y evaluar la resistencia a amenazas de seguridad o desastres naturales. (United States Environmental Protection Agency, 2017).

Igualmente, se ofrece una explicación en profundidad respecto al funcionamiento de la aplicación:

Comenzando con una descripción geométrica de la red de tuberías, un conjunto de condiciones iniciales, estimaciones del uso del agua y un conjunto de reglas sobre cómo se opera el sistema, EPANET predice todos los flujos, presiones y niveles de calidad del agua en toda la red durante un período prolongado período de operación. Además de la concentración de la sustancia, también se puede simular la edad del agua y el rastreo de la fuente. EPANET ofrece una serie de características avanzadas que incluyen: código de lenguaje C modular y altamente portátil sin límites preestablecidos en el tamaño de la red; un formato de entrada de datos simple basado en un lenguaje orientado a problemas; un simulador hidráulico con todas las funciones; algoritmos mejorados de calidad del agua; análisis de las reacciones de calidad del agua tanto en el flujo a granel como en la pared de la tubería; una interfaz gráfica de

usuario

opcional que se ejecuta en Microsoft {reg_sign} Windows {marca}. La interfaz de usuario de Windows le permite a uno editar archivos de entrada EPANET, ejecutar una simulación y ver los resultados en un solo programa. La salida de la simulación se puede visualizar a través de: mapas codificados por colores del sistema de distribución con capacidades completas de zoom, desplazamiento y etiquetado y un control deslizante para avanzar o retroceder en el tiempo; tablas de hoja de cálculo en las que se pueden buscar entradas que cumplan un criterio específico; y gráficos de series temporales de valores pronosticados y observados para cualquier variable en cualquier ubicación de la red. EPANET se está utilizando actualmente para analizar una serie de problemas de calidad del agua en diferentes sistemas de distribución en todo el país. Estos incluyen: dinámica de descomposición del cloro, mezcla de fuentes de agua cruda, operación alterada del tanque e integración con sistemas de monitoreo y control en tiempo real (GARRETA, 2016).

Teniendo en cuenta el estudio y definición de este software, se hizo el recorrido en cuanto al trabajo investigativo y de modelación de sistemas hidráulicos, para envedijar y comprender la utilización del programa y las diversas variables que deben ser tenida en cuenta a la hora de elaborar un modelo hidráulico de la red de distribución de agua potable de un municipio, de esta forma se encuentran autores como (ACUÑA, 2013) quien “analiza y modela la red de agua potable de la localidad de Valle Hermoso...objetivo evaluar la situación actual, verificar su funcionamiento y adecuarla a la norma ENOHSA, que servirán de base para futuras obras”.

Así como (RODRIGUEZ, 2013), quien propone la modelación hidráulica del sector 2 del sistema de distribución de la ciudad de Tunja-Boyacá, como estrategia operativa (BECERRA, y otros, 2015) exponen la Modelo hidráulico del sector 1-2 en la cuenca media alta del Río Fucha, localizado en Bogotá D.C., dicho estudio evidencia aquellas variables a tener en cuenta, en la elaboración del modelo :

la identificación de la problemática de Río Fucha fue necesario ilustrar los diferentes aspectos fisiográficos, climatológicos, hidrológicos y ambientales en la cuenca de estudio, mediante sistemas de información geográfica que permitieron realizar la aplicación del sistema de modelación hidrológica generando el análisis hidráulico del sector 1-2. Se desarrolla la proyección de los diferentes niveles del Río Fucha en la sector de estudio a partir de los tiempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 75, 100 y 500 años, concluyendo de esta forma que para cada uno de estos periodos, el comportamiento del flujo depende de las características físicas, climatológicas y sociales del sector a través del tiempo sin olvidar el comportamiento y manejo y ambiental del zona de estudio. Para la realización del modelo, se definieron los valores morfológicos y fisiográficos de la Cuenca para esta zona, la cual está comprendida en las coordenadas 4°34'25,7" N – 74°4'57,20" O y 4°34'19.84"N - 74° 4'48.72"O (Tv 1AE – Carrera 14 y Carrera 6E

– Calle

13S) aproximadamente en dirección contraria al flujo del río, generando el modelo con la referenciación y obtención de curvas de nivel y demás datos que fuesen de mayor utilidad para finalmente se procederse a realizar los cálculos probabilísticos a través del método de Gumbel para la obtención del caudal del río en periodos de retornos hasta de 500 años, generando secciones del cauce y determinando valores hidráulicos (BECERRA, y otros, 2015).

Por otra parte, también se hizo el cuestionamiento respecto a la confiabilidad-desventajas que tienen este tipo de programas digitales como exponen (TIMBE, y otros, 2010), en su investigación Desempeño de modelos hidráulicos 1D y 2D para la simulación de inundaciones, así como el artículo Protección de la infraestructura crítica de la nación: la vulnerabilidad de los sistemas de suministro de agua de EE. UU. de (CLARK, y otros, 2006).

Contextualizando lo anterior en el desarrollo de realización del presente proyecto, se tramita en el acueducto del Municipio de Funza los permisos pertinentes para la adquisición de la información requerida, en este caso, el catastro de redes, documentos que se encuentran en manos de la empresa de acueducto y alcantarillado EMAAF-ESP, entidad en la cual se realiza la solicitud formal de la información, acarreado con el costo que este tenga, independientemente del medio en que se recibe la información, sea digital o impreso.

Realizar en AutoCAD Civil la superficie (Surface) donde se cargará las cotas de nivel del casco urbano y sus alrededores; luego, se inicia con el trazado esquemático de la red según el catastro de redes proporcionado anteriormente. A través de programas como s se convertirá para hacer la información compatible con EPANET y trabajarla así en dicha plataforma digital donde se entregará el producto final.

Adicional se realiza una calibración del sistema atreves de los datos entregados por el acueducto municipal de Funza Cundinamarca, los cuales son las presiones y los caudales tomados en un lapso de más de un año en diferentes puntos de la red hidráulica actual. Esto con el fin de obtener datos más reales del comportamiento de la red hidráulica.

Se correrá el modelo en periodo extendido por 24 horas y se verificará que los rangos de presiones, velocidades y demás variables se encuentren en los rangos permitidos por la 0330 del 2017, norma que rige la normativa Colombina de acueductos y alcantarillados.

Seguido a lo anterior, se realiza un informe donde se plasme lo que se encuentra conforme a la norma y lo que aún falta por adecuarse a ella, para que, esta manera, el acueducto pueda darle un seguimiento a la información arrojada por el programa y la modelación digital del programa. Obteniendo con esto un informe, que de

diagnóstico de las problemáticas que puedan tener la red hidráulica actual y también las partes que cumplan absolutamente toda la normativa propia de la materia, con esto podrá ser decisión del acueducto de Funza, si intervendrán la red para hacerla totalmente cumplidora de la Norma 0330 del 2017.

5.1. ALCANCES Y LIMITACIONES.

El proyecto podrá proporcionar al acueducto de Funza una visión global de lo que sucede en su red hidráulica, en materia de presiones caudales y de más agentes que interviene en la red hídrica del municipio.

Algunos limitantes:

El desgaste natural de las tuberías que pueden ocasionar un cambio del diámetro y/ o generar fugas que el programa no estima, se busca mitigar ese aspecto con la calibración del sistema; más sin embargo la calibración se desarrolla en los tubos principales de la red.

El modelo no contará con futuras ampliaciones del municipio, de modo que la extensión de la red hídrica tendrá que ser adelantada por ellos.

El tiempo de ejecución puede marcar una limitante prolongada, al ser el proyecto dependiente de la información proporcionada por las autoridades pertinentes a la vez que es manual la introducción de la información debido a las diferentes propiedades que pueden tener los componentes de las redes hidráulicas.

5.2. DESCRIPCION DE LA RED

La red hidráulica de agua potable del municipio de Funza, Cundinamarca cuenta con 26148,78 km de tuberías con diámetros entre 25,4 mm y 508 mm, todas estas de un mismo material que es PVC de alta resistencia. Al contar con esta cantidad de kilómetros, también ostenta una cantidad de conexiones considerables como lo es 3.763 que es el total de conexiones presentes en el sistema.

Este municipio cuenta con una entrada de agua proveniente de la ciudad de Bogotá quien abastece al municipio en un 60%, para cumplir con la totalidad de la demanda del municipio realiza captación a través de pozos profundos, hoy en día cuenta con 3 pozos llamados pozo 1, pozo la aurora y pozo tienda nueva (EMPRESA MUNICIPAL DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO, 2019).

En dichos pozos la extracción se hace mediante motobombas sumergibles ubicadas a más de 115 m (Aurora); los pozos se encuentran debidamente protegidos con

sellos

sanitarios para evitar contaminación superficial. El agua que llega en bloque de Bogotá también es sometida a control de calidad por el acueducto local y es controlado a través de válvulas que les permite estabilizar y controlar el ingreso de agua al sistema según se requiera (EMPRESA MUNICIPAL DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO, 2019).

A su vez el sistema cuenta con 8 motobombas encargadas del bombeo a toda la red, dichas bombas son de marca WEG y ostentan una potencia que alcanza un rango de 37 a 50 MCA, la ilustración (s9) permite apreciar la referencia de las motobombas.

ILUSTRACION 5-1. Sistema de bombeo presente en Funza, Cundinamarca

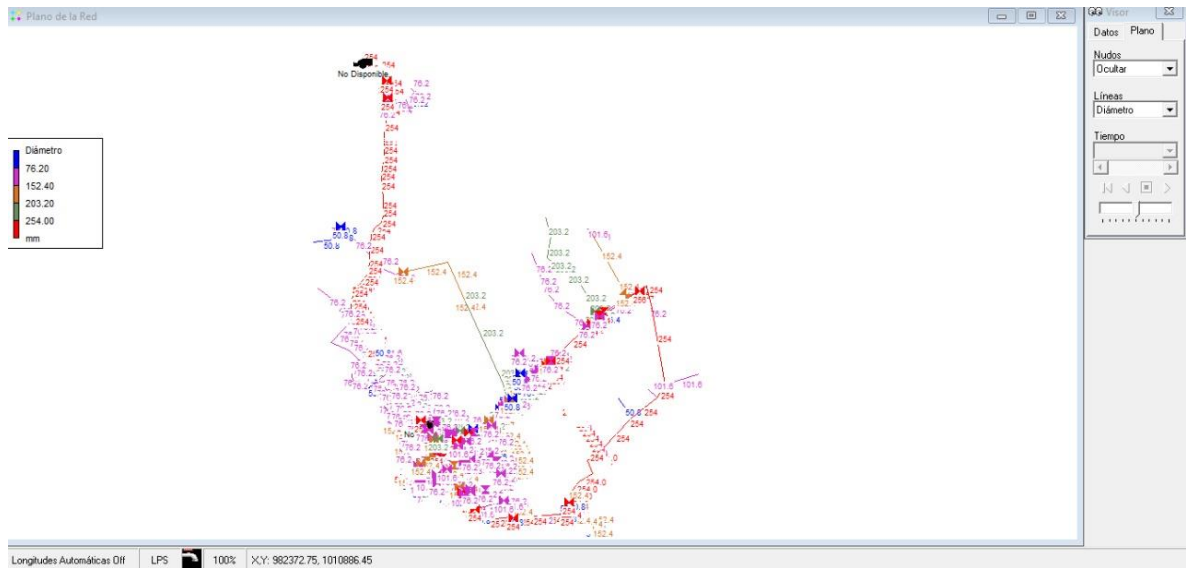


Fuente Los autores

5.3. DIÁMETROS

A través del catastro de redes se obtuvo la totalidad de los diámetros que tienen las tuberías que conforman la red de distribución de agua potable en Funza, estas se pusieron en un Excel que agrupa todos los datos de longitud, Diámetros y rugosidad. A través de la opción filtrar daremos despejaremos cada valor para dar el porcentaje de utilización de cada tipo de tubería, adicional con el catálogo de PAVCO quien es el principal proveedor de estos tubos daremos que RDE fue el utilizado por el acueducto ya que en su mayoría es tubería de PVC la usada en dicha red.

ILUSTRACION 5-2. Imagen del rango de diámetros presentes en el modelo hidráulico de Funza software Epanet.



Fuente software Epanet.

Tabla 5.1 Compilado Epanet

ID Línea	Longitud m	Diámetro mm	Rugosidad mm
1 prueba			
2 Tabla de Red - Líneas			
3			
4 ID Línea			
5 Tubería p2			
6 Tubería p10	121,4	76,2	0,0015
7 Tubería p12	179,1	76,2	0,0015
8 Tubería p17	1,247	76,2	0,0015
9 Tubería p20	10,18	50,8	0,0015
10 Tubería p23	1,77	203,2	0,0015
11 Tubería p24	1,911	76,2	0,0015
12 Tubería p26	1,79	152,4	0,0015
13 Tubería p27	3,742	76,2	0,0015
14 Tubería p29	75,31	76,2	0,0015
15 Tubería p30	24,42	152,4	0,0015
16 Tubería p33	2,621	76,2	0,0015
17 Tubería p34	2,722	254	0,0015
18 Tubería p35	3,425	76,2	0,0015
19 Tubería p36	5,289	76,2	0,0015
20 Tubería p37	6,275	76,2	0,0015
21 Tubería p38	6,398	203,2	0,046
22 Tubería p40	5,103	76,2	0,0015
23 Tubería p41	99,61	76,2	0,0015
24 Tubería p42	3,444	76,2	0,0015
3238 Tubería 884	72,81	203,2	0,0015
3239 Tubería 449	25,4	76,2	0,0015
3240 Tubería 1	1	355,6	0,0015
3241 Tubería 761	1	254	0,0015
3242 Tubería 762	1	254	0,0015
3243 Tubería 885	1	254	0,0015
3244 Tubería 743	1	254	0,0015
3245 Tubería 744	1	355,6	0,0015
3246 Tubería 886	1	355,6	0,0015
3247 Tubería 887	1,02	355,6	0,0015
3248 Tubería 888	1,02	355,6	0,0015
3249 Tubería 889	56	76,2	0,0015
3250 Tubería 890	30,71	76,2	0,0015
3251 Tubería 891	74,51	76,2	0,0015
3252 Tubería 892	1	76,2	0,0015
3253 Tubería 385	15,12	254	0,0015
3254 Tubería 450	43,16	76,2	0,0015
3255 Tubería 882	1	355,6	0,0015
3256 Tubería 893	8,7	76,2	0,0015
3257 Tubería 894	7	76,2	0,0015
3258 Tubería 895	12,08	76,2	0,0015
3259 Tubería 896	10,98	76,2	0,0015
3260			
3261			

Fuente tomada de Epanet

Se inicia

filtrando cada Dato de Diámetros y los incorporamos a una tabla externa que nos dará el consolidado de los datos ya mencionados y fáciles de visualizar en la dicha tabla. El criterio para expresar el no cumplimiento de las tuberías esta dado en la resolución 0330 del 2017 en su sección 3 artículo 61. (MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO, 2017)

Tabla 5.2. Diámetros reales presentes en la red de distribución del acueducto de Funza, Cundinamarca.

Fuente, datos recolectados por los autores

5.4. LONGITUDES

A través del catastro de redes se obtuvo la totalidad de las longitudes que tienen las tuberías que conforman la red de distribución de agua potable en Funza, estas se pusieron en un Excel que agrupa todos los datos de longitud, diámetros y rugosidad. Para el siguiente análisis se realiza una sumatoria de la totalidad de las medidas reportadas por el catastro de redes, sabiendo los kilómetros de cobertura propios de la red analizaremos la cobertura en el casco urbano y zonas verdales anexas al municipio de Funza, se usará algunos artículos y programas como Google Earth para validar la información de cobertura.

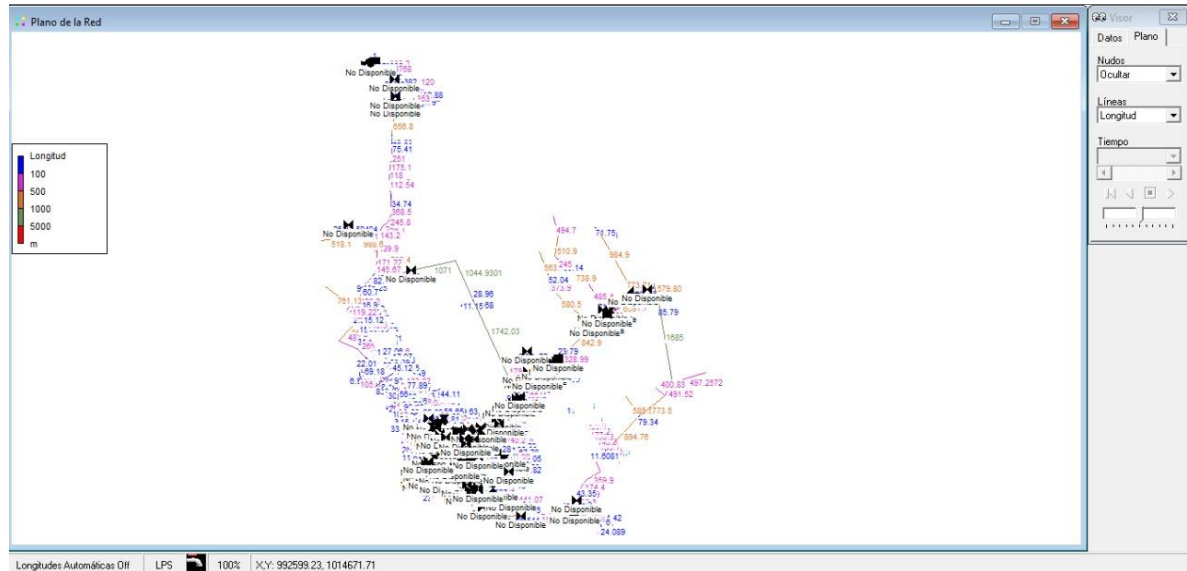
Como se estipula en el decreto 1272 del 28 de julio de 2017 (MINISTERIO DE

Diametro (mm)	Longitud (M)	Longitud (km)	Diametro Nominal	RDE	% de Utilización	CUMPLIMIENTO SEGÚN RAS
25,4	17029842,482	17029,842	3/4	11	11,546%	No Cumple
50,8	26147238,881	26147,239	2	13,5	17,727%	No Cumple
76,2	26148815,889	26148,816	3	26	17,728%	Cumple
101,6	26071941,971	26071,942	4	17	17,676%	Cumple
152,4	5013,000	5,013	6	21	0,003399%	Cumple
203,2	26147228,701	26147,229	8	26	17,727%	Cumple
254	1242,000	1,242	10	26	0,0008420%	Cumple
355,6	25946606,341	25946,606	14	32,5	17,59%	Cumple
508	95,830	0,096	20	32,5	0,0000650%	Cumple
TOTAL	147498025,094	147498,025			100%	

VIVIENDA CIUDAD Y TERRITORIO, 2017) que obliga a las empresas prestadoras de los servicios públicos a brindar el servicio a la totalidad de la población designada. El acueducto de Funza a través de su sitio web reporta una cobertura del 100% a su sector urbano, repartido 70.622 personas en el casco urbano y cerca de 4.782 personas en el sector veredal o rural disponiendo en ellos una cantidad

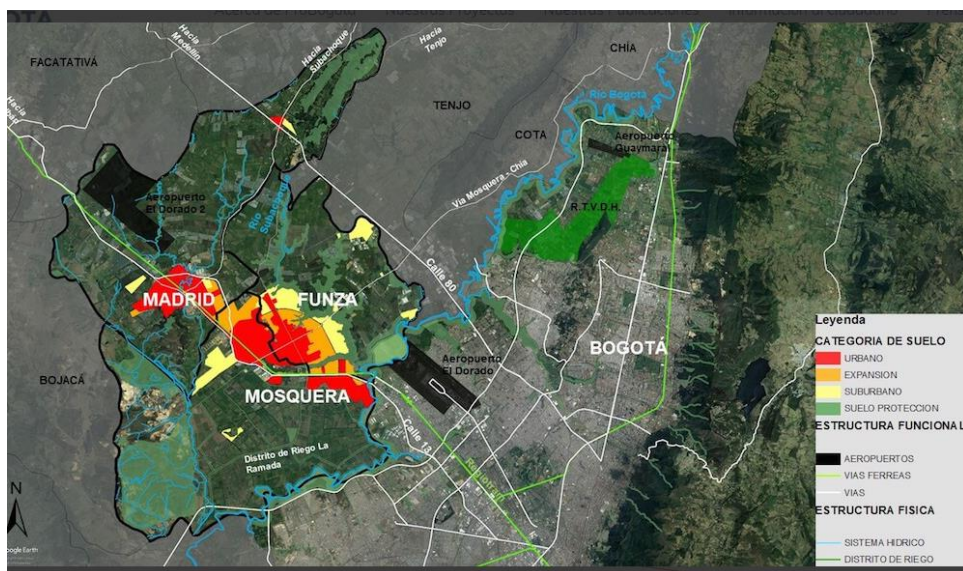
para los distritos de riego, adicional presta el servicio al sector industrial presente en el municipio sector al que reporta de igual manera el 100% de cobertura. (EMPRESA MUNICIPAL DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO, 2019)

ILUSTRACION 5-3. Diámetros presentes en el modelo hidráulico de Funza



Fuente software Epanet

ILUSTRACION 5-4. Imagen estimación del crecimiento poblacional de Funza, Cundinamarca



Fuente

POT de Funza, Cundinamarca

Tabla 5.3. Consolidado de longitudes y Áreas de Funza

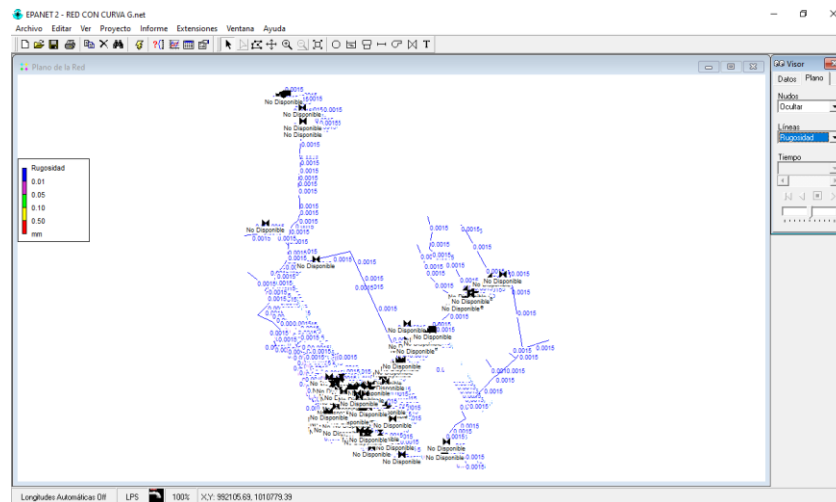
Consolidado total		Area de funza	
metros	26148786,38	Total (Km2)	71
kilometros	26148,78638	En uso (km2)	4
		% de uso	5,63%

Fuente, los autores.

5.5. MATERIALES

A través del catastro de redes se obtuvo la totalidad de las rugosidades que tienen las tuberías que conforman la red de distribución de agua potable en Funza, estas se pusieron en un Excel que agrupa todos los datos de longitud, Diámetros y rugosidad. Mas sin embargo el informe nos arrojó que en un 98% la red presenta como material PVC de alta resistencia, por ende, la rugosidad presentada por el sistema es igual en el total de su red y en un 2% otros materiales.

ILUSTRACION 5-5. Imagen del rango de rugosidades presentes en el modelo hidráulico de Funza



Fuente software Epanet

Tabla 5.4. Tabulación diferentes materiales presentes en la red de distribución de Funza, Cundinamarca

Rugosidad	Numero de repeticiones	% de presencia en la red
0,0015	3203	98,433%
0,0046	8	0,246%
0,024	2	0,061%
0,46	32	0,983%
0,12	9	0,277%
Total	3254	100,000%

Fuente, los autores

Se validó a través de catálogo de Pavco disponible en su sitio web, el diámetro de las tuberías para de esa manera saber qué tipo de PVC de alta resistencia es el que está presente en la red de distribución.

Tabla 5.5. Consolidado de clase de material presente en el modelo hidráulico de Funza

Diametro (mm)	Diametro Nominal	RDE	% de Utilizacion
25,4	3/4	11	11,546%
50,8	2	13,5	17,727%
76,2	3	26	17,728%
101,6	4	17	17,676%
152,4	6	21	0,003399%
203,2	8	26	17,727%
254	10	26	0,0008420%
355,6	14	32,5	17,59%
508	20	32,5	0,0000650%

Fuente, los autores

5.6. BOMBAS

El municipio de Funza cuenta con dos estaciones de bombeo, una de ellas con 2 bombas y la otra con 4 bombas, en la actualidad cuenta con bombas de marca WEG, dos de ellas con capacidad 50 caballos de fuerza, dos con capacidad de 25 caballos de fuerza y las dos restantes con 20 caballos de fuerza, como se muestra

en la ilustración 5.7, donde evidenciara la referencia en cuestión de las bombas con las que cuenta la red hidráulica de Funza.

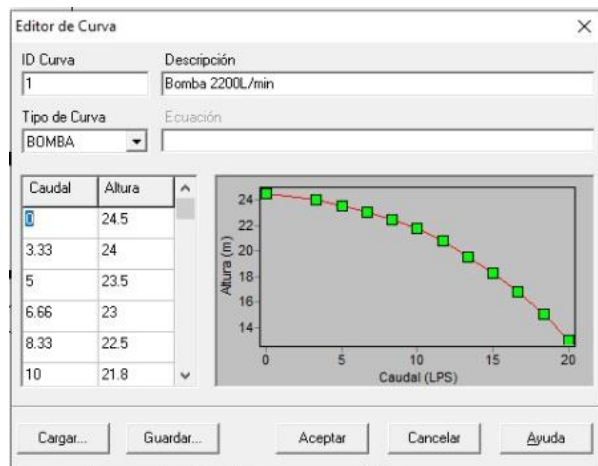
Al incorporar la potencia de las bombas del sistema Epanet nos genera una curva de bomba, ya que esta fue imposible conseguirse de otra manera, se decidió recurrir a esta manera de incorporar la información, esto se reportará en la ilustración 5.8.

ILUSTRACION 5-6. Referencia de bombas presentes en el sistema de bombeo de Funza, Cundinamarca



Fuente, los autores

ILUSTRACION 5-7. Curva de bomba reportada por el software Epanet



Fuente, software Epanet.

5.7. TANQUES

El modelo

actual cuenta con tres depósitos de agua uno de referencia para cada estación de bombeo cuyas alturas están entre los 5 metros a 10 metros de altura a continuación se reportará el comportamiento que tienen los depósitos actuales.

Tabla 5.6. Comportamiento de los tanques reportados por el Epanet entre las horas 00:00 a las 9:00.

	presion hora 0	presion hora 1	presion hora 2	presion hora 3	presion hora 4	presion hora 5	presion hora 6	presion hora 7	presion hora 8	presion hora 9
Depósito 10	8,69	8,69	8,69	8,69	8,69	8,69	8,69	8,69	8,69	8,69
Depósito 15	5,55	5,55	5,55	5,55	5,55	5,55	5,55	5,55	5,55	5,55
Depósito 24	4,34	4,34	4,34	4,34	4,34	4,34	4,34	4,34	4,34	4,34

Fuente, los autores

Tabla 5.7. Comportamiento de los tanques reportados por el Epanet entre las horas 10:00 a las 18:00

presion hora 10	presion hora 11	presion hora 12	presion hora 13	presion hora 14	presion hora 15	presion hora 16	presion hora 17	presion hora 18
8,69	8,69	8,69	8,69	8,69	8,69	8,69	8,69	8,69
5,55	5,55	5,55	5,55	5,55	5,55	5,55	5,55	5,55
4,34	4,34	4,34	4,34	4,34	4,34	4,34	4,34	4,34

Fuente, los autores

Tabla 5.8. Comportamiento de los tanques reportados por el Epanet entre las horas 19:00 a las 24:00.

presion hora 19	presion hora 20	presion hora 21	presion hora 22	presion hora 23	presion hora 24
8,69	8,69	8,69	8,69	8,69	8,69
5,55	5,55	5,55	5,55	5,55	5,55
4,34	4,34	4,34	4,34	4,34	4,34

Fuente, los autores

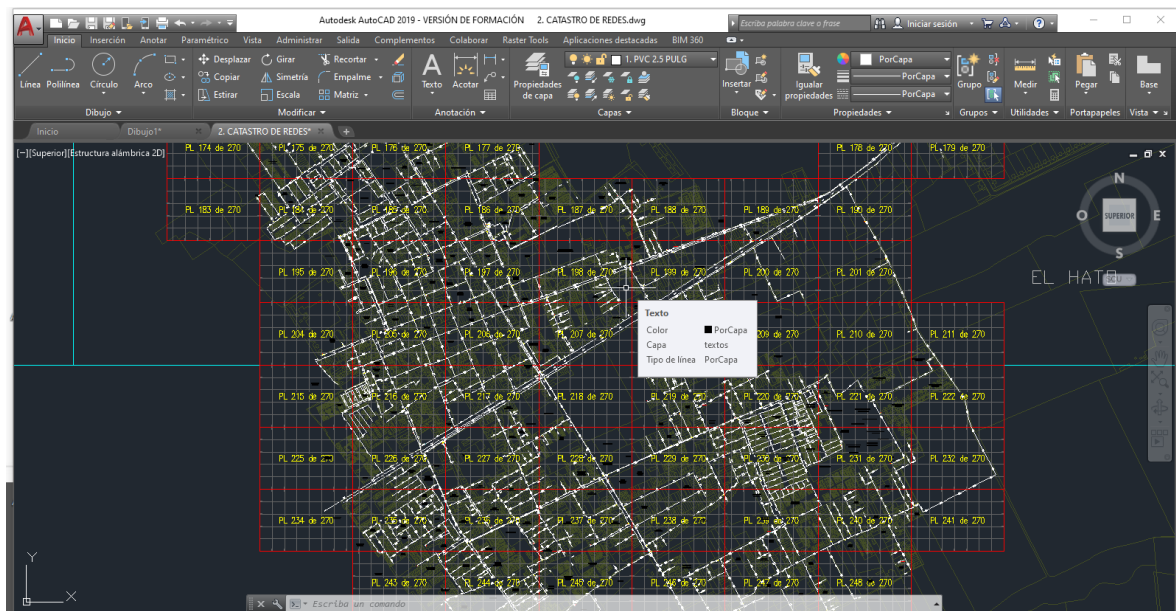
5.8. DESCRIPCION DE LA RED

- La red tiene un uso equitativo de las tuberías en la mayoría de los ítems, más sin embargo 3 de ellos tienen una presencia muy limitada.
- La tubería de diámetro 203,2 mm es la de mayor uso de la red con un 17,727%.
- La tubería de diámetro 508 mm es la menor presencia en la red con un 0,0000650%.
- La red tiene dos diámetros por debajo del requerimiento de la norma que exige que las tuberías tengan un diámetro mayor de 75mm por ende las tuberías de 25,5 y 50,8 no cumplirían este parámetro
- El porcentaje de la red que no cumple dicho parámetro es de 29,273%.
- El porcentaje de la red que si cumple dicho parámetro es de 70,727%.
- La red ostenta en un 100% de material PVC de alta resistencia
- Las tuberías de 3" con un RDE (Radio Dimensional Estándar) 26, es el de mayor presencia en la red hidráulica
- Las tuberías de 20" con RDE 32,5, es la menor presencia en la red
- Resalta una gran variedad en la elección de los materiales adaptándose a las condiciones que se les requieran.
- En la norma no exige como tal uso de material específico más que un material apto para el contacto con el agua potable, dicho material obtiene todos los certificados para dicha labor
- El municipio cumple con el cubrimiento al 100 % de la necesidad actual.
- Las medidas de Google Earth corresponden a las medidas reportadas en el catastro de redes.
- El municipio no cumple en la totalidad de su territorio solo en el 5,63% de su área que está en uso actualmente.
- En el caso de posibles expansiones ya planteadas es altamente probable que la red actual tenga que sufrir varios cambios o la creación de una línea alterna.

5.9. OBTENCION DE LA INFORMACIÓN

Con obtención de información se da partir de la solicitud a catastro de redes del municipio de Funza, el cual es necesario para poder modelar la red en el programa seleccionado (Epanet) ya que es la guía principal del eje del presente proyecto, ya que, como tal este catastró de redes es el documento que nos da la veracidad del proyecto en cuestión hay más factores que influyen, como lo son los diámetros, las longitudes, el tipo de material de la tubería, pero es vital para la iniciación de la modelación el tener de base el catastro de redes. Se podrá encontrar como anexo la totalidad del catastro de redes, la ilustración 5.9 se usa como muestra del documento de catastro de redes.

ILUSTRACION 5-8 Catastro de redes del municipio de Funza, Cundinamarca



Fuente, AUTOCAD

5.10. PROCEDIMIENTO

Con la obtención del catastro de redes, este en formato DWG propio del software AutoCAD, para poder introducir dicha información es necesario transformar los datos a un formato compatible con EPANET que es un software libre desarrollado por la EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos) (United States Environmental Protection Agency, 2001), para esto se hace uso de otro software llamado EpaCad, dicho programa dará un archivo que es totalmente compatible con EPANET. Mas sin embargo este programa da los datos de particulares de cada tubería en una constatare programada por el mismo, es necesario introducir en el archivo de EPANET absolutamente todos los datos que el catastro de redes nos

suministró esto se hace de manera manual para cada tubería, esto para garantizar la correlación entre catastro de redes y archivo de modelación.

Dicha parte del trabajo es aquella que más trabajo va a conllevar es más que una recomendación realizar todos los cambios verificando cada uno de los datos ya que un error puede variar en extremo las condiciones del proyecto e identificarlo en algunos casos puede ser tedioso y puede llevar a una pérdida innecesaria de tiempo.

Al realizar la corrección de los nodos y las longitudes se comenzó a anexar información adicional que no estaba en el documento como fue la rugosidad de las tuberías dependiendo su material para tuberías. En PVC la rugosidad de 150x10-6 m que en el programa se anexa en milímetros (0.0015mm) la información generada por el acueducto no cuenta con la altimetría de los nodos lo que se hizo fue utilizar el Google Earth.

ILUSTRACION 5-9 Imagen satelital de Funza Cundinamarca



Fuente, Google Earth

Una vez

obtenidos los datos aproximados en las alturas de los nodos, la demanda base de estos se realizó calculando el caudal máximo horario (QMH) como lo estipula la norma (resolución 0330 de 2017) y se dividió entre el total de nodos en la red y tener un promedio de la demanda base.

Se hizo una visita técnica al acueducto para mirar las bombas utilizadas y medir los tanques que se usan para distribuir el agua potable y de esta manera, poder insertar toda la información al modelo en el software funcionalidad y poder tomar.

ILUSTRACION 5-10 Referencia de bombas presentes en el sistema de bombeo de Funza

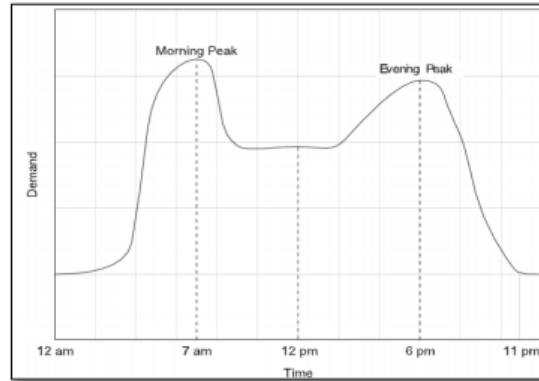


Fuente, los autores

Se incorporan dichos datos es necesario incorporar aún más información la cual corresponde a la curva de demanda del municipio, la cual nos da un comportamiento del consumo de agua potable de los habitantes del municipio. Por motivos de la pandemia de COVID-19 que aqueja a todo el planeta, el solicitar dicha información a los entes propios que nos la pueden facilitar, en esta época es prácticamente nula la posibilidad de adquisición de la información, por ende y para completar nuestro proyecto se buscaron alternativas que sean coherentes al estilo de vida de la población de Funza.

Como alternativa Puntual usamos un proyecto de grado de maestría de la universidad nacional de Colombia, está hecha por el ingeniero Alex Javier Garzón (ORDUÑA GARZON, 2014). En este encontraremos las curvas de consumo de la ciudad de Bogotá D.C, la cual queda relativamente cerca a el municipio de Funza. Además, Bogotá D.C vende cerca de un 40% del agua que se usa en el municipio para la cobertura de su población. Existen varias coincidencias en el consumo que existe en el municipio de Funza y Bogotá, no solo por su proximidad sino por el tipo de clima, costumbres y población.

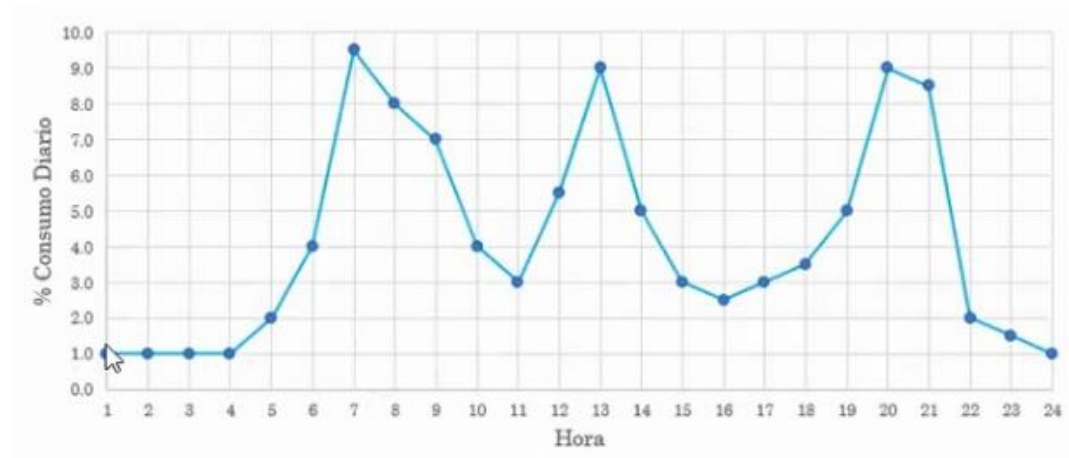
ILUSTRACION 5-11 Curva Diaria típica para el municipio de Funza



⁷ Advanced Water Distribution Modeling and Management, Section 4.3. Haestad Methods, FirstEdition.2003.

Fuente, (ORDUÑA GARZON, 2014)

ILUSTRACION 5-12 Curva de demanda Utilizada en el municipio de Funza



Fuente, (ORDUÑA GARZON, 2014)

Tabla 5.9. Tabulación de datos Curva de demanda para el municipio de Funza

Representado como % del patrón de consumo

Suministro por Acueducto (24horas) - Consumo (Tanque-Bomba-Hidroneumático)								
Hora inicial	Hora final	C (%)	ΣC (%)	S (%)	ΣS (%)	S-C (%)	ΣS-C (%)	V (%)
0	1	1.00	1.00	4.17	4.17	3.17	3.17	11.17
1	2	1.00	2.00	4.17	8.33	3.17	6.33	14.33
2	3	1.00	3.00	4.17	12.50	3.17	9.50	17.50
3	4	1.00	4.00	4.17	16.67	3.17	12.67	20.67
4	5	2.00	6.00	4.17	20.83	2.17	14.83	22.83
5	6	4.00	10.00	4.17	25.00	0.17	15.00	23.00
6	7	9.50	19.50	4.17	29.17	-5.33	9.67	17.67
7	8	8.00	27.50	4.17	33.33	-3.83	5.83	13.83
8	9	7.00	34.50	4.17	37.50	-2.83	3.00	11.00
9	10	4.00	38.50	4.17	41.67	0.17	3.17	11.17
10	11	3.00	41.50	4.17	45.83	1.17	4.33	12.33
11	12	5.50	47.00	4.17	50.00	-1.33	3.00	11.00
12	13	9.00	56.00	4.17	54.17	-4.83	-1.83	6.17
13	14	5.00	61.00	4.17	58.33	-0.83	-2.67	5.33
14	15	3.00	64.00	4.17	62.50	1.17	-1.50	6.50
15	16	2.50	66.50	4.17	66.67	1.67	0.17	8.17
16	17	3.00	69.50	4.17	70.83	1.17	1.33	9.33
17	18	3.50	73.00	4.17	75.00	0.67	2.00	10.00
18	19	5.00	78.00	4.17	79.17	-0.83	1.17	9.17
19	20	9.00	87.00	4.17	83.33	-4.83	-3.67	4.33
20	21	8.50	95.50	4.17	87.50	-4.33	-8.00	0.00
21	22	2.00	97.50	4.17	91.67	2.17	-5.83	2.17
22	23	1.50	99.00	4.17	95.83	2.67	-3.17	4.83
23	24	1.00	100.00	4.17	100.00	3.17	0.00	8.00

Fuente, (ORDUÑA GARZON, 2014)

Una vez se obtuvo la totalidad de los datos y teniendo en cuenta lo recaudado en el estado del arte, se cruzan las referencias usadas como guía y para dar claridad a los procesos requeridos por el software EPANET para correr de manera exitosa demostrando así lo ocurrido en la red de distribución actual del municipio como lo son (GARRETA, 2016) *Mandatos nacionales y realidades locales: análisis de las políticas públicas del agua en la frontera Amazonica*, (PERDOMO, y otros, 2015) Comprobación en campo, de una modelación asistida por computador para una red hidráulica, caso distrito de riego el vergel, municipio Tarqui, departamento Huila-Colombia, (RODRIGUEZ, 2013), *Estado del arte de la calibración de modelos hidráulicos. Modelado de fugas con Epanet* (RONDAN, 2016), (ROSSMAN, 1995), Avances en el monitoreo en línea de la calidad del agua potable y los sistemas de alerta temprana (STOREYA, y otros, 2010), para así dar cuenta de la apropiación teórico-practica en el análisis de los resultados expuesto por el software utilizado.

6. ANALISIS DE RESULTADOS

6.1. ANÁLISIS HIDRAULICO

Una vez incorporado los datos requeridos por el software para ejecutar el modelo hidráulico de Funza Cundinamarca, se procede a hacer un análisis de las presiones y las velocidades reportadas por el programa, esto haciendo una comparación con la resolución 0330 de 2017.

6.1.1. Informe Consumo de energía

Se realiza una presentación de los datos otorgados por el software Epanet para el consumo de energía, este dado en las bombas donde se genera el mayor consumo de energía del sistema, dichos datos se entregan en la tabla 6-1.

Tabla 6.1. Informe de consumo de energía del modelo hidráulico de Funza Cundinamarca



Bomba	Porcentaje Utilización	Rendimiento Medio	kW·h /m3	Potencia Media (kW)	Potencia Máx. (kW)	Coste /día
129	100.00	75.00	0.28	49.71	49.71	0.00
130	100.00	75.00	0.28	49.71	49.71	0.00
745	100.00	75.00	0.29	19.89	19.89	0.00
747	100.00	75.00	0.29	24.86	24.86	0.00
748	100.00	75.00	0.29	24.86	24.86	0.00
759	100.00	75.00	0.42	49.71	49.71	0.00
760	100.00	75.00	0.42	49.71	49.71	0.00
746	100.00	75.00	0.29	19.89	19.89	0.00
Coste Total						0.00
Término de Potencia						0.00

Fuente, Epanet

6.1.2. Presiones

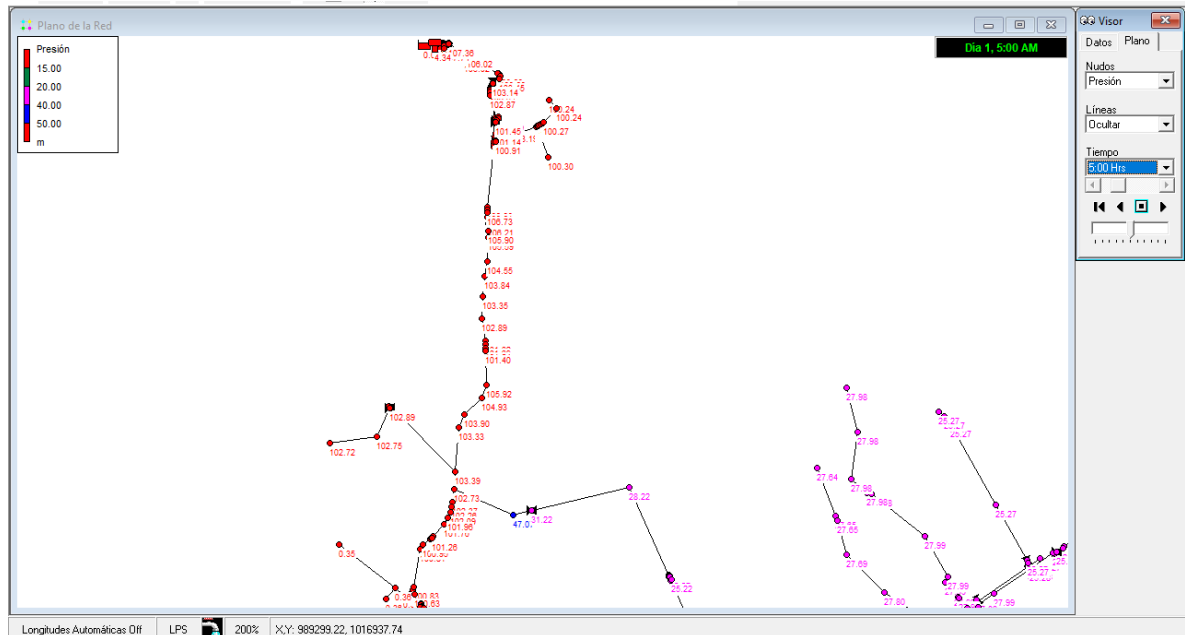
Al ejecutar el modelo y este no arroja errores, se procede a mostrar la evidencia de ello a través de las diferentes opciones que el software brinda, una de ellas es el mostrar las presiones que están involucradas en el modelo hidráulico de Funza Cundinamarca.

Se definen los rangos de las presiones con la Resolución 0330 de 2017-Reglamento técnico- RAS, haciendo más precisión en su sección 3 artículo 56 y 57, donde, nos indica los rangos de las presiones que deben de tener cualquier red de distribución de agua potable a nivel nacional, dichos rangos están dados entre 10 m.c.a hasta 50 m.c.a. (MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO, 2017). Se define dichos rangos en el software Epanet, a continuación, se analizará las horas pico y valle del sistema tomando una muestra de 6 horas que representaran el modelo hidráulico de Funza.

6.1.3. Análisis presiones en el modelo

La zona de tienda nueva ostenta una tubería madre, la cual presenta presiones muy superiores a las expresadas como idóneas en la resolución 0330 de 2017 sección 3 artículo 56, donde nos indica que la presión idónea es de 10 m.c.a a 50 m.c.a, mas sin embargo al ser este un tubo principal el cual transportara una gran caudal de agua potable se es permitido tener presiones elevadas para lograr abastecer la dotación de las poblaciones veredales y poder llegar con la suficiente presión al casco urbano. Como se podrá apreciar en la ilustración 6.1 que nos evidencia las presiones a las 5 de la mañana cuando tenemos el primer consumo importante de la población vemos que los niveles de presión se estabilizan hacia el casco urbano pero no en la línea principal esta se mantiene entre los 100 m.c.a y los 150 m.c.a. dicho esto según el rango de las presiones no cumplen con norma mas sin embargo es permitido en este aspecto al ser tubo principal de la red.

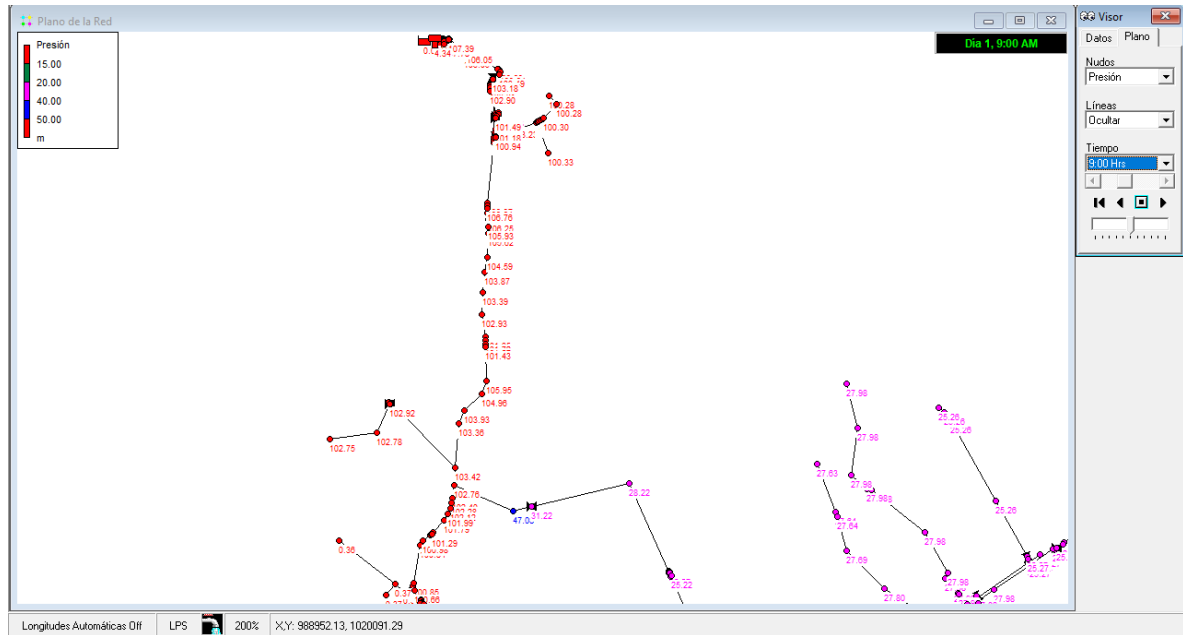
ILUSTRACION 6-1 Modelo hidráulico de Funza, Sector Tienda nueva a las 5 am evidenciando las presiones de cada conexión.



Fuente, software Epanet

La zona de tienda nueva ostenta una tubería madre, la cual presenta presiones muy superiores a las expresadas como idóneas en la resolución 0330 de 2017 sección 3 artículo 56, donde nos indica que la presión idónea es de 10 m.c.a a 50 m.c.a, mas sin embargo al ser este un tubo principal el cual transportara una gran caudal de agua potable se es permitido tener presiones elevadas para lograr abastecer la dotación de las poblaciones veredales y poder llegar con la suficiente presión al casco urbano. Como se podrá apreciar en la ilustración 6.2 que nos evidencia las presiones a las 9 de la mañana cuando tenemos un consumo sostenido aprarir de este punto hasta las 11 de la mañana se mantendrán estables las presiones con variaciones muy pequeñas una de la otra entre los rangos de 100 m.c.a y los 150 m.c.a. dicho esto según el rango de las presiones no cumplen con norma mas sin embargo es permitido en este aspecto al ser tubo principal de la red.

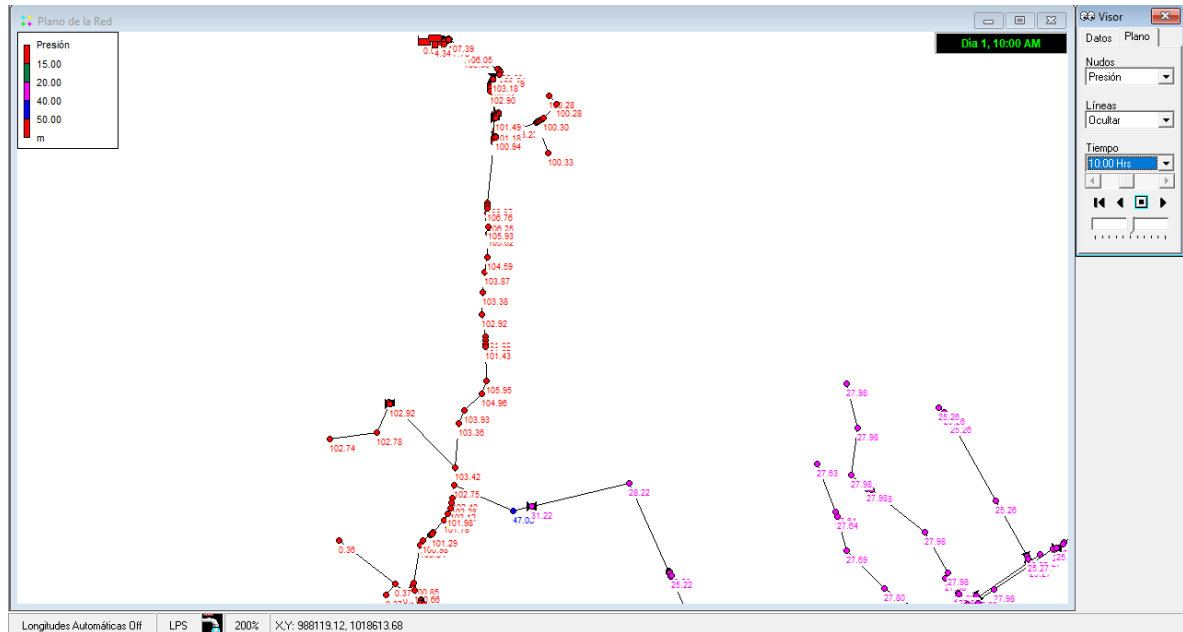
ILUSTRACION 6-2 Modelo hidráulico de Funza, Sector Tienda nueva a las 9 am evidenciando las presiones de cada conexión.



Fuente, software Epanet

La zona de tienda nueva ostenta una tubería madre, la cual presenta presiones muy superiores a las expresadas como idóneas en la resolución 0330 de 2017 sección 3 artículo 56, donde nos indica que la presión idónea es de 10 m.c.a a 50 m.c.a, mas sin embargo al ser este un tubo principal el cual transportara una gran caudal de agua potable se es permitido tener presiones elevadas para lograr abastecer la dotación de las poblaciones veredales y poder llegar con la suficiente presión al casco urbano. Como se podrá apreciar en la ilustración 6.3 que nos evidencia las presiones a las 10 de la mañana cuando tenemos un consumo sostenido apartir de las 9 hasta las 11 de la mañana se mantendrán estables las presiones con variaciones muy pequeñas una de la otra entre los rangos de 100 m.c.a y los 150 m.c.a. dicho esto según el rango de las presiones no cumplen con norma mas sin embargo es permitido en este aspecto al ser tubo principal de la red.

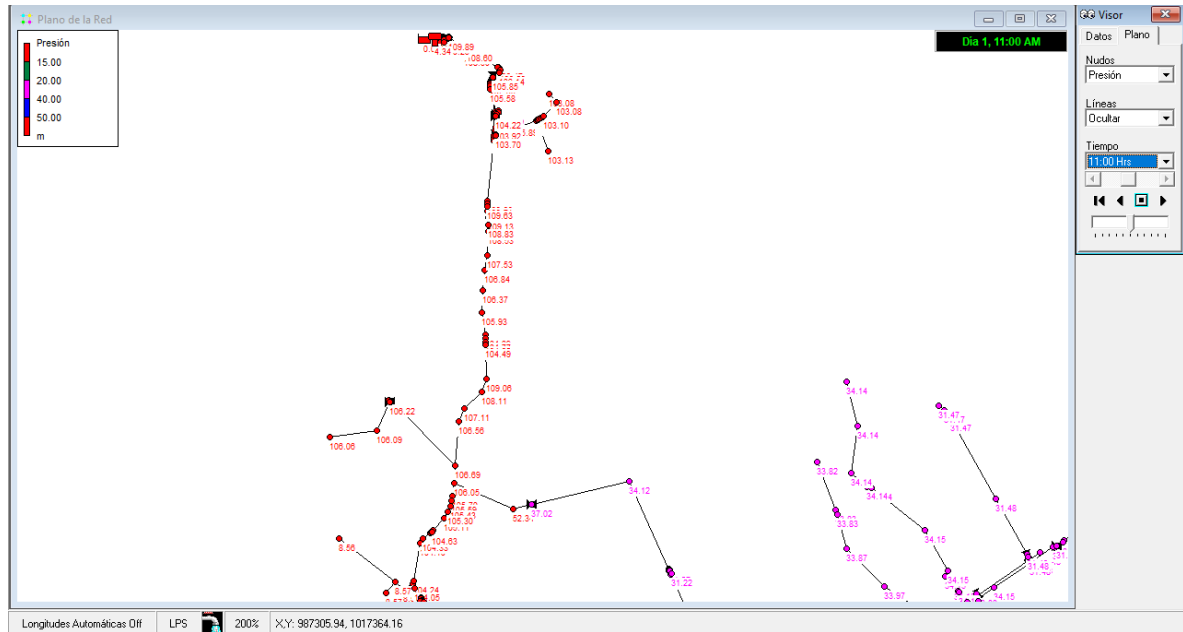
ILUSTRACION 6-3 Modelo hidráulico de Funza, Sector Tienda nueva a las 10 am evidenciando las presiones de cada conexión.



Fuente, software Epanet

La zona de tienda nueva obtesta una tubería madre, la cual presenta presiones muy superiores a las expresadas como idóneas en la resolución 0330 de 2017 sección 3 artículo 56, donde nos indica que la presión idónea es de 10 m.c.a a 50 m.c.a, mas sin embargo al ser este un tubo principal el cual transportara una gran caudal de agua potable se es permitido tener presiones elevadas para lograr abastecer la dotación de las poblaciones veredales y poder llegar con la suficiente presión al casco urbano. Como se podrá apreciar en la ilustración 6.4 que nos evidencia las presiones a las 11 de la mañana cuando tenemos un consumo sostenido apartir de las 9 hasta las 11 de la mañana se mantendrán estables las presiones con variaciones muy pequeñas una de la otra entre los rangos de 100 m.c.a y los 150 m.c.a. dicho esto según el rango de las presiones no cumplen con norma mas sin embargo es permitido en este aspecto al ser tubo principal de la red.

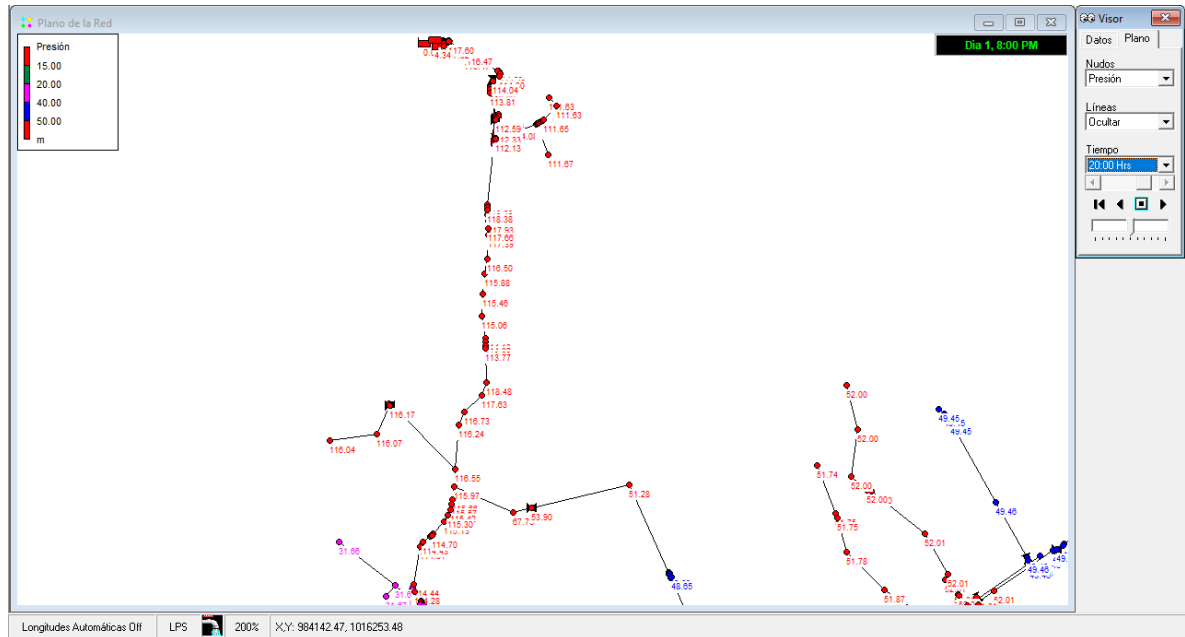
ILUSTRACION 6-4 Modelo hidráulico de Funza, Sector Tienda nueva a las 11 am evidenciando las presiones de cada conexión.



Fuente, software Epanet

La zona de tienda nueva ostenta una tubería madre, la cual presenta presiones muy superiores a las expresadas como idóneas en la resolución 0330 de 2017 sección 3 artículo 56, donde nos indica que la presión idónea es de 10 m.c.a a 50 m.c.a, mas sin embargo al ser este un tubo principal el cual transportara una gran caudal de agua potable se es permitido tener presiones elevadas para lograr abastecer la dotación de las poblaciones veredales y poder llegar con la suficiente presión al casco urbano. Como se podrá apreciar en la ilustración 6.5 que nos evidencia las presiones a las 8 de la noche en este momento el sistema muestra picos altos de presiones en donde las presiones tienen el incremento mayor siendo en este sector el incremento mas alto de 170 m.c.a.

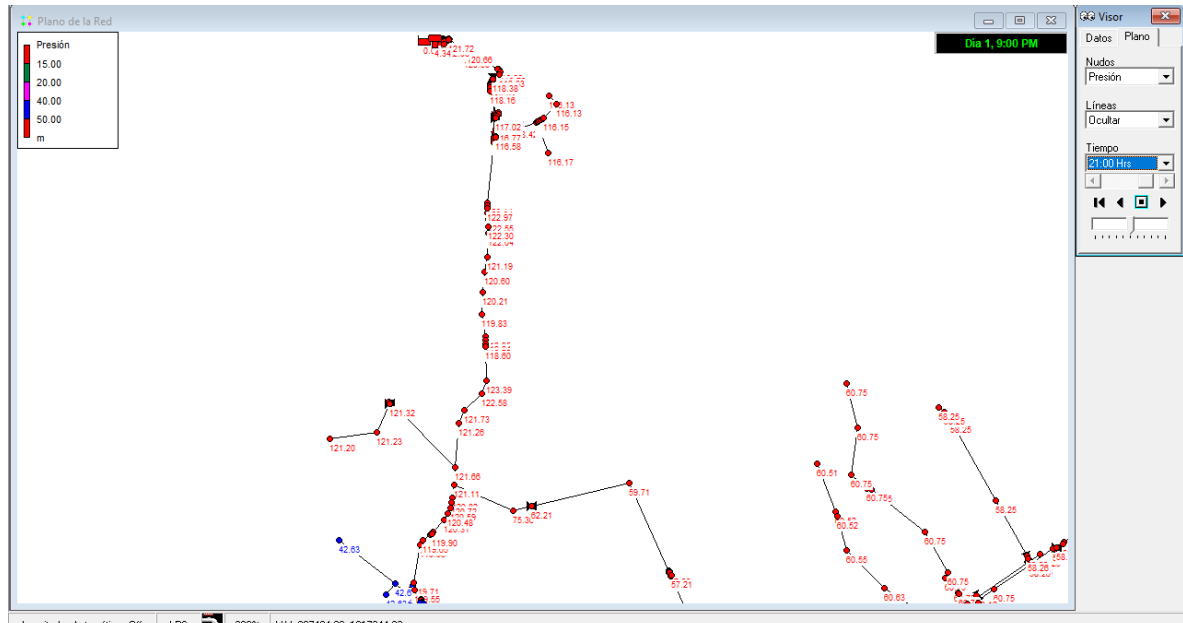
ILUSTRACION 6-5 Modelo hidráulico de Funza, Sector Tienda nueva a las 8 pm evidenciando las presiones de cada conexión.



Fuente, software Epanet

La zona de tienda nueva ostenta una tubería madre, la cual presenta presiones muy superiores a las expresadas como idóneas en la resolución 0330 de 2017 sección 3 artículo 56, donde nos indica que la presión idónea es de 10 m.c.a a 50 m.c.a, mas sin embargo al ser este un tubo principal el cual transportara una gran caudal de agua potable se es permitido tener presiones elevadas para lograr abastecer la dotación de las poblaciones veredales y poder llegar con la suficiente presión al casco urbano. Como se podrá apreciar en la ilustración 6.6 que nos evidencia las presiones a las 9 de la noche en este momento el sistema muestra picos altos de presiones desde las de la noche en donde las presiones tienen el incremento mayor siento en este sector el incremento mas alto de 167 m.c.a.

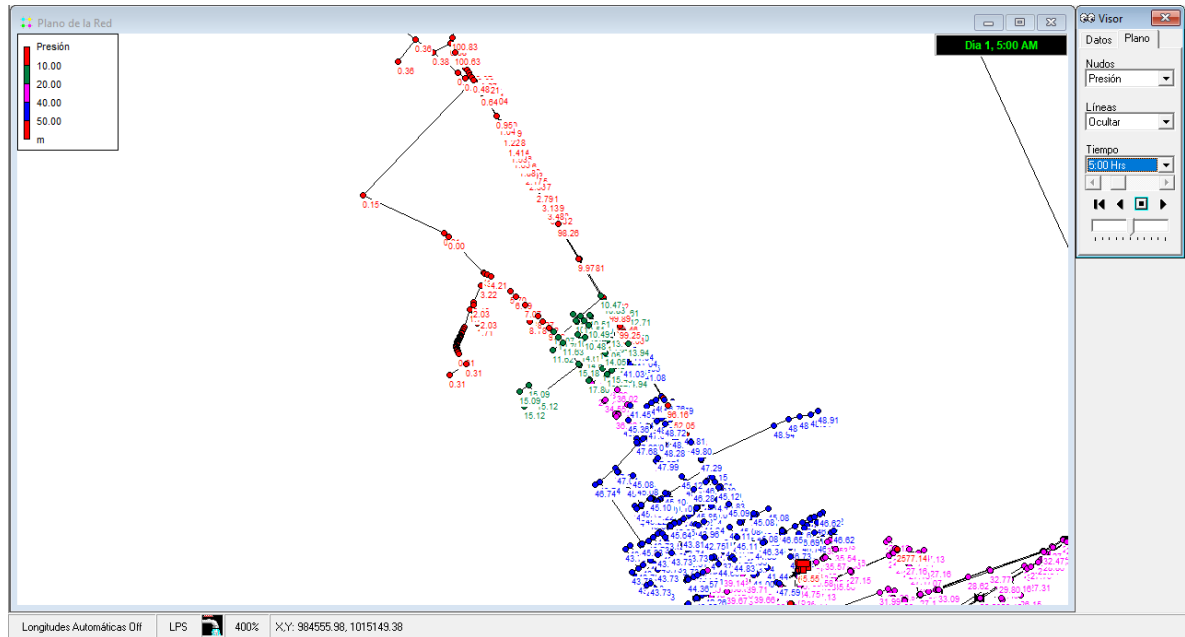
ILUSTRACION 6-6 Modelo hidráulico, Sector Tienda nueva, a las 9 pm evidenciando las presiones de cada conexión.



Fuente, software Epanet

Se decidió dividir el casco urbano en dos sectores para mostrar lo mejor posible las presiones del sistema en este sector, en dicho sector al llegar al casco urbano las presiones se normalizan hasta el punto de ser idóneas según la resolución 0330 del 2017 sección 3 artículo 56, dichas presiones se mantienen en su gran mayoría en un rango de los 20 m.c.a a los 40 m.c.a, esto dado por medio una inspección visual realizada al visualizar el sector en Epanet y mostrado en la ilustración 6.7 y a través de una agrupación de datos tratados y organizados en excel se logró corroborar dicho dato que a las 5 de la mañana cuando se da el primer consumo importante de agua en todo el municipio y más aun en el sector del casco urbano como podemos evidenciar las presiones se mantienen muy regulares en el sector, cumpliendo al 100 % con las condiciones impuestas por la resolución 0330 de 2017.

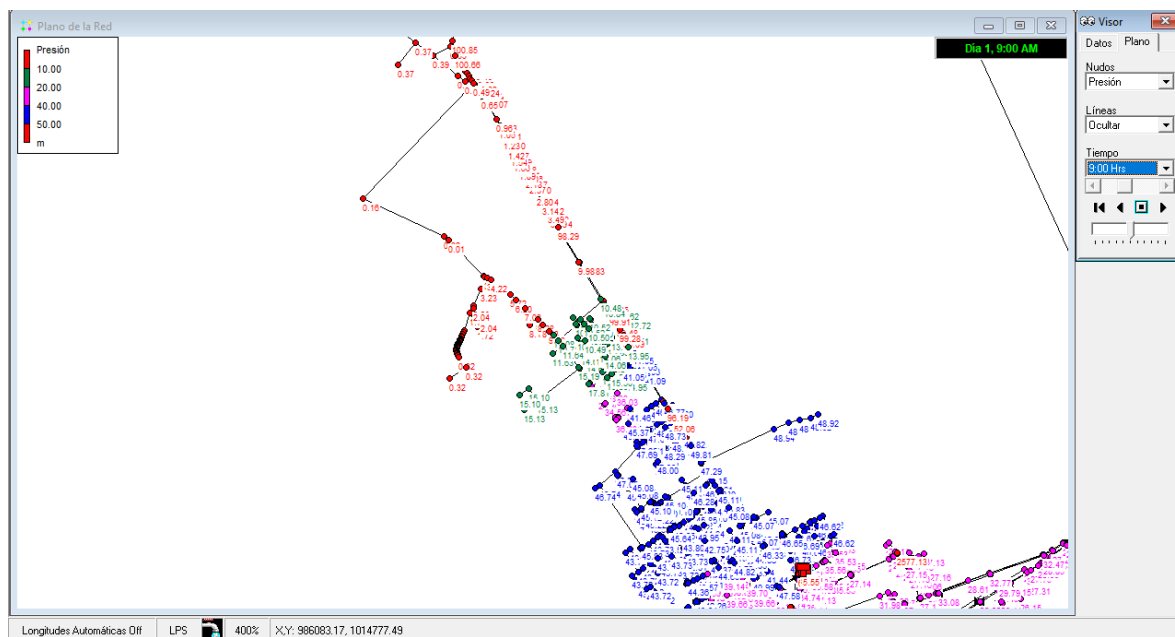
ILUSTRACION 6-7 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano 1, a las 5 am evidenciando las presiones de cada conexión.



Fuente, software Epanet,

Se decidió dividir el casco urbano en dos sectores para mostrar lo mejor posible las presiones del sistema en este sector, en dicho sector al llegar al casco urbano las presiones se normalizan hasta el punto de ser idoneas según la resolución 0330 del 2017 seccion 3 articulo 56, dichas presiones se mantienen en su gran mayoría en en rango de los 20 m.c.a a los 40 m.c.a, esto dado por medio una inspeccion visual realizada al visualizar el sector en Epanet y mostrado en la ilustracion 6.8 y atravez de una agrupacio de datos tratados y organizados en excel se logro corroborar dicho dato que a las 9 de la mañana cuando se da el primer cosumo sostenido en un rango de tiempo desde las 9 de la mañana hasta las 11 de la mañana importante de agua en todo el municipio y mas aun en el sector del casco urbano como podemos evidenciar las presiones se mantienen muy regulares en en sector, cumpliendo al 100 % con las condiciones impuestas por la resolución 0330 de 2017.

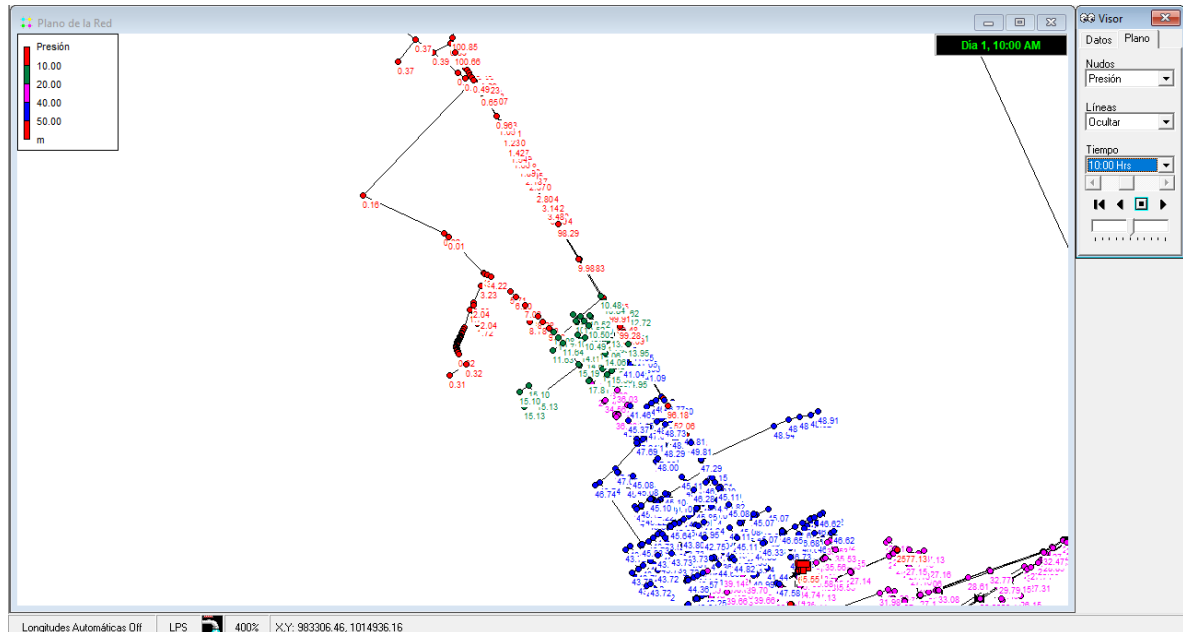
ILUSTRACION 6-8 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano 1, a las 9 am evidenciando las presiones de cada conexión.



Fuente, software Epanet

Se decidió dividir el casco urbano en dos sectores para mostrar lo mejor posible las presiones del sistema en este sector, en dicho sector al llegar al casco urbano las presiones se normalizan hasta el punto de ser idóneas según la resolución 0330 del 2017 sección 3 artículo 56, dichas presiones se mantienen en su gran mayoría en un rango de los 20 m.c.a a los 40 m.c.a, esto dado por medio una inspección visual realizada al visualizar el sector en Epanet y mostrado en la ilustración 6.9 y a través de una agrupación de datos tratados y organizados en excel se logró corroborar dicho dato que a las 10 de la mañana cuando se da el primer consumo sostenido en un rango de tiempo desde las 9 de la mañana hasta las 11 de la mañana importante de agua en todo el municipio y más aun en el sector del casco urbano como podemos evidenciar las presiones se mantienen muy regulares en el sector entre una hora y la otra la variación en cada una de las conexiones, cumpliendo al 100 % con las condiciones impuestas por la resolución 0330 de 2017.

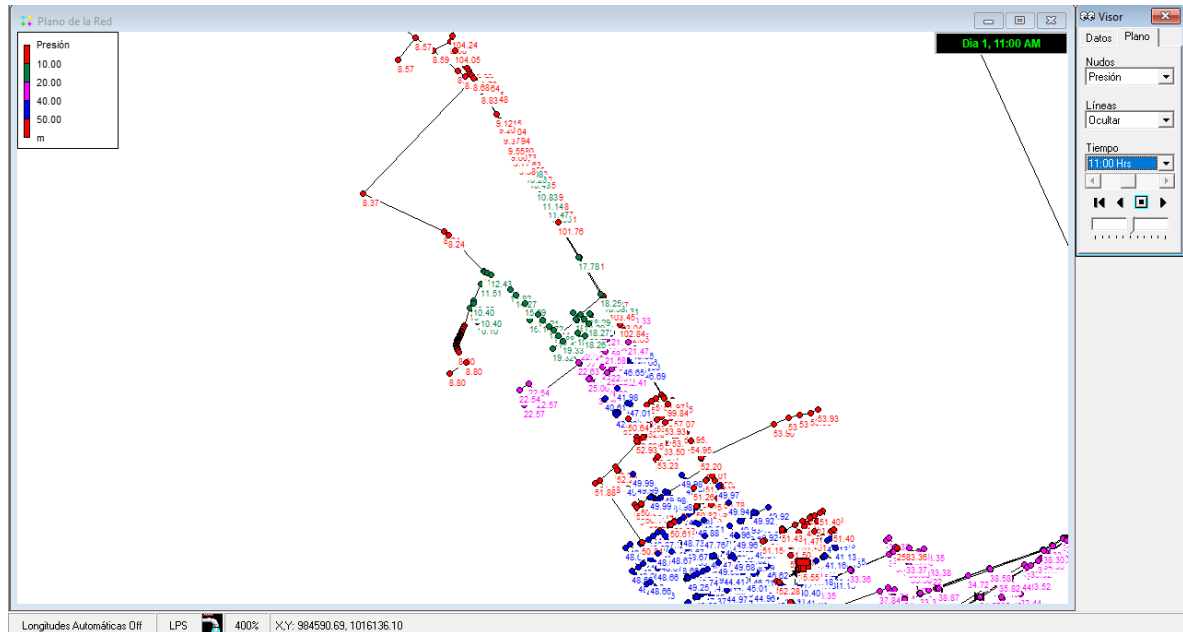
ILUSTRACION 6-9 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano 1, a las 10 am evidenciando las presiones de cada conexión.



Fuente, software Epanet

Se decidió dividir el casco urbano en dos sectores para mostrar lo mejor posible las presiones del sistema en este sector, en dicho sector al llegar al casco urbano las presiones se normalizan hasta el punto de ser idóneas según la resolución 0330 del 2017 sección 3 artículo 56, dichas presiones se mantienen en su gran mayoría en un rango de los 20 m.c.a a los 40 m.c.a, esto dado por medio una inspección visual realizada al visualizar el sector en Epanet y mostrado en la ilustración 6.9 y a través de una agrupación de datos tratados y organizados en excel se logró corroborar dicho dato que a las 11 de la mañana cuando se da el primer consumo sostenido en un rango de tiempo desde las 9 de la mañana hasta las 11 de la mañana importante de agua en todo el municipio y más aun en el sector del casco urbano como podemos evidenciar las presiones se mantienen muy regulares en el sector entre una hora y la otra la variación en cada una de las conexiones, cumpliendo al 100 % con las condiciones impuestas por la resolución 0330 de 2017.

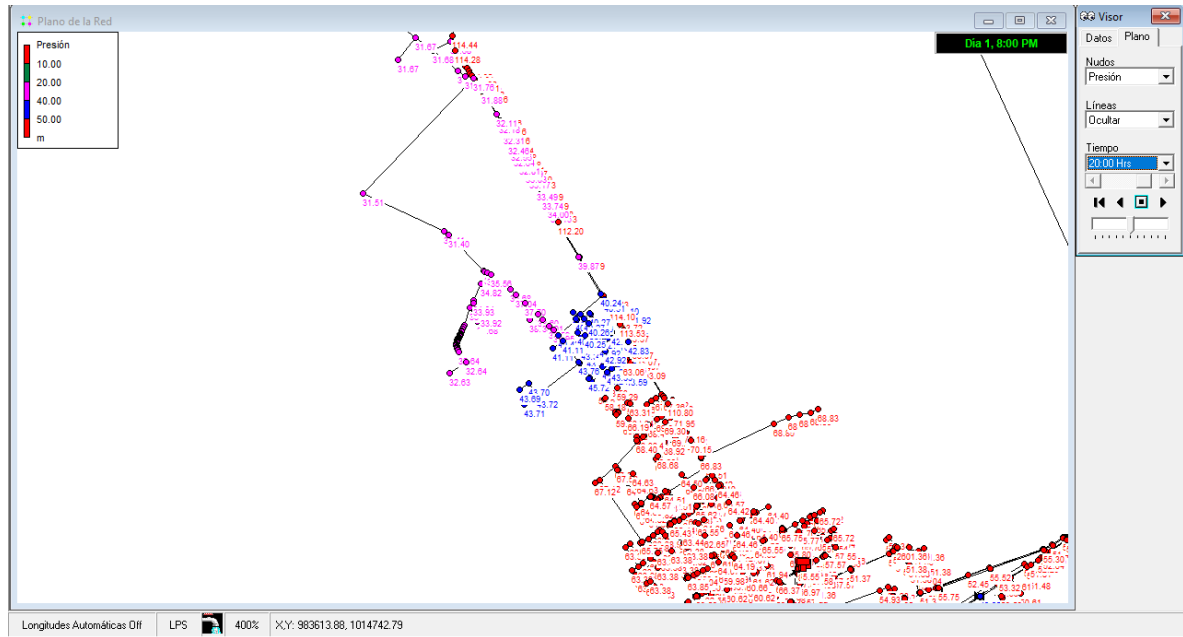
ILUSTRACION 6-10 Modelo hidráulico Funza, Sector Casco Urbano 1, a las 11 am evidenciando las presiones de cada conexión.



Fuente, software Epanet

Se decidió dividir el casco urbano en dos sectores para mostrar lo mejor posible las presiones del sistema en este sector, en este momento a las 8 de la noche evidenciamos las principales bajas en el consumo lo cual hace un cambio en las presiones de como se estaban evidenciando a lo largo del día vemos que las tuberías que provienen del tubo principal baja a tal punto de estabilizarse según los rangos otorgados por la resolución 0330 del 2017 y las presiones en el casco urbano se incrementan como lo podemos evidenciar en la ilustración 6.11, mas sin embargo las presiones del casco urbano si bien se salen del rango permitiendo el rango que se da es de 50 m.c.a y 62 m.c.a, dicho esto por la inspección visual al modelo realizado en epanet y por el conteo y agrupación de datos otorgados por excel y mostrado en las tablas 6.1, 6.2 y 6.3.

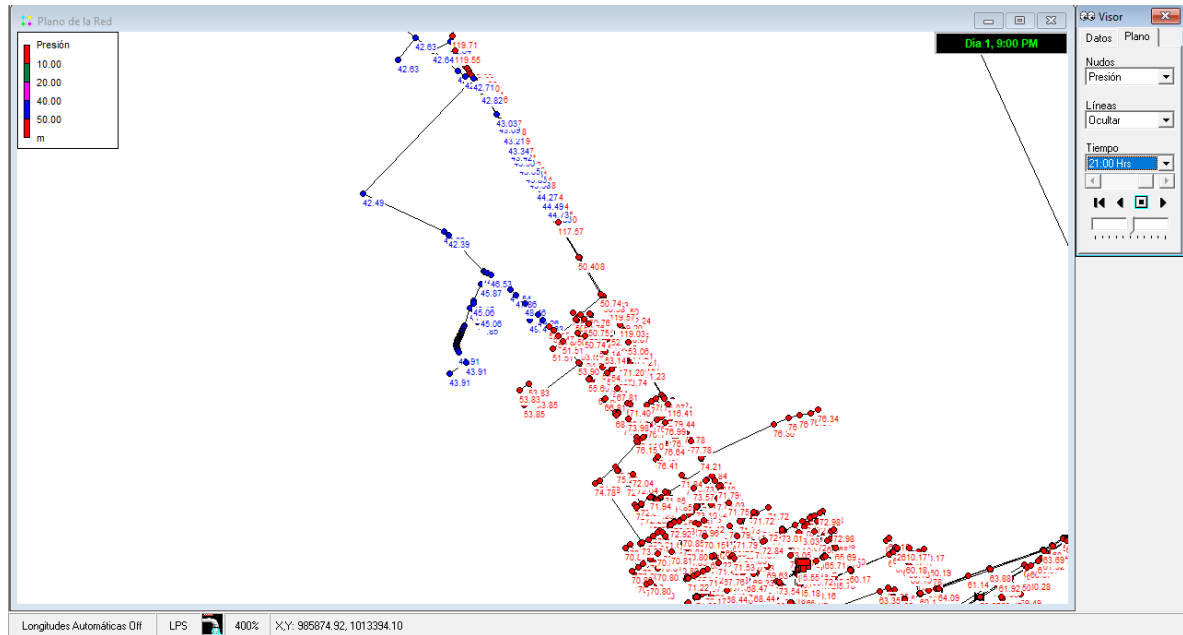
ILUSTRACION 6-11 Modelo hidráulico de Funza elaborado en el software Epanet, Sector Casco Urbano 1, a las 8 pm evidenciando las presiones de cada conexión.



Fuente, software Epanet

Se decidió dividir el casco urbano en dos sectores para mostrar lo mejor posible las presiones del sistema en este sector, en este momento a las 9 de la noche evidenciamos las principales bajas en el consumo lo cual hace un cambio en las presiones de como se estaban evidenciando a lo largo del día vemos que las tuberías que provienen del tubo principal baja a tal punto de estabilizarse según los rangos otorgados por la resolución 0330 del 2017 y las presiones en el casco urbano se incrementan como lo podemos evidenciar en la ilustración 6.12, mas sin embargo las presiones del casco urbano si bien se salen del rango permitido el rango que se da es de 50 m.c.a y 62 m.c.a, dicho esto por la inspección visual al modelo realizado en epanet y por el conteo y agrupación de datos otorgados por excel y mostrado en las tablas 6.1, 6.2 y 6.3.

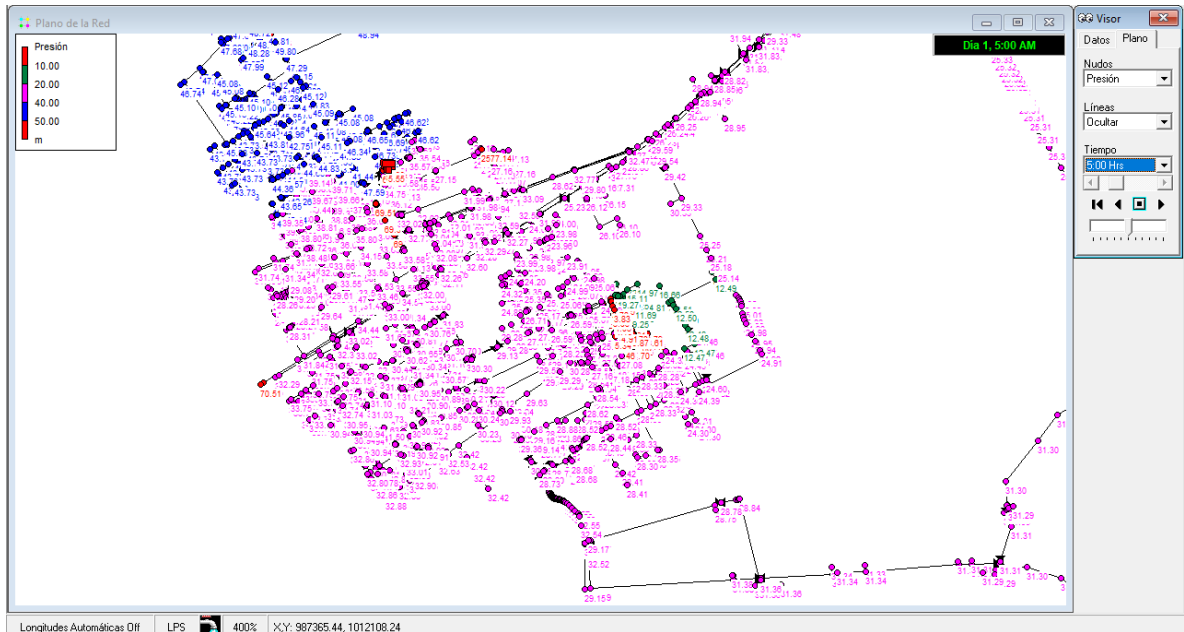
ILUSTRACION 6-12 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano 1, a las 9 pm evidenciando las presiones de cada conexión.



Fuente, software Epanet

Se decidió dividir el casco urbano en dos sectores con el fin de mostrar el modelo mas al detalle en especial en el casco urbano y sus presiones, en gran parte de dicho sector las presiones son coherentes a las administradas por la resolución 0330 de 2017, esto dado a las 5 e la mañana cuando el sistema tiene el primer consumo importante del día , se reportan 3 conexiones por fuera del rango que estan en las estaciones de bombeo de la sede central del acueducto del municipio por ende es que se evidencian dichos puntos rojos que denotan el estar por fuera de los rangos esto dado por una inspeccion visual en la ilustracion 6.13 y corroborado en la agrupacion y conteo de datos dado por el excel y mostrado en las tablas 6.1, 6.2 y 6.3

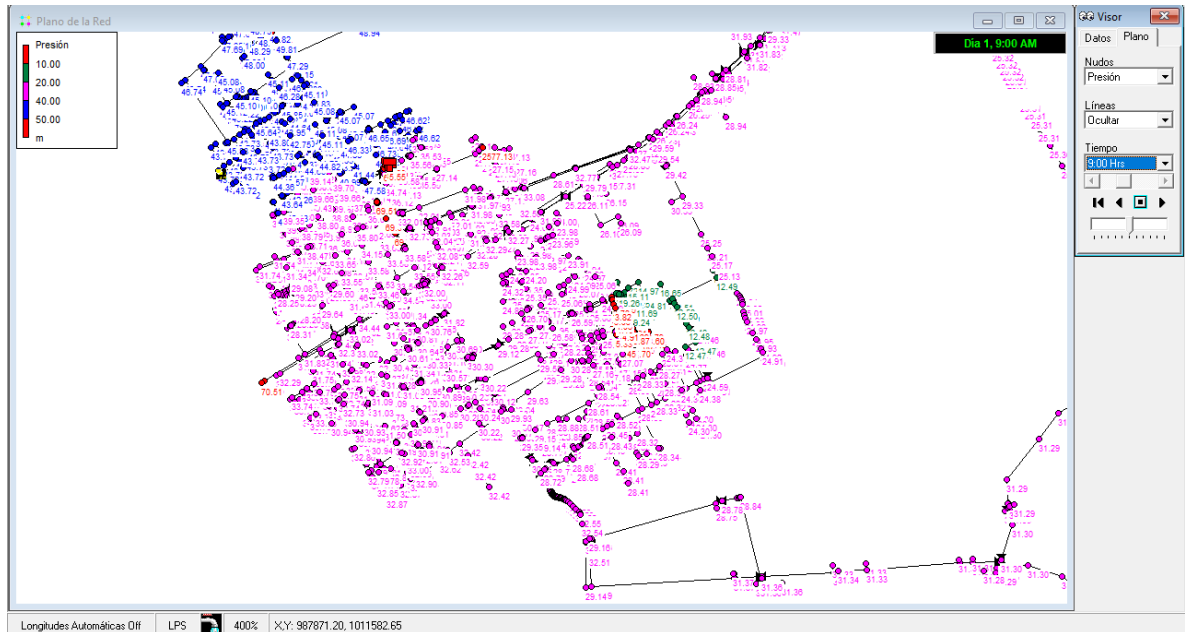
ILUSTRACION 6-13 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano 2, a las 5 am evidenciando las presiones de cada conexión.



Fuente, el software Epanet

Se decidió dividir el casco urbano en dos sectores con el fin de mostrar el modelo mas al detalle en especial en el casco urbano y sus presiones, en gran parte de dicho sector las presiones son coherentes a las administradas por la resolución 0330 de 2017, esto dado a las 9 de la mañana cuando el sistema tiene el primer consumo sostenido a través de tres horas desde las 9 de la mañana hasta las 11 de la mañana, se reportan 3 conexiones por fuera del rango que están en las estaciones de bombeo de la sede central del acueducto del municipio por ende es que se evidencian dichos puntos rojos que denotan el estar por fuera de los rangos esto dado por una inspección visual en la ilustración 6.14 y corroborado en la agrupación y conteo de datos dado por el excel y mostrado en las tablas 6.1, 6.2 y 6.3.

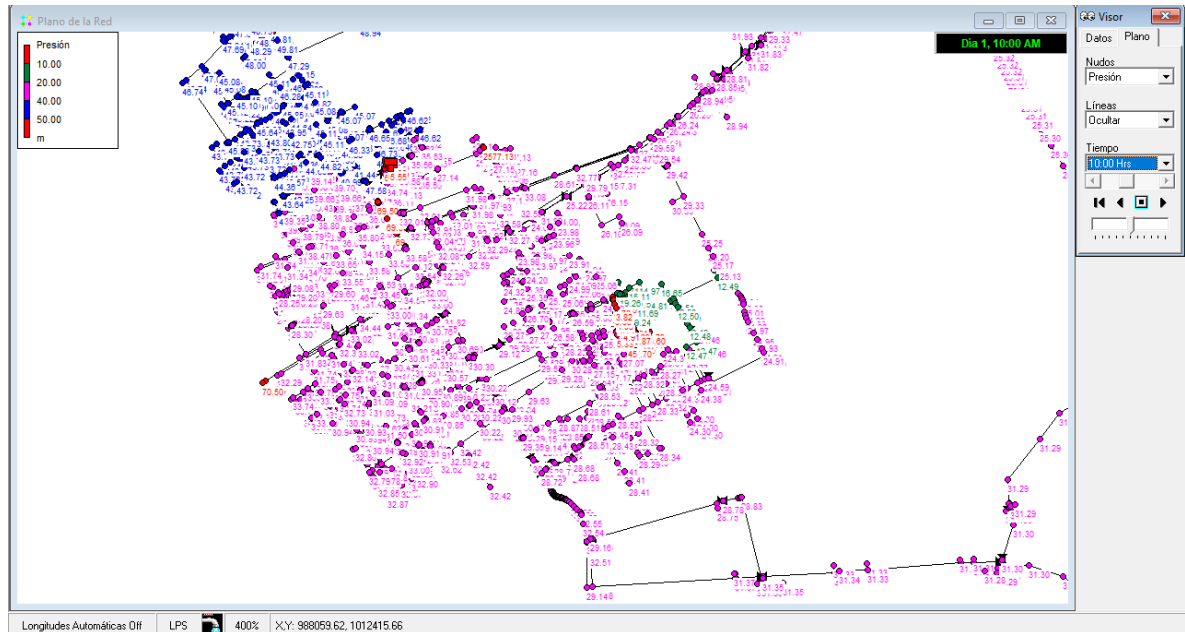
ILUSTRACION 6-14 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano 2, a las 9 am evidenciando las presiones de cada conexión.



Fuente, software Epanet

Se decidió dividir el casco urbano en dos sectores con el fin de mostrar el modelo más al detalle en especial en el casco urbano y sus presiones, en gran parte de dicho sector las presiones son coherentes a las administradas por la resolución 0330 de 2017, esto dado a las 9 de la mañana cuando el sistema tiene el primer consumo sostenido a través de tres horas desde las 10 de la mañana hasta las 11 de la mañana, se reportan 3 conexiones por fuera del rango que están en las estaciones de bombeo de la sede central del acueducto del municipio por ende es que se evidencian dichos puntos rojos que denotan el estar por fuera de los rangos esto dado por una inspección visual en la ilustración 6.15 y corroborado en la agrupación y conteo de datos dado por el excel y mostrado en las tablas 6.1, 6.2 y 6.3.

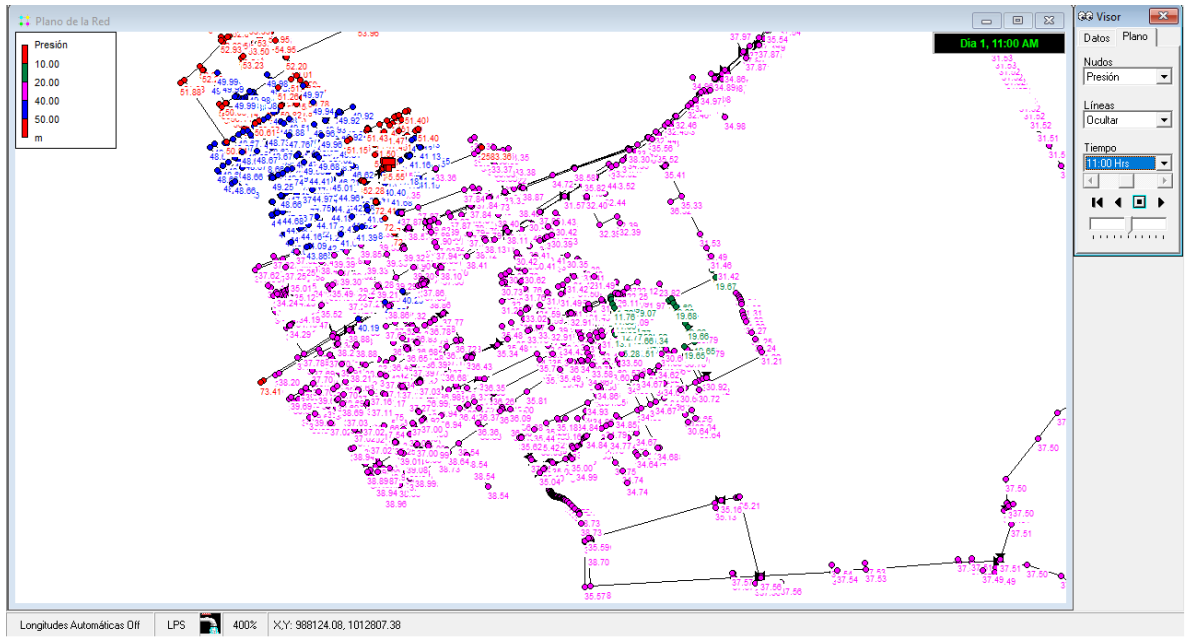
ILUSTRACION 6-15 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano 2, a las 10 am evidenciando las presiones de cada conexión.



Fuente, software Epanet

Se decidió dividir el casco urbano en dos sectores con el fin de mostrar el modelo mas al detalle en especial en el casco urbano y sus presiones, en gran parte de dicho sector las presiones son coherentes a las administradas por la resolución 0330 de 2017, esto dado a las 9 de la mañana cuando el sistema tiene el primer consumo sostenido a través de tres horas desde las 11 de la mañana hasta las 11 de la mañana, se reportan 3 conexiones por fuera del rango que están en las estaciones de bombeo de la sede central del acueducto del municipio por ende es que se evidencian dichos puntos rojos que denotan el estar por fuera de los rangos esto dado por una inspección visual en la ilustración 6.16 y corroborado en la agrupación y conteo de datos dado por el excel y mostrado en las tablas 6.1, 6.2 y 6.3.

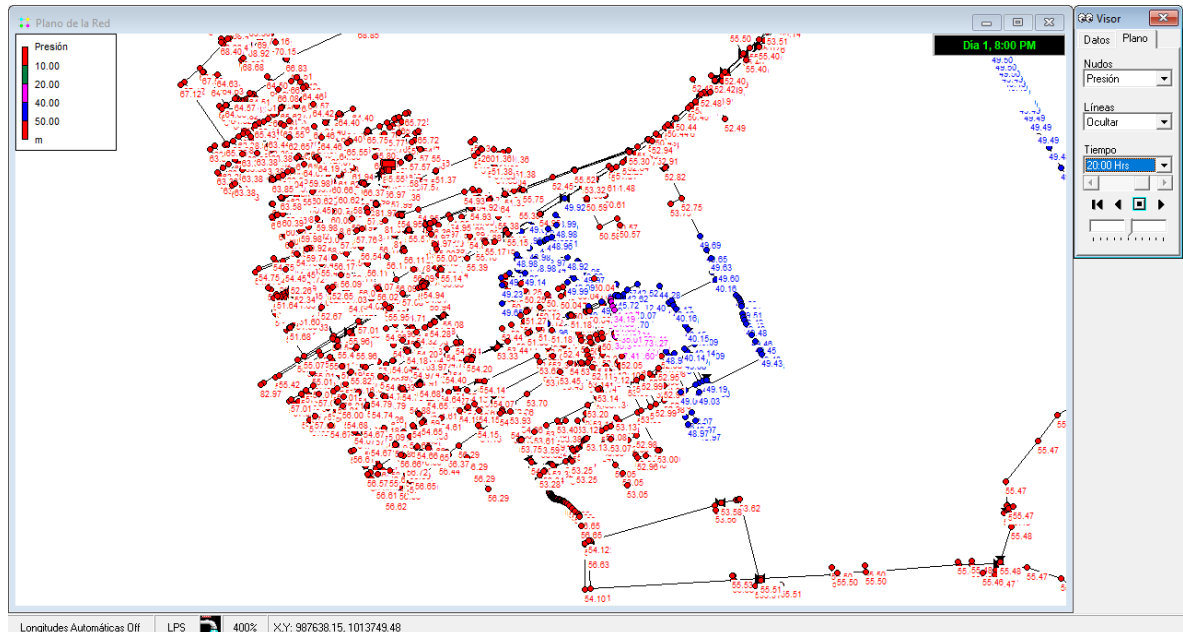
ILUSTRACION 6-16 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano 2, a las 11 am evidenciando las presiones de cada conexión.



Fuentes, software Epanet,

Se decidió dividir el casco urbano en dos sectores con el fin de mostrar el modelo mas al detalle en especial en el casco urbano y sus presiones, a esta hora a las 8 de la noche es cuando evidenciamos la primera baja de del consumo lo cual hace que las presiones se salgan del rango establecido por la resolución 0330 de 2017, claro esta no por mucho sino por maximo una diferencia de 10 m.c.a por encima del rango superior del establecido, lo cual es solo un leve incremento por el uso mesurado de la red. Esto se puede evidenciar en la ilustracion 6.17 y en las tablas de excel mostrado en las tablas 6.1, 6.2 y 6.3.

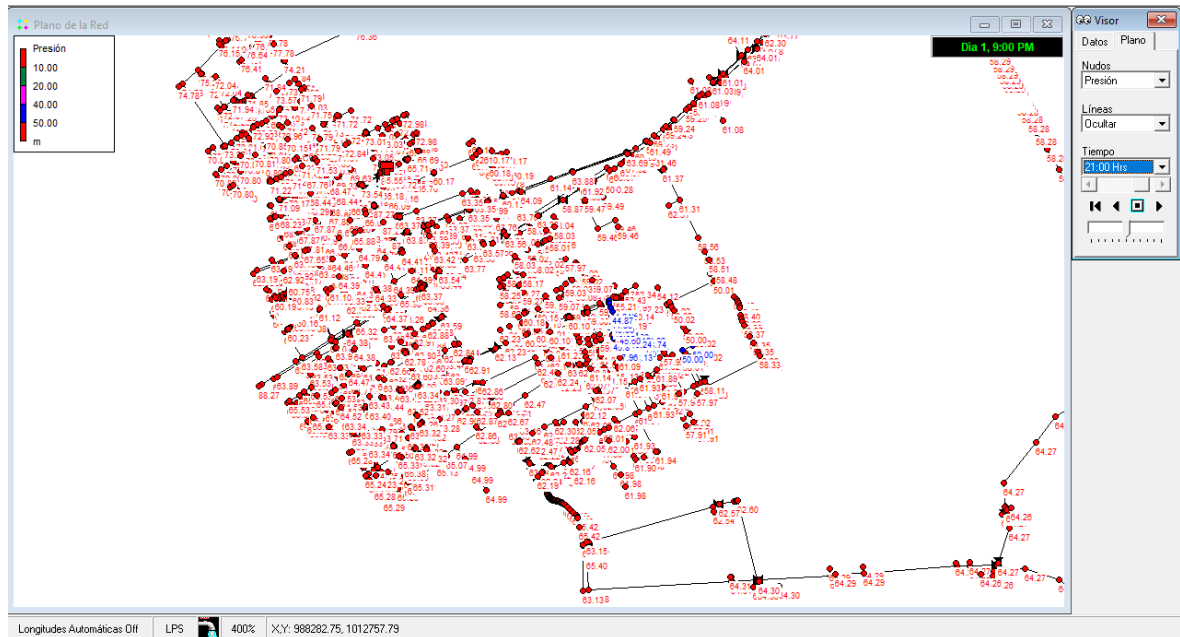
ILUSTRACION 6-17 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano 2, a las 8 pm evidenciando las presiones de cada conexión.



Fuente, software Epanet

Se decidió dividir el casco urbano en dos sectores con el fin de mostrar el modelo más al detalle en especial en el casco urbano y sus presiones, a esta hora a las 9 de la noche es cuando evidenciamos la primera baja de del consumo lo cual hace que las presiones se salgan del rango establecido por la resolución 0330 de 2017, claro esta no por mucho sino por máximo una diferencia de 10 m.c.a por encima del rango superior del establecido, lo cual es solo un leve incremento por el uso medurado de la red. Esto se puede evidenciar en la ilustración 6.18 y en las tablas de excel mostrado en las tablas 6.1, 6.2 y 6.3.

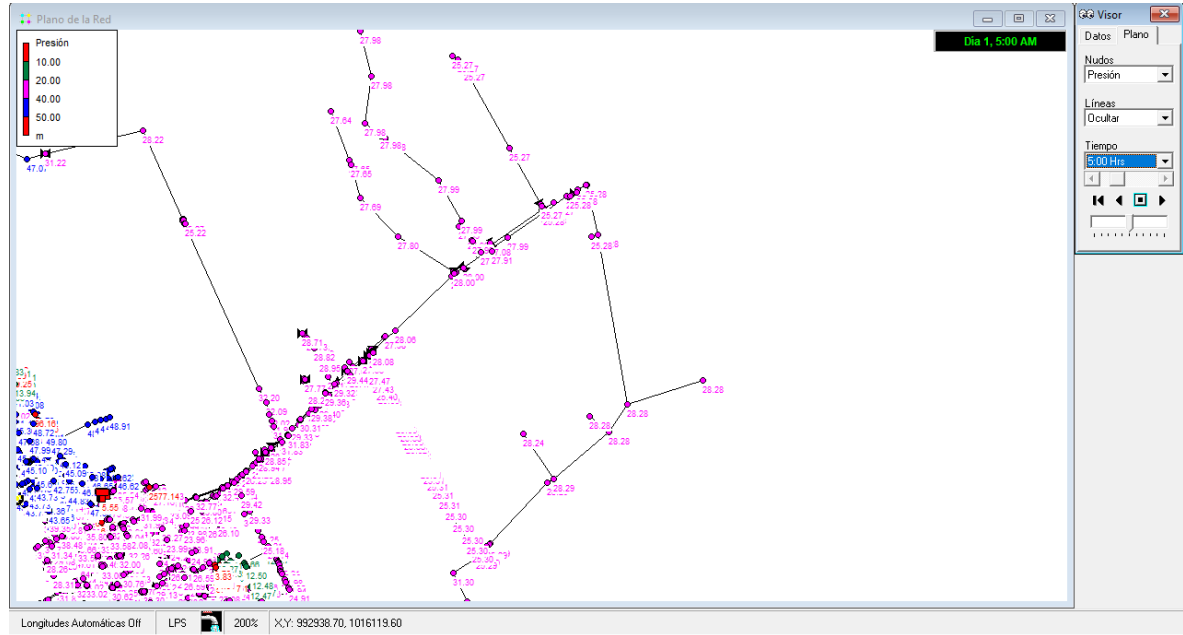
ILUSTRACION 6-18 Modelo hidráulico, Sector Casco Urbano 2, a las 9 pm evidenciando las presiones de cada conexión.



Fuente, software Epanet,

Por ultimo se tiene la parte industrial del municipio de funza, en ella se evidencia los mejores promedios ya que toda el sector se muestra dentro de los rangos establecidos por la resolución 0330 de 2017, esto dado a las 5 de la mañana cuando el casco urbano y como tal el modelo tiene el primer consumo importante de agua potable evidenciamos por una inspeccion visual a la ilustracion 6.19 que todod el modelo se mantiene entre los 20 m.c.a y los 40 m.c.a, se corrobora en en las tablas de excel mostrado en las tablas 6.1, 6.2 y 6.3.

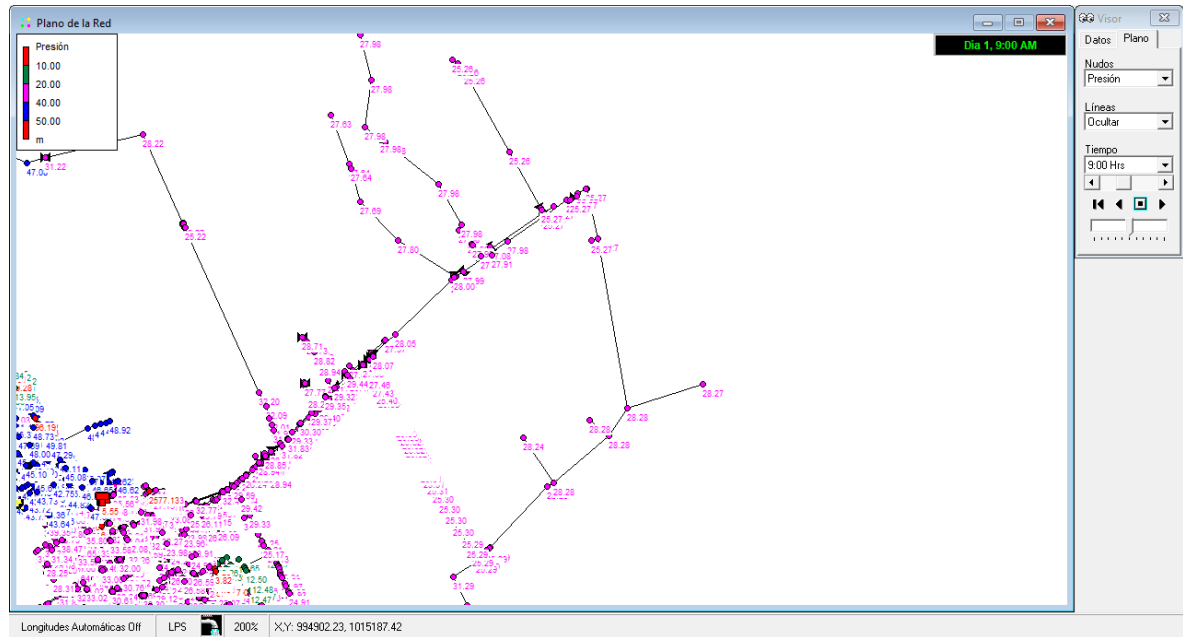
ILUSTRACION 6-19 Modelo hidráulico de Funza, Sector Industrial, a las 5 am evidenciando las presiones de cada conexión.



Fuente, software Epanet

Evidenciando el sector industrial del municipio de funza durante el lapso de tiempo en el que el sistema se mantiene dentro de los rangos a rais de tener el primer consumo sostenido durante el día, esto dado de las 9 de la mañana a las 11 de la mañana, evidenciamos que a las 9 de la mañana dicho sector se mantiene dentro de los rangos y adicional se antiene dentro de entre los 20 m.c.a y los 40 m.c.a esto evidenciado a través de una inspección visual de la ilustración 6.20 , se corroboró en en las tablas de excel mostrado en las tablas 6.1, 6.2 y 6.3.

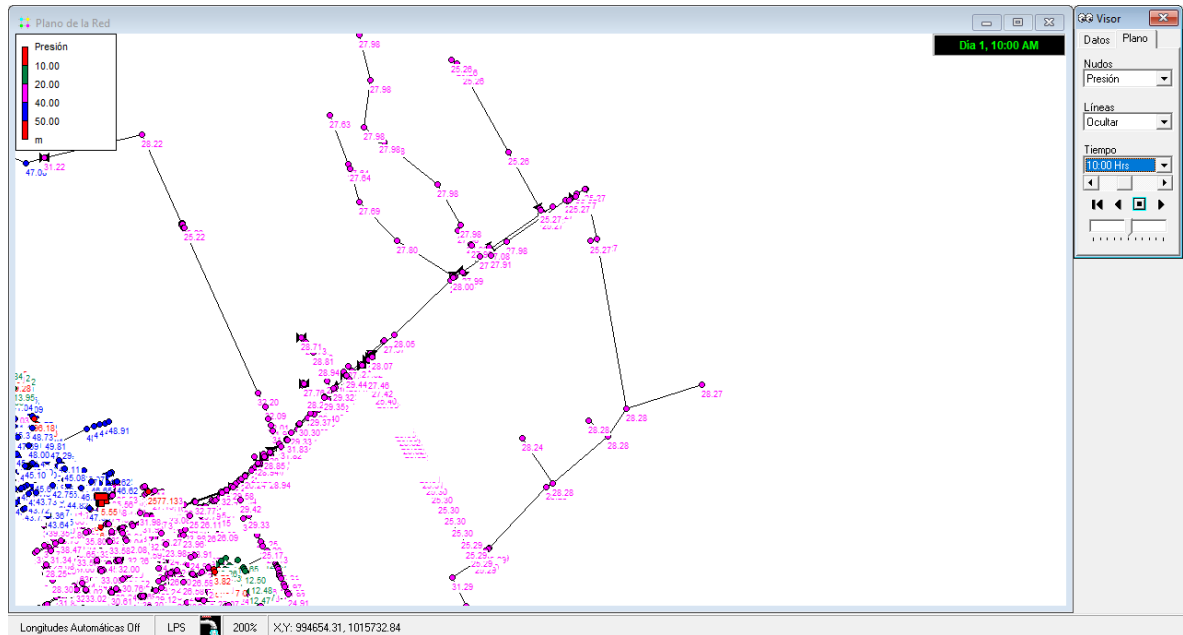
ILUSTRACION 6-20 Modelo hidráulico de Funza, Sector Industrial, a las 5 am evidenciando las presiones de cada conexión.



Fuente, software Epanet

Evidenciando el sector industrial del municipio de funza durante el lapso de tiempo en el que el sistema se mantiene dentro de los rangos a rais de tener el primer consumo sostenido durante el dia, esto dado de las 9 de la mañana a las 11 de la mañana, evidenciamos que a las 10 de la mañana dicho sector se mantiene dentro de los rangos y adicional se antiene dentro de entre los 20 m.c.a y los 40 m.c.a esto evidenciado atraves de una inspeccion visual de la ilustracion 6.21 , se corroboro en en las tablas de excel mostrado en las tablas 6.1, 6.2 y 6.3.

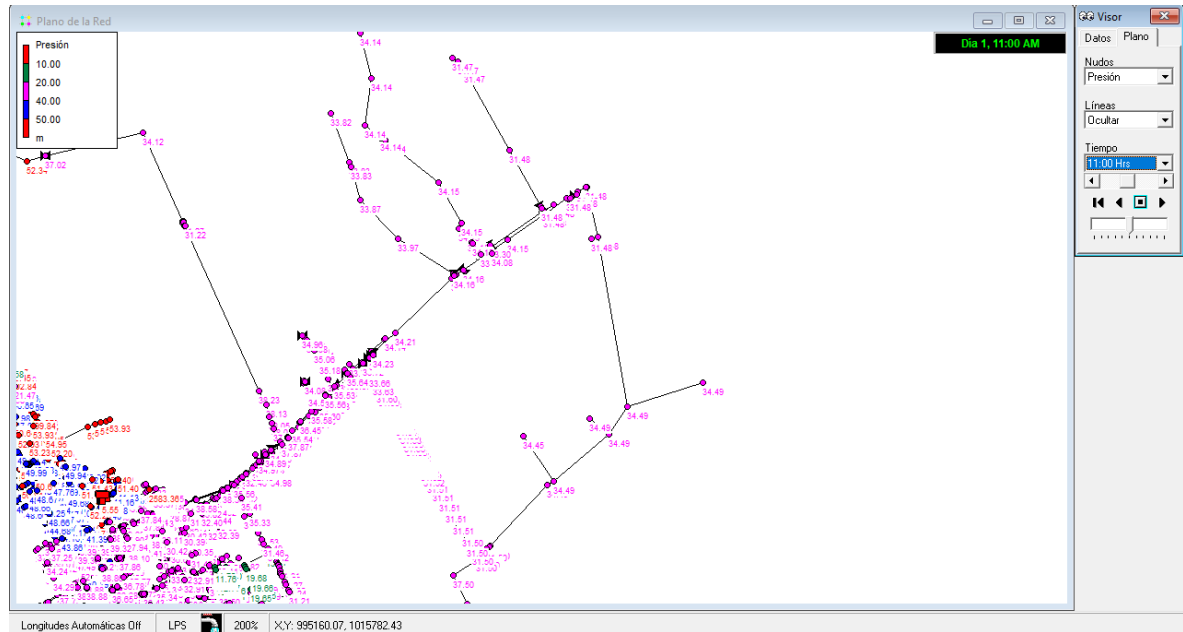
ILUSTRACION 6-21 Modelo hidráulico de Funza, Sector Industrial, a las 10 am evidenciando las presiones de cada conexión.



Fuente, software Epanet

Evidenciando el sector industrial del municipio de funza durante el lapso de tiempo en el que el sistema se mantiene dentro de los rangos a rais de tener el pirmer consumo sotenido durante el dia, esto dado de las 9 de la maña a las 11 de la mañana, evidenciamos que a las 11 de la mañana dicho sector se mantiene dentro de los rangos y adicional se antiene dentro de entre los 20 m.c.a y los 40 m.c.a esto evidenciado atraves de una inspeccion visual de la ilustracion 6.22 , se corrobora en en las tablas de excel mostrado en las tablas 6.1, 6.2 y 6.3.

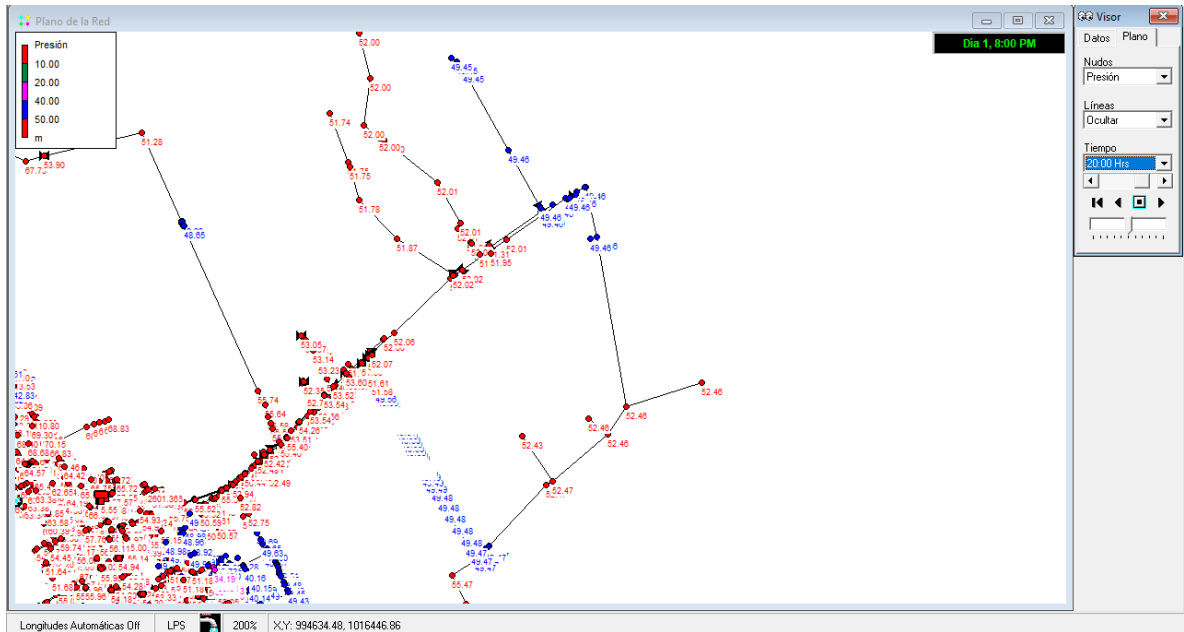
ILUSTRACION 6-22 Modelo hidráulico Funza, Sector Industrial, a las 11 am evidenciando las presiones de cada conexión.



Fuente, software Epanet

En la baja mas estrepitosa que tiene el sistema en cuanto a consumo vemos que las presiones de la parte del sector industrial adquieren subidas pronunciadas pero tambien bajadas pronunciadas, como lo podemos observar a las 8 de la noche esto dado por la no ulitizacion del sistema en dicho sector que alo largo del dia se mantiene, a su vez observamos que la parte en azul que vemos en la ilustracion 6.23 no esta fuera del rango ya que se enciuentra entre los 40 m.c.a y los 50 m.c.a , la parte que no cumple es aque lla en rojo que es la mayoría pero su exedente por encima de los 50 en el mayor de los casos es de 7 m.c.a.

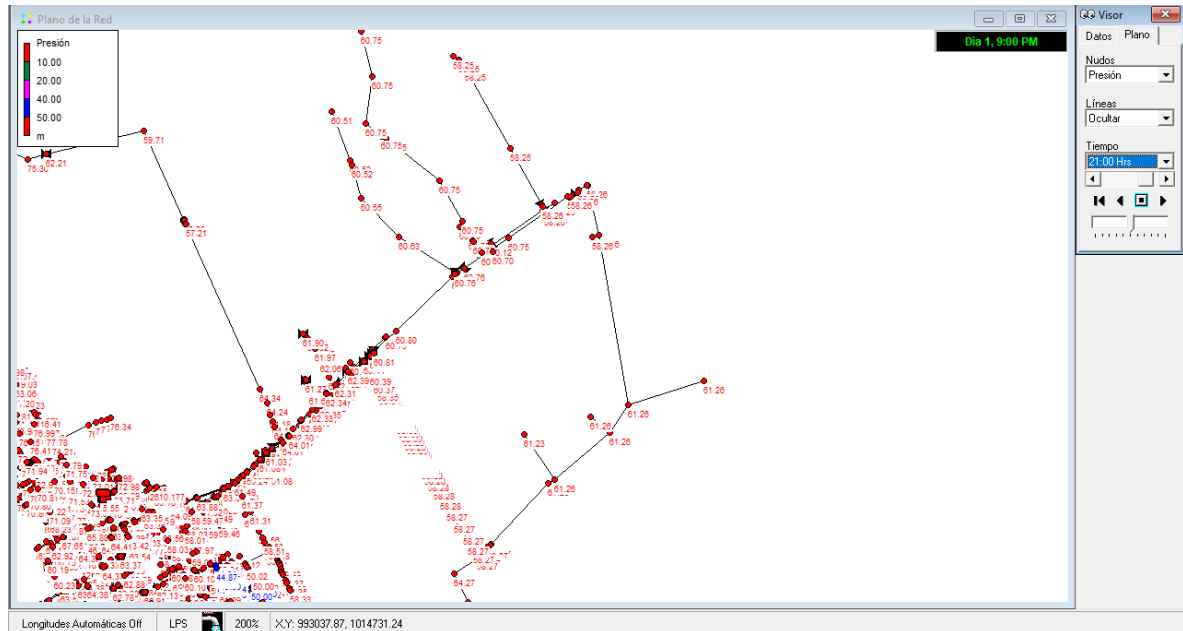
ILUSTRACION 6-23 Modelo hidráulico de Funza, Sector Industrial, a las 8 pm evidenciando las presiones de cada conexión.



Fuente, software Epanet.

En la baja mas estrepitosa que tiene el sistema en cuanto a consumo vemos que las presiones de la parte del sector industrial adquieren subidas pronunciadas pero tambien bajadas pronunciadas, como lo podemos observar a las 9 de la noche esto dado por la no utilizacion del sistema en dicho sector que alo largo del dia se mantiene, a su vez observamos que la parte en azul que vemos en la ilustracion 6.24 no esta fuera del rango ya que se encuentra entre los 40 m.c.a y los 50 m.c.a , la parte que no cumple es aque lla en rojo que es la mayoría pero su exedente por encima de los 50 en el mayor de los casos es de 7 m.c.a.

ILUSTRACION 6-24 Modelo hidráulico de Funza, Sector Industrial, a las 9 pm evidenciando las presiones de cada conexion



Fuente, software Epanet

Tabla 6.2. Consolidado en porcentajes de las presiones mostradas en el modelo hidráulico de Funza Cundinamarca, entre las horas 00:00 a 08:00

Rangos	0 (m.c.a) - 10 (m.c.a)	0,464%	0,464%	0,464%	0,464%	0,464%	5,828%	0,464%	0,464%	5,099%	no cumple
	10 (m.c.a)-20(m.c.a)	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	3,278%	0,000%	0,000%	3,344%	
	20 (m.c.a)- 35(m.c.a)	1,6556%	1,6556%	0,0000%	8,0132%	0,0000%	67,5497%	0,0000%	0,0000%	52,6821%	
	35(m.c.a)-50(m.c.a)	7,1192%	7,1192%	5,3642%	69,1722%	5,2980%	15,3974%	0,0000%	6,6556%	29,8013%	Cumple
	50(m.c.a)- Superiores	90,7616%	90,7616%	94,3046%	22,3510%	94,3046%	7,9470%	99,5364%	92,8808%	9,0728%	no cumple

Fuente, los autores

Tabla 6.3. Consolidado en porcentajes de las presiones mostradas en el modelo hidráulico de Funza Cundinamarca, entre las horas 09:00 a 16:00

		9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	
Rangos	0 (m.c.a) - 10 (m.c.a)	5,828%	5,828%	2,351%	0,464%	0,464%	0,464%	0,464%	0,464%	no cumple
	10 (m.c.a)-20(m.c.a)	3,278%	3,278%	4,768%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	
	20 (m.c.a)- 35(m.c.a)	67,5497%	67,5497%	29,9007%	5,2318%	5,2318%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	
	35(m.c.a)-50(m.c.a)	15,3974%	15,3974%	49,9669%	34,1391%	34,1391%	0,0331%	4,7020%	5,4636%	Cumple
	50(m.c.a)- Superiores	7,9470%	7,9470%	13,0132%	60,2318%	60,1987%	99,5033%	94,8344%	94,2384%	no cumple

Fuente, los autores

Tabla 6.4. Consolidado en porcentajes de las presiones mostradas en el modelo hidráulico de Funza Cundinamarca, entre las horas 16:00 a 24:00

		17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00:00	
Rangos	0 (m.c.a) - 10 (m.c.a)	0,464%	0,464%	0,464%	0,464%	0,464%	0,464%	0,464%	0,464%	no cumple
	10 (m.c.a)-20(m.c.a)	0,000%	0,000%	0,464%	0,464%	0,464%	0,464%	0,464%	0,464%	Cumple
	20 (m.c.a)- 35(m.c.a)	8,0132%	0,0000%	0,0000%	3,4768%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	1,1921%	
	35(m.c.a)-50(m.c.a)	69,1722%	0,0000%	-0,4636%	14,2053%	4,9007%	-0,4636%	0,0000%	7,1192%	
	50(m.c.a)- Superiores	22,3841%	99,5364%	99,5364%	81,4238%	94,3046%	99,5364%	99,5364%	90,7616%	no cumple

6.2. VELOCIDADES

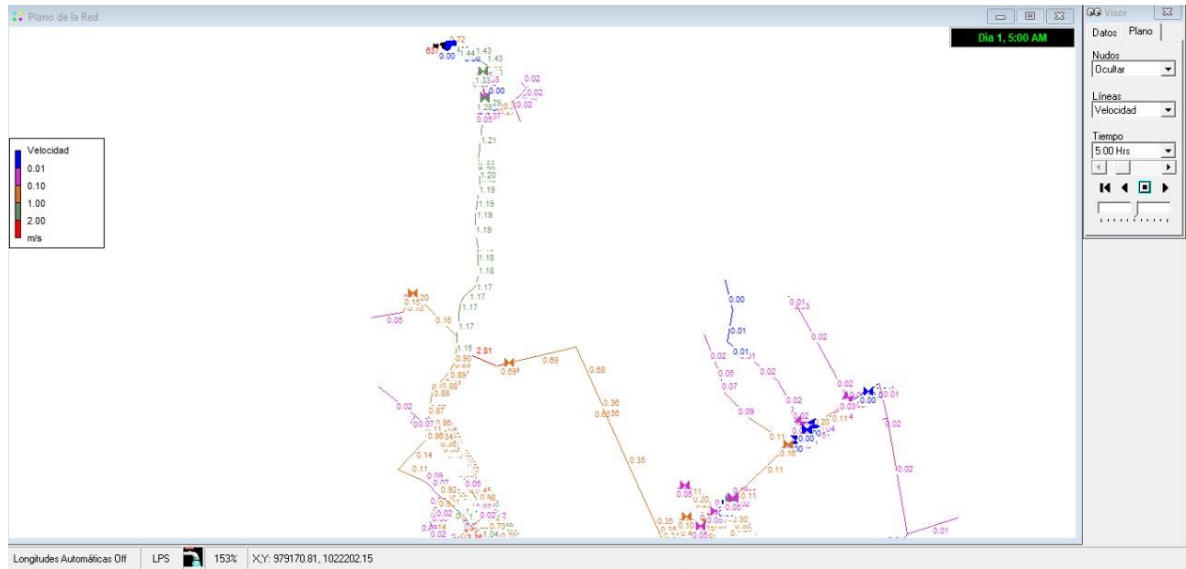
Al ejecutar el modelo y este no arroja errores, se procede a mostrar la evidencia de ello a través de las diferentes opciones que el software brinda, una de ellas es el mostrar las velocidades que están involucradas en el modelo hidráulico de Funza Cundinamarca.

Se definen los rangos de las presiones con la Resolución 0330 de 2017-Reglamento técnico- RAS, haciendo más precisión en su sección 3 artículo 56 y 57, donde, nos indica los rangos de las velocidades que deben de tener cualquier red de distribución de agua potable a nivel nacional, dichos rangos están dados entre 0,5 m/s hasta 2 m/s (MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO, 2017). Se define dichos rangos en el software Epanet, a continuación, se analizará las horas pico y valle del sistema tomando una muestra de 6 horas que representaran el modelo hidráulico de Funza.

6.2.3. Análisis de velocidad en el modelo

En la ilustración 6.25 se puede observar que la red de distribución en el sector de tienda nueva, que es uno de los puntos de captación de agua potable que se encuentra aproximadamente a 9 Km del casco urbano se observan velocidades a las 5 de la mañana que es un horario de gran consumo de agua potable en el municipio, se obtienen datos velocidades entre: (1,10 m/s – 1,30 m/s) se evidencia que cumplen con las velocidades que estipula la RES 0330 de 2017 en el capítulo 2, sección 3, artículo 56 que indica que la velocidad mínima debe ser de 0,5 m/s se ve un tramo con velocidades de: (0,79 m/s/ - 0,82 m/s) que también dan cumplimiento a la norm

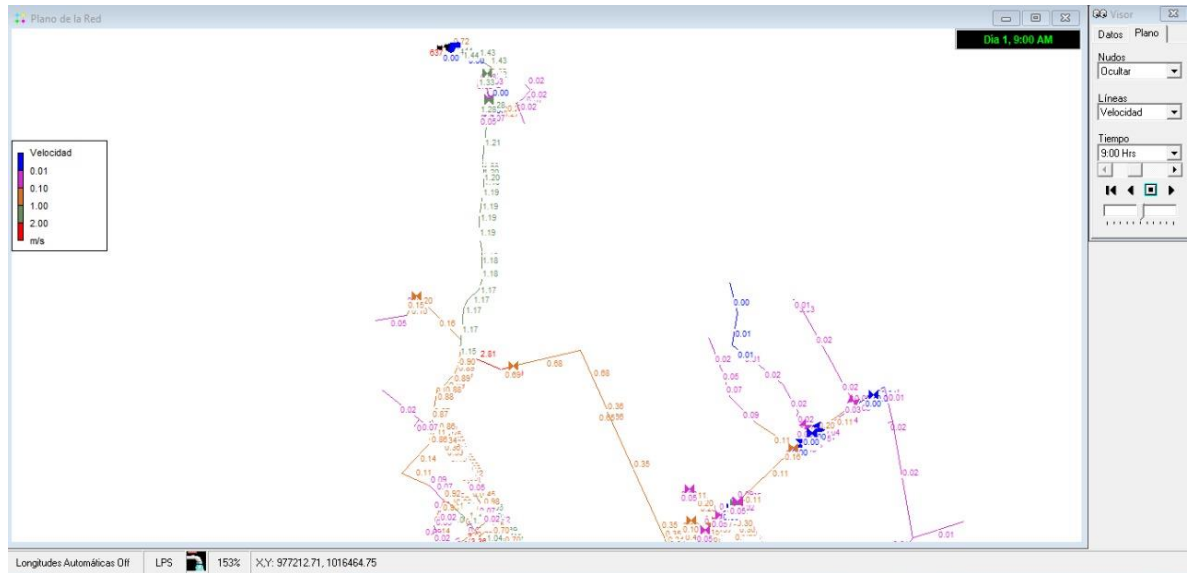
ILUSTRACION 6-25 Modelo hidráulico de Funza, Sector Tienda nueva, a las 5 am evidenciando las velocidades de sistema.



Fuente, software Epanet

En la ilustración 6.26 se puede observar que la red de distribución en el sector de tienda nueva, que es uno de los puntos de captación de agua potable que se encuentra aproximadamente a 9 Km del casco urbano se observan velocidades a las 9 de la mañana que es un horario de gran consumo de agua potable en el municipio, se obtienen datos velocidades entre: (1,15 m/s – 1,45 m/s) se evidencia que cumplen con las velocidades que estipula la RES 0330 de 2017 en el capítulo 2, sección 3, artículo 56 que indica que la velocidad mínima debe ser de 0,5 m/s se ve un tramo con velocidades de: (0,82 m/s/ - 0,90 m/s) que también dan cumplimiento a la norma

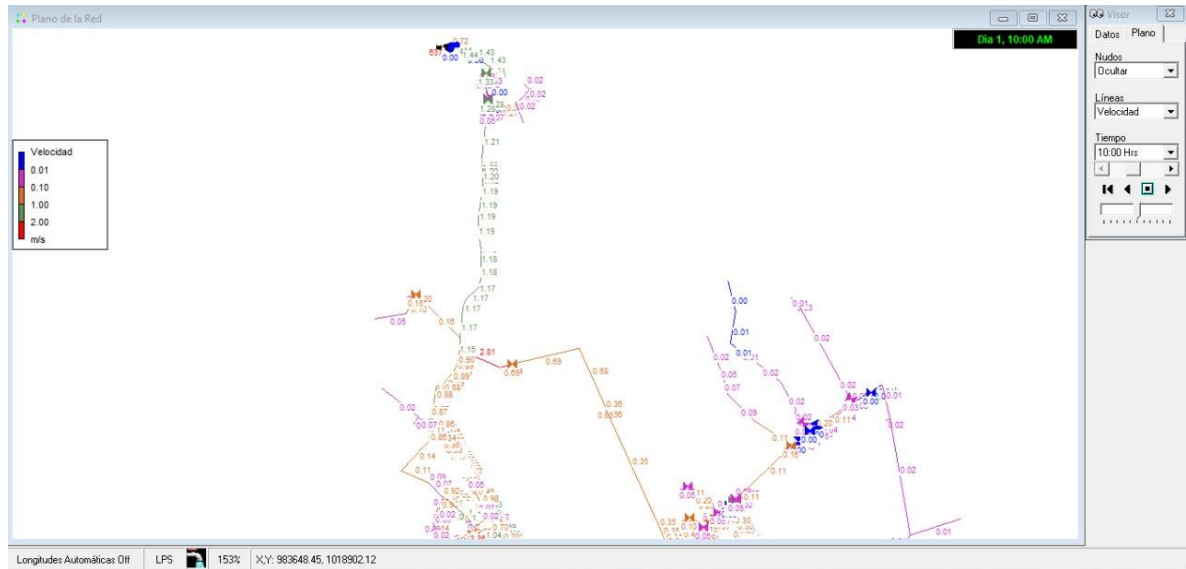
ILUSTRACION 6-26 2 Modelo hidráulico de Funza, Sector Tienda nueva, a las 9 am evidenciando las velocidades de sistema.



Fuente, software Epanet

En la ilustración 6.27 se puede observar que la red de distribución en el sector de tienda nueva, que es uno de los puntos de captación de agua potable que se encuentra aproximadamente a 9 Km del casco urbano se observan velocidades a las 10 de la mañana que es un horario de gran consumo de agua potable en el municipio, se obtienen datos velocidades entre: (1,17 m/s – 1,45 m/s) se evidencia que cumplen con las velocidades que estipula la RES 0330 de 2017 en el capítulo 2, sección 3, artículo 56 que indica que la velocidad mínima debe ser de 0,5 m/s se ve un tramo con velocidades de: (0,82 m/s/ - 0,90 m/s) que también dan cumplimiento a la norma.

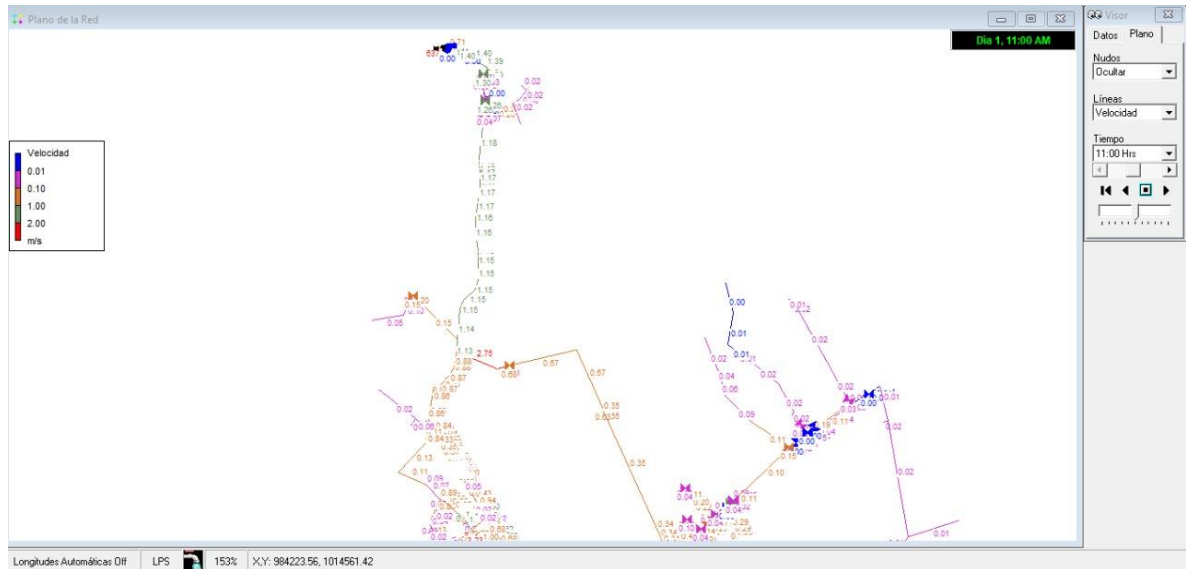
ILUSTRACION 6-27 Modelo hidráulico de Funza, Sector Tienda nueva, a las 10 am evidenciando las velocidades de sistema.



Fuente, software Epanet

En la ilustración 6.28 se puede observar que la red de distribución en el sector de tienda nueva, que es uno de los puntos de captación de agua potable que se encuentra aproximadamente a 9 Km del casco urbano se observan velocidades a las 11 de la mañana que es un horario de gran consumo de agua potable en el municipio, se obtienen datos velocidades entre: (1,13 m/s – 1,41 m/s) se evidencia que cumplen con las velocidades que estipula la RES 0330 de 2017 en el capítulo 2, sección 3, artículo 56 que indica que la velocidad mínima debe ser de 0,5 m/s se ve un tramo con velocidades de: (0,82 m/s/ - 0,88 m/s) que también dan cumplimiento a la norma

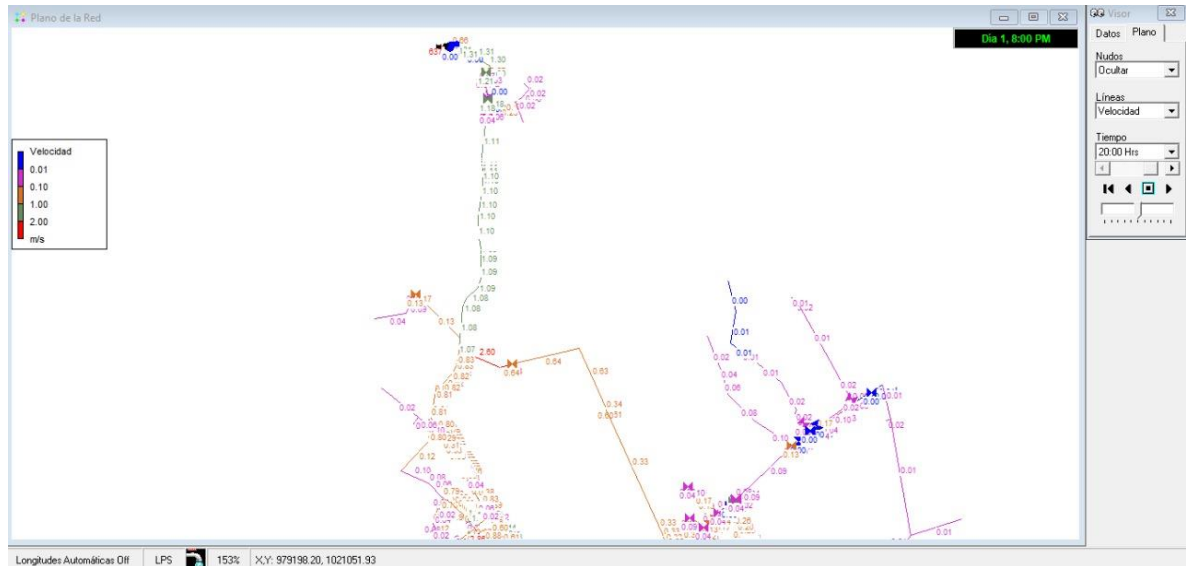
ILUSTRACION 6-28 Modelo hidráulico de Funza, Sector Tienda nueva, a las 11 am evidenciando las velocidades de sistema.



Fuente, software Epanet

En la ilustración 6.29 se puede observar que la red de distribución en el sector de tienda nueva, que es uno de los puntos de captación de agua potable que se encuentra aproximadamente a 9 Km del casco urbano se observan velocidades a las 8 de la noche que es un horario de bajo consumo de agua potable en el municipio, se obtienen datos velocidades entre: (1,0 m/s – 1,31 m/s) se evidencia que cumplen con las velocidades que estipula la RES 0330 de 2017 en el capítulo 2, sección 3, artículo 56 que indica que la velocidad mínima debe ser de 0,5 m/s se ve un tramo con velocidades de: (0,77 m/s/ - 0,83 m/s) que también dan cumplimiento a la norma

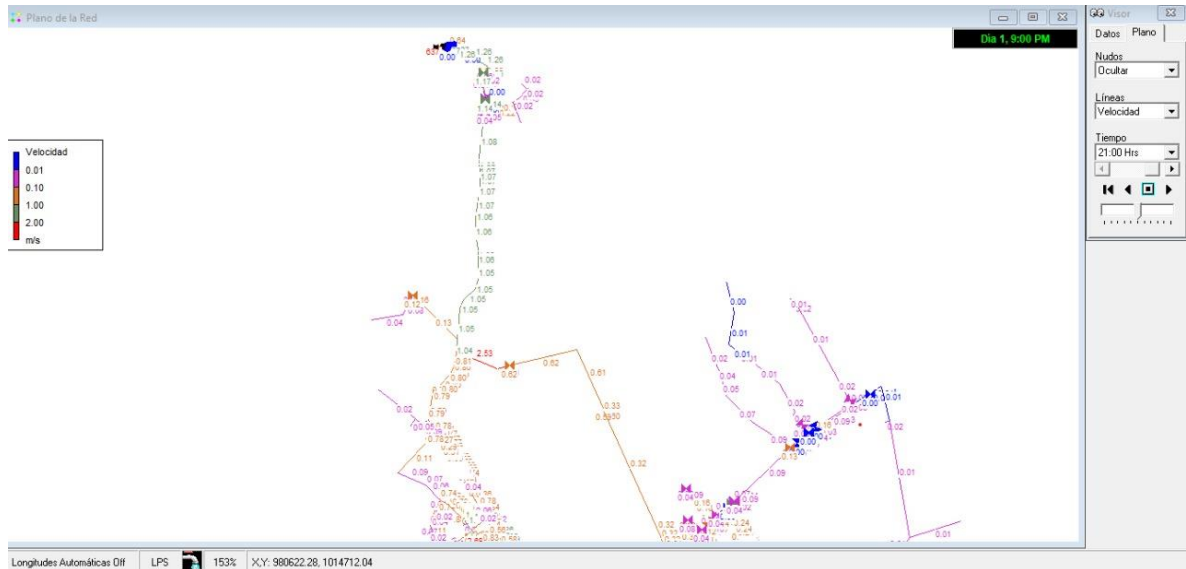
ILUSTRACION 6-29 Modelo hidráulico de Funza elaborado en el software Epanet, Sector Tienda nueva, a las 8 pm evidenciando las velocidades de sistema.



Fuente, software Epanet

En la ilustración 6.30 se puede observar que la red de distribución en el sector de tienda nueva, que es uno de los puntos de captación de agua potable que se encuentra aproximadamente a 9 Km del casco urbano se observan velocidades a las 9 de la noche que es un horario de bajo consumo de agua potable en el municipio, se obtienen datos velocidades entre: (1,1 m/s – 1,26 m/s) se evidencia que cumplen con las velocidades que estipula la RES 0330 de 2017 en el capítulo 2, sección 3, artículo 56 que indica que la velocidad mínima debe ser de 0,5 m/s se ve un tramo con velocidades de: (0,70 m/s/ - 0,76 m/s) que también dan cumplimiento a la norma

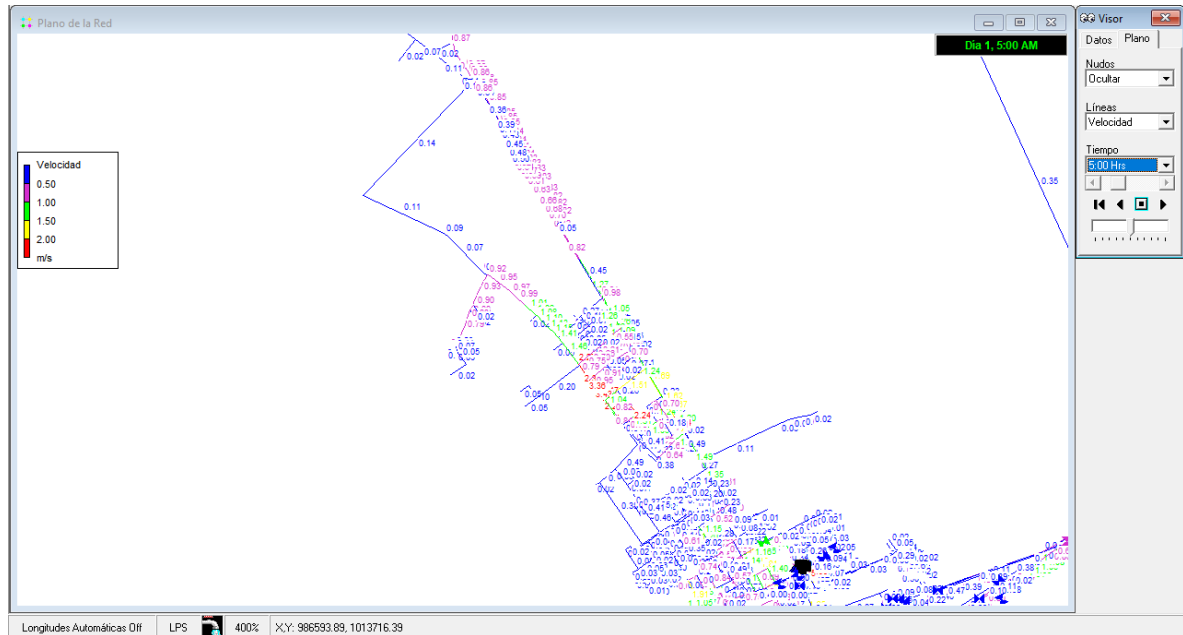
ILUSTRACION 6-30 Modelo hidráulico de Funza elaborado en el software Epanet, Sector Tienda nueva, a las 9 pm evidenciando las velocidades de sistema.



Fuente, software Epanet

En la ilustración 6.31 se puede observar la red de distribución en un sector veredal y parte urbana, se observan velocidades a las 5 de la mañana que es un horario de gran consumo de agua potable en el municipio, se obtienen datos de velocidades entre: (0,3 m/s – 0,48 m/s) se evidencia que no cumplen con las velocidades que estipula la RES 0330 de 2017 en el capítulo 2, sección 3, artículo 56 que indica que la velocidad mínima debe ser de 0,5 m/s. se ve un tramo urbano con velocidades de: (0,79 m/s/ - 1,47 m/s) que dan cumplimiento a la norma, también se evidencia en una pequeña parte velocidades de (2,24 m/s/ - 3,36 m/s) velocidades que no cumplen con lo estipulado en la norma por que sobrepasan los 2 m/s que el fabricante del tubo recomienda no exceder, cabe recalcar que en esta zona y horario gran mayoría de velocidades no cumplen.

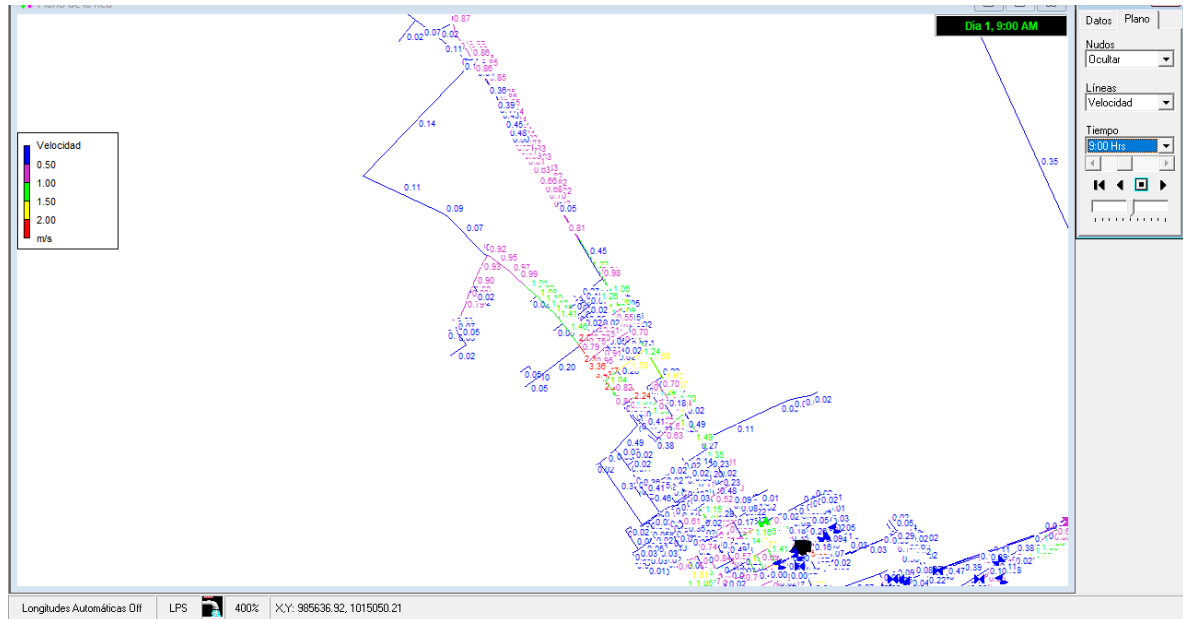
ILUSTRACION 6-31 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano1, a las 5 am evidenciando las velocidades de sistema.



Fuente, software Epanet

En la ilustración 6.32 se puede observar la red de distribución en un sector veredal y parte urbana, se observan velocidades a las 9 de la mañana que es un horario de gran consumo de agua potable en el municipio, se obtienen datos de velocidades entre: (0,1 m/s – 0,47 m/s) se evidencia que no cumplen con las velocidades que estipula la RES 0330 de 2017 en el capítulo 2, sección 3, artículo 56 que indica que la velocidad mínima debe ser de 0,5 m/s. se ve un tramo urbano con velocidades de: (0,79 m/s/ - 1,55 m/s) que dan cumplimiento a la norma, también se evidencia en una pequeña parte velocidades de (2,24 m/s/ - 3,36 m/s) velocidades que no cumplen con lo estipulado en la norma por que sobrepasan los 2 m/s que el fabricante del tubo recomienda no exceder, cabe recalcar que en esta zona y horario gran mayoría de velocidades no cumplen.

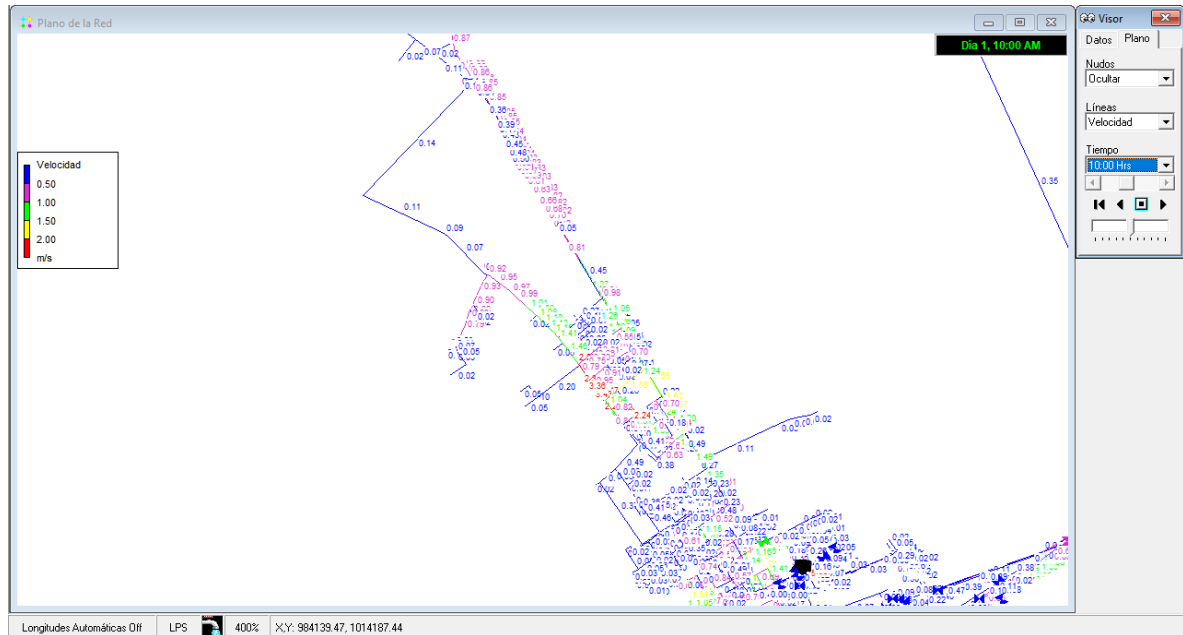
ILUSTRACION 6-32 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano1, a las 9 am evidenciando las velocidades de sistema.



Fuente, software Epanet

En la ilustración 6.33 se puede observar la red de distribución en un sector veredal y parte urbana, se observan velocidades a las 10 de la mañana que es un horario de gran consumo de agua potable en el municipio, se obtienen datos de velocidades entre: (0,1 m/s – 0,47 m/s) se evidencia que no cumplen con las velocidades que estipula la RES 0330 de 2017 en el capítulo 2, sección 3, artículo 56 que indica que la velocidad mínima debe ser de 0,5 m/s. se ve un tramo urbano con velocidades de: (0,79 m/s/ - 1,55 m/s) que dan cumplimiento a la norma, también se evidencia en una pequeña parte velocidades de (2,22 m/s/ - 3,37 m/s) velocidades que no cumplen con lo estipulado en la norma por que sobrepasan los 2 m/s que el fabricante del tubo recomienda no exceder, cabe recalcar que en esta zona y horario gran mayoría de velocidades no cumplen.

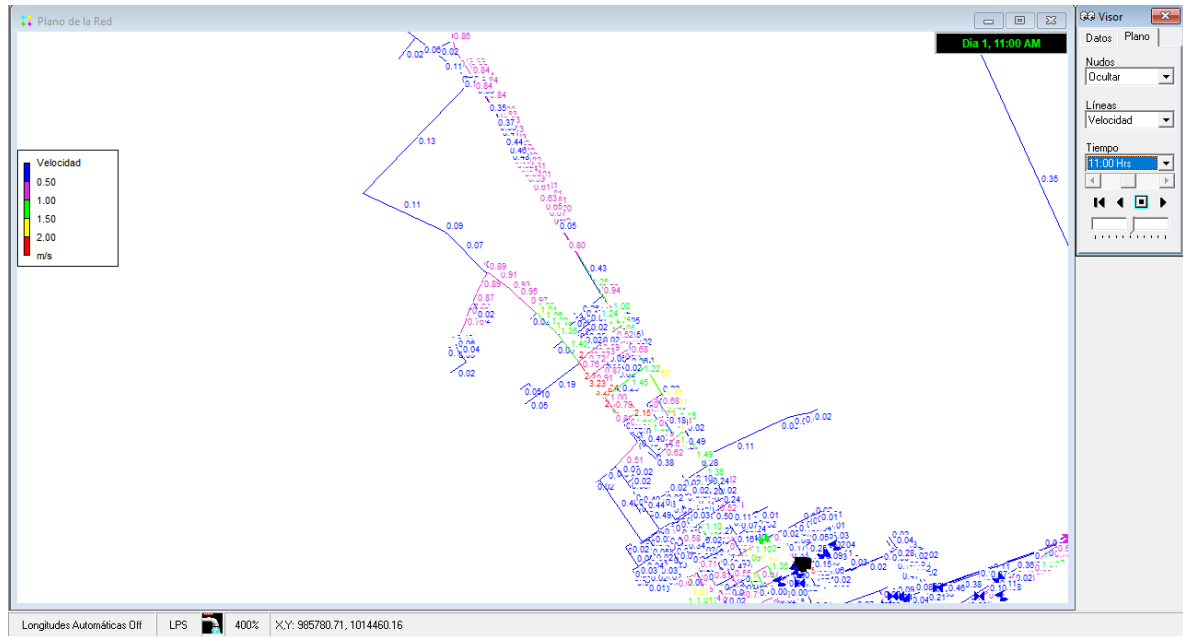
ILUSTRACION 6-33 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano1, a las 10 am evidenciando las velocidades de sistema.



Fuente, software Epanet

En la ilustración 6.34 se puede observar la red de distribución en un sector veredal y parte urbana, se observan velocidades a las 11 de la mañana que es un horario de gran consumo de agua potable en el municipio, se obtienen datos de velocidades entre: (0,1 m/s – 0,47 m/s) se evidencia que no cumplen con las velocidades que estipula la RES 0330 de 2017 en el capítulo 2, sección 3, artículo 56 que indica que la velocidad mínima debe ser de 0,5 m/s. se ve un tramo urbano con velocidades de: (0,76 m/s/ - 1,62 m/s) que dan cumplimiento a la norma, también se evidencia en una pequeña parte velocidades de (2,22 m/s/ - 3,34 m/s) velocidades que no cumplen con lo estipulado en la norma por que sobrepasan los 2 m/s que el fabricante del tubo recomienda no exceder, cabe recalcar que en esta zona y horario gran mayoría de velocidades no cumplen.

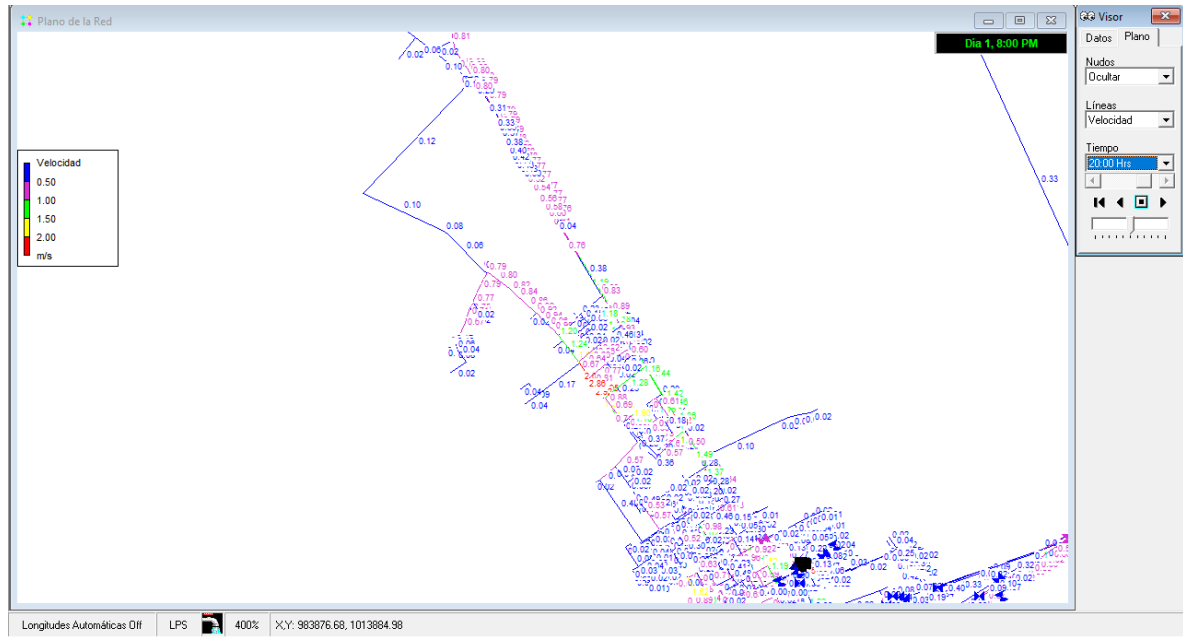
ILUSTRACION 6-34 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano1, a las 11 am evidenciando las velocidades de sistema.



Fuente, software Epanet

En la ilustración 6.35 se puede observar la red de distribución en un sector veredal y parte urbana, se observan velocidades a las 8 de la noche que es un horario de bajo consumo de agua potable en el municipio, se obtienen datos de velocidades entre: (0,08 m/s – 0,48 m/s) se evidencia que no cumplen con las velocidades que estipula la RES 0330 de 2017 en el capítulo 2, sección 3, artículo 56 que indica que la velocidad mínima debe ser de 0,5 m/s. se ve un tramo urbano con velocidades de: (0,76 m/s/ - 1,65 m/s) que dan cumplimiento a la norma, también se evidencia en una pequeña parte velocidades de (2,12 m/s/ - 2,95 m/s) velocidades que no cumplen con lo estipulado en la norma por que sobrepasan los 2 m/s que el fabricante del tubo recomienda no exceder, cabe recalcar que en esta zona y horario gran mayoría de velocidades no cumplen.

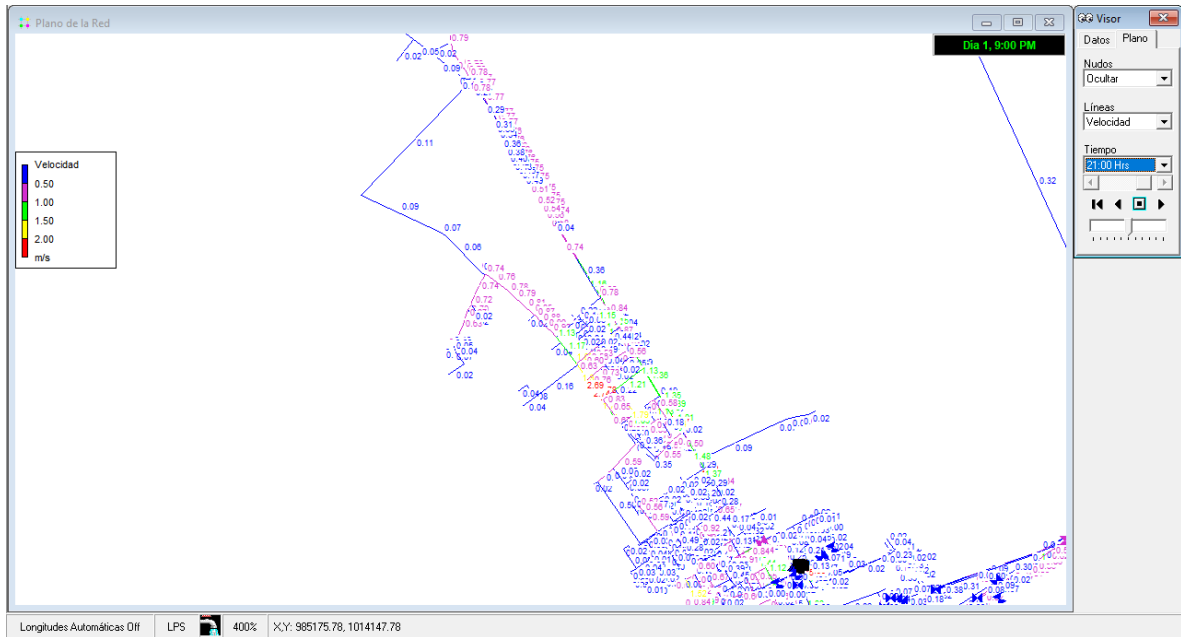
ILUSTRACION 6-35 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano1, a las 8 pm evidenciando las velocidades de sistema.



Fuente, software Epanet

En la ilustración 6.36 se puede observar la red de distribución en un sector veredal y parte urbana, se observan velocidades a las 9 de la noche que es un horario de bajo consumo de agua potable en el municipio, se obtienen datos de velocidades entre: (0,07 m/s – 0,48 m/s) se evidencia que no cumplen con las velocidades que estipula la RES 0330 de 2017 en el capítulo 2, sección 3, artículo 56 que indica que la velocidad mínima debe ser de 0,5 m/s. se ve un tramo urbano con velocidades de: (0,62 m/s/ - 1,60 m/s) que dan cumplimiento a la norma, también se evidencia en una pequeña parte velocidades de (2,59 m/s/ - 2,79 m/s) velocidades que no cumplen con lo estipulado en la norma por que sobrepasan los 2 m/s que el fabricante del tubo recomienda no exceder, cabe recalcar que en esta zona y horario gran mayoría de velocidades no cumplen.

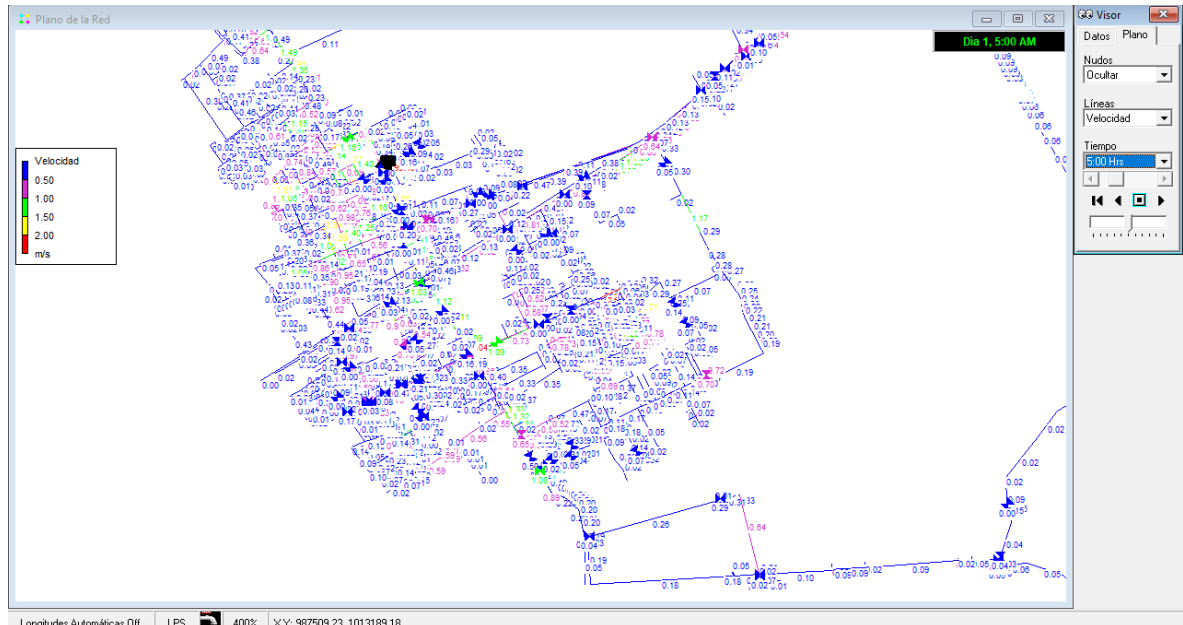
ILUSTRACION 6-36 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano 1, a las 9 pm evidenciando las velocidades de sistema.



Fuente, software Epanet

En la ilustración 6.37 se puede observar la red de distribución en el casco urbano , se observan velocidades a las 5 de la mañana que es un horario de gran consumo de agua potable en el municipio, se obtienen datos de velocidades entre: (0,03 m/s – 0,48 m/s) se evidencia que no cumplen con las velocidades que estipula la RES 0330 de 2017 en el capítulo 2, sección 3, artículo 56 que indica que la velocidad mínima debe ser de 0,5 m/s. se ve un tramo urbano con velocidades de: (0,62 m/s/ - 1,81 m/s) que dan cumplimiento a la norma, cabe recalcar que en esta zona y horario gran mayoría de velocidades no cumplen.

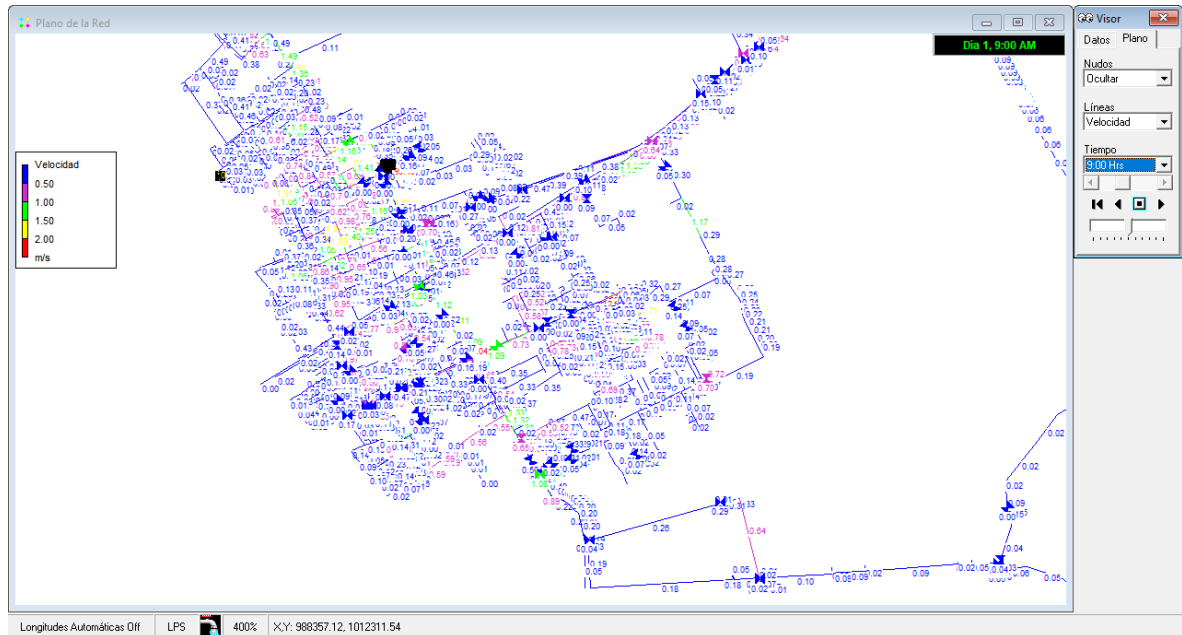
ILUSTRACION 6-37 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano2, a las 5 am evidenciando las velocidades de sistema.



Fuente, software Epanet

En la ilustración 6.38 se puede observar la red de distribución en el casco urbano , se observan velocidades a las 9 de la mañana que es un horario de gran consumo de agua potable en el municipio, se obtienen datos de velocidades entre: (0,03 m/s – 0,48 m/s) se evidencia que no cumplen con las velocidades que estipula la RES 0330 de 2017 en el capítulo 2, sección 3, artículo 56 que indica que la velocidad mínima debe ser de 0,5 m/s. se ve un tramo urbano con velocidades de: (0,62 m/s/ - 1,75 m/s) que dan cumplimiento a la norma, cabe recalcar que en esta zona y horario gran mayoría de velocidades no cumplen.

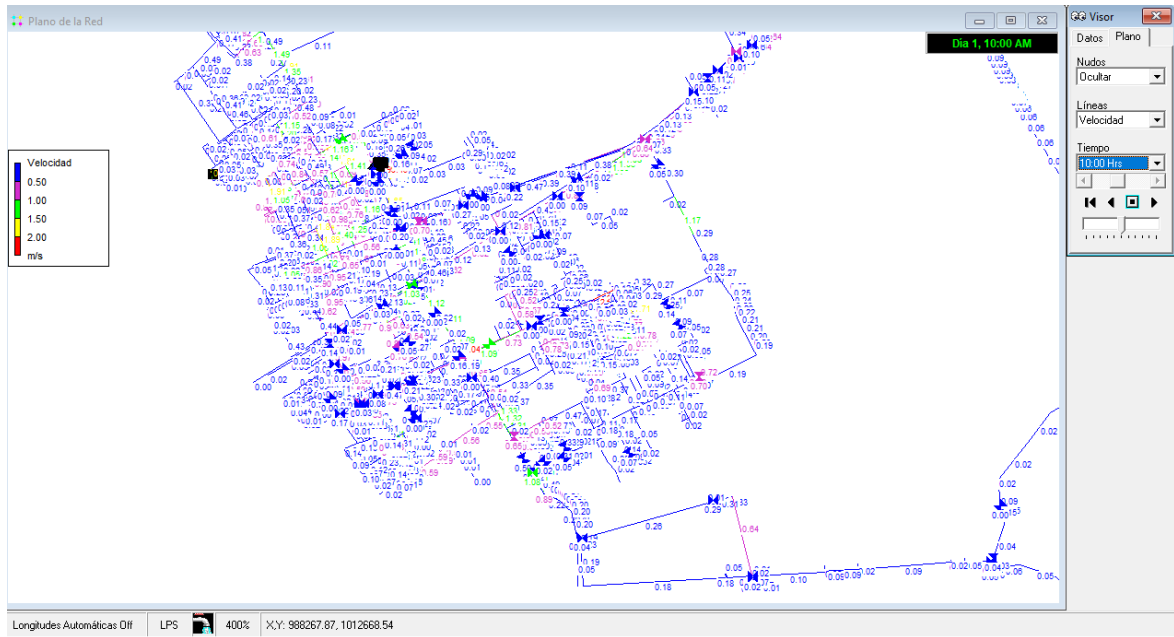
ILUSTRACION 6-38 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano2, a las 9 am evidenciando las velocidades de sistema.



Fuente, software Epanet

En la ilustración 6.39 se puede observar la red de distribución en el casco urbano, se observan velocidades a las 10 de la mañana que es un horario de gran consumo de agua potable en el municipio, se obtienen datos de velocidades entre: (0,03 m/s – 0,48 m/s) se evidencia que no cumplen con las velocidades que estipula la RES 0330 de 2017 en el capítulo 2, sección 3, artículo 56 que indica que la velocidad mínima debe ser de 0,5 m/s. se ve un tramo urbano con velocidades de: (0,62 m/s/ - 1,71 m/s) que dan cumplimiento a la norma, cabe recalcar que en esta zona y horario gran mayoría de velocidades no cumplen.

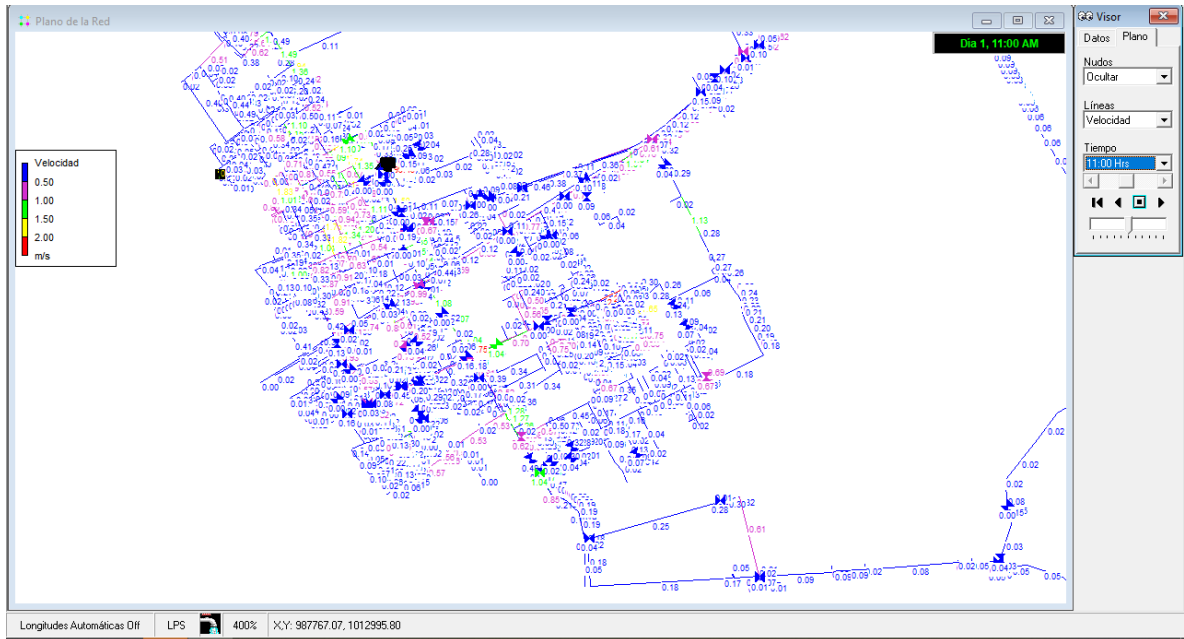
ILUSTRACION 6-39 15 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano2, a las 10 am evidenciando las velocidades de sistema.



Fuente, software Epanet

En la ilustración 6.40 se puede observar la red de distribución en el casco urbano, se observan velocidades a las 11 de la mañana que es un horario de gran consumo de agua potable en el municipio, se obtienen datos de velocidades entre: (0,03 m/s – 0,48 m/s) se evidencia que no cumplen con las velocidades que estipula la RES 0330 de 2017 en el capítulo 2, sección 3, artículo 56 que indica que la velocidad mínima debe ser de 0,5 m/s. se ve un tramo urbano con velocidades de: (0,62 m/s/ - 1,65 m/s) que dan cumplimiento a la norma, cabe recalcar que en esta zona y horario gran mayoría de velocidades no cumplen.

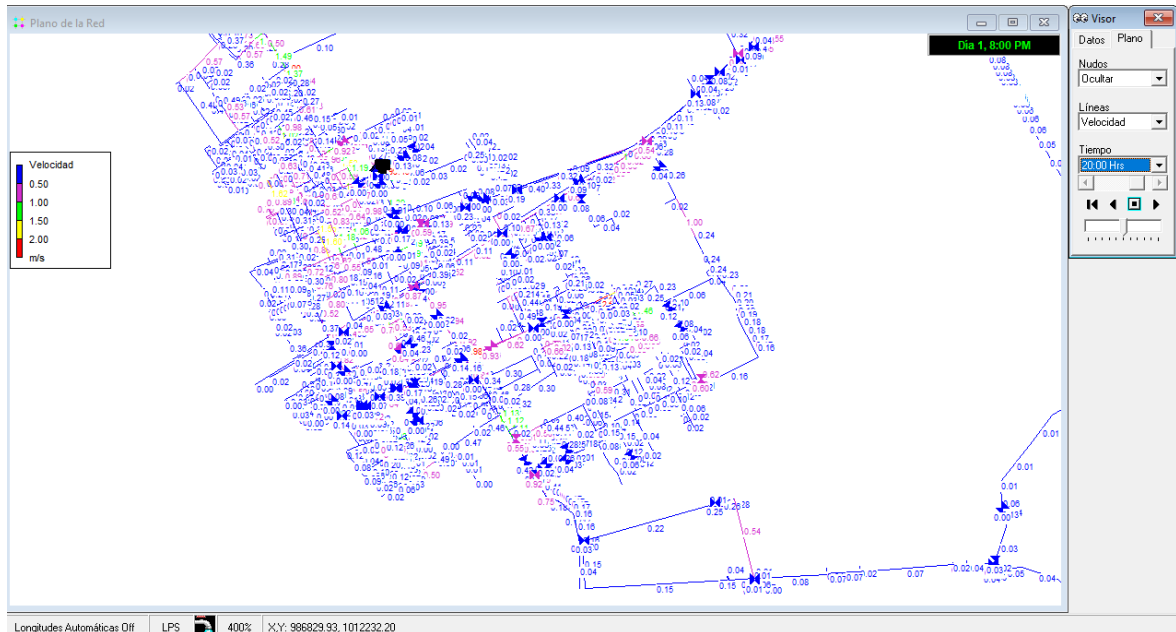
ILUSTRACION 6-40 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano2, a las 11 am evidenciando las velocidades de sistema.



Fuente, software Epanet

En la ilustración 6.41 se puede observar la red de distribución en el casco urbano, se observan velocidades a las 8 de la noche que es un horario de bajo consumo de agua potable en el municipio, se obtienen datos de velocidades entre: (0,01 m/s – 0,48 m/s) se evidencia que no cumplen con las velocidades que estipula la RES 0330 de 2017 en el capítulo 2, sección 3, artículo 56 que indica que la velocidad mínima debe ser de 0,5 m/s. se ve un tramo urbano con velocidades de: (0,55 m/s / - 1,46 m/s) que dan cumplimiento a la norma, cabe recalcar que en esta zona y horario gran mayoría de velocidades no cumplen.

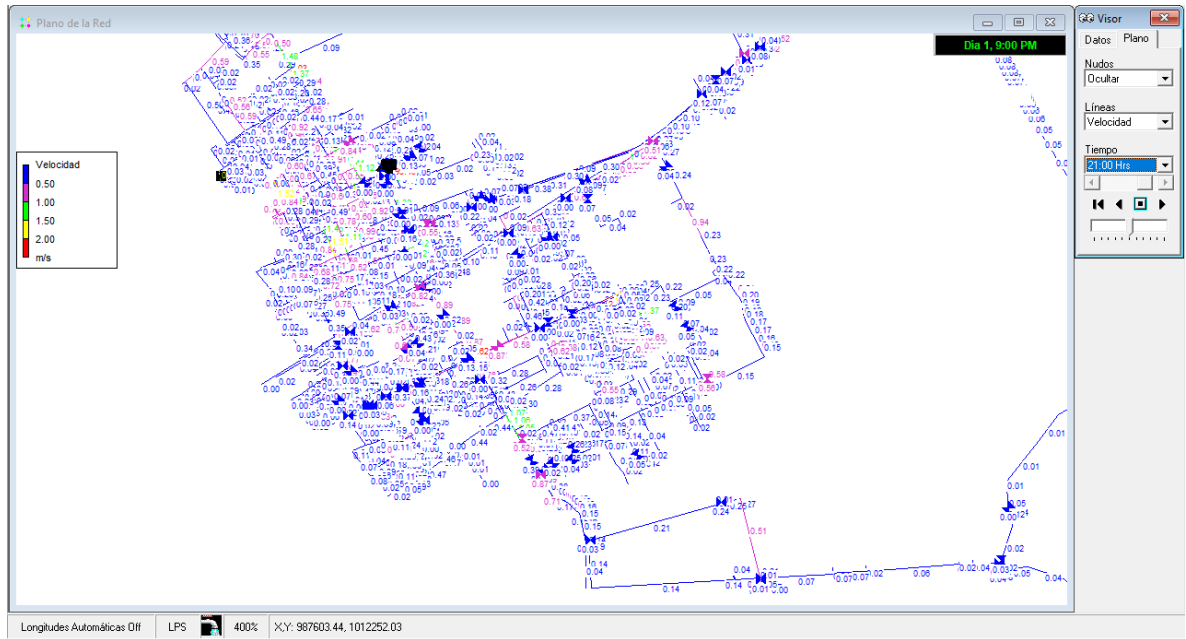
ILUSTRACION 6-41 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano2, a las 8 pm evidenciando las velocidades de sistema.



Fuente, software Epanet

En la ilustración 6.42 se puede observar la red de distribución en el casco urbano, se observan velocidades a las 9 de la noche que es un horario de bajo consumo de agua potable en el municipio, se obtienen datos de velocidades entre: (0,01 m/s – 0,48 m/s) se evidencia que no cumplen con las velocidades que estipula la RES 0330 de 2017 en el capítulo 2, sección 3, artículo 56 que indica que la velocidad mínima debe ser de 0,5 m/s. se ve un tramo urbano con velocidades de: (0,55 m/s/ - 1,37 m/s) que dan cumplimiento a la norma, cabe recalcar que en esta zona y horario gran mayoría de velocidades no cumplen.

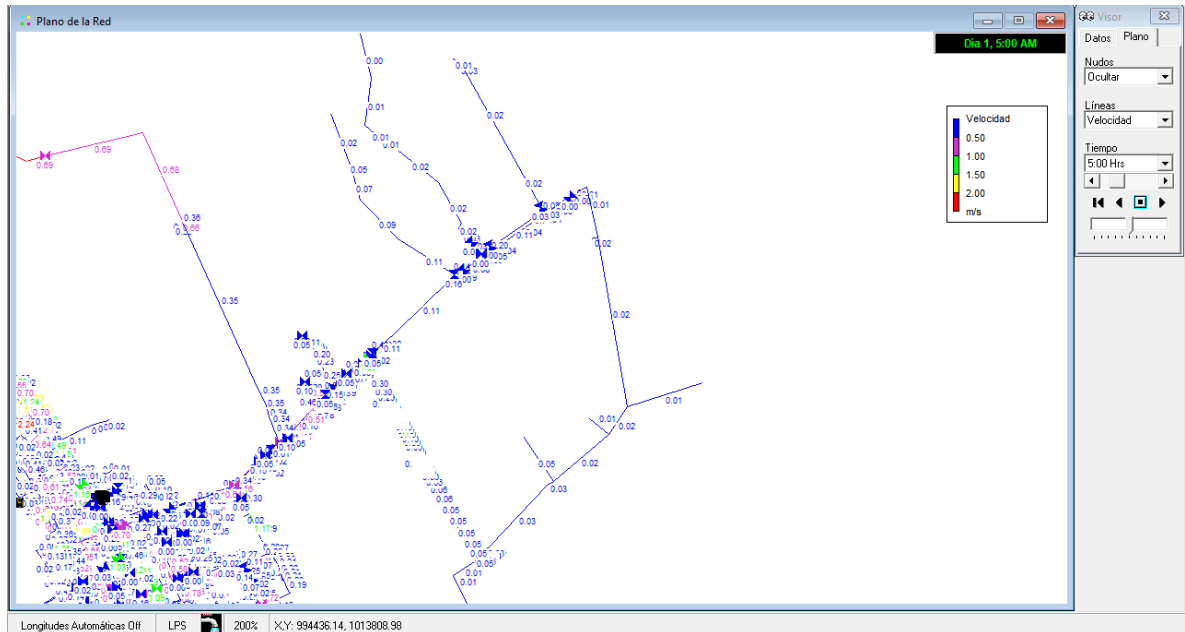
ILUSTRACION 6-42 Modelo hidráulico de Funza, Sector Casco Urbano2, a las 9 pm evidenciando las velocidades de sistema.



Fuente, software Epanet

En la ilustración 6.43 se puede observar la red de distribución en la zona industrial, se observan velocidades a las 5 de la mañana que es un horario de gran consumo de agua potable en el municipio, se obtienen datos de velocidades entre: (0,01 m/s – 0,40 m/s) se evidencia que no cumplen con las velocidades que estipula la RES 0330 de 2017 en el capítulo 2, sección 3, artículo 56 que indica que la velocidad mínima debe ser de 0,5 m/s. se ve un tramo urbano con velocidades de: (0,51 m/s / - 0,68 m/s) que dan cumplimiento a la norma, cabe recalcar que en esta zona y horario gran mayoría de velocidades no cumplen.

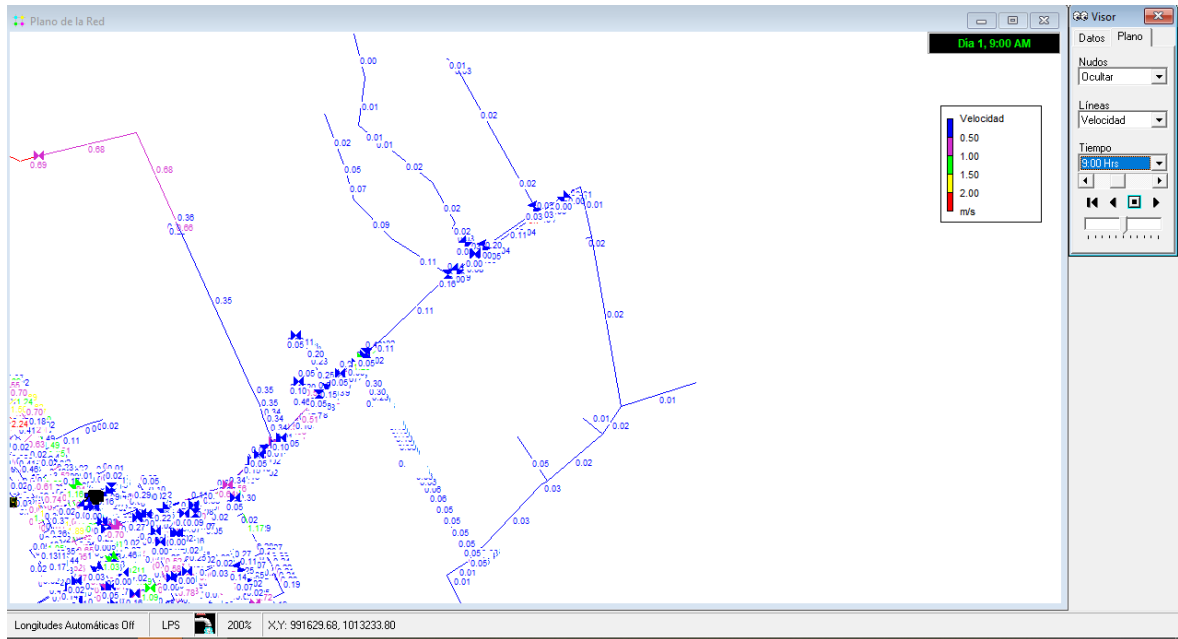
ILUSTRACION 6-43 Modelo hidráulico de Funza, Sector Industria, a las 5 am evidenciando las velocidades de sistema.



Fuente, software Epanet

En la ilustración 6.44 se puede observar la red de distribución en la zona industrial, se observan velocidades a las 9 de la mañana que es un horario de gran consumo de agua potable en el municipio, se obtienen datos de velocidades entre: (0,01 m/s – 0,40 m/s) se evidencia que no cumplen con las velocidades que estipula la RES 0330 de 2017 en el capítulo 2, sección 3, artículo 56 que indica que la velocidad mínima debe ser de 0,5 m/s. se ve un tramo urbano con velocidades de: (0,51 m/s/ - 0,68 m/s) que dan cumplimiento a la norma, cabe recalcar que en esta zona y horario gran mayoría de velocidades no cumplen.

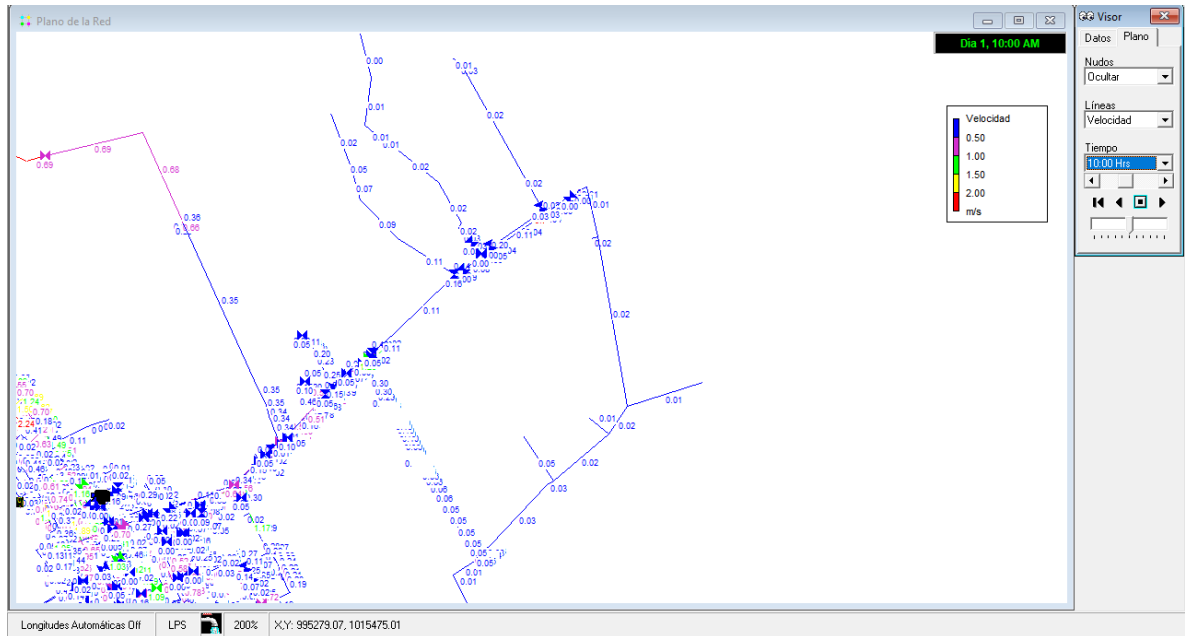
ILUSTRACION 6-44 Modelo hidráulico de Funza, Sector Industria, a las 9 am evidenciando las velocidades de sistema.



Fuente, software Epanet

En la ilustración 6.45 se puede observar la red de distribución en la zona industrial, se observan velocidades a las 10 de la mañana que es un horario de gran consumo de agua potable en el municipio, se obtienen datos de velocidades entre: (0,01 m/s – 0,40 m/s) se evidencia que no cumplen con las velocidades que estipula la RES 0330 de 2017 en el capítulo 2, sección 3, artículo 56 que indica que la velocidad mínima debe ser de 0,5 m/s. se ve un tramo urbano con velocidades de: (0,51 m/s/ - 0,68 m/s) que dan cumplimiento a la norma, cabe recalcar que en esta zona y horario gran mayoría de velocidades no cumplen.

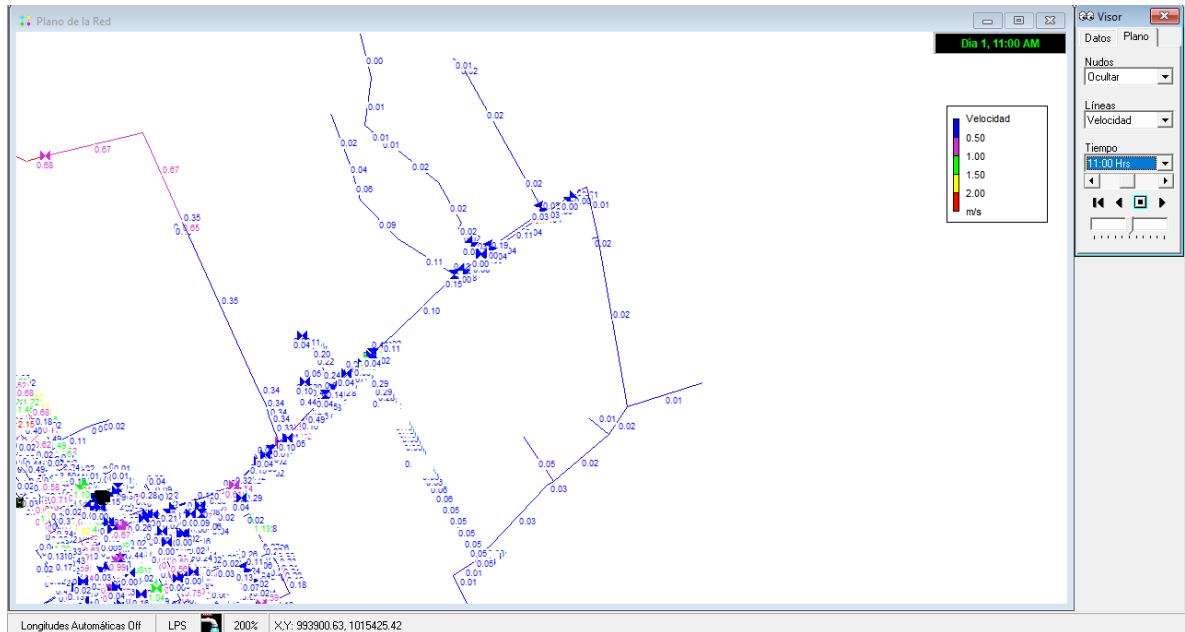
ILUSTRACION 6-45 Modelo hidráulico de Funza, Sector Industria, a las 10 am evidenciando las velocidades de sistema.



Fuente, software Epanet

En la ilustración 6.46 se puede observar la red de distribución en la zona industrial, se observan velocidades a las 11 de la mañana que es un horario de gran consumo de agua potable en el municipio, se obtienen datos de velocidades entre: (0,01 m/s – 0,40 m/s) se evidencia que no cumplen con las velocidades que estipula la RES 0330 de 2017 en el capítulo 2, sección 3, artículo 56 que indica que la velocidad mínima debe ser de 0,5 m/s. se ve un tramo urbano con velocidades de: (0,51 m/s/ - 0,67 m/s) que dan cumplimiento a la norma, cabe recalcar que en esta zona y horario gran mayoría de velocidades no cumplen.

ILUSTRACION 6-46 Modelo hidráulico de Funza, Sector Industria, a las 11 am evidenciando las velocidades de sistema.

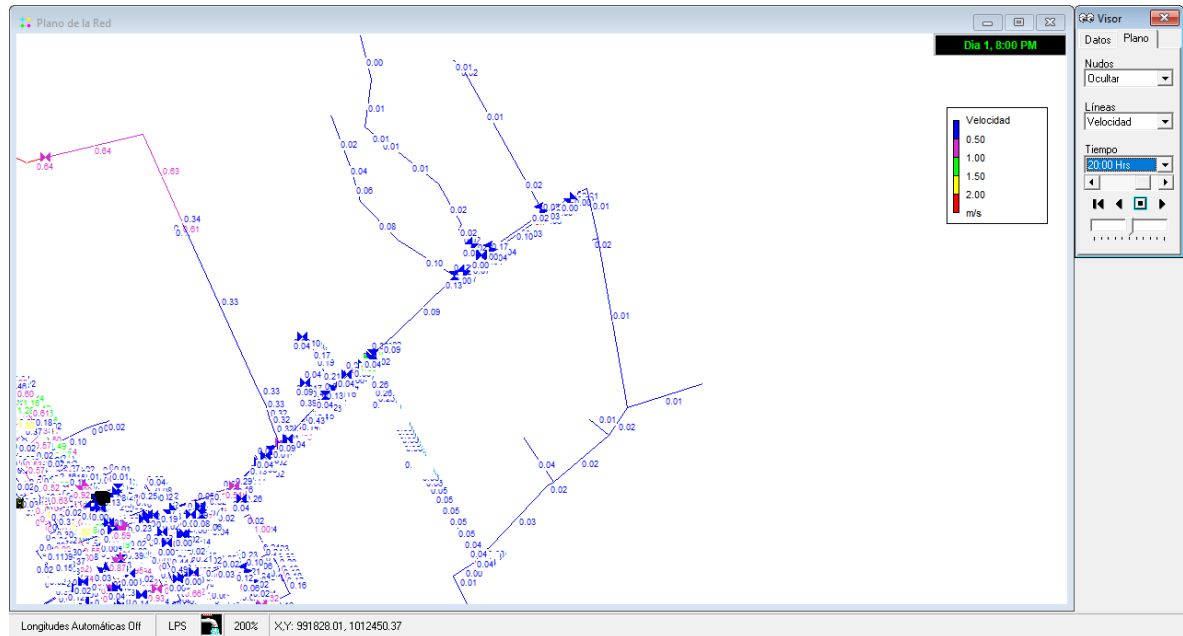


Fuente, software Epanet

En la ilustración 6.47 se puede observar la red de distribución en la zona industrial, se observan velocidades a las 8 de la noche que es un horario de bajo consumo de agua potable en el municipio, se obtienen datos de velocidades entre: (0,01 m/s – 0,40 m/s) se evidencia que no cumplen con las velocidades que estipula la RES 0330 de 2017 en el capítulo 2, sección 3, artículo 56 que indica que la velocidad mínima debe ser de 0,5 m/s. se ve un tramo urbano con velocidades de: (0,51 m/s/ - 0,64 m/s) que dan cumplimiento a la norma, cabe recalcar que en esta zona y horario gran mayoría de velocidades no cumplen.

}

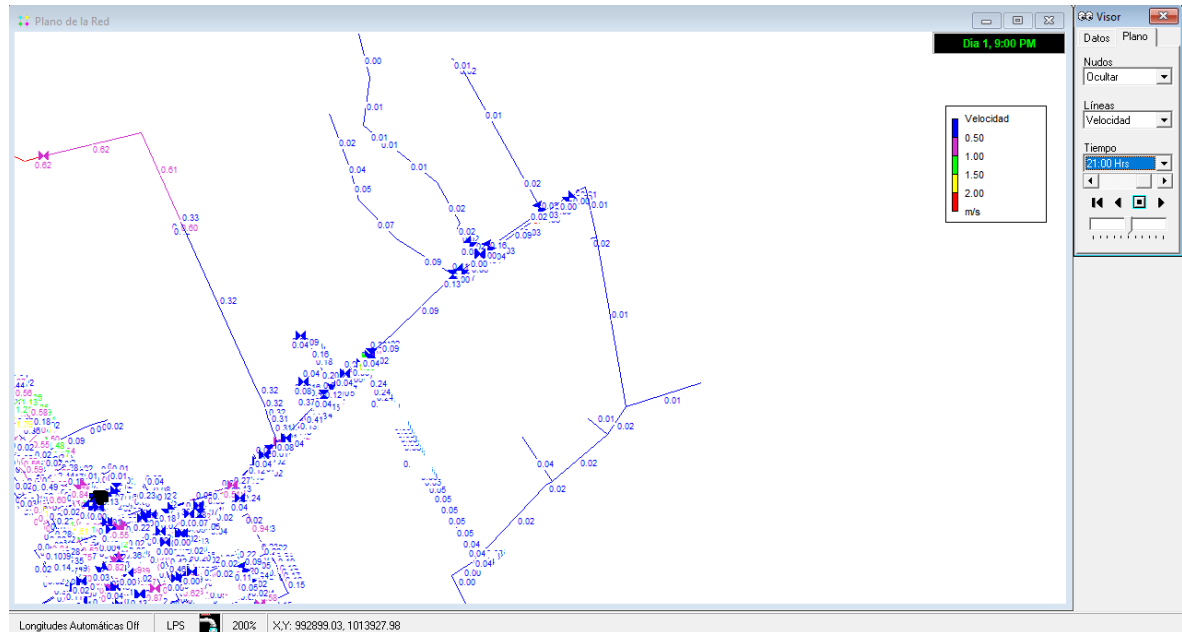
ILUSTRACION 6-47 Modelo hidráulico de Funza, Sector Industria, a las 8 pm evidenciando las velocidades de sistema



. Fuente, software Epanet

En la ilustración 6.48 se puede observar la red de distribución en la zona industrial, se observan velocidades a las 9 de la noche que es un horario de bajo consumo de agua potable en el municipio, se obtienen datos de velocidades entre: (0,01 m/s – 0,40 m/s) se evidencia que no cumplen con las velocidades que estipula la resolución 0330 de 2017 en el capítulo 2, sección 3, artículo 56 que indica que la velocidad mínima debe ser de 0,5 m/s. se ve un tramo urbano con velocidades de: (0,51 m/s/ - 0,62 m/s) que dan cumplimiento a la norma, cabe recalcar que en esta zona y horario gran mayoría de velocidades no cumplen.

ILUSTRACION 6-48 Modelo hidráulico de Funza, Sector Industria, a las 9 pm evidenciando las velocidades de sistema



Fuente, software Epanet

En la tabla 6-5 se muestra el consolidado de velocidades obtenidos en el software Epanet, en el horario de 00.00 a 8:00 se evidencia que la gran mayoría de velocidades generadas no cumplen con lo estipulado en la RES 0330 de 2017 en el capítulo 2, sección 3, artículo 56 que indica que la velocidad mínima debe ser de 0,5 m/s. en la hora 6 se muestra que el 83% esta por debajo del mínimo 0,5 m/s, en el horario donde hay mas cumplimiento es en la hora 8 con un porcentaje de 76,4% que estan por debajo de los 0,5 m/s.

Tabla 6.5. Consolidado en porcentajes de las velocidades mostradas en el modelo hidráulico de Funza Cundinamarca, entre las horas 00:00 a 08:00

		0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	
Rangos	0 (m/s) - 0,5 (m/s)	79,438%	79,438%	80,592%	78,107%	80,592%	76,065%	83,343%	79,438%	76,391%	no cumple
	0,5 (m/s)-1(m/s)	15,651%	15,651%	14,941%	16,450%	14,941%	16,953%	12,929%	15,651%	16,805%	Cumple
	1 (m/s)- 1,5(m/s)	3,4615%	3,4615%	3,1361%	3,7574%	3,1361%	5,0592%	2,4556%	3,4615%	4,9112%	
	1,5(m/s)-2(m/s)	0,5325%	0,5325%	0,5030%	0,6213%	0,5030%	0,7101%	0,4734%	0,5325%	0,6805%	
	2(m/s)- Superiores	0,7988%	0,7988%	0,6805%	0,9172%	0,6805%	1,0651%	0,6509%	0,7988%	1,0651%	no cumple

Fuente, los autores

En la tabla 6-6 se muestra el consolidado de velocidades obtenidos en el software Epanet, en el horario de 9:00 a 16:00 se evidencia que la gran mayoría de velocidades generadas no cumplen con lo estipulado en la RES 0330 de 2017 en el capítulo 2, sección 3, artículo 56 que indica que la velocidad mínima debe ser de 0,5 m/s. en la hora 14 se muestra que el 82.2% esta por debajo del mínimo 0,5 m/s, en el horario donde hay mas cumplimiento es en la hora 9 y 10 con un porcentaje de 76,% que estan por debajo de los 0,5 m/s.

Tabla 6.6. Consolidado en porcentajes de las velocidades mostradas en el modelo hidráulico de Funza Cundinamarca, entre las horas 09:00 a 16:00

		9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	
Rangos	0 (m/s) - 0,5 (m/s)	76,065%	76,065%	76,834%	78,757%	78,757%	82,219%	81,124%	80,592%	no cumple
	0,5 (m/s)-1(m/s)	16,953%	16,953%	16,686%	16,154%	16,154%	13,609%	14,497%	14,941%	Cumple
	1 (m/s)- 1,5(m/s)	5,089%	5,089%	4,586%	3,580%	3,580%	2,899%	3,107%	3,136%	
	1,5(m/s)-2(m/s)	0,6805%	0,6805%	0,6805%	0,5621%	0,5621%	0,4734%	0,4734%	0,5030%	
	2(m/s)- Superiores	1,0651%	1,0651%	1,0651%	0,8284%	0,8284%	0,6509%	0,6805%	0,6805%	no cumple

fuentes, los autores

En la tabla 6-7 se muestra el consolidado de velocidades obtenidos en el software Epanet, en el horario de 17:00 a 24:00 se evidencia que la gran mayoría de velocidades generadas no cumplen con lo estipulado en la RES 0330 de 2017 en el capítulo 2, sección 3, artículo 56 que indica que la velocidad mínima debe ser de 0,5 m/s. en la hora 22 se muestra que el 91% esta por debajo del mínimo 0,5 m/s, en el horario donde hay mas cumplimiento es en la hora 17 con un porcentaje de 78,1% que estan por debajo de los 0,5 m/s.

Tabla 6.7. Consolidado en porcentajes de las velocidades mostradas en el modelo hidráulico de Funza Cundinamarca, entre las horas 17:00 a 24:00

Rangos	0 (m/s) - 0,5 (m/s)	78,107%	83,846%	83,846%	79,260%	80,592%	91,183%	83,846%	79,408%	no cumple
	0,5 (m/s)-1(m/s)	16,450%	12,811%	12,811%	15,799%	14,941%	7,485%	12,811%	15,680%	Cumple
	1 (m/s)- 1,5(m/s)	3,550%	1,450%	1,450%	3,047%	2,959%	-0,178%	2,071%	3,639%	
	1,5(m/s)-2(m/s)	0,6805%	0,6805%	0,6805%	0,6805%	0,5621%	0,5621%	0,4734%	0,4734%	
	2(m/s)- Superiores	0,9172%	0,5917%	0,5917%	0,7988%	0,6805%	0,2959%	0,5917%	0,7988%	no cumple

Fuente, los autores

6.3. GRAFICAS DEL SISTEMA

Zona tienda nueva

En el grafico mostrado en la ilustración 6.49 evidenciaremos el comportamiento que tienen los nodos en la zona de tienda nueva, dicho grafico compara las presiones en metros columna de agua versus las horas del día, evidenciando así que al ser un tubo principal de la red el cual soporta la distribución desde el pozo tienda nueva hasta el casco urbano, se muestra en el grafico que en la hora 5 donde se tiene el primer consumo importante muestra un descenso en la presión que solo se vuelve a evidenciar hasta las 9 y se extiende hasta las 11 luego de eso muestra un incremento con pequeñas caídas a las 17 horas y 20 horas desde ahí cuando no

Hay consumo en horas de la noche muestra un incremento mayor muy elevado a rango normal que se presenta durante el día en general.

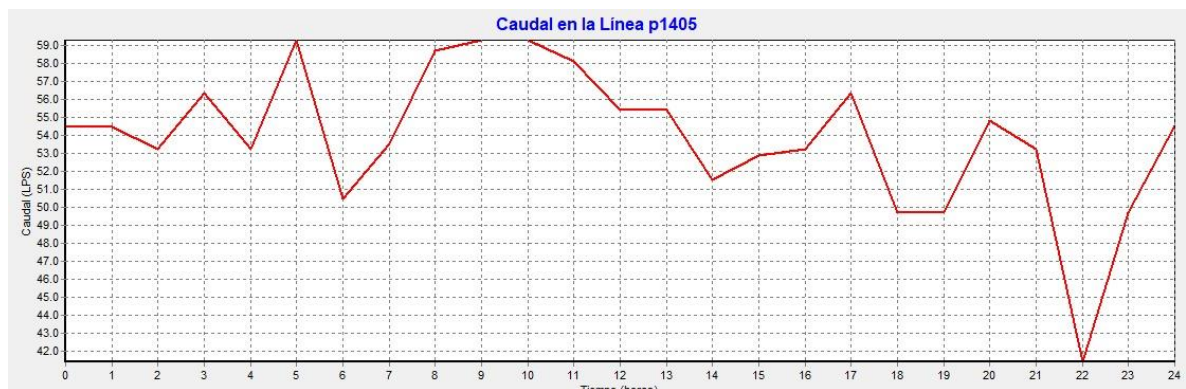
ILUSTRACION 6-49 Grafico de presiones en el nodo 1763 del modelo hidráulico de Funza Cundinamarca, dicho nodo se encuentra al inicio del sector tienda nueva



Fuente, software Epanet

En el grafico mostrado en la ilustración 6.50 evidenciaremos el comportamiento que tienen las tuberías en la zona de tienda nueva, dicho grafico compara los caudales en litros por segundo versus las horas del día, se evidenciara un comportamiento inverso a las presiones ya que como tal en las horas de mayor consumo se requerirá más caudal, por ende vemos que a las 5 vemos un pico de 58 l/s donde se repite hasta las 9 y se extiende hasta las 11, hora donde empieza a verse un declive con pequeñas variantes hasta llegar a un pico negativo a las 22 horas.

ILUSTRACION 6-50 Grafico de caudales de la tubería 1405 la cual une el nodo 1763 y 1764 del modelo hidráulico de Funza Cundinamarca, dicha tubería se encuentra al inicio del sector de tienda nueva.



Fuente, software Epanet

En el grafico mostrado en la ilustración 6.51 evidenciaremos el comportamiento que tienen las tuberías en la zona de tienda nueva, dicho grafico compara los

velocidades en metros por segundo versus las horas del día, evidenciamos en esta grafica que el comportamiento de las velocidades se da igual al de los caudales con los mismos picos en las horas de mayor consumo esto dado a que se requiere mayor exigencia de caudal por el misma tubería dato que es una constante por eso el comportamiento es igual claro que en esta evidenciamos que la tubería se muestra dentro de los rangos establecidos en la resolución 0330 hasta llegar a la hora 22 la cual marca un pico negativo que se encuentra muy por debajo del rango inferior.

ILUSTRACION 6-51 Grafico de velocidades de la tubería 1405 la cual une el nodo 1763 y 1764 del modelo hidráulico de Funza Cundinamarca, dicha tubería se encuentra al inicio del sector de tienda nueva.



Fuente, software Epanet

Zona Casco Urbano 1

En el grafico mostrado en la ilustración 6.52 evidenciaremos el comportamiento que tienen los nodos en la zona casco urbano 1, dicho grafico compara las presiones en metros columna de agua versus las horas del día, evidenciando así que al ser un nodo que procede al tubo principal que viene de tienda nueva, se muestra en el grafico que en la hora 5 donde se tiene el primer consumo importante muestra un descenso en la presión que solo se vuelve a evidenciar hasta las 9 y se extiende hasta las 11 luego de eso muestra un incremento con pequeñas caídas a las 17 horas y 20 horas desde ahí cuando no hay consumo en horas de la noche muestra un incremento mayor muy elevado a rango normal que se presenta durante el día en general. Lo cual indica que el comportamiento es igual al de tienda nueva

ILUSTRACION 6-52 Grafico de presiones en el nodo 710 del modelo hidráulico de Funza Cundinamarca, dicho nodo se encuentra al inicio del sector Casco urbano 1



Fuente, software Epanet

En el grafico mostrado en la ilustración 6.53 evidenciaremos el comportamiento que tienen las tuberías en la zona casco urbano 1, dicho grafico compara los caudales en litros por segundo versus las horas del día, se evidenciara un comportamiento extraño muy diferente al de pozo tienda nueva ya que es igual a las presiones, por ende marca bajas en las horas en que el consumo es elevado el caudal infiere a la baja, este fenómeno se da por ser esta una de las dos zonas donde se da el consumo principal al concentrar la mayoría de la población.

ILUSTRACION 6-53 Grafico de caudales de la tubería 1509 la cual une el nodo 710 y 711 del modelo hidráulico de Funza Cundinamarca, dicha tubería se encuentra al inicio del sector de casco urbano 1.



Fuente, software Epanet

En el grafico mostrado en la ilustración 6.54 evidenciaremos el comportamiento que tienen las tuberías en la zona casco urbano 1, dicho grafico compara los velocidades en metros por segundo versus las horas del día, evidenciando así el comportamiento inverso a las gráficas de presiones y caudales debido al consumo máximo que se presenta en la población a las 5 de la mañana y de 8 a 11 donde se ve que las velocidades son altas pero en las horas de menor consumo se baja la velocidad esto se debe a que el agua que se sigue generando de alguna manera se estanca en las tuberías que no tienen el mismo consumo de horas antes.

ILUSTRACION 6-54 Grafico de velocidades de la tubería 1509 la cual une el nodo 710 y 712 del modelo hidráulico de Funza Cundinamarca, dicha tubería se encuentra al inicio del sector de casco urbano 1.



Fuente, software Epanet

Zona Casco urbano 2

En el grafico mostrado en la ilustración 6.55 evidenciaremos el comportamiento que tienen los nodos en la zona casco urbano 2, dicho grafico compara las presiones en metros columna de agua versus las horas del día, dicho nodo se encuentra en el centro del casco urbano, se muestra en el grafico que en la hora 5 donde se tiene el primer consumo importante muestra un descenso en la presión que solo se vuelve a evidenciar hasta las 9 y se extiende hasta las 11 luego de eso muestra un incremento con pequeñas caídas a las 17 horas y 20 horas desde ahí cuando no hay consumo en horas de la noche muestra un incremento mayor muy elevado a rango normal que se presenta durante el día en general. En estos puntos nos denotan un comportamiento casi perfecto.

ILUSTRACION 6-55 Grafico de presiones en el nodo 853 del modelo hidráulico de Funza Cundinamarca, dicho nodo se encuentra al inicio del sector Casco urbano 2



Fuente, software Epanet

En el grafico mostrado en la ilustración 6.56 evidenciaremos el comportamiento que tienen las tuberías en la zona casco urbano 2, dicho grafico compara los caudales en litros por segundo versus las horas del día, se evidenciara un comportamiento extraño muy diferente al de pozo tienda nueva ya que es igual a las presiones, por ende marca bajas en las horas en que el consumo es elevado el caudal infiere a la baja, este fenómeno se da por ser esta una de las dos zonas donde se da el consumo principal al concentrar la mayoría de la población.

ILUSTRACION 6-56 Grafico de caudales de la tubería 1882 la cual une el nodo 853 y 854 del modelo hidráulico de Funza Cundinamarca, dicha tubería se encuentra al inicio del sector de casco urbano 2.



Fuente, software Epanet

En el grafico mostrado en la ilustración 6.57 evidenciaremos el comportamiento que tienen las tuberías en la zona casco urbano 2, dicho grafico compara los velocidades en metros por segundo versus las horas del día, evidenciando así el comportamiento inverso a las gráficas de presiones y caudales debido al consumo máximo que se presenta en la población a las 5 de la mañana y de 8 a 11 donde se ve que las velocidades son altas pero en las horas de menor consumo se baja la velocidad esto se debe a que el agua que se sigue generando de alguna manera se estanca en las tuberías que no tienen el mismo consumo de horas antes.

ILUSTRACION 6-57 Grafico de velocidades de la tubería 1882 la cual une el nodo 853 y 854 del modelo hidráulico de Funza Cundinamarca, dicha tubería se encuentra al inicio del sector de casco urbano 2.



Fuente, software Epanet

Zona industrial

En el grafico mostrado en la ilustración 6.58 evidenciaremos el comportamiento que tienen los nodos en la zona industrial, dicho grafico compara las presiones en metros columna de agua versus las horas del día, evidenciando así que al ser un nodo que abastecerá la zona industrial y alejado del casco urbano, se muestra en el grafico que en la hora 5 donde se tiene el primer consumo importante muestra un descenso en la presión que solo se vuelve a evidenciar hasta las 9 y se extiende hasta las 11 luego de eso muestra un incremento con pequeñas caídas a las 17 horas y 20 horas desde ahí cuando no hay consumo en horas de la noche muestra un incremento mayor muy elevado a rango normal que se presenta durante el día en general.

ILUSTRACION 6-58 10 Grafico de presiones en el nodo 31 del modelo hidráulico de Funza Cundinamarca, dicho nodo se encuentra al inicio del sector zona industrial



Fuente, software Epanet

En el grafico mostrado en la ilustración 6.59 evidenciaremos el comportamiento que tienen las tuberías en la zona industrial, dicho grafico compara los caudales en litros por segundo versus las horas del día, se evidenciara un comportamiento inverso a las presiones ya que como tal en las horas de mayor consumo se requerirá más caudal, por ende vemos que a las 5 vemos un pico de 58 l/s donde se repite hasta las 9 y se extiende hasta las 11, hora donde empieza a verse un declive con pequeñas variantes hasta llegar a un pico negativo a las 22 horas.

ILUSTRACION 6-59 Grafico de caudales de la tubería 437



la cual une el nodo 31 y 32 del modelo hidráulico de Funza Cundinamarca, dicha tubería se encuentra al inicio del sector de zona industria, Fuente, software Epanet

En el grafico mostrado en la ilustración 6.60 evidenciaremos el comportamiento que tienen las tuberías en la zona industrial , dicho grafico compara los velocidades en metros por segundo versus las horas del día, evidenciamos en esta grafica que el comportamiento de las velocidades se da igual al de los caudales con los mismos picos en las horas de mayor consumo esto dado a que se requiere mayor exigencia de caudal por el misma tubería dato que es una constante por eso el comportamiento es igual claro que en esta evidenciamos que la tubería se muestra siempre inferior a los rangos establecidos por la normativa.

ILUSTRACION 6-60 Grafico de velocidades de la tubería 437 .



la cual une el nodo 31 y 32 del modelo hidráulico de Funza Cundinamarca, dicha tubería se encuentra al inicio del sector de zona industrial. Fuente, software Epanet

7. CONCLUSIONES

A partir del levantamiento de la digitalización del modelo hidráulico para la red de distribución de agua potable de Funza, Cundinamarca utilizando el software EPANET, se obtuvo información desde las diferentes variables que se pueden presentar, generando un modelo que optimiza un control adecuado de la red, donde se tiene en cuenta la carencia del mismo y los beneficios que este puede traer para el acueducto del municipio, de esta forma se especifica que:

- Varios parámetros de la red tienen que ser intervenidos, para estar dentro de la normativa de la resolución 0330 de 2017, entre ellas son los diámetros inferiores a 75 mm que corresponden a casi el 28 % de la red de distribución hidráulica de Funza, si bien es cierto que al compararlo con el 72% que está dentro de los rangos establecidos en la resolución 0330 de 2017, este supera el rango de diámetros que no cumplen en casi 2.5 veces lo que nos dice que la red tiene buenos diámetros en la mayoría de su distribución.
- Al ser Funza, Cundinamarca un municipio en expansión, en donde la explosión poblacional es reciente vemos que esto se refleja en el material predominante en la red que es PVC de alta resistencia teniendo un 98% de presencia en la red, hace que la misma siempre este dentro de las condiciones expuestas en la resolución en la sección 2 donde se habla de la construcción de las redes de distribución de agua potable sabiendo que dicho material cumple con las reglas de sanidad para el transporte de tan preciado líquido.
- La cobertura de la actual población del municipio es la óptima y exigida por el gobierno nacional a sus entes prestadores de servicios a través de las reglamentaciones para tal fin, esto dicho ya que el municipio cuenta con una cobertura del 100%, tanto a su población rural como a su población en el casco urbano teniendo también en cuenta las industrias presentes en el municipio.
- El municipio actualmente con su red de distribución solo brinda cobertura al 5.37% de su territorio se planea una expansión de cerca del 4% en su casco urbano esto destinado a viviendas e industrias y estipulado en el POT actual de Funza, lo cual nos dice que la red en la actualidad no podría anexar esas expansiones por lo que sería más que pertinente aumentar en una las estaciones de bombeo.
- En cuanto a los sistemas actuales de bombeo son idóneos y razonables para brindar el oportuno servicio de agua potable a todas las instancias

evidenciamos algunas falencias en presiones que seguramente al tener las válvulas reguladoras de presión harían del sistema un sistema perfecto, lastimosamente por la situación actual no se pudo obtener la información real, del funcionamiento actual de las válvulas del sistema.

- Las presiones son muy coherentes en la mayoría del sistema, haciendo la excepción del tubo que proviene de tienda nueva (pozo de extracción de agua subterránea), el cual mantiene presiones muy elevadas en donde serían pertinentes revisarlas y mejorar esa parte del sistema usando diámetros más grandes en las tuberías.
- Las presiones durante las horas picos se mantienen dentro del rango, pero, cuando las curvas de consumo bajo las presiones suben por un rango de 10 m.c.a por encima de los 50 m.c.a permitidos por la resolución, lo cual es pertinente decir que al tener el funcionamiento de las válvulas se mitigaría tal efecto y en cuestión de presión el sistema estaría estable dentro de los rangos permitidos y se combatiría las presiones aumentadas que se generan por el no uso del sistema.
- Las presiones en un sector de la vereda el Cocli son inferiores a lo que se estipula en la norma mencionada anteriormente, presentando en diferentes horas del día presiones inferiores a 10 m.c.a, se le recomienda a la EMAAF (empresa municipal de acueducto, alcantarillado y aseo de Funza) hacer las modificaciones necesarias para brindar las presiones estipuladas.
- Las velocidades durante las horas picos son altas y entre el 45% y 50% cumplen con velocidades mayores a 0,5 m/s y no exceden los 2 m/s la mayoría de las velocidades que cumplen se encuentran en la vereda tienda nueva que conduce el agua potable a el casco urbano donde también en diferentes sectores cumplen con velocidades entre 0.5 m/s y 2 m/s
- Las velocidades que nos muestra el software Epanet evidencia que en su gran mayoría las velocidades no dan cumplimiento a lo estipulado en la RESOLUCION 0330 de 2017 en el capitulo 2, seccion 3, articulo 56 que indica que la velocidad mínima debe ser de 0,5 m/s. Se puede concluir que en general la red de distribucion no cumple con las velocidades estipuladas.

8. REFERENCIAS

ACUEDUCTO, Agua y Alcantarillado de Bogotá. La Infraestructura del Acueducto. [En línea]

<https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/acueducto-y-alcantarillado/la-infraestructuraAcueducto/sistemas-distribucion/!ut/p/z1/xVRbc5pAFP4r5IFH3AMLCH1DjTA2jcFojfviLLAoLYJZFk3z67u0nUyoaajNZLozsHDOd-4XRNAdIgu9ZBsqsRkgufxfEXth0PQHTCufXsMEIa-B47pwQh>.

ACUÑA, Martín. 2013. MODELACION CON EPANET DE RED DE DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE DE VALLE HERMOSO. -UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA. [En línea] 2013.

ALCALDIA DE FUNZA CUNDINAMARCA. 2018. Reseña Historica Del Municipio. [En línea] 15 de mayo de 2018. [Citado el: 25 de febrero de 2019.] <http://www.funza-cundinamarca.gov.co/municipio/nuestro-municipio>. 2.

BECERRA, Laura y GALINDO, Nancy. 2015. Modelo hidráulico del sector 1-2 en la cuenca media alta del Río Fucha, localizado en Bogotá D.C., Colombia. *Universidad Piloto de Colombia*. [En línea] 2015. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/1502>.

Blog del Agua. ¿Qué es EPANET? [En línea] <https://blogdelagua.com/tematica/abastecimiento/que-es-epanet/>.

CLARK, Robert y DENINGER, Rolf. 2006. Protecting the Nation's Critical Infrastructure: The Vulnerability of U.S. Water Supply Systems. [En línea] 2006. https://www.researchgate.net/publication/281685980_Protecting_the_Nation's_Critical_Infrastructure_The_Vulnerability_of_US_Water_Supply_Systems.

DELGADO, Diana Cristina. 2009. *Caracterizacion y estimacion de consumo de agua de usuarios residenciales caso de estudio bogota*. Bogota : Universidad de los andes, 2009. 6.

EMPRESA MUNICIPAL DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO. 2019. EMAAF-ESP. [En línea] 18 de febrero de 2019. [Citado el: 25 de febrero de 2019.] <https://www.emaafesp.gov.co/la-empresa/resena-historica-de-la-emaaf-esp.html>. 4.

GARRETA, María. 2016. Mandatos nacionales y realidades locales: análisis de las políticas públicas del agua en la frontera Amazonica . *Universidad Federal de Pará*.

[En línea]

2016.

http://repositorio.ufpa.br/jspui/bitstream/2011/8785/6/Tese_MandatosNacionalesRealidades.pdf.

MINISTERIO DE VIVIENDA CIUDAD Y TERRITORIO. 2017. Decreto 1272 del 28 de julio de 2017. [En línea] 28 de julio de 2017. [Citado el: 14 de 04 de 2020.] <https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%201272%20DE%20L%2028%20DE%20JULIO%20DE%202017.pdf>. 7.

MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. 2017. Resolucion 0330. [En línea] 2017. <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330%20-%202017.pdf>.

ORDUÑA GARZON, Alex Javier. 2014. *Evaluacion de patrones de consumo y caudales maximo instantaneos de usuarios residenciales en bogota*. Bogota : Universidad Nacional de Colombia, 2014.

PERDOMO, Álvaro y GUTIERREZ, Oscar. 2015. COMPROBACIÓN EN CAMPO, DE UNA MODELACIÓN ASISTIDA POR COMPUTADOR PARA UNA RED HIDRÁULICA, CASO DISTRITO DE RIEGO EL VERGEL, MPIO TARQUI, DPTO HUILA-COLOMBIA. *UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA*. [En línea] 2015. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2969/4/TRABAJO%20DE%20GRADO%20ESPECIALIZACION%20EN%20RECURZOS%20HIDRICOS.pdf>.

PEREZ, Rafael, y otros. 2004. Análisis del comportamiento hidráulico de la red de abastecimiento de la ciudad de Córdoba mediante EPANET . [En línea] 2004. <http://www.ingenieriadelagua.com/2004/JIA/Jia2011/pdf/p510.pdf>.

PLINCO. 2019. Ingeniería de Redes Hidráulicas. *Así funciona una red Hidráulica*. [En línea] 15 de febrero de 2019. <https://www.plinco.com.co/2019/02/asi-funciona-una-red-hidraulica>.

RODRIGUEZ, Claudia. 2013. Modelación hidráulica del sector 2 del sistema de distribución de la ciudad de Tunja-Boyacá como estrategia operativa. *Tesis de grado Universidad católica de Colombia*. [En línea] 2013.

RONDAN, Enrique. 2016. Estado del arte de la calibración de modelos hidráulicos. Modelado de fugas con Epanet. *Dep. Ingeniería Energética Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla*. [En línea] 2016.

ROSSMAN, L.A. 1995. The EPANET water quality model. [En línea] 1995. <https://www.osti.gov/biblio/111537>.

STOREYA, M, VAN DER GAAG, B y BURNS, B. 2010. . Advances in on-line drinking water quality monitoring and early warning systems, Michael V.StoreyaBramvan der GaagBrendan P.Burnsc, 2010/08/. [En línea] 2010. doi: 10.1016/j.watres.2010.08.049. .

TIMBE, Luis y WILLEMS, Patrick. 2010. Desempeño de modelos hidráulicos 1D y 2D para la simulación de inundaciones. *MASKANA*, Vol. 2, No. 1, . [En línea] 2010. DOI: 10.18537/mskn.02.01.07.

United States Environmental Protection Agency. 2017. EPANET, Application for Modeling Drinking Water Distribution Systems. [En línea] 2017. <https://www.epa.gov/water-research/epanet>.

—. **2001.** Manual del Usuario Epanet. *Edicion en español*. [En línea] 2001. [Citado el: 14 de 03 de 2019.] https://epanet.info/wp-content/uploads/2012/10/epanet2_manual.pdf. 4.

9. ANEXOS

Se anexa a dicho trabajo el estado del arte, es decir el modelo hidráulico del municipio de Funza realizado en Epanet, adiciona la evidencia del catastro de redes en formato DWG para visualizarse en AutoCAD, el Excel con todos los cálculos realizados para la obtención de la información que dio a pie para la finalización del informe y las diferentes evidencias de entrega del modelo al municipio de Funza Cundinamarca.

Check List

- Catastro de redes del municipio (AutoCAD)
- Organización y cálculos de los datos obtenidos del modelo (Excel)
- Carta de entrega de la modelo radicada en EAAMF (PDF)
- Fotografía del momento de entrega (JPG)

ILUSTRACION 9-1 Fotografía momento de entrega del modelo a la empresa de acueducto y alcantarillado municipal de Funza



Fuente los autores