

Elaboración del Catastro de la Red de Distribución de Agua Potable del Municipio de Susacón en el
Departamento de Boyacá.

Autor:

Juan Sebastián Guzmán Neira

Trabajo de grado
para optar al título de Ingeniero Civil

Director : Humberto Pérez Ramírez

Par académico: Oscar Baquero Ángel

Asesor: Sergio Miguel González Palacios

Universidad Santo Tomas

Facultad de Ingeniería Civil,

Bogotá D.C. 2021

Dedicatoria.

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante en mi formación profesional. A mi madre, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones. A mi padre, que a pesar de nuestra distancia física, siento que está conmigo siempre y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que este momento hubiera sido tan especial tanto para él como para mí.

Agradecimientos.

Agradezco a Dios por protegerme en todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida. A mi madre Ilse Leticia Neira Corredor, que con su demostración de una madre ejemplar me ha enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada y siempre perseverar a través de sus sabios consejos. Al Ingeniero Sergio Miguel González por su atención y disponibilidad para prestarme su asesoramiento, al Ingeniero Humberto Pérez por la colaboración brindada, al Municipio de Susacón y a todas las personas que me ayudaron directa e indirectamente durante la elaboración de este proyecto

Resumen

Este proyecto inicio con la toma de información suministrada por el fontanero del municipio, asunto que ofrece la ventaja de contar con mayor conocimiento de los componentes del sistema, la ubicación de las válvulas, los hidrantes, los registros, los medidores y algunos tramos de tuberías. Con esta información se realizó un bosquejo inicial del sistema a través de la herramienta AutoCAD, En el cual se fueron posicionando los accesorios señalados por el fontanero

Luego llevo a cabo topografía y georreferenciación de todos los accesorios, paralelo a la elaboración de las fichas técnicas donde se describieron detalladamente las características de los accesorios. Una vez integrada la información se dio inicio a la elaboración de los planos de catastro los cuales se catalogan en tres tipos; el primer plano general, muestra la información geográfica y urbana del municipio, el segundo plano zonal, se encontrará información más detallada de la zona urbana y componentes de la red de distribución, tuberías, válvulas y accesorios, permitiendo un mejor manejo de la información cartográfica y el tercero plano esquinero: representará cada uno de los cruces de vía mostrando en detalle cada intersección de tubería y los accesorios presentes necesarios para dar continuidad al flujo de agua.

Se realizó un análisis hidráulico de la red de distribución mediante el software EPANET, con el fin de acercarse al funcionamiento real, identificando algunas condiciones en la prestación de servicio, se creó un modelo tridimensional de la planta de tratamiento junto con su respectivo inventario de accesorios, como base de información para el control y operación de la misma.

Palabras claves: Catastro, Topografía convencional, Georreferenciación, Modelación hidráulica, Modelo tridimensional

Tabla de Contenido

Introducción	1
Formulación del Problema.....	2
Objetivos	3
General:	3
Específicos:	3
Justificación	4
Marco Geográfico	5
Marco Metodológico:.....	10
Etapa 1. Inspección	10
Etapa 2. Edición	11
Etapa 3. Topografía y Georreferenciación	11
<i>Levantamiento planimétrico y altimétrico.....</i>	<i>11</i>
<i>Referenciación con equipos de precisión</i>	<i>11</i>
Etapa 4. Planos y Modelación del sistema	12
Flujograma:	13
Etapa de inspección	14
Información primitiva de la red:	14
Planos urbanísticos antecedentes.....	18
Trazado y denominación de vías publicas	20
Esquematización zona predial	20
Estructuración de fichas técnicas	25
Creación del formato de apoyo en campo.....	27
Croquis de plano base.....	27
Etapa de edición	31
Definición y codificación de cruces.....	31
Identificación de accesorios de la red.....	32
Ubicación de tuberías y accesorios en plano digital.....	33
Nomenclatura de tubería y accesorios	33
Elaboración Plano general provisional	34
Etapa de topografía y Georreferenciación,	36

Levantamiento planimétrico y altimétrico	36
Georreferenciación	39
Referenciación equipos de precisión	40
Modificación de plano general	40
<i>Creación Curvas de nivel</i>	41
Etapas de Planos y Modelación	50
Planos Catastro	50
Modelamiento del sistema de distribución	50
<i>Exportación de la red a EPANET</i>	51
<i>Desarrollo en Software</i>	54
<i>Puesta en marcha del modelo</i>	66
<i>Extracción de datos</i>	66
Modelación tridimensional Planta de tratamiento de agua potable	68
Análisis y Resultados	69
Medición equipos GPS	69
<i>Proceso de campo</i>	69
<i>Proceso de oficina</i>	70
<i>Esquema de determinación</i>	73
<i>Postproceso</i>	73
Levantamiento de campo	76
<i>Corrección de datos</i>	76
Fichas técnicas del Catastro de redes	82
<i>Catastro de válvulas</i>	82
<i>Catastro de tuberías</i>	82
<i>Catastro de reductores</i>	82
<i>Catastro de cruces</i>	83
<i>Catastro de tee</i>	83
<i>Catastro de codos</i>	83
<i>Catastro de tapones</i>	83
Plano general	83
Plano zonal	83
Plano esquinero	84
Modelación 3D e inventario de accesorios de la planta de tratamiento	84
<i>Inventario de accesorios de la planta de tratamiento</i>	86

Resultados modelamiento hidráulico en EPANET	88
Recursos generados en el proyecto	101
Conclusiones	105
Recomendaciones	109
Bibliografía	110
Anexos	113

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Mapa político departamental de Colombia.</i>	5
Figura 2 <i>División política del departamento de Boyacá.</i>	6
Figura 3 <i>Vías de acceso al municipio de Susacón.</i>	8
Figura 4 <i>Mapa de la cabecera municipal de Susacón.</i>	9
Figura 5 <i>Mapa de ubicación de la PTAP.</i>	10
Figura 6 <i>Flujo grama del proyecto social.</i>	13
Figura 7 <i>Sistema de acueducto desde su captación hasta la red de distribución con su perfil del terreno aproximado.</i>	14
Figura 8 <i>Foto de la Bocatoma de fondo.</i>	15
Figura 9 <i>Foto del desarenador.</i>	15
Figura 10 <i>Foto de la Planta de tratamiento Compacta.</i>	16
Figura 11 <i>Foto del Tanque de almacenamiento con capacidad de 40m3.</i>	17
Figura 12 <i>Foto del Tanque de almacenamiento con capacidad de 500m3.</i>	17
Figura 13 <i>Plano de zonas de futura expansión y área construida.</i>	19
Figura 14 <i>Plano de Susacón con zonas Urbanísticas.</i>	19
Figura 15 <i>Trazado y denominación de vías públicas del municipio Susacón.</i>	20
Figura 16 <i>Esquema predial municipio de Susacón.</i>	22
Figura 17 <i>Esquema predial municipio de Susacón.</i>	23
Figura 18 <i>Esquemmatización de predios IGAC.</i>	24
Figura 19 <i>Formato de campo zona 1.</i>	28
Figura 20 <i>Formato de campo zona 2.</i>	29
Figura 21 <i>Croquis para base de información.</i>	30
Figura 22 <i>Definición y Codificación de cruces.</i>	31
Figura 23 <i>Ubicación de accesorios en plano croquis.</i>	33
Figura 24 <i>Plano General Base.</i>	35
Figura 25 <i>Fotos del equipo Estación Total NIKON-NPL352.</i>	37
Figura 26 <i>Poligonal para el levantamiento topográfico.</i>	38
Figura 27 <i>Foto de los Equipos GPS TRIMBLE 4000.</i>	39
Figura 28 <i>Esquemmatización de los puntos Almacenados en campo.</i>	40
Figura 29 <i>Polígono seleccionado con puntos GPS1-GPS2.</i>	42

Figura 30 Configuración de Proyección de coordenadas en GlobalMapper	43
Figura 31 Datos en línea para descargar el diagrama de emisión térmica y reflexión terrestre.....	44
Figura 32 Diagrama de emisión térmica y reflexión terrestre en GlobalMapper.....	45
Figura 33 Creación del contorno de líneas en GlobalMapper	46
Figura 34 Curvas de nivel maestras y secundarias en GlobalMapper	47
Figura 35 Exportación de datos de GlobalMapper a AutoCAD	47
Figura 36 Selección de la versión de AutoCAD y guardar.	48
Figura 37 Curvas de nivel generadas con elevación real y puntos GPS 1 y GPS2.	49
Figura 38 Red de distribución de Susacón en AutoCAD.....	51
Figura 39 Conversión de red en AutoCAD en EpaCAD	52
Figura 40 Red de distribución representada en el software EPANET	53
Figura 41 Valores por defecto, establecidos para la simulación del software	54
Figura 42 Propiedades de la tubería en EPANET	56
Figura 43 Propiedades de las conexiones en EPANET	62
Figura 44 Propiedades de las Válvulas en EPANET	64
Figura 45 Propiedades de los depósitos en EPANET	65
Figura 46 Comenzar análisis hidráulico de la red	66
Figura 47 Generar gráficos y tablas de los resultados	67
Figura 48 Tabla de datos generada por EPANET	67
Figura 49 Fotos de la planta de tratamiento municipio de Susacón.	68
Figura 50 Posicionamiento placa en el punto GPS 1y GPS 2.....	69
Figura 51 Posicionamiento de equipo en el punto GPS 1 y GPS 2.....	70
Figura 52 Esquema de determinación de coordenadas GPS1 y GPS2	73
Figura 53 Representación de proyecciones en una poligonal.....	79
Figura 54 Error de cierre lineal en poligonales cerradas.....	79
Figura 55 Planta de tratamiento vista externa.....	84
Figura 56 Planta de tratamiento vista superior o plano planta	85
Figura 57 Planta de tratamiento vista esquina o perfil esquinero	85
Figura 58 Visión General del modelo Hidráulico	88
Figura 59 Contorno de cotas de elevación generado a través de EPANET.	89

Figura 60 <i>Diámetros de la tubería en la red</i>	90
Figura 61 <i>Gráfico de demanda de caudales en cada nodo de la red.</i>	92
Figura 62 <i>Gráfico de caudales presentes en la tubería.</i>	93
Figura 63 <i>Gráfico de velocidades de flujo en la tubería.</i>	94
Figura 64 <i>Presiones en la red de distribución</i>	96
Figura 65 <i>Gráfico de Presión en cada uno de los nodos de consumo hídrico presentes en el municipio.</i>	97
Figura 66 <i>Gráfico de pérdidas unitarias en la red.</i>	99
Figura 67 <i>Gráfico de pérdidas unitarias en la red.</i>	100

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Formato ficha técnica para válvulas</i>	25
Tabla 2 <i>Formato ficha técnica para tuberías</i>	26
Tabla 3 <i>Formato ficha técnica para accesorios</i>	26
Tabla 4 <i>Datos tomados en el recorrido por el municipio</i>	32
Tabla 5 <i>Codificación de los accesorios y componentes del sistema.</i>	34
Tabla 6 <i>Parámetros y unidades comprendidas por EPANET</i>	55
Tabla 7 <i>Consumos promedios mensuales registrados por los diferentes estratos sociales de la ciudad de Tunja departamento de Boyacá</i>	59
Tabla 8 <i>Nivel de complejidad según la cantidad de población</i>	60
Tabla 9 <i>Dotación Neta por habitante según nivel de complejidad</i>	60
Tabla 10 <i>Coeficiente de pérdida de algunos accesorios</i>	63
Tabla 11 <i>Coordenadas resultantes GPS1 y GPS2</i>	76
Tabla 12 <i>resultado del cierre de la poligonal cerrada</i>	77
Tabla 13 <i>Accesorios de la planta de tratamiento tipo compacta.</i>	86
Tabla 14 <i>Accesorios y elementos pertenecientes al proceso de tratamiento del agua.</i>	86
Tabla 15 <i>Válvulas pertenecientes al proceso de tratamiento del agua.</i>	87
Tabla 16 <i>Diámetros de tubería y porcentaje presentes en la red de distribución</i>	91
Tabla 17 <i>Velocidades máximas según material de tuberías</i>	95
Tabla 18 <i>Tabla de resumen de resultados</i>	97
Tabla 19 <i>Tabla de porcentaje y cantidad de usuarios obtenidos en los nodos de la red</i>	98
Tabla 20 <i>Costos de oficina del proyecto.</i>	101
Tabla 21 <i>Costos de personal del proyecto.</i>	101
Tabla 22 <i>Costos de trabajo en campo.</i>	102
Tabla 23 <i>Foto de equipos y personal del proyecto</i>	103

Lista de Ecuaciones

Ecuación 1. Error Angular	77
Ecuación 2. Tolerancia Angular	77
Ecuación 3 Corrección Angular	78
Ecuación 4. Calculo de Proyecciones.	78
Ecuación 5. Error de cierre lineal eje de las ordenadas.	80
Ecuación 6. Error de cierre lineal. Eje de las abscisas.....	80
Ecuación 7. Error de cierre lineal.	80
Ecuación 8. Precisión de la poligonal.....	80
Ecuación 9. Tolerancia lineal para terreno llano	81
Ecuación 10. Tolerancia lineal para terreno ondulado	81
Ecuación 11. Corrección parcial sobre la proyección Norte – Sur	81
Ecuación 12. Corrección parcial sobre la proyección Este - Oeste	81
Ecuación 13. Determinación de la coordenada Norte	81
Ecuación 14. Determinación de la coordenada Norte	81

Introducción

Los sistemas de acueductos están formados por un conjunto continuo de estructuras, tuberías y accesorios los cuales realizan la función de suministrar agua potable, desde fuentes naturales (ríos, quebradas, entre otros.) hasta el registro de cada suscriptor. De allí que un acueducto se puede considerar un sistema de abastecimiento de agua potable, diseñado con el fin de satisfacer las necesidades fisiológicas, salud, comodidad o bienestar de las personas (Gomez Otero, 2006).

El catastro de redes de distribución tiene como objetivo contar con una base de datos georreferenciadas de información real de los elementos que la componen y sus respectivas especificaciones técnicas. Esta base funciona como un instrumento para el control y prevención de los posibles daños en el funcionamiento, así como la correcta realización de operaciones y mantenimiento eficiente del sistema. Una de las estructuras que conforma el sistema de acueducto son las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP), las cuales se encargan de purificar el agua mediante la ejecución de procesos fisicoquímicos volviéndola óptima para el consumo de los seres humanos evitando riesgos en la salud y contaminaciones.

Con el fin de contribuir al desarrollo y bienestar de la comunidad del municipio de Susacón, se presenta la oportunidad de desarrollar esta base catastral como una primera aproximación a la realidad del estado actual de las redes de acueducto encargada de satisfacer la necesidad de abastecimiento del recurso hídrico para su saneamiento básico, prestándose para un futuro catastro oficial que soporte la actualización y renovación de redes mediante información certificada por la ejecución de apiques, aforos de agua y pruebas de calidad con personal mínimo requerido para una completa obtención de información y formación del archivo catastral de redes.

Formulación del Problema

El agua, es un patrimonio nacional de uso público fundamental para los seres vivos, la cual está sometida a un consumo creciente por parte del ser humano, debido al incremento de la población que genera una mayor demanda; por tal razón el abastecimiento de agua potable se ha convertido en una base fundamental para el desarrollo de actividades humanas, que exige un saneamiento básico, evitando así enfermedades hídricas como el cólera o enfermedades diarreicas.

Cuando se construye y opera un sistema de distribución es necesario realizar un monitoreo que permita hacer un análisis o evaluación de su funcionamiento, sumado a esto, la construcción de nuevas viviendas, hace que estas redes se vuelvan insuficientes para suministrar el agua al 100% de la comunidad obligando a la entidad de control a mejorar la red ya instalada o implementar nuevos tramos. Allí toma valor el catastro técnico de la red, ya que contar con información precisa de sus componentes brinda la facilidad de un mejor control alrededor del estado físico del sistema y del recurso hídrico.

La Unidad de Servicios Públicos del municipio de Susacón es la encargada de la operación, el mantenimiento y la potabilización del agua; sin embargo, esta entidad necesita un catastro técnico de la red de distribución de agua potable donde se representen con mayor detalle los componentes del sistema, además de esto, contar con una base cartográfica en la cual se ostenten los accesorios y tuberías que conforman el sistema de distribución para la planeación y realización de estudios posteriores, sean de expansión o rehabilitación.

Objetivos

General:

Realizar el catastro de red de distribución de agua potable del municipio Susacón en el departamento de Boyacá.

Específicos:

- ⇒ Organizar la información existente sobre el sistema de acueducto en un plano, el cual será la base para el catastro de redes.
- ⇒ Obtener una base de datos donde se integren las fichas técnicas de los accesorios registrados del sistema.
- ⇒ Elaborar los planos planta, perfil de la planta de tratamiento de agua potable con su inventario de accesorios.
- ⇒ Realizar el modelamiento hidráulico del funcionamiento de la red de distribución mediante el software EPANET.
- ⇒ Dotar de planos catastrales de la red de distribución de agua potable al municipio de Susacón.

Justificación

La realización de un catastro de la red de distribución en el municipio de Susacón, brinda la facilidad para controlar el funcionamiento de esta, el contar con información precisa físico-técnica de los componentes del sistema, permite realizar una buena operación y un adecuado mantenimiento además de saber cómo se está llevando a cabo la distribución de agua y cuál es la cobertura del sistema, para que con esta información se puedan realizar diagnósticos del servicio, actividades preventivas o estadísticas de pérdidas de agua causadas ya sea por daños en tuberías o conexiones ilegales.

El catastro técnico de redes de agua potable ofrece las pautas necesarias para realizar actividades de operación, permite conocer el estado de la red, identifica de manera precisa y referenciada cada uno de los elementos de los sistemas que la componen, contribuye en el proceso de diagnóstico de las pérdidas físicas del agua, ayuda a conocer los detalles técnicos y operacionales de la totalidad de los elementos que conforman la red, facilita efectuar maniobras de operación y mantenimiento con seguridad y exactitud, puesto que se conoce la ubicación precisa de los diferentes elementos de la red.

También el catastro técnico de agua potable es útil como instrumento para apoyar en la elaboración de planes de desarrollo, planes de ordenamiento territorial y para la formulación y evaluación de proyectos de inversión, ya que permite determinar la factibilidad técnica de diferentes proyectos.

Marco Geográfico

Este proyecto se desarrollará en el municipio de Susacón el cual está localizado en la cordillera oriental de Colombia, zona nororiental del departamento de Boyacá. Pertenece a la provincia de norte y su cabecera municipal está situada a $6^{\circ} 13' 46''$ de latitud norte y $72^{\circ} 41' 28''$ de longitud al oeste del meridiano de Greenwich.

Figura 1

Mapa político departamental de Colombia.

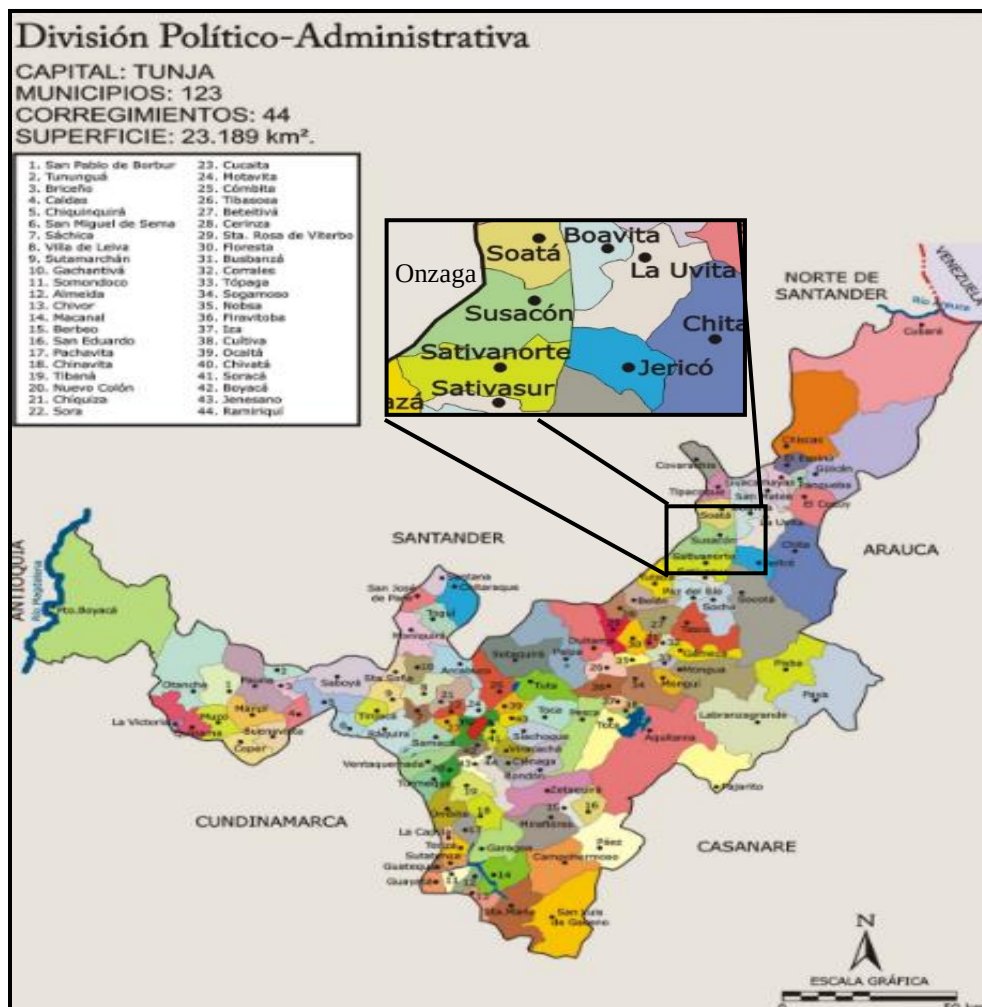


Nota: Tomado de la página web del municipio de Susacón. http://www.susacon-boyaca.gov.co/mapas_municipio.shtml?apc=bcxx-1-&x=1826512

El municipio de Susacón se encuentra limitado por el norte con el municipio de Soata al oriente con los municipios Boavita, la Uvita, y Jericó, por el sur limita con los municipios de Sativa Norte y al occidente con Onzaga (Departamento de Santander Sur)

Figura 2

División política del departamento de Boyacá.



Nota: Tomado de la web: https://sogeocol.edu.co/dptos/boyaca_05_division.jpg

Susacón cuenta con una extensión total de 191.000 ha, de las cuales 400 ha están contempladas como área urbana y 190.600 ha clasificadas como suelo rural siendo esta la mayor parte de campos donde se produce maíz, frijol, trigo y papa además de estos también se produce tabaco, caña de azúcar, tomate, café entre otros.

Así mismo, este territorio total del municipio se encuentra subdividido en 8 veredas las cuales se muestran en la siguiente Figura y son: la vereda San Ignacio, la vereda Guayacamal, la vereda Centro, la vereda Salitre, la vereda Tobal, la vereda Tochupa, la vereda Hato y la vereda Guantiva

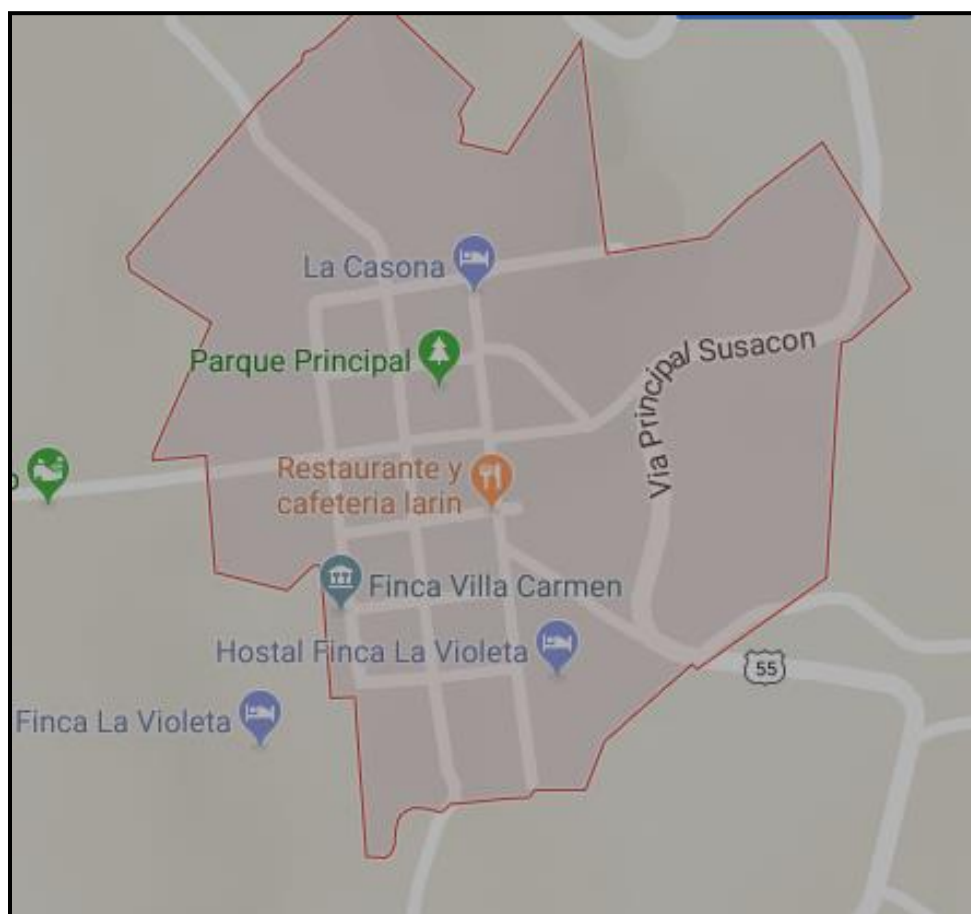
El relieve del territorio pertenece al sistema andino y forma parte del altiplano cundiboyacense, en consecuencia a esto, la cabecera municipal de Susacón está a una elevación de 2480 m.s.n.m. en donde se presentan diferentes climas los cuales favorecen la producción agrícola y ganadera siendo estas las actividades de mayor dedicación. El acceso a Susacón se realiza por la carretera central del norte, la cual cruza por el centro del pueblo; la distancia de referencia medida desde la ciudad de Tunja es de 147 km y desde el municipio de Soata 19 km

El casco urbano de Susacón comprendido en 400 ha, área en la que se aloja una población de 607 habitantes distribuidos alrededor de 10 manzanas aproximadamente en las que también se han establecido instituciones, iglesia, centros educativos, hospitales y demás. En el centro del casco urbano, se encuentra el parque principal de Susacón donde se realizan actividades como la fiesta de santos y los lunes la realización de ferias o como se llama en el municipio, el mercado

<https://www.google.com/maps/dir/Tunja,+Boyacá/Susacón,+Boyacá>

Figura 4

Mapa de la cabecera municipal de Susacón



Nota: Tomado de Google Maps. <https://www.google.com/maps/place/Susacón,+Boyacá>

La ejecución de este proyecto se llevará a cabo en dicho casco urbano, donde se encuentra construida la red de distribución del sistema de acueducto. También se encuentra ubicada la planta de tratamiento de agua potable al suroeste a una distancia aproximada de 459m medidos hasta la red y a 71,16 m hasta el tanque de almacenamiento

Figura 5*Mapa de ubicación de la PTAP*

Notas: Tomado de Google Earth. <https://earth.google.com/web/search/susac%C3%B3n+boyaca>

Marco Metodológico:

Para generar un buen catastro de la red distribución de agua potable, es necesario reunir toda la información base existente, por esto, el catastro se desarrollará en cuatro etapas que son:

Etapas 1. Inspección

En esta etapa se construye una base de datos geográfica que almacenara la documentación recolectada. Se solicitará al municipio la información general sobre este denotando así los aspectos urbanísticos y se complementara la información de los elementos

visibles que componen la red de distribución, basado en el conocimiento del fontanero. Aquí se dará comienzo a trazar el plano base donde se registrarán los aspectos generales del municipio

Etapas 2. Edición

Esta será la etapa de modificación y corrección de la información técnica obtenida del conocimiento del fontanero y el comienzo de la elaboración de los planos: general, zonal y esquintero, basándose en el plano base planteado en la etapa de inspección.

Etapas 3. Topografía y Georreferenciación

En la etapa de topografía se hará la referenciación de dichos elementos de la red ya establecidos anteriormente. Se efectuarán las actividades de planimetría y altimetría las cuales brindarán la posición geográfica y la elevación correspondiente a cada accesorio o complemento

Levantamiento planimétrico y altimétrico

Para dar inicio se debe definir las coordenadas “x, y” respectivas, es importante iniciar desde placas certificadas o georreferenciadas, luego se deben calcular las poligonales de cierre y el posicionamiento de los accesorios. También se definirá la altura a la que se encuentra el accesorio tomando como referencia dos puntos específicos de amarre

Referenciación con equipos de precisión

Es el registro de la localización e información de cualquier objeto sobre la superficie terrestre, que permite a partir de este registro, ubicar y consultar los atributos del objeto cuando sea necesario. Este registro se puede dar en coordenadas reales (X, Y, Z) o en medidas relativas a otros objetos identificables en la superficie terrestre.

Los equipos de precisión usados para esta Referenciación permiten ubicar los elementos con coordenadas reales a partir de puntos geodésicos establecidos o a partir de dos puntos definidos con GPS de alta precisión. Para obtener las coordenadas reales de un punto se pueden utilizar diferentes tecnologías como:

- Estación total con amarre a puntos de la red geodésica.
- Topografía convencional con amarre a puntos de la red geodésica.
- Receptores GPS doble frecuencia de alta precisión con especificaciones técnicas para aplicaciones en topografía y geodesia.

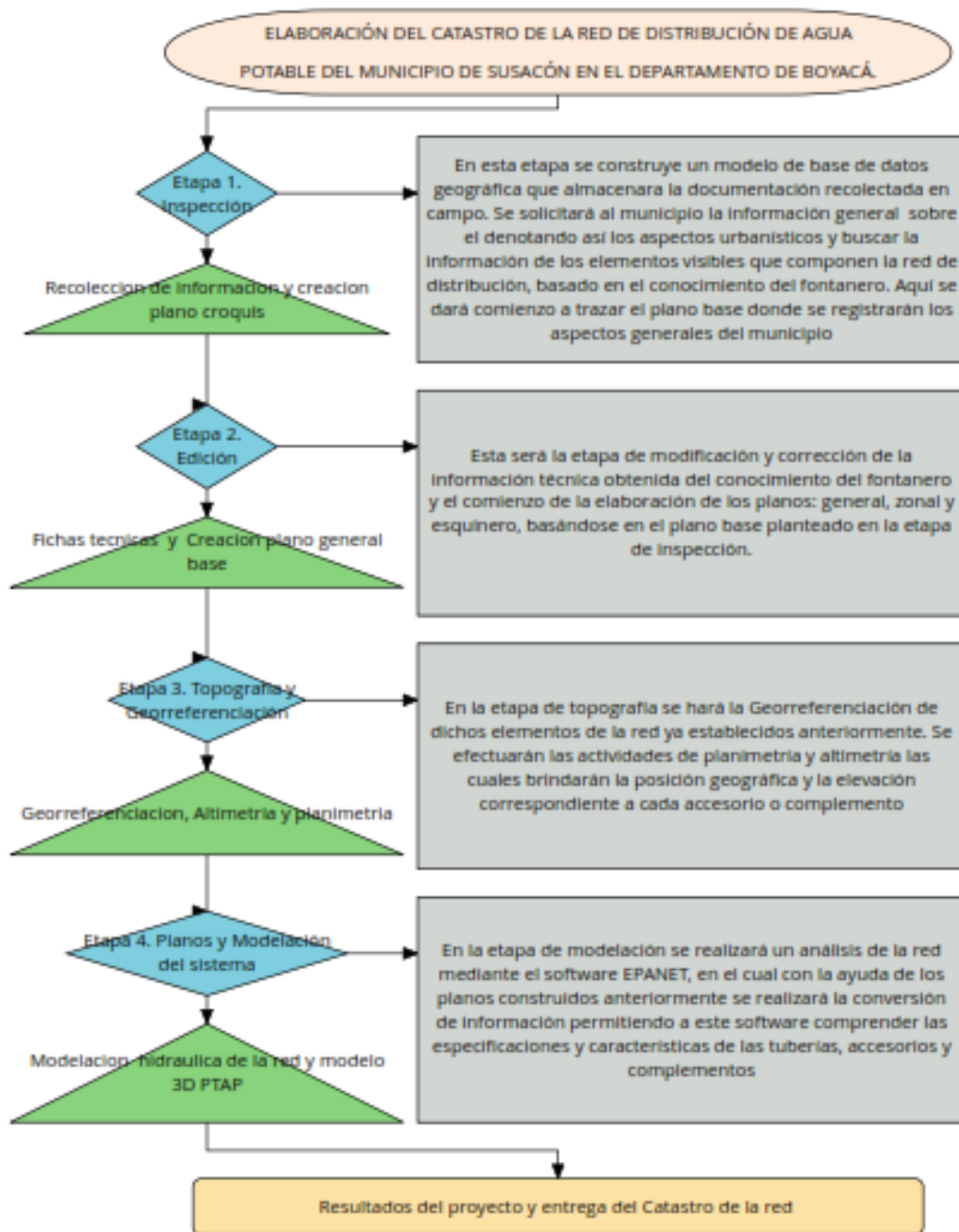
Etapas 4. Planos y Modelación del sistema

En la etapa de modelación se realizará un análisis de la red mediante el software EPANET, en el cual con la ayuda de los planos construidos anteriormente se realizará la conversión de información permitiendo a este software comprender las especificaciones y características de las tuberías, accesorios y complementos

Flujograma:

Figura 6

Flujo grama del proyecto social

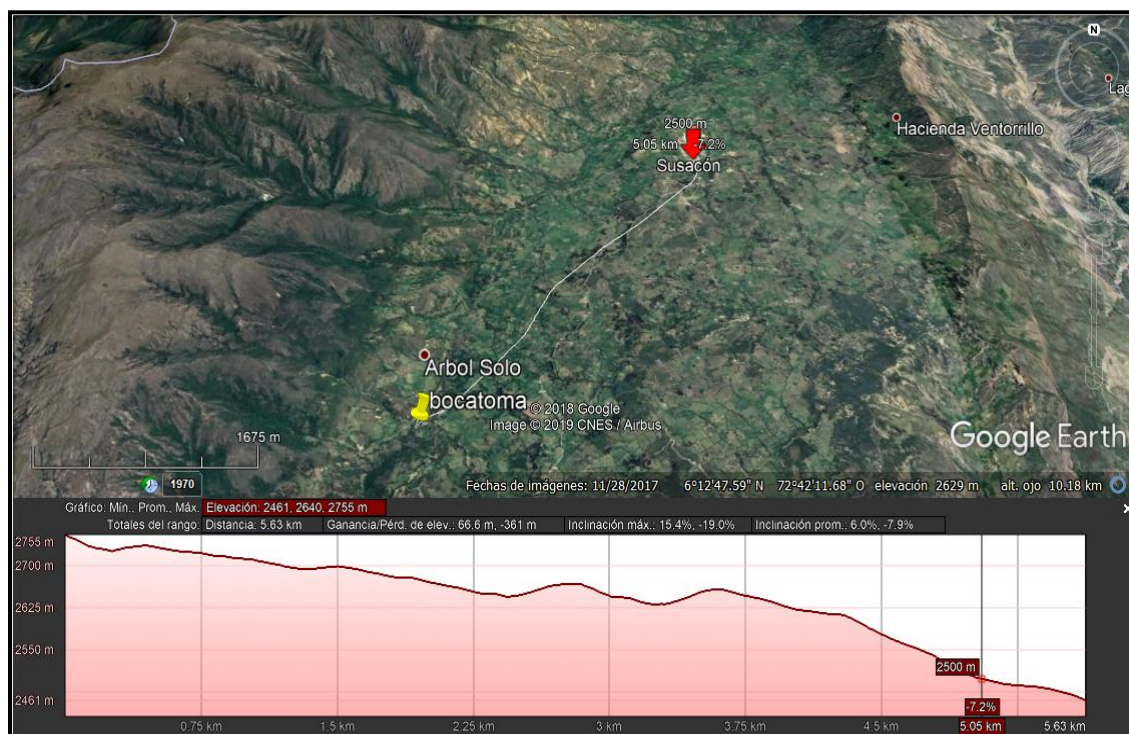


Etapa de inspección

Información primitiva de la red:

Figura 7

Sistema de acueducto desde su captación hasta la red de distribución con su perfil del terreno aproximado.



Notas: Tomado de Google Earth.

<https://www.google.com/maps/dir/Tunja,+Boyacá/Susacón,+Boyacá>

Al sur occidente del municipio se realiza la captación del recurso hídrico proveniente del río Guantiva, por medio de una Bocatoma de fondo (ver Figura 8) la cual está diseñada para captar un caudal de 8 Lt/seg de agua cruda mediante una rejilla con barras cuadradas ubicadas paralelamente al ancho de la rejilla.

Figura 8

Foto de la Bocatoma de fondo



Luego el agua es conducida por una tubería de aducción con diámetro de 8 pulgadas en material de PVC hasta el llegar al desarenador (ver Figura 9); el cual, se encarga de llevar a cabo la operación de sedimentación de las partículas sólidas provenientes del río para devolverlas a su cauce.

Figura 9

Foto del desarenador



Después de pasar por el desarenador es conducida por un tubo de 8 pulgadas de diámetro en material de PVC, esta conducción se divide en dos ramales que son destinados así: un ramal para la planta de tratamiento del municipio y el otro para la vereda Guayacamal.

La rama que se dirige a la red urbana transporta el agua por un tubo 3 pulgadas de diámetro de PVC, hasta conectar con un tubo destapado con diámetro de 3 pulgadas en PVC por el cual se capta otra parte del agua con menos sedimentos la cual es dirigida a la planta de tratamiento (ver Figura 10) en donde se llevan a cabo diferentes procesos de tratamiento del agua como son la floculación, coagulación, filtración y cloración.

Figura 10

Foto de la Planta de tratamiento Compacta



Esta planta tipo compacta está diseñada para tratar un caudal de 5 Lt/seg, después de que el agua es tratada y purificada, apta para el consumo humano, se dirige los tanques de distribución ubicados de la siguiente manera; el primer tanque con capacidad de 40 m³ (ver Figura 11) está ubicado junto a la planta de tratamiento y el segundo tanque exterior con capacidad de 500m³ (ver Figura 12) que está ubicado cerca al municipio a unos 500 metros aproximadamente de la red a la planta de tratamiento, encargados de almacenar y enviar el agua

por la red matriz con una presión suficiente capaz de llegar a los puntos de mayor dificultad de suministro de las viviendas.

Figura 11

Foto del Tanque de almacenamiento con capacidad de 40m³



Figura 12

Foto del Tanque de almacenamiento con capacidad de 500m³



En la cabecera municipal de Susacón existe una red de distribución de agua potable la cual abastece 264 suscriptores registrados en el sistema controlado por la Unidad de Servicios

Públicos de Susacón. Estos representan los 607 habitantes que se encuentran residiendo en el centro urbano, generando un consumo hídrico.

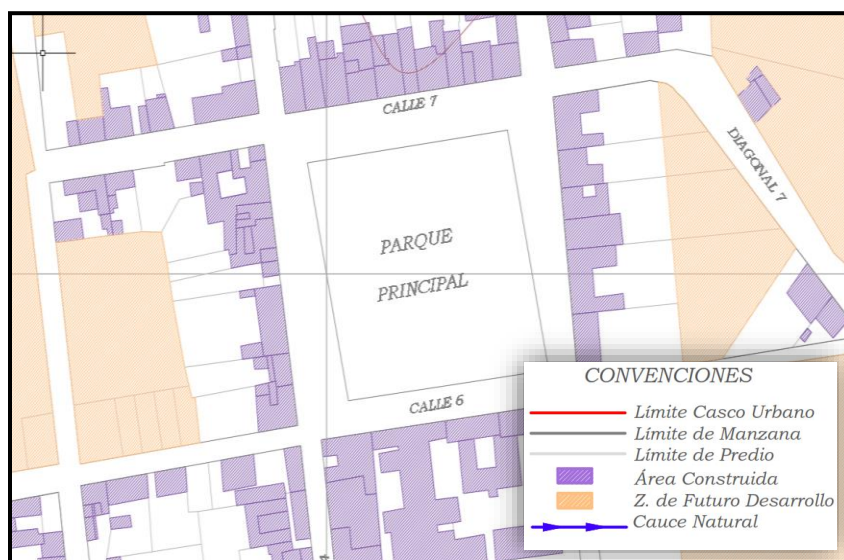
Planos urbanísticos antecedentes

El municipio cuenta con planos urbanísticos de su cabecera, los cuales se elaboraron en abril del año 2000, fueron digitalizados por el Ing. Osmar a. Cordón B. y Ing. Juan Carlos Martínez C (ver Anexo A) . En ellos se encuentra información sobre aspectos urbanísticos como: zona predial, calles urbanas, zonas de futura construcción etc. siendo esta información un referente a tener en cuenta en el desarrollo de este catastro, denotando que esta información permite tener idea de la posición de los componentes de la red de distribución.

Se acudió al Instituto Geográfico Agustín Codazzi y se solicitó la plancha donde se encuentra el municipio de Susacón, dicha plancha se denomina 152IIC3 en la que se observa el municipio completamente, como hoy en día se puede realizar la búsqueda a través de la página web se localizó el municipio y se tomó una imagen a escala 1:8000 generada por el mismo IGAC (ver Anexo B) donde se muestra la cabecera municipal de Susacón municipio con el fin de obtener otra base cartográfica.

Figura 13

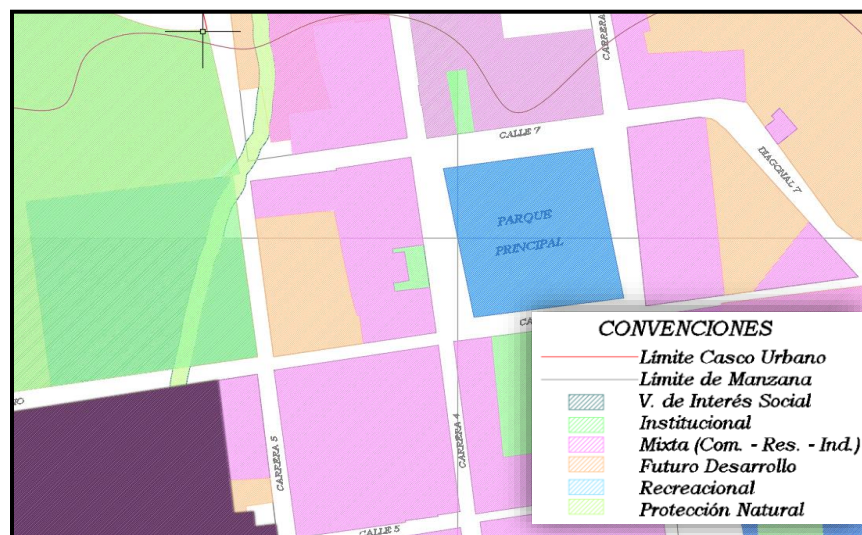
Plano de zonas de futura expansión y área construida.



Notas: Planos digitalizados por el Ing. Osmar a. Cordón B. y Ing. Juan Carlos Martínez C.

Figura 14

Plano de Susacón con zonas Urbanísticas.



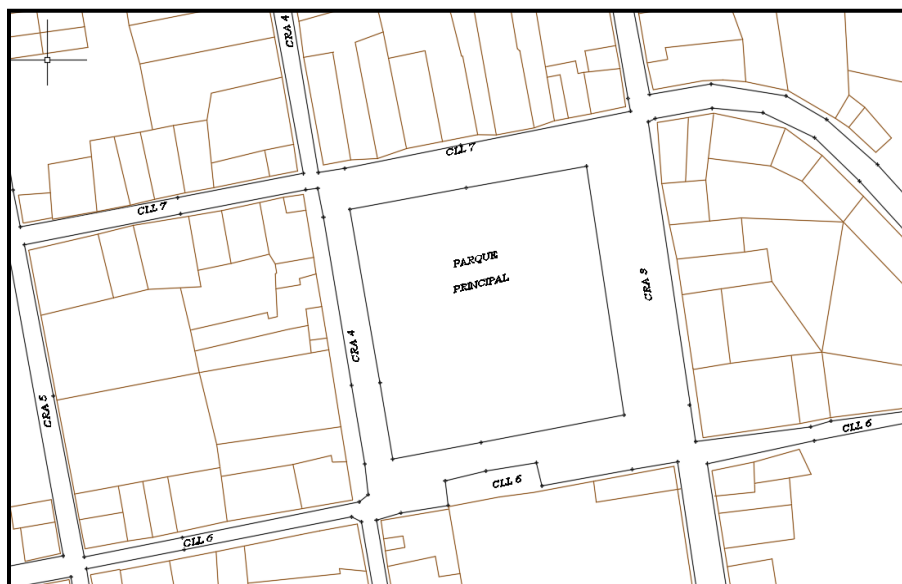
Notas: Planos digitalizados por el Ing. Osmar a. Cordón B. y Ing. Juan Carlos Martínez C.

Trazado y denominación de vías publicas

La denominación de las vías públicas es otro factor útil en la realización del catastro ya que estas calles brindan la posibilidad de referenciar cualquier componente de la red que se encuentre en esta, cabe mencionar que no es una ubicación precisa del accesorio si no una aproximación para llegar a este, razón por la cual la denominación tomada fue la abreviatura de las Calles y Carreras conservando el mismo número como se muestra en la siguiente .

Figura 15

Trazado y denominación de vías públicas del municipio Susacón.



Notas: Planos digitalizados por el Ing. Osmar a. Cordón B. y Ing. Juan Carlos Martínez C

Esquematización zona predial

A parte de los planos urbanísticos del año 2000 el municipio posee un plano de un levantamiento de manzaneo, calles, postes, algunos muros y paredes de casas externas, llevado a

cabo aproximadamente en el año 2011 (Ver Anexo C), es un plano a escala real y el más actualizado, útil como plano base del municipio de Susacón.

Una vez analizada la información de los 3 planos:

- Planos urbanísticos digitalizados en el año
- Levantamientos realizados en el año 2011
- Imagen satelital de predios obtenida del Geo portal – Consulta catastral del Instituto

Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) actualizado al año 2018.

Se procedió a realizar un empalme entre estos tres planos, permitiendo que el plano resultante fuera la base del plano general del catastro bajo la modificación de algunos aspectos en los predios los cuales, se encuentran actualizados hasta julio de 2018 fecha donde se realizó corte en el IGAC (<https://noticias.igac.gov.co/es/contenido/actualizaciones-y-novedades-en-el-geoportal-del-igac>)

Figura 16

Esquema predial municipio de Susacón.



Notas: Planos digitalizados por el Ing. Osmar a. Cordón B. y Ing. Juan Carlos Martínez C.

Figura 17

Esquema predial municipio de Susacón



Notas: Plano digital del levantamiento realizado en el año 2011.

Figura 18

Esquematzación de predios IGAC



Notas: Tomado del Geo portal web del IGAC.

<https://geoportal.igac.gov.co/es/contenido/consulta-catastral>.

Estructuración de fichas técnicas

Las fichas técnicas son una parte importante en la realización del catastro pues en ellas se consignó la información de cada uno de los componentes de la red de distribución, siendo útil para posibles mejoras o mantenimientos futuros. Para estas fichas técnicas se tuvo en cuenta que los accesorios de la red poseen más características descriptivas a diferencia de otros.

A continuación, se muestran las fichas designadas a cada accesorio presente en el municipio.

Tabla 1

Formato ficha técnica para válvulas

Ficha tecnica de Valvulas					
Departamento	Boyacá	Municipio	Susacón	Fecha de levantamiento:	martes, 5 de febrero de 2019
Entidad prestadora del servicio		Unidad de Servicios Públicos del municipio de Susacón			
Topografo y Dibujante	Juan Sebastian Guzman Neira		Fontanero	Expedido barrera	
Ficha tecnica de Valvulas					
Imagen	N°				
	Localizacion				
	Coordenadas	Norte			
		Este			
	Ubicación				
	Cruce				
	Zona				
	Nomenclatura de Valvula				
	Tipo de valvula				
	Sentido de giro				
	N° Vueltas				
	Diametro (in)				
	Material				
	Tipo de union				
	Cota razante				
	Profundidad				
	Proteccion				
Material Razante					
Fecha de instalacion					
Servicio					
Observaciones					

Tabla 2

Formato ficha técnica para tuberías

[illegible]

Tabla 3

Formato ficha técnica para accesorios

[illegible]

Creación del formato de apoyo en campo

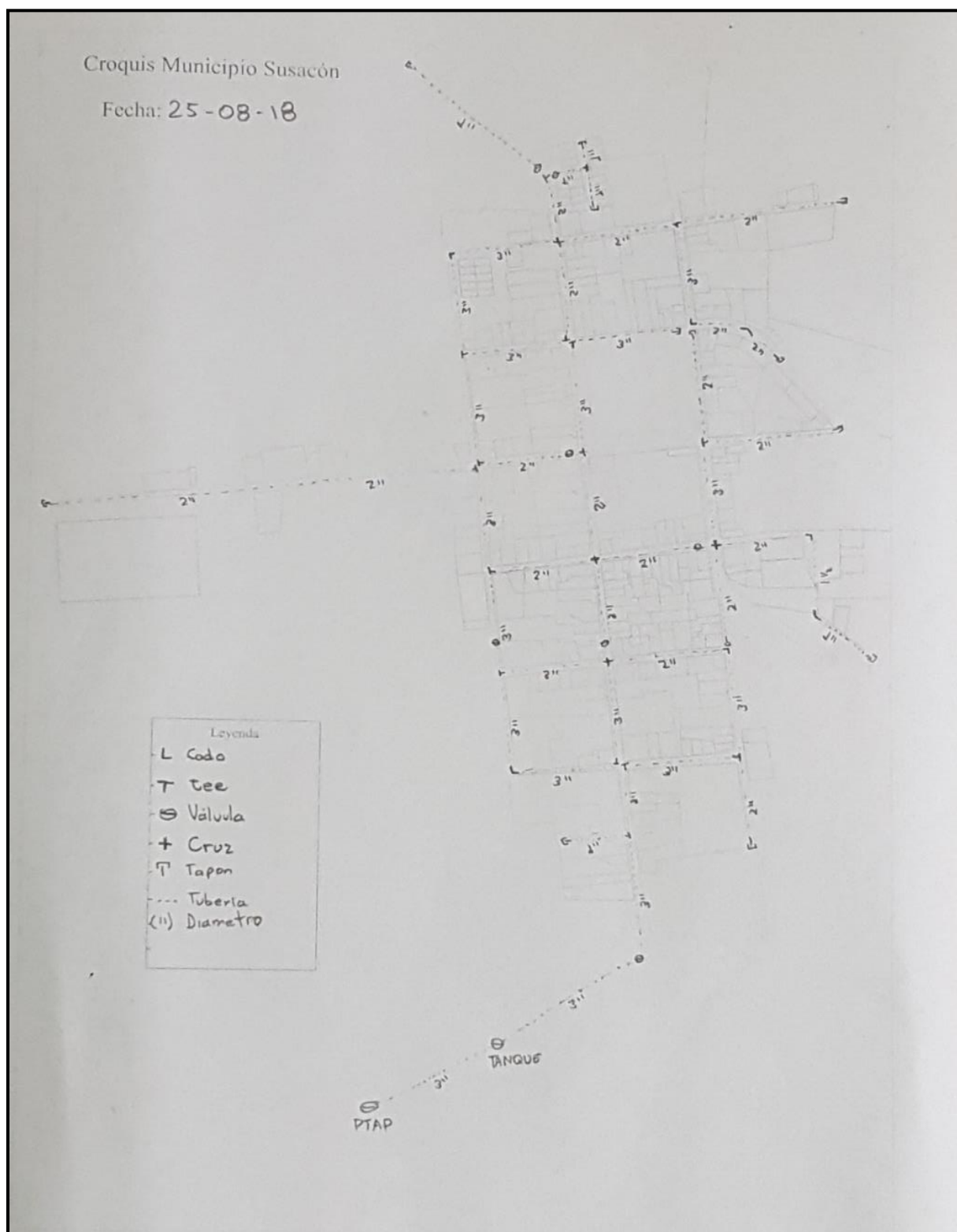
Se creó un formulario de apoyo para tomar información de los componentes del sistema de acueducto con sus características, ayudando a la realización del levantamiento topográfico y permitiendo obtener con mayor claridad la ubicación y revelación de accesorios. Para este formulario dividió al municipio en dos zonas (ver Figura 19 y Figura 20) que esquematizan todos los aspectos considerando las características de cada componente presente allí, detallando los accesorios y válvulas.

Croquis de plano base

En la visita técnica al municipio, se realizó un recorrido a través de toda la red de distribución de agua potable registrando cada uno de los accesorios y componentes del sistema, que son de fácil memoria por el fontanero, como base de información para iniciar una el catastro de la red de agua potable (ver Figura 21, Anexo D.).

Figura 21

Croquis para base de información.



Etapas de edición

Definición y codificación de cruces

Los planos esquineros hacen parte fundamental del catastro, estos se generan en un cruce de vías urbanas, razón por la cual la definición de los cruces y codificación de estos permitiendo una mejor ubicación de dichos accesorios, de esta forma se le asignó un código a cada cruce de manera consecutiva de izquierda a derecha y de arriba abajo expresada en número Romano. En la Figura 22 se muestra cómo se llevó cabo la codificación de los cruces en el municipio.

Figura 22

Definición y Codificación de cruces



Identificación de accesorios de la red

Durante la recolección de información se realizó un recorrido con el fontanero en el cual se logró recolectar poca información de los accesorios de la red, dichos accesorios se tuvieron en cuenta pero hubo que hacer modificaciones en cruces donde el accesorio no era el indicado como por ejemplo en lugar de una cruz iban instaladas dos tee cubriendo ambos sentidos de flujo. En los casos de no visibilidad se planteó la realización de apiques para dar una mejor certeza del accesorio o tubería no visible a lo cual el municipio informo que tienen en espera la ejecución de reparaciones en algunas vías, las cuales permitirán verificar la profundidad de los accesorios y el estado físico de algunos elementos. A las válvulas, se les realizó la inspección visual superficial puesto que los agujeros se encuentran cubiertos de muchos residuos sólidos y orgánicos, dificultando su control y operación

Tabla 4

Datos tomados en el recorrido por el municipio

Tipo de accesorio	Cantidad(Ud.)
Tapón	14
Tee	16
Cruce	4
Válvula	9
Codo	7

Ubicación de tuberías y accesorios en plano digital

Se ubicaron los componentes de la red que eran de conocimiento o memoria del fontanero y algunos elementos visibles como las válvulas en el plano general base digital (ver Figura 23) para que con este plano se pueda tener una mejor claridad y comprensión en la posición y distribución de los mismos en el sistema, facilitando las actividades de topografía y Georreferenciación.

Figura 23

Ubicación de accesorios en plano croquis



Nomenclatura de tubería y accesorios

Puesto que el levantamiento planimétrico se realizará más adelante, en este ítem solo se asignó una nomenclatura de representación a cada accesorio y componente de la red, con el fin de asignar en el equipo de topografía una simbología seguida de una numeración la cual es de orden ascendente, sin repetir, ya que el equipo de topografía viene pre definido, permitiendo así poder manejar mejor la información, de la siguiente manera (ver Tabla 5);

Tabla 5

Codificación de los accesorios y componentes del sistema.

Tipo de accesorio	Nomenclatura
Tapón	TAP
Tee	TEE
Cruce	CRU
Válvula	VAL
Codo	COD
Registro	REG
Tubería	TUB
Estaciones	DTA

Elaboración Plano general provisional

Se formó el plano general en cual se integró todos los aspectos definidos en los puntos anteriores, junto con la información base de la red obtenida del conocimiento del fontanero, también se realizaron algunos ajustes de dibujo para una mejor claridad en la visibilidad de la información de los planos.

Figura 24*Plano General Base*

Etapas de topografía y Georreferenciación,

Levantamiento planimétrico y altimétrico

Para la realización de este catastro se decidió llevar a cabo el levantamiento topográfico en compañía del fontanero del municipio y un ayudante de topografía, se optó por solicitar prestados los equipos de topografía a la Universidad Santo Tomas sede Central Bogotá y luego se realizó el traslado hasta el municipio el Equipo de topografía concedido fue una Estación Total marca Topcon

Durante el proceso de acopio de los datos se presentaron varias discrepancias en la toma de la información lo que llevo a conseguir una extracción de datos erróneos, los cuales fueron descartados. Debido a esto se realizó un nuevo levantamiento topográfico para el cual se solicitó el equipo de topografía a la Universidad Santo tomas sede Tunja, ya que salía más benéfico el traslado, el equipo concedido fue una estación total marca NIKON – NPL352 certificada y calibrada a la fecha 15 agosto de 2018 (ver Anexo E) y teniendo en cuenta los errores cometidos anteriormente, se dio inicio al levantamiento.

Para llevar a cabo la planimetría y altimetría del municipio, se decidió realizar un levantamiento topográfico con el equipo Estación Total, que permite trabajar tanto en el plano horizontal como en el vertical, arrojando así los datos necesarios para ubicar un punto en el plano cartesiano con coordenadas Norte, Este y su cota de elevación.

Figura 25

Fotos del equipo Estación Total NIKON-NPL352

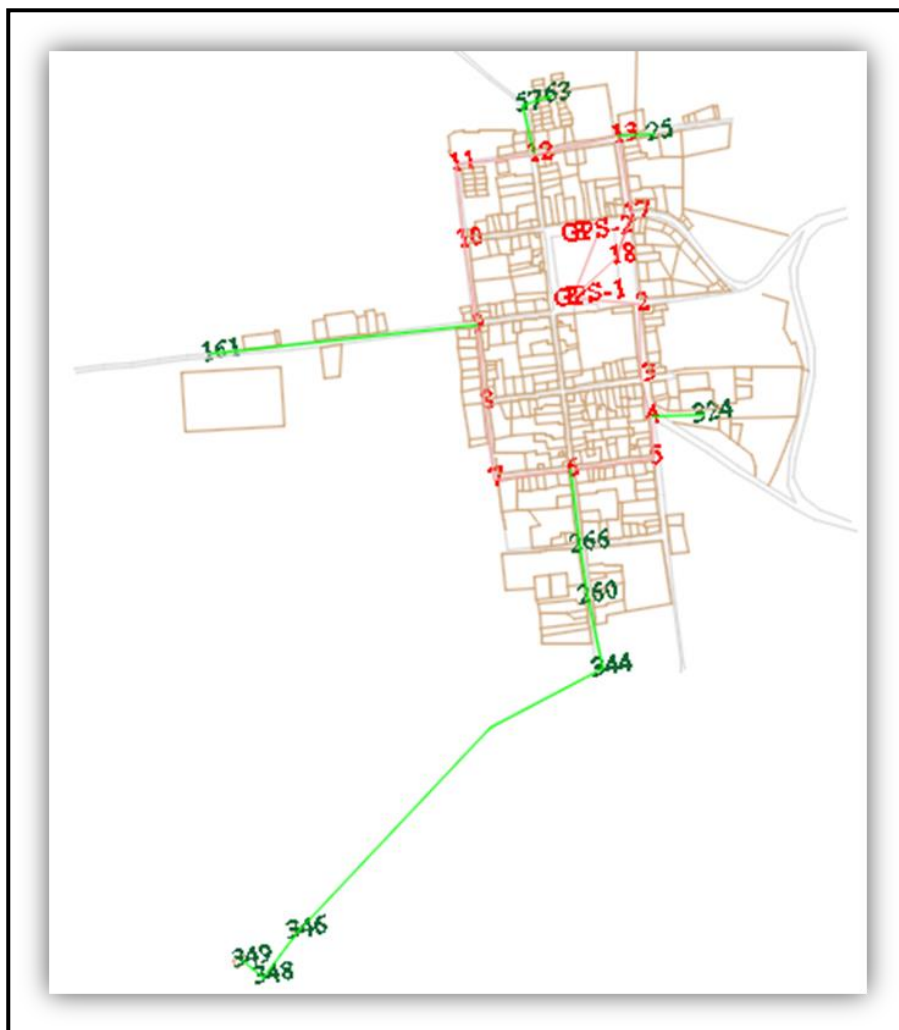


En el levantamiento se realizó la medición de una poligonal, cerrada por ceros atrás, que permite determinar el error posible que pueda surgir al tomar las mediciones ya sea por el equipo o errores humanos. Se definieron los puntos deltas de tal manera que en el momento de tomar la información con el equipo topográfico se pudiera cubrir visualmente todas las calles y tomar un completo registro de cada uno de las tapas del medidor de los consumidores del municipio. También se tuvo en cuenta que para la realización del modelo hidráulico se requería un punto de abastecimiento así que se coordinó el levantamiento hasta llegar a la planta de tratamiento de agua potable incluyendo el paso por el tanque de almacenamiento.

Para la poligonal cerrada se apeló a 15 deltas los cuales registrarían el levantamiento de los datos y 5 puntos auxiliares incluyendo el camino el tanque y la planta de tratamiento para luego continuar con la radiación de los accesorios y registros de los registros de los usuarios de la red

Figura 26

Poligonal para el levantamiento topográfico



Una vez obtenidos los datos crudos de posicionamientos de los Deltas, se procedió a calcular la poligonal de ceros atrás, ajustándola y corrigiéndola, contando como brazo de amarre geográfico el punto GPS1 armado y punto GPS2 visado inicial

Los datos crudos obtenidos del levantamiento se registran en un archivo RAW y en Bloc de Notas,(ver Anexo F.)

Georreferenciación

Para la Georreferenciación del levantamiento planimétrico y altimétrico, se llevó a cabo el posicionamiento y medición de los dos puntos establecidos para el amarre; GPS1 y GPS2, usando dos equipos de alta precisión capaces de obtener las coordenadas Geográficas en el sistema de referencia oficial Magna Sirgas.

Se realizó la medición de los dos puntos de coordenadas con dos equipos GPS TRIMBLE 4000 con certificación de verificación y buen estado de funcionamiento expedido el 15 enero de 2019 (ver Anexo G), trabajando los 2 equipos simultáneamente durante un periodo de 5 horas continuas, con el fin de lograr una mejor precisión de rastreo y así obtener unos datos más precisos

Figura 27

Foto de los Equipos GPS TRIMBLE 4000

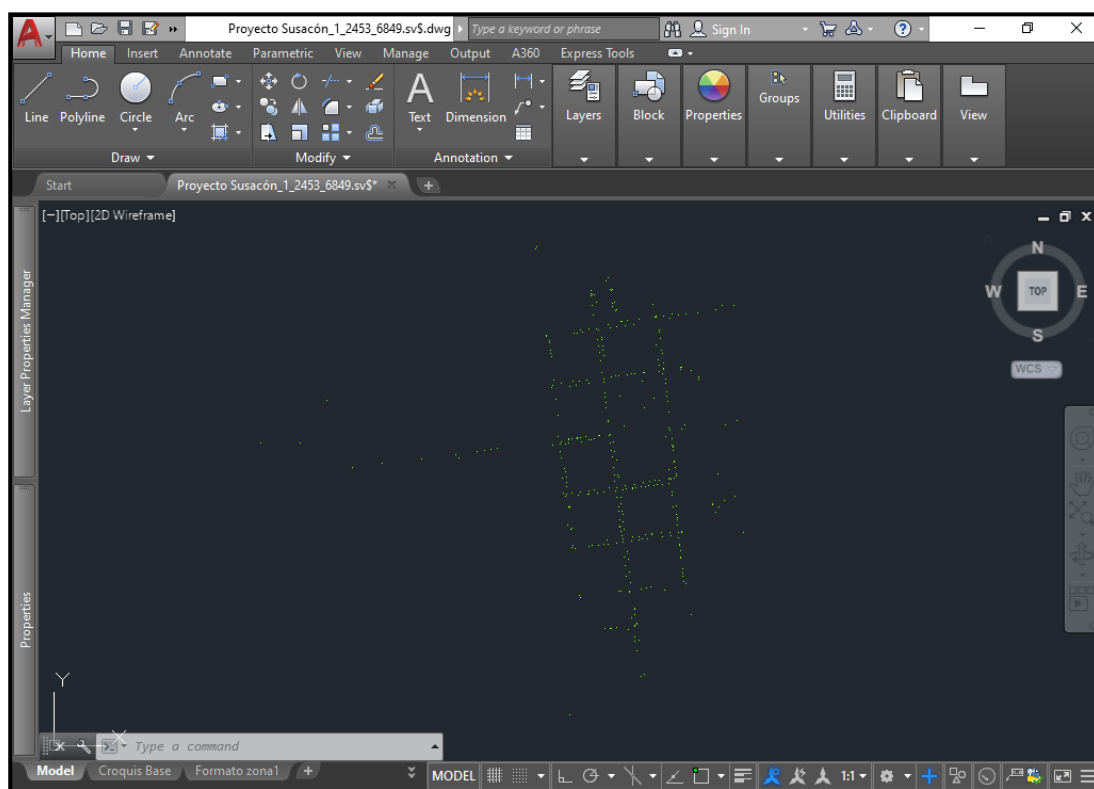


Referenciación equipos de precisión

En esta etapa los datos acopiados y procesados son insertados y dibujados con un programa de dibujo asistido denominado AutoCAD de la firma Autodesk como se muestra en la Figura 28, con el cual los puntos observados y medidos son localizados en el plano general a escala 1:1

Figura 28

Esquematzación de los puntos Almacenados en campo



Modificación de plano general

Se realizó la corrección y verificación de la ubicación de la red, acorde a lo consumado en el levantamiento topográfico mostrando en detalle la ubicación de las tuberías, las válvulas y

los accesorios de la red junto con los aspectos urbanísticos en los planos catastrales; general, zonal y esquinero

Se incorporó en cada uno de estos planos catastrales las curvas de nivel obtenidas a través del programa GlobalMapper; el cual es un software gratuito que ofrece una colección de herramientas de análisis y procesamiento de datos asequible. Proporciona soporte para todos los formatos de archivo conocidos, esta aplicación puede leer, escribir y analizar todos los datos espaciales.

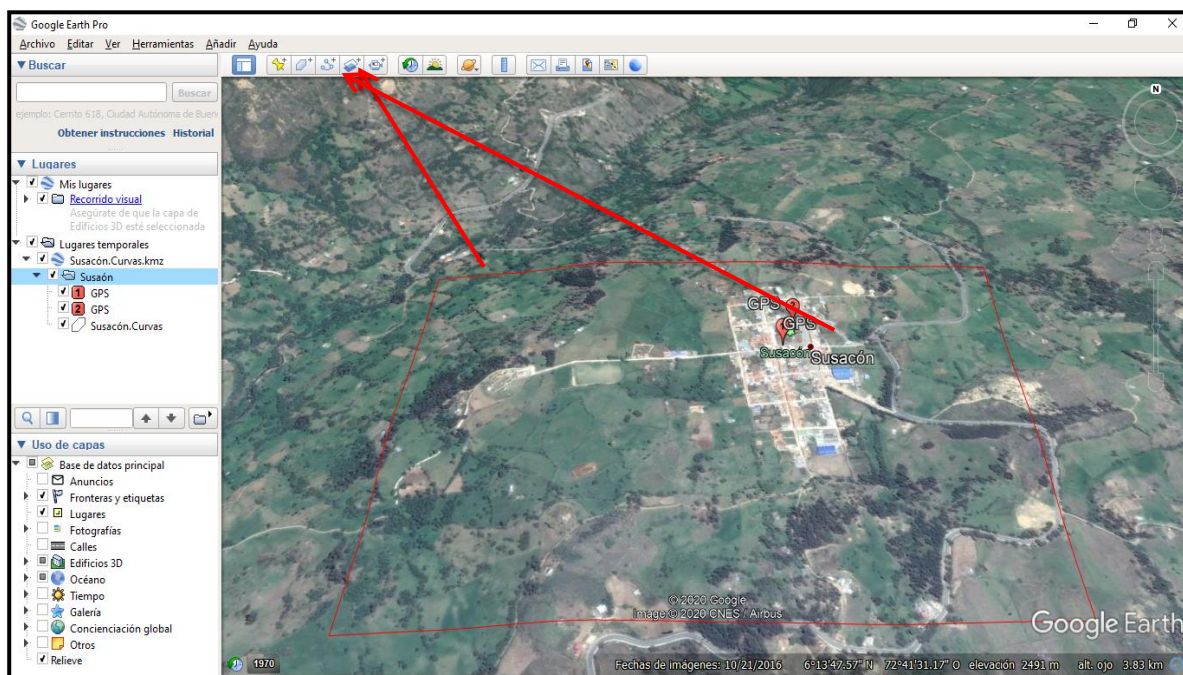
A continuación se describe el proceso para generar las curvas de nivel en un área asignada Municipio de Susacón y con puntos de ubicación conocidos GPS1 y GPS2

Creación Curvas de nivel

1. En Google Earth se creó un polígono cubriendo el casco urbano del municipio permitiendo observar toda el área en estudio, también se asignó una marcación a los puntos de GPS1 y GPS 2 de los cuales ya se tiene previo conocimiento de sus coordenadas.

Figura 29

Polígono seleccionado con puntos GPS1-GPS2

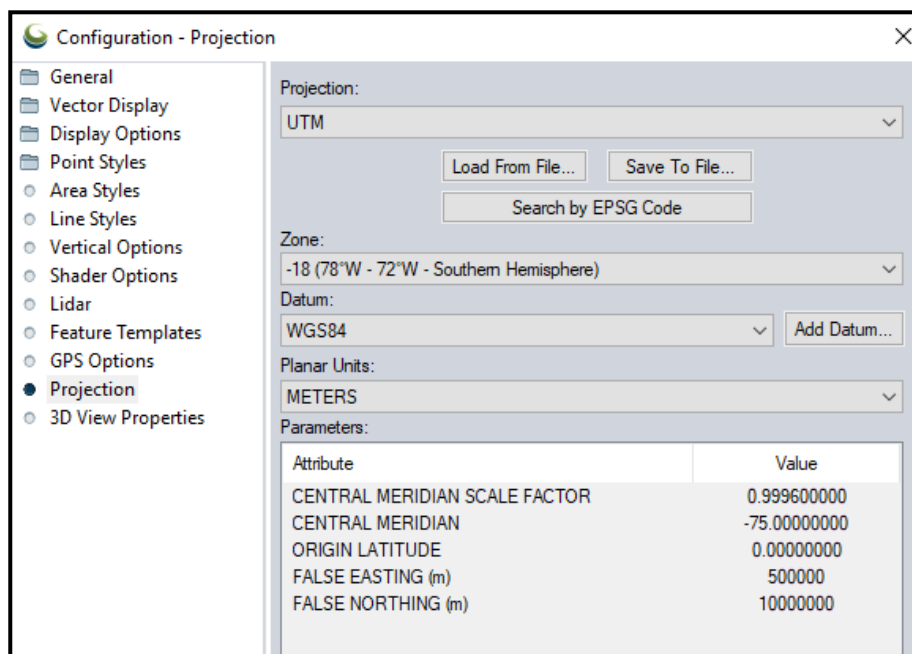


Notas: realizado a través de Google Earth

2. Se guardó el archivo como Susacón curvas con la extensión. Kmz, ya que este tipo de extensión permite al software GlobalMapper interpretar la información guardada de Google Earth
3. Luego en GlobalMapper se realizaron las respectivas configuraciones de las proyecciones de coordenadas para que este interprete la información guardada de Google Earth, asignando el sistema de proyección UTM, posteriormente se seleccionó la zona horaria que en este caso corresponde a -18(78W-72W-Southern hemisphere), se selecciona el Datum WGS84 y por ultimo las unidades planas en metros así como se muestra en la Figura 30.

Figura 30

Configuración de Proyección de coordenadas en GlobalMapper



4. Una vez definidas las proyecciones se abre el archivo Susacón curvas. Kmz y se procede a cargar el sistema seleccionando la fuente de datos en línea para descargar y se seleccionó la opción ASTER GDEM v2 Worldwide Elevation Data (1arc-second resolución) Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection radiometer como se observa en la Figura 31.

Una vez seleccionada la Fuente de datos en línea para descargar el diagrama de emisión térmica y reflexión terrestre en GlobalMapper se observa el resultado en la Figura 32.

Figura 31

Datos en línea para descargar el diagrama de emisión térmica y reflexión terrestre

Select Online Data Source to Download

Select Data Source

POPULAR SOURCES

- ASTER GDEM v2 Worldwide Elevation Data (1 arc-second Resolution)
- SRTM Worldwide Elevation Data (1-arc-second Resolution, SRTM Plus V3)
- US National Map Imagery (1 Foot or Better Resolution) [NAIP]
- USA Topo Maps
- USGS 3DEP Elevation
- United States Elevation Data (NED) (10m Resolution)
- World Imagery
- World Street Map
- World Topo Map

PREMIUM CONTENT

- AVIATION CHARTS
- COUNTRY DATA

Buttons: Add New Source..., Remove Source, Delete Cached Files..., Add Sources from File..., Load ECW from Web...

Select Area to Download

☒ Current Screen Bounds

☐ Within 1 miles of address

☐ Within 1 miles of latitude 6.22909776086022 longitude -72.6920124382647

☐ Specify Latitude/Longitude Bounds of Area

West -72.70364999993 North 6.23430782962982 East -72.680374876535 South 6.22388769209062

Draw Box...

(NOTE: Longitude values in the Western Hemisphere and latitude values in the Southern hemisphere must be negative.)

☐ Download Within Currently Selected Polygon(s)

☐ Entire Data Source Bounds

Display Options

Resampling Method: Bilinear Interpolation

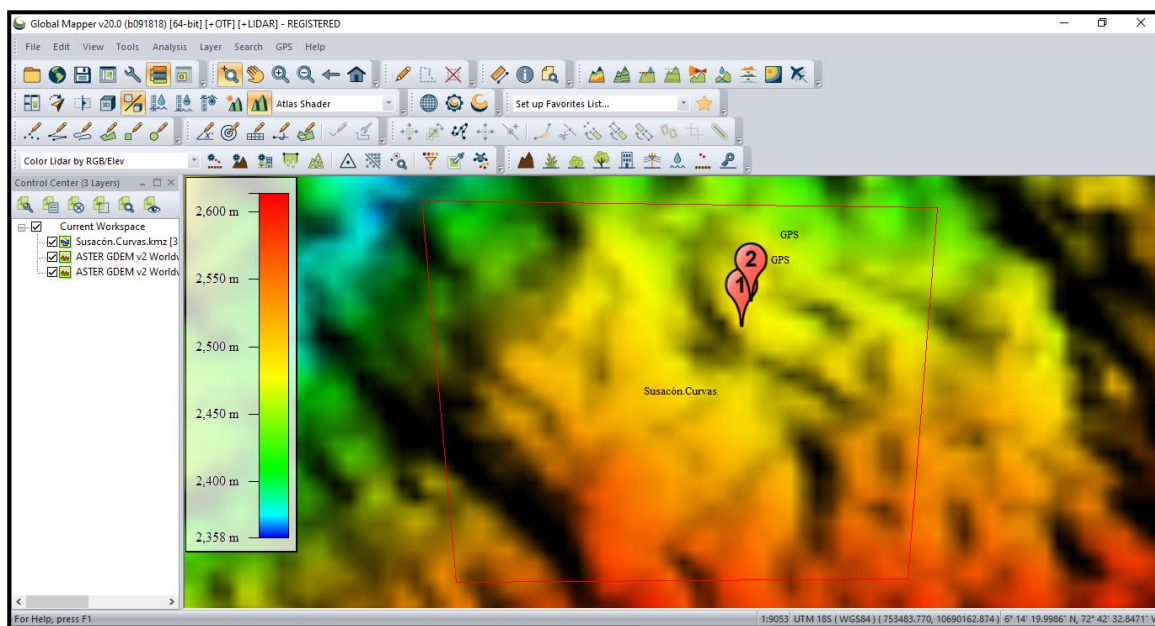
Detail Level: Less Default More

☒ Restrict Source to Selected Bounds (i.e. Don't Allow Panning Entire Data Set)

IMPORTANT NOTE: These data sources are on external servers that we have no control over. The data may draw/export very slowly or become unavailable at any time. We have no control over this.

Figura 32

Diagrama de emisión térmica y reflexión terrestre en GlobalMapper



5. Una vez cargada la fuente del relieve de la zona seleccionada se creó el contorno con líneas, las cuales se crearon con un distanciamiento de 2m para las líneas secundarias y de 10m las líneas primarias siendo estas las curvas de nivel secundarias y maestras respectivamente como se muestra a continuación en la Figura 34.

Figura 33*Creación del contorno de líneas en GlobalMapper*

Contour Generation Options

Contour Options | Simplification | Tiling | Contour Bounds

Description: GENERATED CONTOURS

Contour Interval: 10 METERS ☐ Only Generate Contour Lines at Specified Height

ADVANCED - Contour Interval Multiplier: Minor Contours 2 Major Contours 2

Elevation Range (Default is Entire Loaded Range): Generate contours within following range of elevations: 2359.1 to 2597.9 METERS ☐ Start at Minimum Elevation Instead of at First Interval Multiple Within Specified Range

Resolution (in Current Projection Units): The resolution affects fidelity with which contours are generated. Larger numbers result in less detailed contour lines that take up less space. Typically you'll just want to accept the defaults.

X-axis: 38.2185141425878 meters

Y-axis: 38.2185141425878 meters

Resampling: Default (Resample if Needed)

☐ Generate Area Features Colored Based on the Current Elevation Shader in Addition to Contours

☐ Generate Spot Elevations at Min/Max Elevations

☐ Interpolate to Fill Small Gaps in Data

☒ Append Unit Labels (m' or ft') to Elevation Labels

☒ Smooth Contour Lines/Areas to Improve Appearance

☐ Export Contours Directly to Package Files Rather Than Displaying in the Main Map View. Use with Gridding Option to Allow Contouring of Very Large Areas

Advanced Options

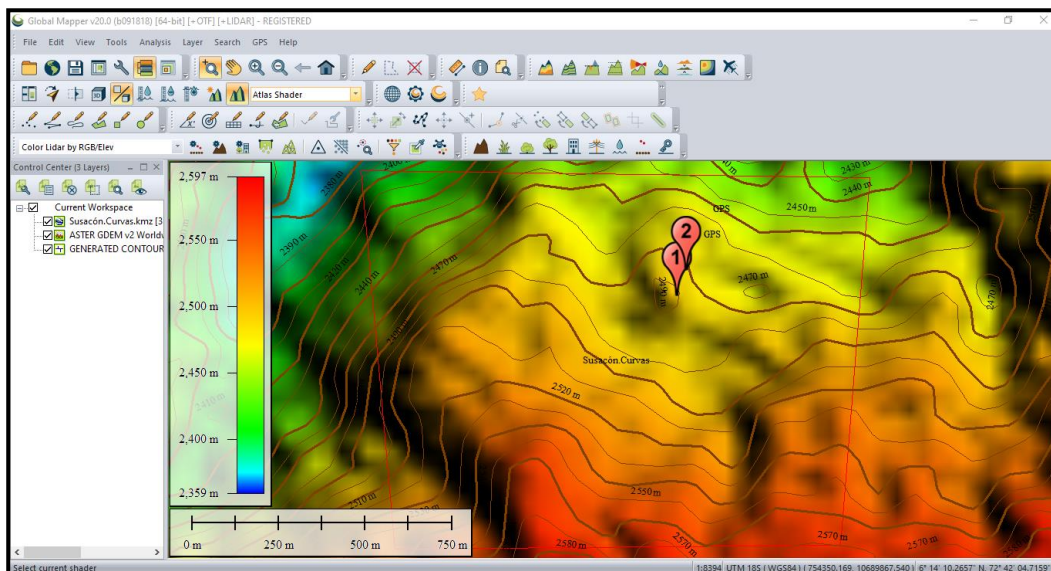
☐ Create Contours Where Elevations Pass Down to Contour Value Rather Than as They Go Down From One (Good for Shoreline Generation)

☐ Discard Closed Contour Lines Shorter than 0 meters

OK Cancel Apply Help

Figura 34

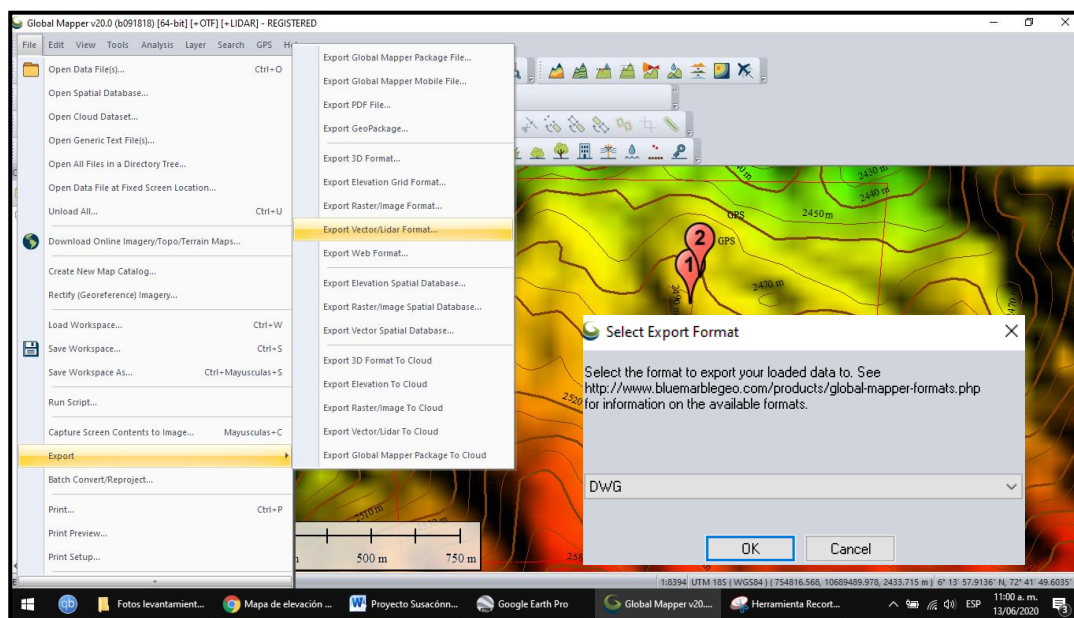
Curvas de nivel maestras y secundarias en GlobalMapper



- Una vez creada la superficie de curvas de nivel se exporto la información con la opción Export Vector/Lidar Format., luego se seleccionó el formato del archivo de interés .dwg

Figura 35

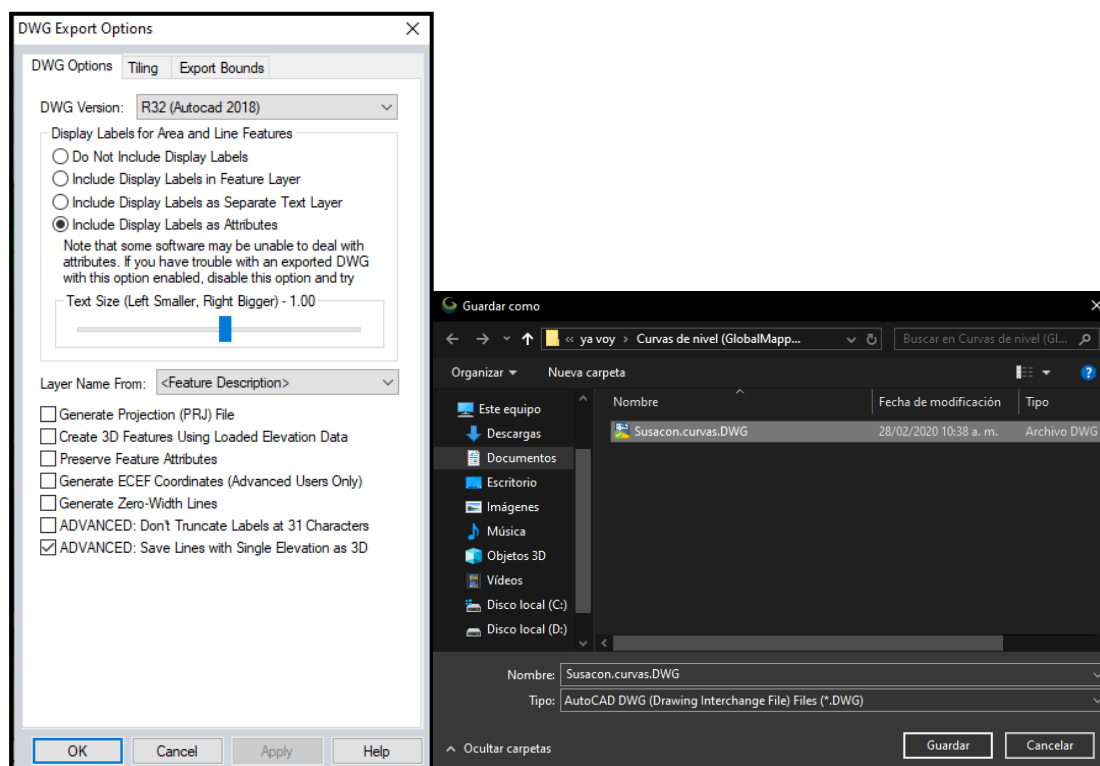
Exportación de datos de GlobalMapper a AutoCAD



A continuación aparece una ventana de opciones de exportación DWG ver Figura 36, en la cual seleccionaremos la versión de AutoCAD a utilizar según la versión en la que se está trabajando como en este caso se eligió la versión R32 (AutoCAD 2018) y por último se selecciona la carpeta donde se va a guardar

Figura 36

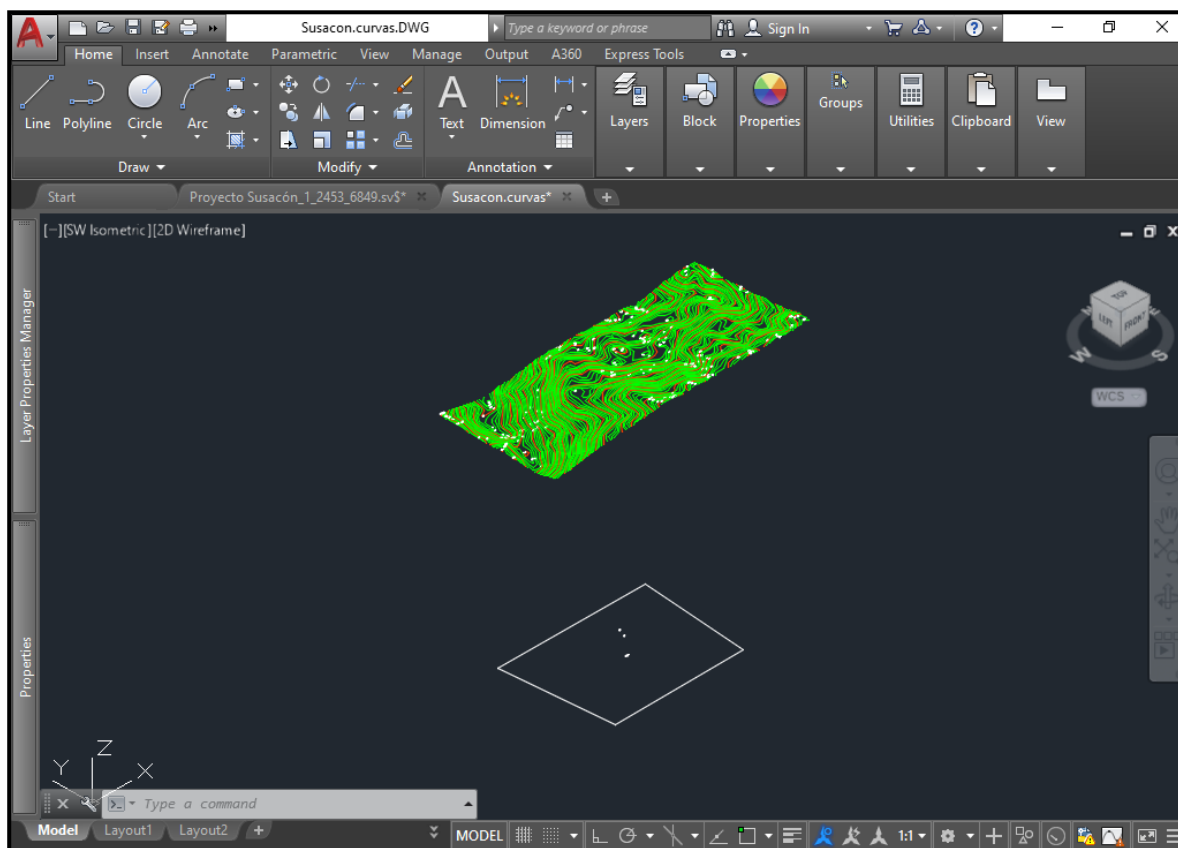
Selección de la versión de AutoCAD y guardar.



Se abre el archivo guardado y luego se llevan estas curvas de nivel a su ubicación geográfica trasladando los puntos de GPS1 y GPS2 que fueron Georreferenciadas en el levantamiento topográfico a su posición real

Figura 37

Curvas de nivel generadas con elevación real y puntos GPS 1 y GPS2.



También se realizaron correcciones del plano general base hasta obtener los planos de catastro General, Zonal, y Esquinero de entrega para el municipio con representación geográfica y urbana, lo cual permite disponer de una visión panorámica del área del municipio, destacando aspectos urbanísticos, tales como calles, carreras, parques, zonas de mercado e institucionales, etc.

Etapas de Planos y Modelación

Planos Catastro

Se generaron los planos de catastro una vez definido el plano general base con todos sus accesorios finalmente ubicados, el cual permitirá presentar la red de distribución junto con sus características físicas

Modelamiento del sistema de distribución

Para el modelamiento hidráulico del sistema se escogió el software EPANET el cual es un programa convencionalmente usado para el estudio de redes de suministro de agua a presión, ya que, está programado para realizar cálculos hidráulicos basados en la ley de conservación de masa y energía. Este software permite al usuario realizar el cálculo de las pérdidas de energía según tres metodologías predefinidas que son; Darcy Weisbach, Hazen Williams y Chezy Manning todo con el fin de determinar el comportamiento de la red de distribución. Este también permite realizar modelos de tuberías a presión y también trabajar con cualquier tipo de fluido sin importar que tenga diferentes características diferentes al agua.

Una vez realizado el esquema de la red de distribución de agua del municipio en el programa de AutoCAD, basado en el levantamiento topográfico, se procedió a trasladar dicho esquema al programa EPANET mediante un software de compatibilidad llamado EpaCAD; es un programa gratuito que permite convertir de forma sencilla un fichero AutoCAD en un fichero interpretable por EPANET. En este proceso, EpaCAD es capaz de reconocer de forma automática las principales propiedades físicas de los elementos, facilitando el trabajo necesario para generar una red.

Luego de haber convertido la información a EPANET se continuó con la asignación de los caracteres y valores iniciales o por defecto, necesarios para que el software realice una simulación de la red luego se realizaron las configuraciones de la red iniciando por definir las características de los elementos que la componen como los son las válvulas, los depósitos o tanques de almacenamiento de agua, los diámetros y las propiedades hidráulicas para que el software pueda realizar la simulación. y así poder obtener la presión y caudales en nodos y tuberías respectivamente, y así poder analizar los resultados.

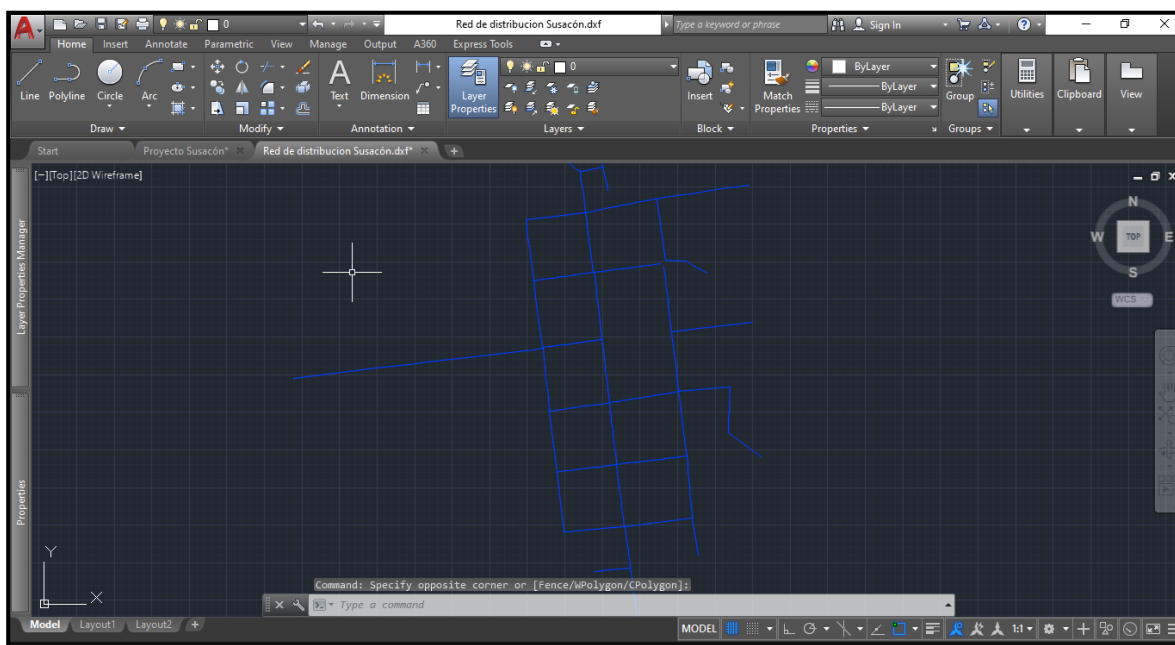
Exportación de la red a EPANET

Para la exportación de la red se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

1. Se estableció definitivamente la red de distribución en AutoCAD (ver Figura 38) para lo cual se tuvo en cuenta cada registro tomado en el levantamiento, con el fin de efectuar un modelo que se asimile a la realidad y luego se guardó el archivo con la extensión .DXF

Figura 38

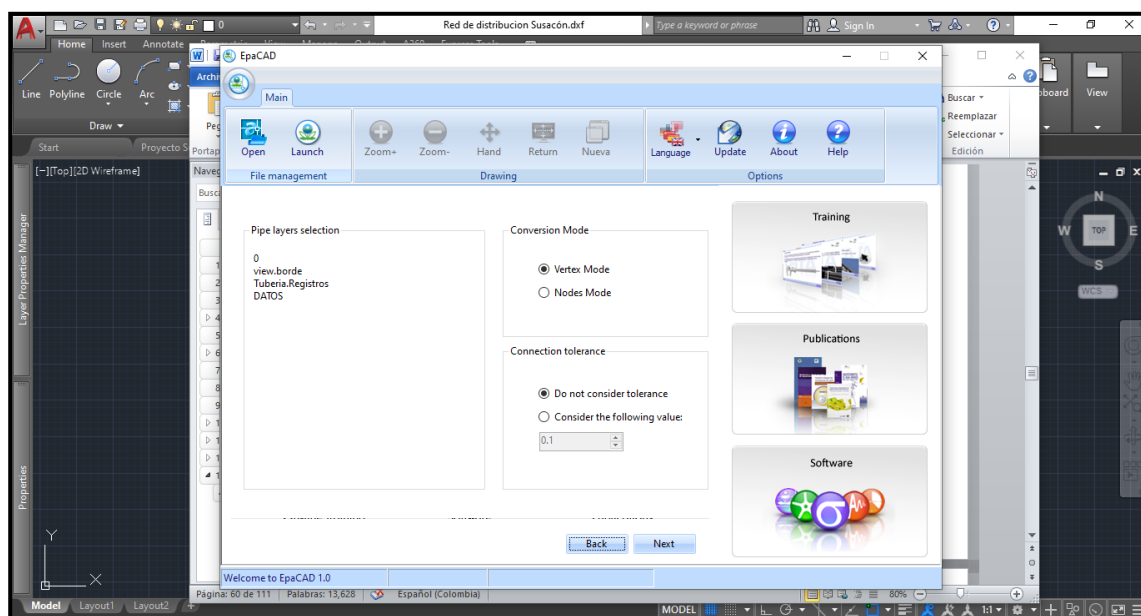
Red de distribución de Susacón en AutoCAD



2. En EpaCAD se realizó la conversión de los datos seleccionando la capa donde se contiene la red y el modo de conversión de datos seleccionado fue “Nodos Mode”, generando un archivo de extensión. inp, el cual EPANET pudo comprender e interpretar de forma clara, reconociendo cada tramo dibujado (ver Figura 39).

Figura 39

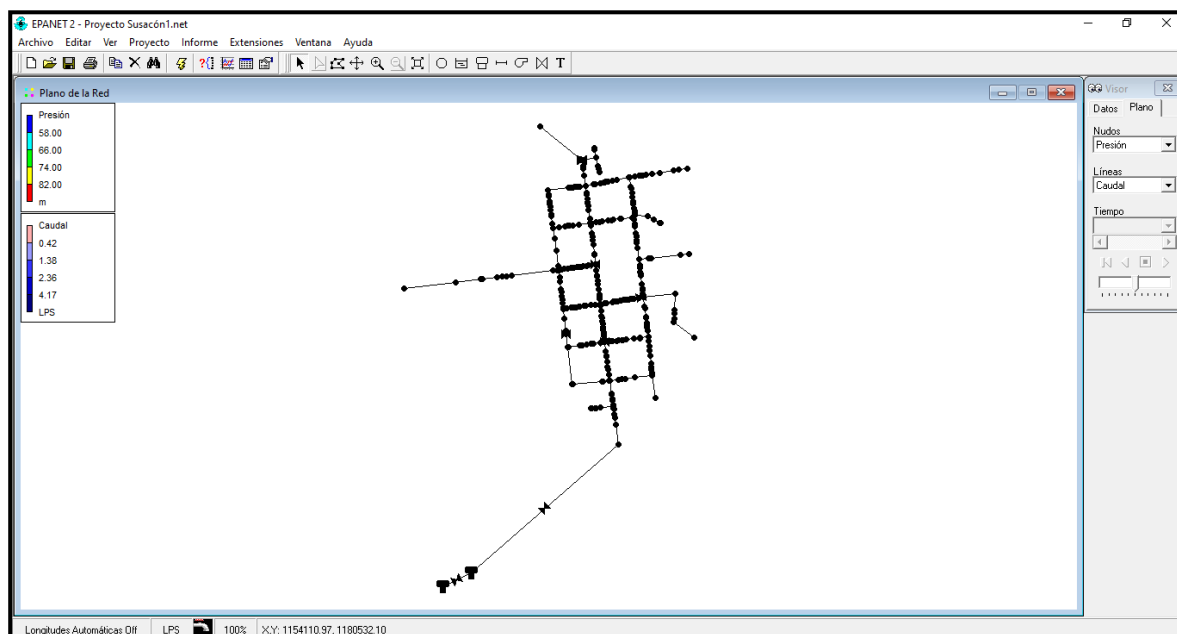
Conversión de red en AutoCAD en EpaCAD



3. Una vez convertido el archivo .DXF en archivo. inp se procedió a cargar el archivo en el programa EPANET el cual arrojo como resultado el esquema de la red con su ubicación real de puntos, coordenadas y cotas de elevación como se muestra en la Figura 40.

Figura 40

Red de distribución representada en el software EPANET



Puesto que el programa de AutoCAD presenta la red como la unión de varias líneas, el programa EpaCAD transforma esas líneas asignándole un nudo o conexión a cada extremo de ella permitiendo asignar dicho nodo o conexión como accesorio de la red ya sea unión, tee, cruz, codo o como registro o nodo de consumo de agua (suscriptor) y su línea como tubería.

Ya generada la red se procede a agregar los accesorios y componentes del sistema para definir las características físicas correspondientes a cada elemento y así lograr un modelamiento más realista. A continuación, se exponen las formas en que se deben modificar los accesorios en el software EPANET

Se agregó el fondo del esquema y los aspectos urbanísticos del municipio con sus curvas de nivel para una mejor visualización del contorno de la red de distribución de agua potable

Desarrollo en Software

Valores por defecto: para dar inicio al modelamiento del sistema principalmente se deben definir las propiedades hidráulicas del programa, el sistema de unidades a trabajar y los valores por defecto que usa el programa para iniciar con el trazado de una red. Se establecieron las nomenclaturas de cada tipo de accesorio con un número, el cual incrementa con el ingreso de más datos, luego se definieron las propiedades de los accesorios como el diámetro de la tubería y la rugosidad del material con el fin de que el software reconozca un tramo de tubería y este automáticamente tome esas características para el modelo, y por último se definieron las opciones hidráulicas seleccionando así el sistema de unidades con el cual se va a trabajar, como el caudal LPS (litros por segundo) y el tipo de metodología de análisis HASEN-WILLIAMS para determinar las perdidas por accesorios y perdidas menores en la red. También se asignó el valor del peso específico y la viscosidad relativa del agua a temperatura ambiente.

Figura 41

Valores por defecto, establecidos para la simulación del software

The figure displays three sequential screenshots of the 'Valores por Defecto' (Default Values) dialog box, showing the configuration of default values for the software simulation.

First Screenshot (Etiquetas ID tab):

Objeto	Prefijo ID
Conexiones	ACC
Embalses	EMB
Depósitos	DEP
Tuberías	TUB
Bombas	BOM
Válvulas	VAL
Patrones	PAT
Curvas	CUR
Incremento ID	1

☐ Guardar como predeterminado

Aceptar Cancelar Ayuda

Second Screenshot (Propiedades tab):

Propiedad	Valor Predeterminado
Cota Nudos	0
Diámetro Depósitos	50
Nivel Máx. Depósitos	20
Longitud Tuberías	100
Longitudes Automáticas	Off
Diámetro Tuberías	80.42
Rugosidad Tuberías	150

☐ Guardar como predeterminado

Aceptar Cancelar Ayuda

Third Screenshot (Opciones Hidráulicas tab):

Opción	Valor Predeterminado
Unidades de Caudal	LPS
Ecuación de Pérdidas	H-W
Peso Específico	1
Viscosidad Relativa	1
Iteraciones Máx.	40
Precisión	0.001
Sistema no equilibrado	Continuar
Patrón predeterminado	1
Factor de Demanda	1.0

☐ Guardar como predeterminado

Aceptar Cancelar Ayuda

Asignación de parámetros de los elementos para el análisis

Para signar las características físicas de los componentes del sistema se deben tener en cuenta las siguientes unidades con las cuales el programa comprende y permite realizar el análisis

Tabla 6

Parámetros y unidades comprendidas por EPANET

Objeto	Parámetro	Unidad
Tuberías	Longitud	Metros (m)
	Diámetro	Milímetros (mm)
	Rugosidad	D-W milímetros (mm), para H-W y C-M consultar los coeficientes con relación a los materiales
	Caudal	Litros por segundo (L/s)
	Velocidad	Metros por segundo (m/s)
	Pérdida unitaria	Metros por kilómetros (m/km)
	Factor de fricción	Adimensional (Factor de Darcy-Weisbach: f)
	Velocidad de reacción	Miligramos por litro por día (mg /L/día)
	Calidad	Miligramos por litro (mg/L)
	Cota	Metros (m)
Nudos	Demanda base	Litros por segundo (L/s)
	Altura total	Metros (m)
	Presión	Metros (m)
	Calidad inicial	Miligramos por litro (mg/L)
	Calidad	Miligramos por litro (mg/L)

Nota: Tomado de Ejercicios prácticos en EPANET (pág. 79) (Solorzano, 2017)

Tuberías

Se modificaron las características que son; ID tubería o nombre con el cual el programa reconoce al accesorio, nudo inicial y nudo final los cuales vienen definidos gracias a la transformación del archivo. Dxf así como la longitud de la tubería, se asignó el diámetro real de la tubería en

milímetros teniendo en cuenta el conocimiento del diámetro nominal ya conocido, por medio del manual técnico” Tubo sistemas a presión PVC-PAVCO”. Se debe tener en cuenta que las líneas en AutoCAD deben ser dibujadas en el mismo sentido de flujo del agua en la red para que al transpórtalas a EPANET el programa reconozca el sentido de flujo positivo y no arroje resultados negativos puesto que la dirección del flujo obedece al principio del gradiente hidráulico, el agua se mueve de un punto de mayor a menor energía.

Figura 42

Propiedades de la tubería en EPANET

Tubería TUB3	
Propiedad	Valor
*ID Tubería	TUB3
*Nudo Inicial	REG3
*Nudo Final	REG4
Descripción	
Etiqueta	
*Longitud	42.13
*Diámetro	80.42
*Rugosidad	150
Coef. de Pérdidas	0
Estado Inicial	Abierto
Coef. Flujo	
Coef. Pared	

Conexión o nudo

Los nudos o conexiones en EPANET representan varios usos; como punto hidráulico de extracción e inyección de agua a la red o punto de accesorio para conexión entre dos tuberías ya sea codo, tee, cruz, tapón etc. Se modificaron las características como; ID conexión, las coordenadas del nodo vienen dadas por la conversión del archivo. Dxf así como la cota de elevación del punto. Para el caso de los nudos que fueron asignados como un registro de

consumidor del sistema, se debe proporcionar un valor a la casilla “Demanda base” siendo este un caudal medio horario de agua usado por el suscriptor.

Para la imputación de la demanda base de este análisis hidráulico, se tomaron 3 datos de caudal de consumo como se muestra a continuación con el fin de determinar el consumo promedio aproximado de una vivienda o suscriptor:

- Caudal promedio registrado a la salida de la planta de tratamiento mensualmente en Susacón

La unidad de servicios públicos del municipio de Susacón contribuyo con la información del consumo o flujo de agua que transcurre por la planta de tratamiento hasta llegar a sus consumidores registrándose así un caudal promedio de 6’609.600 litros de agua mensuales, información tomada de los meses abril 6’610.080, mayo 6’609.850 y junio 6’608.870 de 2020. La demanda base de cada nodo se calculó tomando el caudal total y dividiéndolo en la cantidad de suscriptores y luego se convirtió de unidades de la siguiente forma:

$$Q_t = 6'609.600 \frac{l}{mes}$$

$$Q_{suscriptor} = \frac{Q_t}{\# \text{ suscriptores}}$$

$$Q_{suscriptor} = 24,941.8 \text{ L/mes/suscriptores}$$

$$Q_{suscriptor} = 24,941.8 \frac{L}{mes} * \frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ dias}} * \frac{1 \text{ dia}}{86400 \text{ seg}}$$

$$Q_{suscriptor} = 0.00962 \frac{L}{s} \rightarrow \text{Demanda Base}$$

- Consumo Básico en Colombia

Tunja se encuentra a una elevación de 2,810 m.s.n.m. presentando un clima frio muy similar al clima presente en Susacón que se encuentra a 2,480 m.s.n.m. Con el fin de llevar a cabo un

modelo lo más real posible se tomó en cuenta el archivo público de la Comisión de Regulación de Agua potable y Saneamiento Básico (CRA) Titulado Seguimiento a la modificación del rango de consumo básico (Resolución CRA 750 de 2016), periodo mayo de 2016 – junio de 2018.

Este documento fue realizado con información recolectada a través del Sistema Único de Información –SUI, administrado por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios – SSPD. Adicionalmente, se solicitó y se gestionó con las empresas prestadoras del servicio de agua potable

Se establece en dicho documento el consumo básico registrado en diferentes aforos de diferentes ciudades capitales del país como por ejemplo Medellín, Bogotá, Bucaramanga y Tunja entre otros, siendo este consumo de 10m³ por suscriptor al mes, valor promedio definido para la ciudad de Tunja con presencia de clima frío.

Dicho consumo de 10 m³/mes/suscriptor es convertido a 0.00385 L/s /suscriptor y este sería el valor de Demanda Base para cada nodo del modelo.

En la Tabla 7 se muestran los registros tomados por la CRA en la ciudad de Tunja

Tabla 7

Consumos promedios mensuales registrados por los diferentes estratos sociales de la ciudad de Tunja departamento de Boyacá

TUNJA								
MES	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Estrato 5	Estrato 6	Promedio 1 a 3	Promedio 4 a 6
Febrero 16	8,97	9,96	9,19	7,15	7,54		9,44	7,27
Marzo 16	9,15	10,05	9,40	7,59	7,87		9,61	7,67
Abril 16	9,64	10,85	10,21	8,21	8,02		10,38	8,15
Mayo 16	8,89	10,61	9,99	8,21	8,37		10,08	8,26
Junio 16	8,80	10,50	9,85	7,82	7,89		9,96	7,84
Julio 16	8,73	10,25	9,48	7,49	7,85		9,67	7,60
Agosto 16	9,11	10,52	9,79	7,79	8,04		9,97	7,87
Septiembre 16	8,64	10,32	9,74	7,61	7,54		9,81	7,59
Octubre 16	8,51	10,59	9,96	8,25	8,18		10,00	8,23
Noviembre 16	8,73	10,60	9,97	7,97	7,93		10,03	7,96
Diciembre 16	8,10	10,51	9,84	7,74	7,74		9,86	7,74
Enero 18	9,06	10,88	9,76	7,33	7,34		10,05	7,34
Febrero 18	8,16	9,79	9,04	7,20	6,67		9,18	7,02
Marzo 18	8,04	9,90	9,33	7,57	7,07		9,35	7,41
Abril 18	8,58	10,57	9,84	7,90	7,01		9,92	7,61
Mayo 18	8,97	10,66	10,06	8,22	7,75		10,12	8,07
Junio 18	8,58	10,53	9,96	8,11	7,48		9,96	7,91

Nota: Adaptado del documento Seguimiento a la modificación del rango de consumo básico (Resolución CRA 750 de 2016) Período mayo de 2016 – junio de 2018 página 38. Sitio Web:

<https://www.cra.gov.co/images/portada-seguimiento-p.jpg>

- Cálculo del Caudal de Consumo de diseño para un sistema con las características presentes en el municipio

El municipio de Susacón cuenta con un total de 2.704 habitantes entre los cuales hay 607 habitantes residentes de la cabecera municipal de Susacón (ver Anexo H) quienes están abastecidos con el sistema de acueducto, lo cual permite determinar que el nivel de complejidad del sistema es bajo por su pequeño tamaño poblacional abastecido que es menor a los 2500 habitantes según la norma técnica RAS

Tabla 8

Nivel de complejidad según la cantidad de población

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana	Capacidad económica de los
	(habitantes)	usuarios
Bajo	Menor a 2.500	Baja
Medio	2.500 y 12.500	Baja
Medio alto	12.500 y 60.000	Media
Alto	Mayor a 60.000	Alta

Notas: Adaptado del Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico

(Ras2000)

Al encontrarse el municipio de Susacón a una elevación de 2.480 m.s.n.m. se presenta un clima frío, definiendo así que, según el nivel de complejidad bajo del municipio y el clima frío presente la dotación neta de 90 L/Hab/Día

Tabla 9

Dotación Neta por habitante según nivel de complejidad

Nivel de complejidad del sistema	Dotación neta (L/hab/día)	
	Clima templado y frío	Clima cálido
Bajo	90	100
Medio	115	125
Medio alto	125	135
Alto	140	150

Notas: Adaptado del Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (Ras)

Poblacion: 607 habitantes

Nivel de complejidad: Bajo

Dotacion Neta: 90 L/hab/dia

Dotacion Bruta: 150 L/hab/dia

$$Q_{md} = \frac{Db * Poblacion}{86400(\frac{s}{dia})} L/s$$

$$Q_{md} = 1.05 L/s$$

$$Q_{MD} = k_1 * Q_{md} \quad k_1 = 1.2$$

$$Q_{MD} = 1.26 L/s$$

$$Q_{MH} = k_2 * Q_{MD} \quad K_2 = 1.5$$

$$Q_{MH} = 1.891 L/s$$

Una vez calculados los consumos posibles para definir la demanda base del modelo se seleccionó el consumo registrado en la planta de tratamiento el cual nos presenta un marco real del sistema donde cada suscriptor consume 24.9 m³/ mensuales lo cual equivale a 0.00962 L/s, sin tener en cuenta las diferentes perdidas posibles pero es un valor verdadero del sistema y es quien nos permitirá tener un análisis lo más cerca posible al comportamiento real del agua en la red

Figura 43*Propiedades de las conexiones en EPANET*

Conexión REG2	
Propiedad	Valor
*ID Conexión	REG2
Coordenada-X	1153542.60
Coordenada-Y	1180604.08
Descripción	
Etiqueta	
*Cota	2500.308813166
Demanda Base	0.00962
Patrón de Demanda	
Categoría de Demanda	1
Coef. Emisor	
Calidad Inicial	
Fuente de Calidad	

Válvulas

Las válvulas son accesorios encargados de controlar el flujo de caudal dentro de una tubería. Existen diferentes tipos de válvulas que varían con base en el tipo de mecanismos que usan para cortar el flujo del agua. EPANET presenta una variedad de tipos de válvulas sin importar el tipo de red o el tamaño de la misma y se identifican de la siguiente manera:

- PRV - válvula reductora de presión
- PSV - válvula sostenedora de presión
- PBV - válvula de rotura de carga
- FCV - válvula controladora de caudal
- TCV - válvula reguladora por estrangulación
- GPV - válvula de propósito general

Al igual que las tuberías las características de las válvulas se definen de la misma forma teniendo en cuenta el sentido de flujo del agua, ID válvula, se definió el nudo inicial y el nudo final, el diámetro, el tipo de funcionamiento de la válvula; el cual para este caso se seleccionaron válvulas reguladoras por estrangulación TCV y por último la consigna o tarado

La consigna o tarado para estas válvulas son un valor que varía dependiendo del estado de la válvula o el coeficiente de la válvula y es fundamental para la simulación. Como en el caso de esta red de distribución las válvulas se encuentran sin funcionalidad, en el modelo se establece que dichas válvulas siempre están abiertas y su consigna viene dada por el valor de su coeficiente de perdidas obtenido de la siguiente tabla:

Tabla 10

Coeficiente de pérdida de algunos accesorios

Elemento	K
Reducción gradual*	0,15
Ampliación gradual*	0,30
Compuerta abierta	1,00
Válvula abierta:	
de mariposa	5,00
de compuerta	0,20
de globo	10,00
Te de paso directo	0,60
Te de paso lateral	1,30
Te salida bilateral	1,80
Válvula de pie	1,75
Válvula de retención	2,50
Entrada normal al tubo	0,50
Entrada de borda	1,00
Salida del tubo	1,00
* Con base en la velocidad mayor.	

Notas: Tomado del libro de Ricardo López Cualla, pagina 223, 2º edición 2003

Figura 44*Propiedades de las Válvulas en EPANET*


Propiedad	Valor
*ID Válvula	VAL350
*Nudo Inicial	DEP1
*Nudo Final	DEP2
Descripción	
Etiqueta	
*Diámetro	80.42
*Tipo	Regulación
*Consigna	0.2
Coef. Pérdidas	0
Estado Fijo	Abierto
Caudal	6.148357E09
Velocidad	1.210427E09

Depósitos o tanques

Los depósitos suministran agua al sistema de distribución, pero tienen una característica diferente que es su limitación en la producción de agua, para este elemento se modificó; ID depósito, coordenada X y coordenada Y su cota de elevación se asignaron con el punto observado en el levantamiento topográfico y señalado como válvula tanto en el tanque de 40m³ como en el tanque de 500m³. Puesto que el depósito tiene una capacidad máxima para el software es indispensable establecer las dimensiones del tanque, el nivel inicial definido por la altura de la lámina de agua en la que inicia la distribución del agua por la red, el nivel mínimo es la altura más baja a la que puede llegar la lámina de agua dentro del depósito, el nivel máximo es la altura máxima a la que llega la lámina de agua dentro del depósito, el diámetro al cual hace referencia el depósito es debido a que el programa supone que los depósitos son cilíndricos razón

por la cual, al tener en este caso los tanques cuadrados se realiza una conversión del área cuadrada por área circular determinando así el diámetro a asignar en el depósito

$$Area_{\blacksquare} = Lado * Lado \leftrightarrow Area_o = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$Area_{\blacksquare} = Area_o$$

$$\rightarrow Area_{\blacksquare} = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$\rightarrow D = \sqrt{\frac{Area_{\blacksquare} * 4}{\pi}}$$

Para el depósito uno con capacidad de 500 m³ se le asignó un diámetro obtenido de su área rectangular con valor de 11.28 m, y para el depósito 2 con capacidad de 40 m³ se le asignó el valor de 3.57m.

Figura 45

Propiedades de los depósitos en EPANET

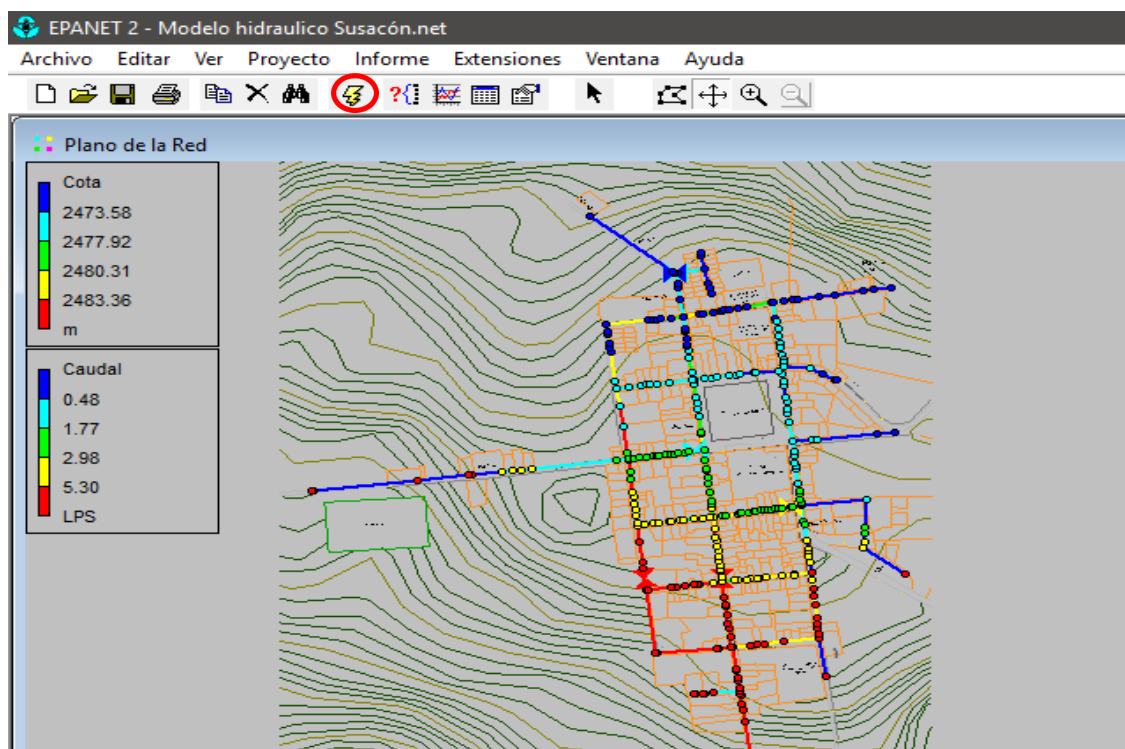
Depósito DEP1	
Propiedad	Valor
*ID Depósito	DEP1
Coordenada-X	1153232.40
Coordenada-Y	1180287.36
Descripción	500m3
Etiqueta	
*Cota	2561.544
*Nivel Inicial	4
*Nivel Mínimo	0.1
*Nivel Máximo	4
*Diámetro	12.62
Volumen Mínimo	
Curva de Volumen	

Puesta en marcha del modelo

Una vez definidas todas las características del sistema se procede a correr la simulación del sistema. Inmediatamente el programa realiza sus cálculos y muestra sus resultados por medio de escala de colores dependiendo de los valores obtenidos como se muestra en la .

Figura 46

Comenzar análisis hidráulico de la red



Extracción de datos

EPANET permite de forma automática obtener una tabla de resultados donde se muestran diferentes características hidráulicas para así poder realizar el análisis de dichos resultados. Permite obtener los datos resultantes de cada una de las conexiones o nudos al igual que el resultado de las tuberías.

En la parte superior se encuentra la opción para generar la tabla de resultados presionando el icono mostrado, pero también es posible generar la tabla de resultados

dirigiéndose a la pestaña “informe” ubicada en la barra superior de opciones de EPANET, una vez desplegada la pestaña se selecciona la opción tablas. A continuación, el programa solicita que defina si la tabla a generar es de conexiones o tuberías, luego solicita seleccionar las propiedades y resultados a mostrar en la tabla y por último aceptar.

Figura 47

Generar gráficos y tablas de los resultados

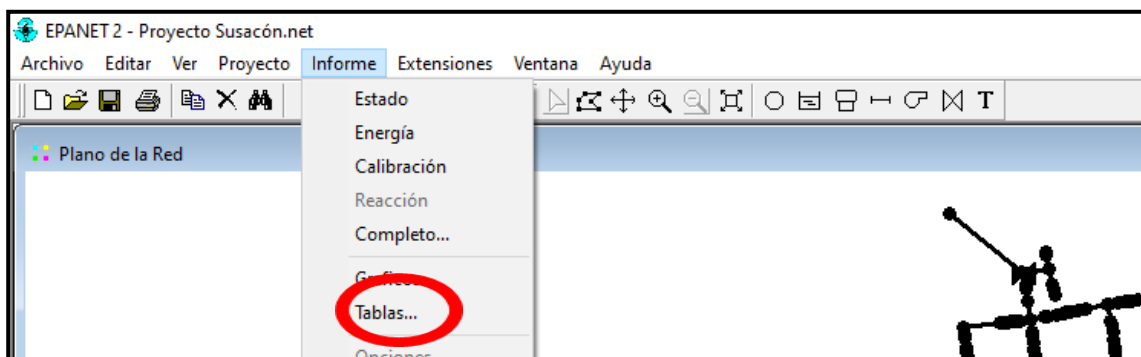


Figura 48

Tabla de datos generada por EPANET

ID Nudo	Cota m	Demanda Base LPS	Calidad Inicial	Demanda LPS	Altura m	Presión m
Conexión REG3	2504.742	0.01	0	0.01	2565.54	60.80
Conexión REG4	2500.308813166921	0.01	0	0.01	2565.32	65.01
Conexión REG5	2498.730701809837	0.01	0	0.01	2565.24	66.51
Conexión REG6	2498.673417866871	0.01	0	0.01	2565.24	66.56
Conexión REG7	2497.999002037385	0.01	0	0.01	2565.20	67.21
Conexión REG8	2496.703856430832	0.01	0	0.01	2565.14	68.44
Conexión REG9	2496.676022322136	0.01	0	0.01	2565.14	68.46
Conexión TEE274	2496.161	0.01	0	0.01	2565.11	68.95
Conexión REG11	2497.245994370955	0.01	0	0.01	2565.10	67.85
Conexión REG12	2497.257229395968	0.01	0	0.01	2565.09	67.84
Conexión REG13	2497.619698060037	0.01	0	0.01	2565.09	67.47
Conexión REG14	2497.632439018227	0.01	0	0.01	2565.09	67.46
Conexión REG15	2497.645175754326	0.01	0	0.01	2565.09	67.45

Modelación tridimensional Planta de tratamiento de agua potable

Para llevar a cabo la modelación en 3D de la planta de tratamiento fue necesaria la realización de un bosquejo a mano alzada de la ubicación de los componentes, una guía de la posición y dirección de las tuberías y con la ayuda de un video se logró definir algunos detalles en la posición de válvulas y otros accesorios.

AutoCAD es una herramienta muy completa la cual hoy en día nos permite trabajar planos bidimensionales como tridimensionales, capaz de generar modelos basados en la elaboración de figuras geométricas, allí se puede observar el total de los componentes de la planta de tratamiento

Figura 49

Fotos de la planta de tratamiento municipio de Susacón.





Análisis y Resultados

Medición equipos GPS

Proceso de campo

Se llevó a cabo la instalación de las dos placas representativas del posicionamiento geográfico realizado tal como se muestra en la siguiente imagen

Figura 50

Posicionamiento placa en el punto GPS 1y GPS 2



Luego de la instalación de las placas se llevó a cabo el posicionamiento de los equipos GPS en los lugares destinados GPS 1 y GPS 2. Una vez instalados los equipos en el lugar se comenzó la sincronización de los mismos y durante las 5 horas se fue supervisando que los equipos no presentaran ningún inconveniente por batería.

Figura 51

Posicionamiento de equipo en el punto GPS 1 y GPS 2



Nota: Foto tomada en campo de punto GPS 1 y GPS 2.

Proceso de oficina.

Se realizó el posicionamiento diferencial tomando como base la estaciones permanentes TUNA y GARA, que hacen parte de la Red de Estaciones GNSS de funcionamiento continuo denominada MAGNA-ECO y como Rover una antena de referencia Trimble TRM4000 posicionando en simultáneamente dentro de los mismos tiempos de las bases.

Se obtuvieron las coordenadas fijas semanales de las estaciones permanentes BOGT de la página WWW.SIRGAS.ORG, en sistema geocéntrico y posteriormente convertido a coordenadas Geodésicas, y cartesianas, en el software Magna 4 Pro.

Se obtuvieron los archivos RINEX correspondientes al tiempo de rastreo de las estaciones TUNA y GARA en ese mismo día del posicionamiento con una antena de referencia TRIMBLE TRM4000 sobre los puntos GPS1 Y GPS2, los datos RINEX de las Bases se descargaron de la página del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Se realizó el postproceso con el software TOPCON TOOLS tomando como puntos de control las estaciones permanentes TUNA Y GARA, que hacen parte de la Red de Estaciones GNSS de funcionamiento continuo denominada MAGNA-ECO. Realizando un posicionamiento diferencial de doble base con una antena de referencia TRIMBLE TRM4000 posicionada en los puntos GPS1 Y GPS2 como Rover.

Coordenadas geocéntricas semanales fijas de la antena de rastreo permanente BOGT (base) - bajadas de la página WWW.SIRGAS.ORG

Week 2054: SIRGAS solution aligned to IGS14 (wrt igs19P2054) 18-JUN-19 17:35

LOCAL GEODETIC DATUM: IGS14

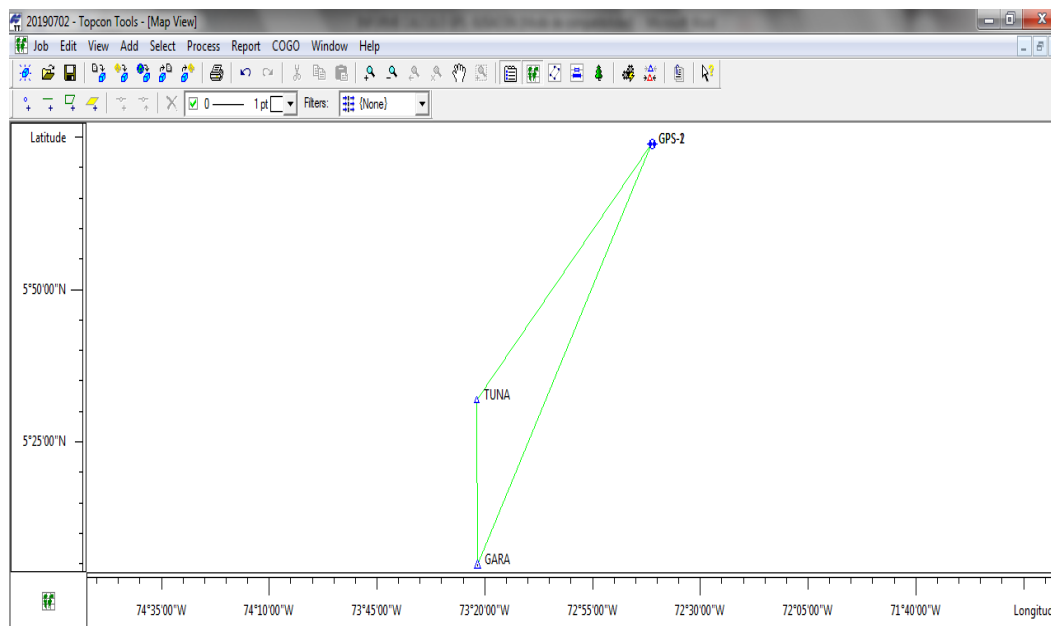
EPOCH: 2019-05-22 12:00:00

NUM	STATION NAME	X (M)	Y (M)	Z (M)	FLAG
1	AACR 40612M001	644009.04825	-6251064.25733	1093780.94182	A
3	ABCC 41939M001	1739437.99318	-6117252.44345	515065.09555	A
4	ABEC 42040M001	1257908.33081	-6254107.73465	-140325.19399	A
5	ABMF 97103M001	2919785.78359	-5383744.96636	1774604.84972	A
6	ABPD 41941M001	1742983.24838	-6118331.49592	494730.74156	A
8	ABPW 41940M001	1753507.20896	-6113239.03572	518210.61029	A
13	ABCC 41506M001	2765120.87326	-4440248.30670	-2626402.60664	A
280	ETUG 40602M001	645208.34531	-6249842.13604	1100399.65224	A
286	FALK 80602M001	2106811.40032	-3355170.75377	-4981786.23504	A
295	FOEC 42041M001	1435880.25515	-6214490.31501	-51232.85908	A
305	GARA 41945M001	1819791.60028	-6088854.57155	561298.43384	A
308	GLPS 42005M002	-33800.92683	-6377516.51621	-82154.23510	W
312	GODE 40451M123	1130773.52962	-4831253.57244	3994200.45932	W
316	GOGY 48095M001	3989705.20565	-4631044.67907	-1817529.78430	A
895	TOL2 40515M001	-1009229.26270	-5939511.43032	2094889.18801	A
897	TOPL 41648M001	4174345.58908	-4690236.77776	-1118921.18376	A
907	TUCU 41520S001	2386117.20590	-5171223.30128	-2862948.95809	A
909	TUMA 41929S001	1245830.18754	-6252040.18899	201464.28421	A
910	TUNA 41930S001	1818373.17635	-6085596.88356	610965.17084	A
915	UBA1 41627M002	4129567.80021	-4146743.09177	-2527616.28499	A
917	UBE1 41625M001	4014997.17186	-4509022.50083	-2052040.42894	A
919	UC01 42254M001	1683126.49444	-6082009.37918	-923828.50018	A
923	UCRI 40614M001	651221.11283	-6250477.11741	1093509.26979	A
925	UFPR 41610M002	3763751.68045	-4365113.93560	-2724404.48496	A
926	UGTO 40528M001	-1164730.25353	-5843944.69356	2272414.19680	A

Esquema de determinación

Figura 52

Esquema de determinación de coordenadas GPS1 y GPS2



Postproceso

Este post proceso fue realizado por el Propietario de los equipos GPS puesto que es quien conoce como descargar la información de sus herramientas de trabajos y convertirla en datos reales y exactos de la medición



Project Summary

Project name: 20190702.ttp

Surveyor: Comment: Linear unit: Meters Projection: Geoid:

GPS Observations					
Name	Start Time	Duration	PDOP	Base Antenna Height (m)	Rover Antenna Height (m)
GARA-GPS-1	02/07/2019 11:32:15 a.m.	5:08:45	2.629	0.16	1.36
GARA-GPS-2	02/07/2019 11:38:15 a.m.	5:12:00	2.484	0.16	1.4
GARA-TUNA	02/07/2019 12:00:00 a.m.	24:00:00	3.155	0.16	0.139
GPS-1-GPS-2	02/07/2019 11:38:15 a.m.	5:02:45	3.16	1.36	1.4
GPS-1-TUNA	02/07/2019 11:32:15 a.m.	5:08:45	2.625	1.36	0.139
GPS-2-TUNA	02/07/2019 11:38:15 a.m.	5:12:00	2.487	1.4	0.139

Used GPS Observations					
Name	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)
GARA-GPS-1	127191.68	74133.117	-955.82	0.028	0.051
GARA-GPS-2	127263.85	74162.012	-959.15	0.028	0.051
GARA-TUNA	49783.974	-426.165	885.223	0.018	0.029
GPS-1-GPS-2	72.184	29.003	-1.532	0.001	0.003
GPS-1-TUNA	-77334.424	-74655.74	-578.93	0.023	0.043
GPS-2-TUNA	-77406.563	-74684.78	-578.61	0.022	0.044

GPS Observation Residuals					
Name	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)
GARA-GPS-1	127191.68	74133.117	-955.82	0.028	0.051
GARA-GPS-2	127263.85	74162.012	-959.15	0.028	0.051
GARA-TUNA	49783.974	-426.165	885.223	0.018	0.029
GPS-1-GPS-2	72.184	29.003	-1.532	0.001	0.003
GPS-1-TUNA	-77334.424	-74655.74	-578.93	0.023	0.043
GPS-2-TUNA	-77406.563	-74684.78	-578.61	0.022	0.044

Control Points						
Name	X (m)	Y (m)	Z (m)	WGS84 Latitude	WGS84 Longitude	WGS84 El.Height (m)
GARA	1819791.6	-6088854.57	561298.43	5°04'52.80345"N	73°21'36.13517"W	1750.939
TUNA	1818373.1	-6085596.73	610965.15	5°31'52.78845"N	73°21'49.97493"W	2831.686

Adjusted Points							
Name	X (m)	Y (m)	Z (m)	WGS84 Latitude	WGS84 Longitude	WGS84 El.Height (m)	Ondulacin Geoidal
GPS-1	1887321.71	-6055920.26	687905.59	6°13'50.81042"N	72°41'25.45804"W	2502.113	23.2
GPS-2	1887346.61	-6055902.7	687977.18	6°13'53.15932"N	72°41'24.51495"W	2500.581	23.2
TUNA	1818373.13	-6085596.73	610965.15	5°31'52.78845"N	73°21'49.97493"W	2831.686	

PROYECCION LOCAL PALNAS DE GAUSS DATUM MAGNA SIRGAS EPOCA ACTUAL			
Puntos Ajustados			
Punto	Este (m)	Norte (m)	Altura (m)
GPS-1	1,153,520,495	1,180,960,509	2478.913
GPS-2	1,153,549,497	1,181,032,692	2477.381

Se obtuvieron los puntos de coordenadas del GPS1 y GPS2 como amarre de la poligonal con sus resultados

Tabla 11*Coordenadas resultantes GPS1 y GPS2*

Coordenadas ajustadas			
Punto	Este (m)	Norte (m)	Altura (m)
GPS-1	1153520,495	1180960,509	2478,913
GPS-2	1153520,495	1180960,509	2477,381

Levantamiento de campo

Se generaron las coordenadas cartesianas planas de cada elemento y punto delta visado, por el equipo estación total junto con la altura sobre el nivel del mar. Se registraron 265 puntos de tapas de registro de los consumidores más 3 puntos de extracción generales junto con 41 accesorios y 20 deltas de posicionamiento de equipo. En el Anexo I y Anexo J, se muestra el formato de campo utilizado en el levantamiento con parte de la información registrada en campo

Corrección de datos

Se llevó a cabo la corrección de los datos mediante el método de crandall el cual se distribuye primero el error de cierre angular en partes iguales entre todos los ángulos visados en campo, luego se mantienen fijos los ángulos ajustados y se llevan a cabo las siguientes correcciones restantes a las medidas lineales siguiendo este procedimiento:

Cálculo y compensación de poligonales

Se determinó el azimut real inicial como brazo de amarre de la poligonal de la siguiente forma.

$$\Delta N = N_{GPS2} - N_{GPS1}$$

$$\Delta N = 1181032,692 - 1180960,509$$

$$\Delta E = E_{GPS2} - E_{GPS1}$$

$$\Delta E = 1153549,497 - 1153520,495$$

$$Azimut = \tan^{-1} \Delta E / \Delta N$$

$$Azimut = 21.8895 \rightarrow 21^{\circ}53'22''$$

Cálculo y compensación del error de cierre angular

Se determinó el error angular mediante la siguiente ecuación:

$$Ea = \sum < \text{int} - (n - 2) * 180$$

Ecuación 1. Error Angular

Tabla 12

resultado del cierre de la poligonal cerrada

Σ ANGULOS		3059.98		
TEORICA		3060.00		
Ea	G	M	S	
0.0192	00	01	09	

Luego se realizó el cálculo de la tolerancia angular la cual está definida por la precisión del equipo topográfico multiplicado por la raíz del número de vértices ubicados

$$Ta = a\sqrt{n}$$

Ecuación 2. Tolerancia Angular

$$Ta = 0,05$$

Si $Ea > Ta$ se debe volver a medir, pero Si $Ea < Ta$ se procede a la corrección angular

Repartiendo el Error angular en partes iguales entre todos los ángulos visados

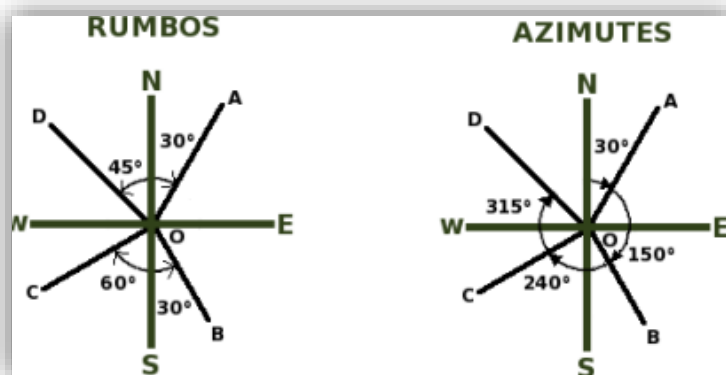
$$Ca = \frac{Ea}{n}$$

Ecuación 3 Corrección Angular

$$Ca = 0,0013$$

Cálculo de azimut y rumbos entre alineaciones (ley de propagación de azimut).

Los acimuts de la poligonal se calcularon dependiendo de su ubicación en cada uno de los cuadrantes conocidos del plano cartesiano (norte sur este y oeste) partiendo del valor del acimut real obtenido del vector que se forma entre los puntos GPS y GPS2 y el vector Norte Sur geográfico



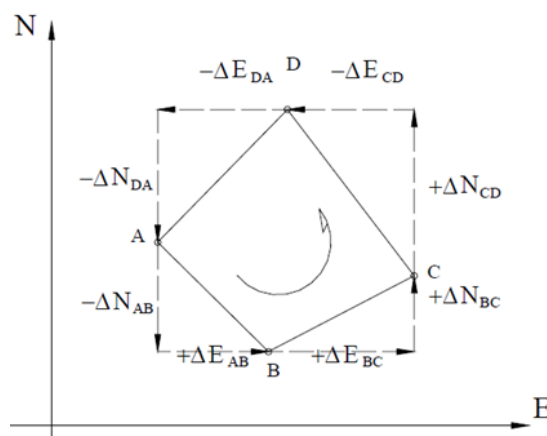
Cálculo de las Proyecciones de los lados

El cálculo de las Proyecciones corresponde a unas relaciones entre los sistemas de coordenadas polares y rectangulares

$$\Delta N = D * \cos(\varphi)$$

$$\Delta E = D * \sin(\varphi)$$

Ecuación 4. Calculo de Proyecciones.

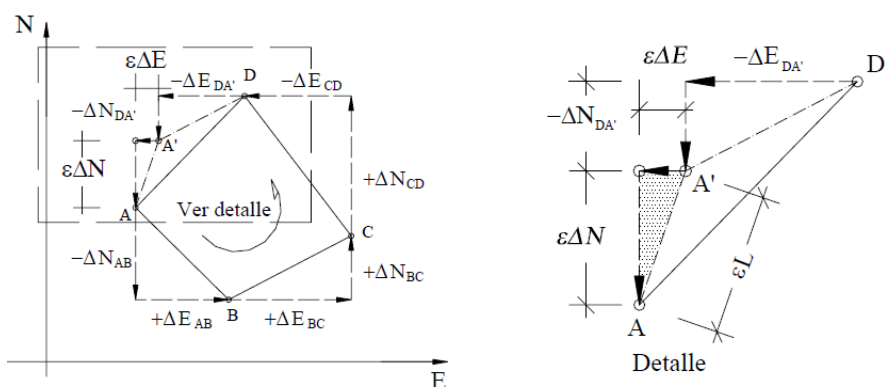
Figura 53*Representación de proyecciones en una poligonal*

Notas: Topografía plana- Universidad de los andes

Cálculo del error de cierre lineal

En una poligonal cerrada la suma de las proyecciones sobre el eje Norte-Sur debe ser igual a cero. De igual manera, la suma de todas las proyecciones sobre el eje Este – W oeste debe ser igual a cero.

Debido a los inevitables errores instrumentales y operacionales presentes en la medición de distancias la condición lineal nunca se cumple generando así el error de cierre lineal

Figura 54*Error de cierre lineal en poligonales cerradas*

Notas: tomado de (Matera, 2002)

$$\varepsilon\Delta N = \sum \Delta_{N-S}$$

Ecuación 5. Error de cierre lineal eje de las ordenadas.

$$\varepsilon\Delta E = \sum \Delta_{E-W}$$

Ecuación 6. Error de cierre lineal. Eje de las abscisas

$$\varepsilon L = \sqrt{\varepsilon\Delta N + \varepsilon\Delta E}$$

$$\varepsilon L = 0.094$$

Ecuación 7. Error de cierre lineal.

Luego de calcular el error lineal se verifico que este sea menor a la tolerancia lineal la cual esta especificada por normas según el tipo de importancia de trabajo condiciones topográficas y precisión de los instrumentos.

$$P = \frac{\varepsilon L}{\sum L}$$

$$p = 8.3 \times 10^{-5}$$

Ecuación 8. Precisión de la poligonal.

El error relativo n, viene expresado en términos de (1: n) y está dado por el inverso de la precisión de la poligonal

$$n = 1: \frac{1}{p}$$

$$n = 1: 11992.812$$

Tolerancia lineal	Tipo de levantamiento
1:800	Levantamiento de terrenos accidentados, de poco valor, levantamientos de reconocimiento, colonizaciones, etc.
1:1.000 a 1:1.500	Levantamientos de terreno de poco valor por taquimetría con doble lectura a la mira
1:1.500 a 1:2.500	Levantamiento de terrenos agrícolas de valor medio, con cinta.
1:2.500 a 1:5.000	Levantamientos urbanos y rurales, de mediano a alto valor, uso de distanciómetros electrónicos
1:10.000 ~	Levantamientos geodésicos

$$TL = 0.015 * \sqrt{\sum L}$$

$$TL = 0.503$$

Ecuación 9. Tolerancia lineal para terreno llano

$$TL = 0.025 * \sqrt{\sum L}$$

$$TL = 0.838$$

Ecuación 10. Tolerancia lineal para terreno ondulado

Compensación del error lineal

El método más usado en la topografía es el método de la brújula propuesto por Nathaniel Bowditch alrededor del año 1800, este método asume que los ángulos y las distancias son medidos con igual precisión, el error ocurre en proporción directa a la distancia y las proyecciones se corrigen proporcionalmente a la longitud de los lados

$$CpNi = -\frac{\varepsilon \Delta N}{\sum Li} * Li$$

Ecuación 11. Corrección parcial sobre la proyección Norte – Sur

$$CpEi = -\frac{\varepsilon \Delta E}{\sum Li} * Li$$

Ecuación 12. Corrección parcial sobre la proyección Este - Oeste

Cálculo de las coordenadas de los vértices

Con las proyecciones corregidas se determinó las coordenadas de cada vértice usando las siguientes ecuaciones:

$$N = N_{i-1} \pm \Delta N$$

Ecuación 13. Determinación de la coordenada Norte

$$Ei = E_{i-1} \pm \Delta E$$

Ecuación 14. Determinación de la coordenada Norte

Fichas técnicas del Catastro de redes

Se elaboro una descripción física detallada de todos los componentes del sistema de distribución presentes en el municipio registrándose en cada uno de sus formatos de fichas técnicas (ver anexo K)

Catastro de válvulas

En el municipio encontramos 9 válvulas de regulación la cuales han prestado un buen servicio ya que no se han presentado inconvenientes y a pesar de que la manipulación de las mismas no es posible debido al taponamiento de los huecos de acceso se ha llevado a cabo la distribución del agua con normalidad. Estas válvulas hechas en policloruro de vinilo (PVC) poseen diámetros de 3 y 2 pulgadas como se muestran a continuación

Catastro de tuberías

De acuerdo a la topografía del municipio de Susacón, se determinó que en su mayoría la red es de tipo ramificada y poco reticulada o cerrada, contando con una tubería instalada comprendida entre 1 y 3 pulgadas de diámetro siendo estas en su totalidad de policloruro de vinilo (PVC). Dicha tubería se encuentra enterrada a una profundidad aproximada de 60cm cumpliendo con el reglamento técnico.

Catastro de reductores

Como la red de distribución presenta diámetros de 1 y 3 pulgadas, se encuentran ubicados 25 reductores de PVC posicionados al extremo del accesorio que lo precede razón por la cual no se tomó medición de estos en el levantamiento topográfico si no que se asumieron las coordenadas del accesorio en cuestión junto con su código de medición dejando así la nomenclatura de reducción y el numero obtenido en el levantamiento

Catastro de cruces

En la red de distribución de agua potable encuentran instaladas cuatro cruces de tubería donde se presenta el cambio de dirección de flujo mantenido por la gravedad

Catastro de tee

Encontramos instaladas 16 tee en el municipio las cuales permiten cambiar la dirección del flujo perpendicularmente a la misma vez que lo divide en dos partes.

Catastro de codos

Generalmente las formas de este accesorio son variadas y estandarizadas, en el área de estudio se encuentran ubicados dos codos de 45° y 6 codos de 90° a lo largo de toda la red

Catastro de tapones

La red de distribución de agua potable tiene 14 tapones de PVC que están adaptados a cada uno de los extremos de la red, es decir el tapón está de acuerdo al diámetro de las tuberías impidiendo el paso del agua y delimitando la red.

Plano general

Este plano muestra una perspectiva del municipio destacando sus aspectos urbanísticos y sus curvas de nivel permitiendo visualizar el casco urbano del municipio en su totalidad (ver Anexo L. Plano general del municipio

Plano zonal

Estos planos zonales muestran un mayor detalle del municipio, incluyendo en ellos la red de distribución de agua con sus accesorios.(ver Anexo M. Planos zonales (M.1-M.2).)

Plano esquinero

Estos planos esquineros presentan un mayor detalle de los cruces o esquinas de calles donde fue registrado algún accesorio de la red entre los cuales encontramos válvulas o conexiones (codo, tee, cruce, reducción, tapón) (ver Anexo N. planos esquineros (N.1-N.22))

Modelación 3D e inventario de accesorios de la planta de tratamiento

A continuación, se muestran algunas imágenes tomadas del modelo de AutoCAD en las que se observa la planta de tratamiento del municipio realizada en 3D junto con el inventario de accesorios que la componen y permiten realizar el proceso de purificación del agua

Figura 55

Planta de tratamiento vista externa

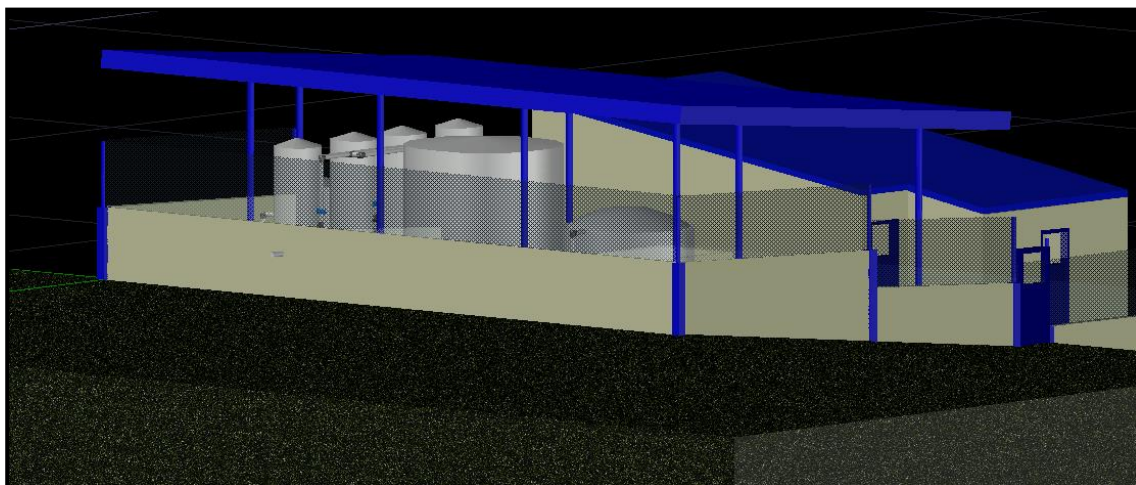
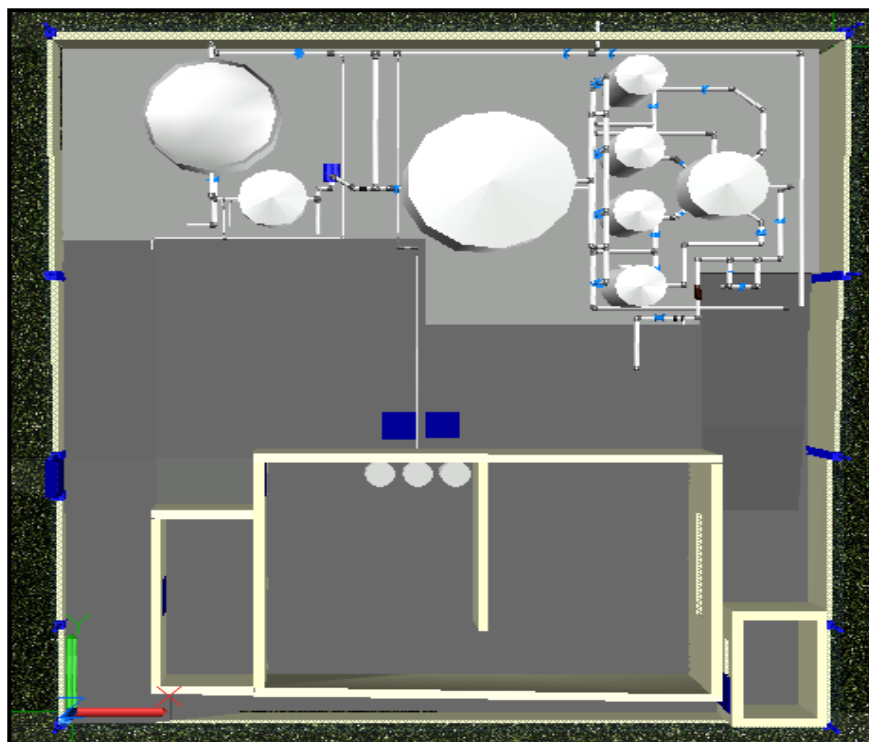
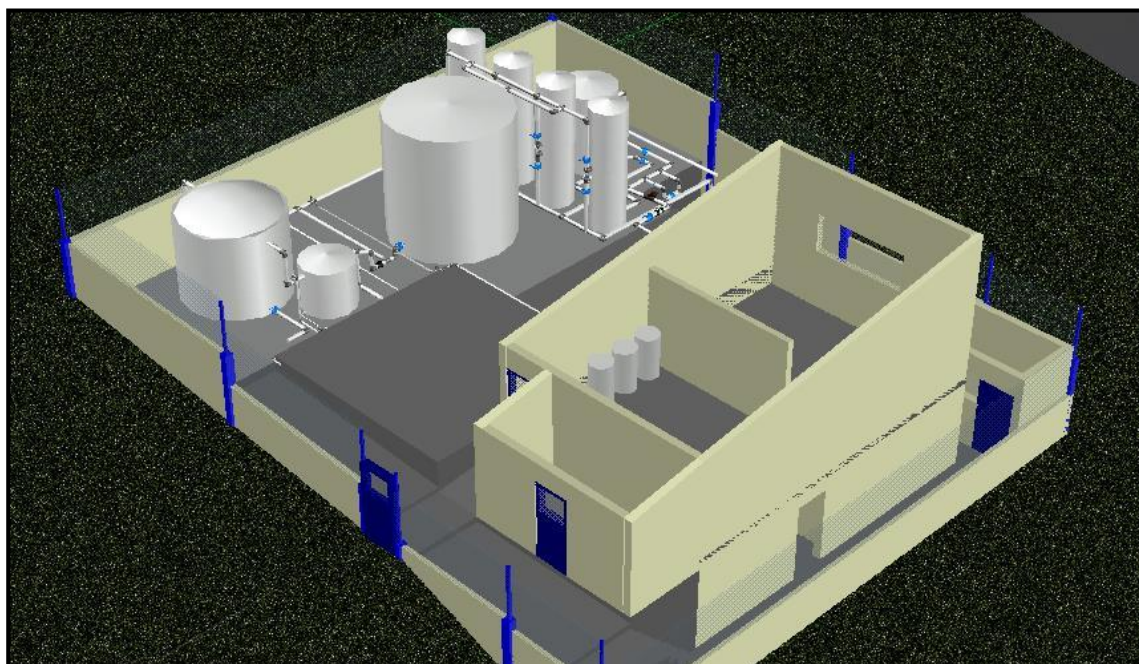


Figura 56*Planta de tratamiento vista superior o plano planta***Figura 57***Planta de tratamiento vista esquina o perfil esquinero*

Inventario de accesorios de la planta de tratamiento

Tabla 13

Accesorios de la planta de tratamiento tipo compacta.

N°	Nomenclatura	Accesorio	Tipo unión	Material	Diámetro (pulg)	Descripción
1	TUB	Tubería	Brida	PVC	3	164 ml
2	TUB	Tubería	Brida	PVC	1	57.3 ml
3	COD	Codo 45°	Mecánica	PVC	3	6 Un
4	COD	Codo 60°	Mecánica	PVC	1	15 Un
5	COD	Codo 90°	Mecánica	PVC	3	40 Un
6	TEE	Tee	Mecánica	PVC	3	21 Un

Tabla 14

Accesorios y elementos pertenecientes al proceso de tratamiento del agua.

Elemento	Capacidad
Tanque de oxidación	10.000 Lt
Tanque de bombeo	500 Lt
Tanque de almacenamiento	40 m3
Clarificador	500 Lt
Filtros 1	1800 Lt
Filtros 2	1800 Lt
Filtros 3	1800 Lt
Filtros 4	18000 Lt
Tanque de retro lavado	2000 Lt

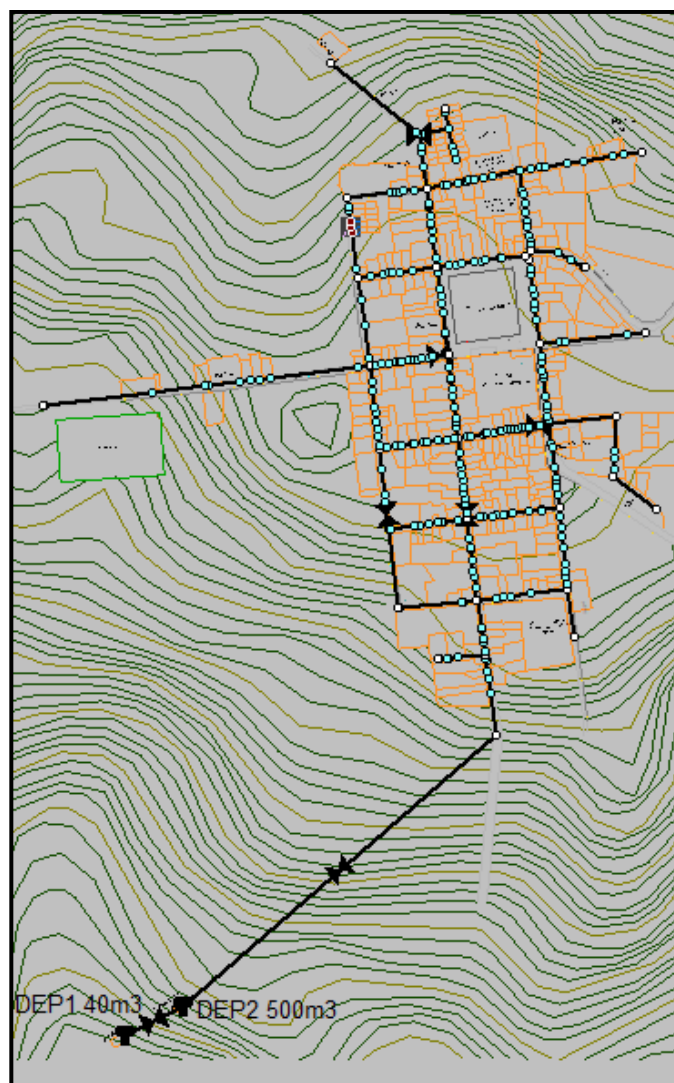
Tabla 15*Válvulas pertenecientes al proceso de tratamiento del agua.*

N°	Nomenclatura	Accesorio	Tipo unión	Material	Diámetro (pulg)	Descripción
1	VAL	Válvula	Brida	HG	3	Ingreso al sistema
2	VAL	Válvula	Brida	HG	3	Ingreso al clarificador
3	VAL	Válvula	Brida	HG	3	Salida del filtro 1
4	VAL	Válvula	Brida	HG	3	Salida del filtro 2
5	VAL	Válvula	Brida	HG	3	Salida del filtro 3
6	VAL	Válvula	Brida	HG	3	Salida del filtro 4
7	VAL	Válvula	Brida	HG	3	Salida tanque retro lavado 1
8	VAL	Válvula	Brida	HG	3	Salida tanque retro lavado 2
9	VAL	Válvula	Brida	HG	3	Salida tanque retro lavado 3
10	VAL	Válvula	Brida	HG	3	Salida tanque retro lavado 4
11	VAL	Válvula	Brida	HG	3	Entrada retrolavado filtros
12	VAL	Válvula	Brida	HG	3	Enjuague de filtro 1
13	VAL	Válvula	Brida	HG	3	Enjuague de filtro 2
14	VAL	Válvula	Brida	HG	3	Enjuague de filtro 3
15	VAL	Válvula	Brida	HG	3	Enjuague de filtro 4
16	VAL	Válvula	Brida	HG	3	By pass
17	VAL	Válvula	Brida	HG	3	Purga tanque de 10.000 Lt
18	VAL	Válvula	Brida	HG	3	Impulsión a clarificador
19	VAL	Válvula	Brida	HG	3	Purga tanque 500 Lt
20	VAL	Válvula	Brida	HG	3	Salida lodo del clarificador
21	VAL	Válvula	Brida	HG	3	Salida tanque de retro lavado

Resultados modelamiento hidráulico en EPANET

Figura 58

Visión General del modelo Hidráulico

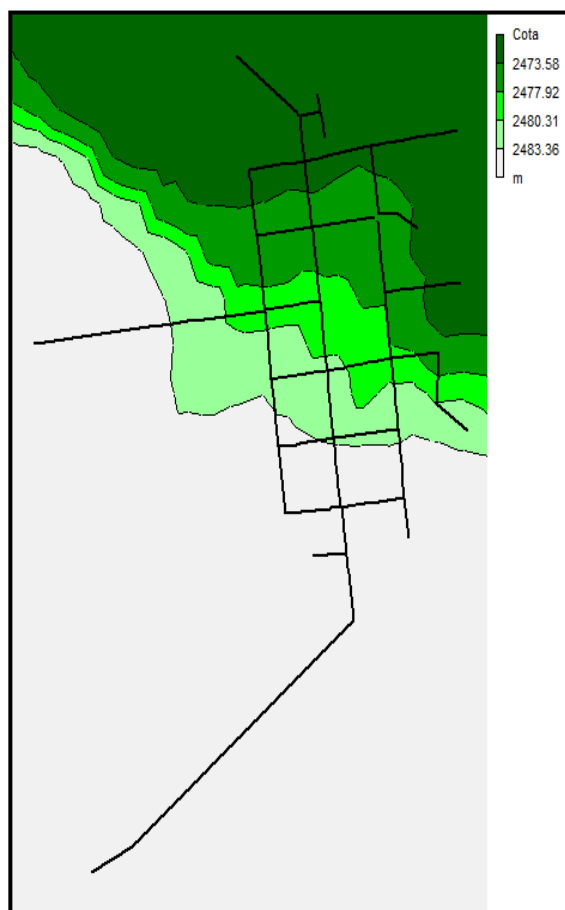


En la Figura 58 se presenta el mapa general del municipio con su red de distribución en conjunto con sus depósitos, válvulas y accesorios que la componen, representado la tubería en líneas negras, sus nodos de consumo en puntos de color azul y sus nodos de accesorios en puntos de color blanco, sus depósitos definidos con su capacidad de color negro y sus válvulas (►◄) de color negro. Todos estos colores varían con el valor de los resultados gracias a que

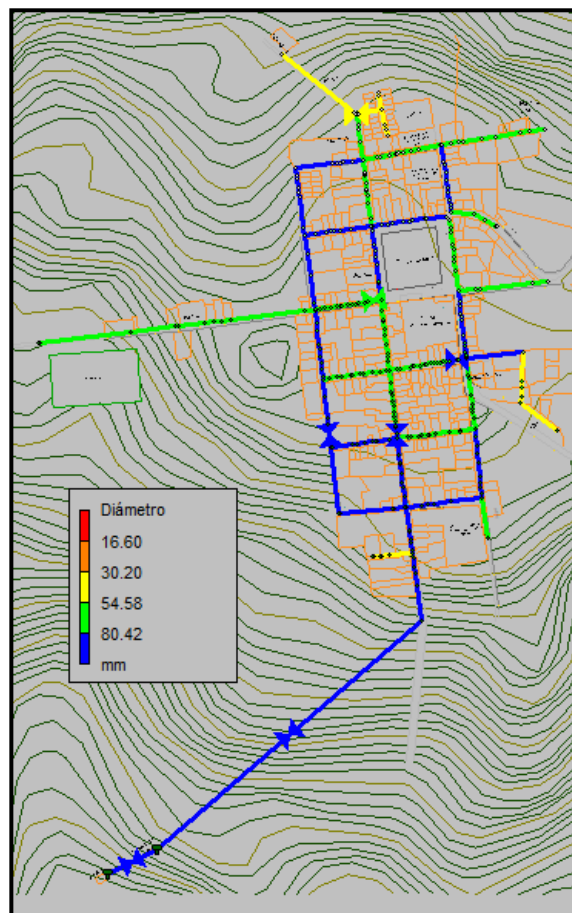
EPANET Permite representar los valores resultados con una escala de colores definidos por el usuario.

Figura 59

Contorno de cotas de elevación generado a través de EPANET.



Una de las utilidades del software EPANET permitió realizar un mapa de contorno del casco urbano con escala de colores, los cuales se generan a partir de las cotas de elevación que fueron asignadas a los nodos de conexión del modelo (ver Figura 59). Se asignó la escala de color verde donde se puede resaltar que entre más claro sea el color verde más elevada es la rasante del municipio brindando la facilidad de comprender la topografía del municipio en el software.

Figura 60*Diámetros de la tubería en la red*

De manera análoga podemos encontrar representado en escala de colores los diferentes diámetros de tubería presentes en la red de distribución, contemplando diámetros de 3", 2", 1" y 1 1/2" con los cuales logran ser abastecidos los 265 suscriptores pertenecientes al 100% de los consumidores del casco urbano del municipio de Susacón (ver Figura 60). Diámetros que se encuentran cumpliendo con la necesidad del municipio y con la Resolución 0330 de 2017

Se registró en el modelo un total de 3451.65 m de tubería contemplada por; la unión de todos los nodos exceptuando el tramo de longitud que hay entre la planta de tratamiento, el tanque de almacenamiento y la entrada a la red de distribución potable.

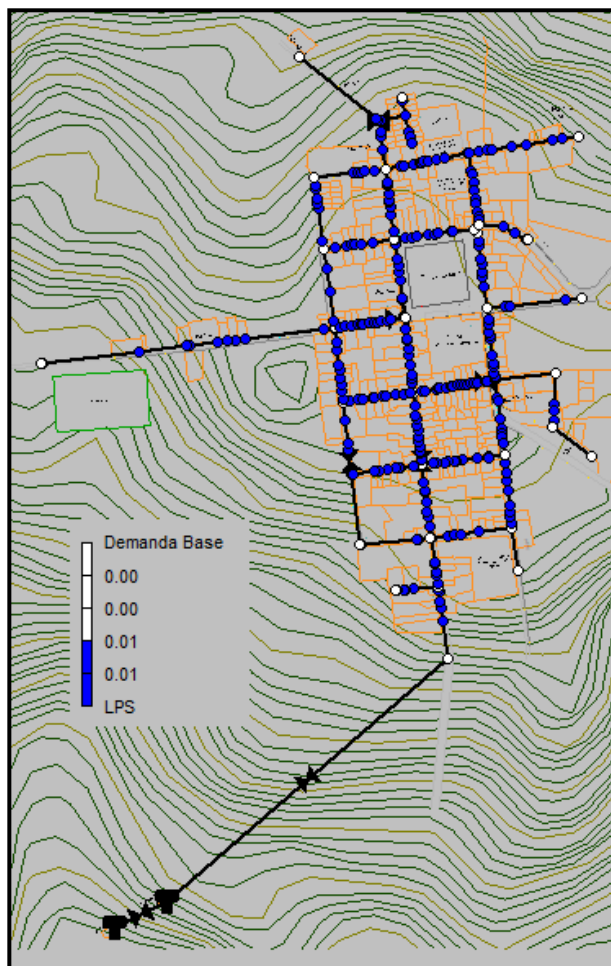
Tabla 16*Diámetros de tubería y porcentaje presentes en la red de distribución*

Diámetro (pulg)	Diámetro (mm)	Porcentaje
3	80,42	42,68%
2	54,58	49.03%
1 1/2	43,68	1,30%
1	30,2	6,82%

La mayor parte de la red de distribución de agua cuenta con la presencia de un 49.03% de tubería con diámetro de 2 pulgadas seguido de un 42.86% de tubería con diámetro de 3 pulgadas

Figura 61

Gráfico de demanda de caudales en cada nodo de la red.

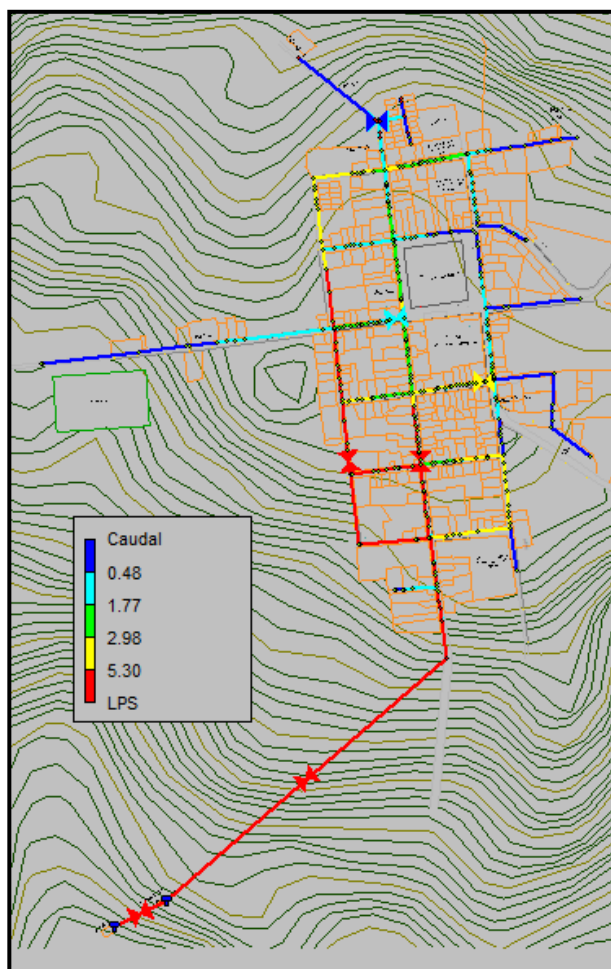


Como se mencionó anteriormente la imputación de la demanda base permite realizar un análisis más real de lo que está sucediendo en cada nodo de la red como en cada tramo de tubería con el fin de obtener el resultado de la presión en el nodo, el caudal circulante en la tubería, la velocidad de flujo, etc. En la Figura 61, gracias a la caracterización del programa se evidencia la demanda asignada a todos los nodos realizado en escala de color blanco y azul, expresando los nodos consumidores con demanda y los nodos accesorios sin demanda. El software permite esta representación útil para la verificación de la información añadida en el análisis.

Esta demanda base 0.00962 l/s, en los nudos contempla las perdidas, fugas, errores de conexión y demás fallos que pueda tener la red puesto que el caudal medio asignado es tomado como parte del caudal de salida de la planta de tratamiento y no tomado del registro de cada suscriptor debido a que no se realiza medición por suscriptor en el municipio

Figura 62

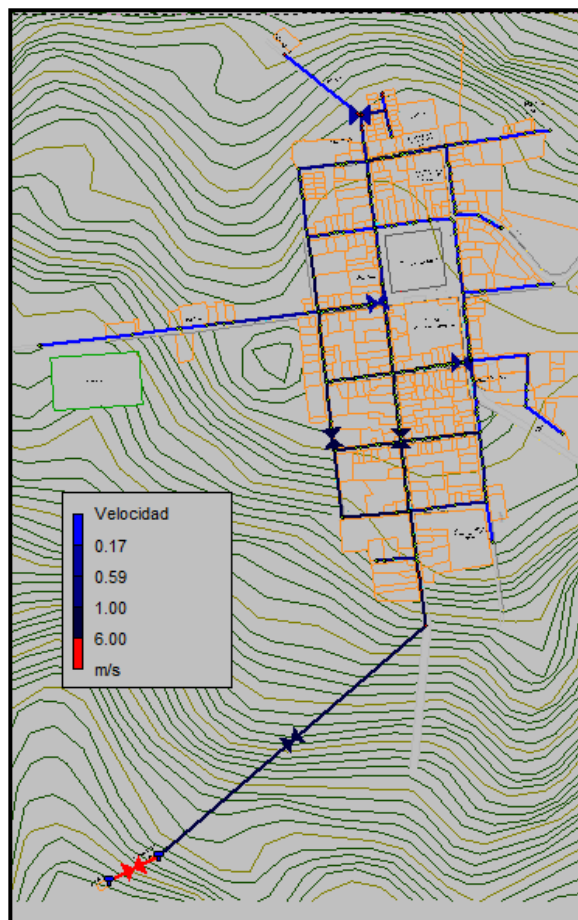
Gráfico de caudales presentes en la tubería.



Los resultados en cuanto a caudales se refieren no pueden considerarse aún aceptables en este modelo ya que falta un análisis más detallado del consumo de agua pero aun así este modelo se aproxima a la realidad.

Figura 63

Gráfico de velocidades de flujo en la tubería.



EPANET entre sus cálculos hidráulicos determina de manera automática las velocidades de flujo de agua dentro de las tuberías. En la Figura 64 se observa que el modelo presenta velocidades aceptables de acuerdo al reglamento técnico de agua potable y en algunos de sus tramos presenta velocidades elevadas a causa de la falta de detalle en la tubería, exponiendo que la velocidad máxima es de 2.68m/s en la red y de 5.08 m/s en la matriz principal, evitando superar el valor exigido por la norma establecido según el tipo de material.

Tabla 17*Velocidades máximas según material de tuberías*

Material	Velocidad
Acero sin revestimiento	5.0
Acero con revestimiento	4.0
Hierro Dúctil	4.0
CCP	3.0
PVC y PVCO	6.0
PEAD	5.0
GRP	6.0

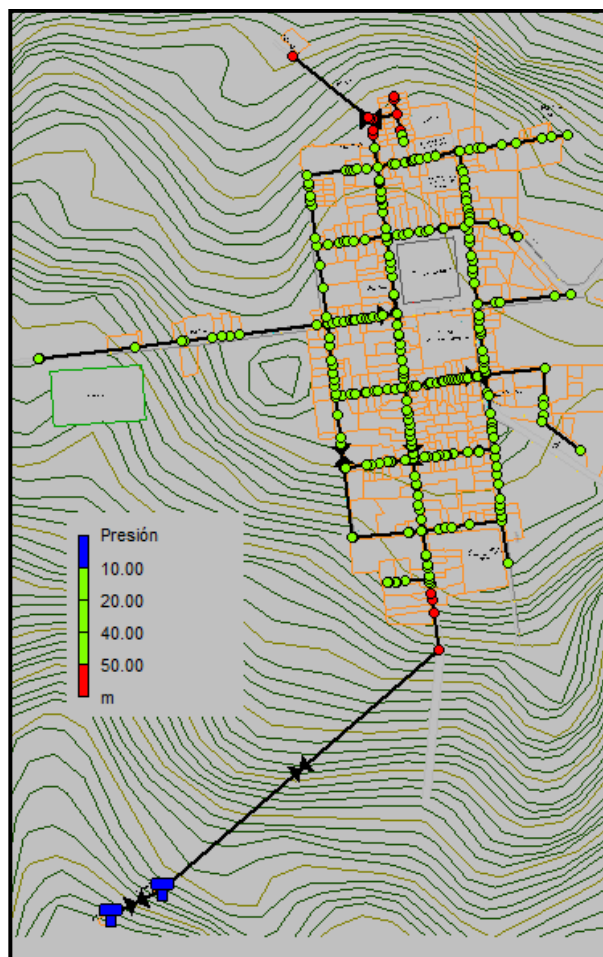
Notas: Adaptado del Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (Ras)

Según la información suministrada por el fontanero y la unidad de servicios públicos de Susacón toda la tubería de la red es de material PVC (poli cloruro de vinilo) lo cual permite una velocidad de máximo 6 m/s dentro de la tubería con el fin de evitar erosión o daños en la misma.

Mapa de caudales

Figura 64

Presiones en la red de distribución



EPANET admite la realización de los cálculos de análisis de una red de distribución de forma automática lo que convierte el trabajo de análisis en algo más sencillo, gracias a esto se analizó toda la información recolectada y suministrada por la unidad de servicios públicos de Susacón donde se obtuvieron las presiones estáticas de cada nodo de la red, ya sea nodo de consumidor o nodo de conexión, evidenciando que las presiones del municipio se encuentran en

su mayor parte en un rango de presión aceptable según lo establecido por la norma técnica RAS en la modificación presentada como Resolución 0330 del 8 de junio 2017

Figura 65

Gráfico de Presión en cada uno de los nodos de consumo hídrico presentes en el municipio.

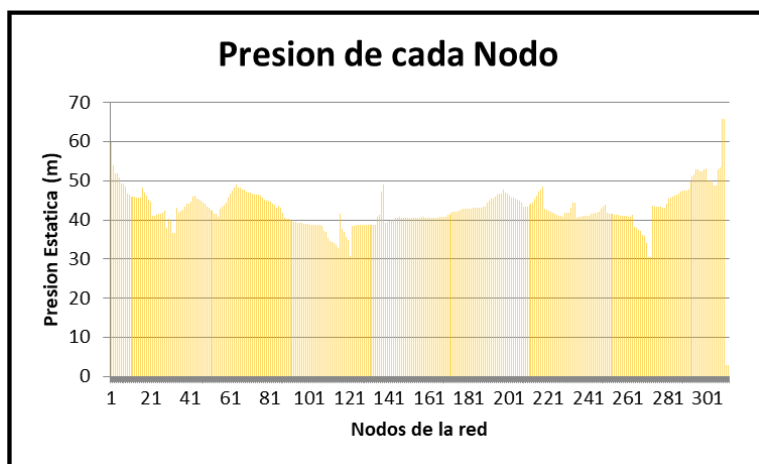


Tabla 18

Tabla de resumen de resultados

Total nodos	309
Total consumidores	268
Total accesorios	41
Presión máxima (m.c.a.)	65.72
Presión mínima (m.c.a.)	30.39
Presión media (m.c.a.)	42.85

Se registraron un total de 309 nodos de la red entre los que se encuentran los 268 nodos registrados como consumidores y 41 nodos contemplados como accesorios permitiendo identificar que, según el total de los nodos de la red de distribución de agua potable el municipio

presenta una presión de servicio promedio de 42.85 m.c.a., una presión máxima de 65.2 m.c.a y una presión mínima de 30.92 m.c.a. Entre las que se clasifican en un 94.78% de suscriptores que cuentan con una presión adecuada y un 5.22% de consumidores los cuales presentan presiones elevadas excediendo el límite de la norma de 50m.c.a. (600KPa) (RAS 2000) lo cual pue de traer problemas en la tubería como en la red. Cabe resaltar que estas presiones obtenidas en este tipo de análisis, régimen permanente, lo cual muestra el resultado de los nodos en el instante de mayor consumo de caudal en la red siendo uno de los casos más desfavorables de la red.

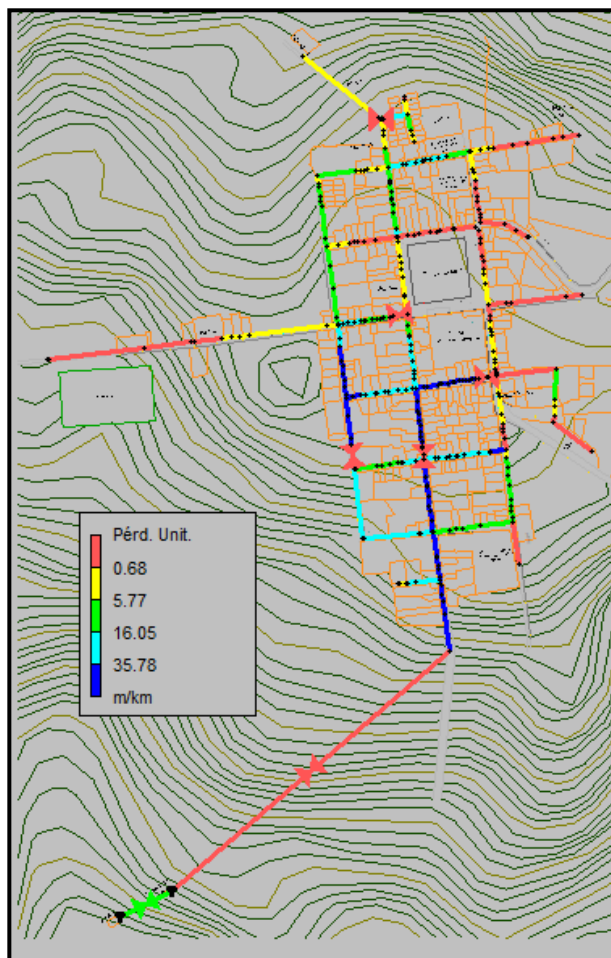
Tabla 19

Tabla de porcentaje y cantidad de usuarios obtenidos en los nodos de la red

Presión estática por suscriptores		
Rango	Porcentaje	Cantidad
Menor a 10 m.c.a.	0%	0
10 m.c.a. – 50 m.c.a.	94.78%	254
Mayor a 50	5.22%	14

Figura 66

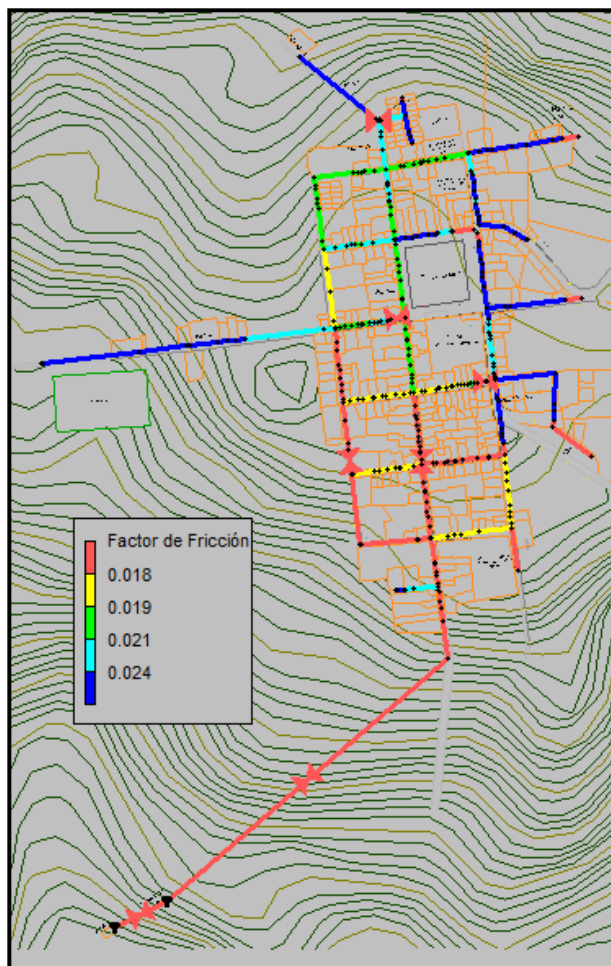
Gráfico de pérdidas unitarias en la red.



Uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta en un modelo hidráulico a presión es la caída o pérdida de energía producida en el sistema. Una manera rápida de establecer cuál es la pérdida de energía por fricción en un tramo dado es utilizando el valor de la pérdida unitaria definida por EPANET. Esta pérdida unitaria se define como la relación que existe entre la pérdida de energía y la longitud del tramo analizado. Por lo tanto, la pérdida de energía se obtiene del producto entre la longitud de la tubería y la pérdida unitaria, en unidades compatibles.

Figura 67

Gráfico de pérdidas unitarias en la red.



Otra alternativa para el cálculo de la pérdida de energía que nos permite el software EPANET es utilizar el factor de fricción o factor de Darcy obtenido en la modelación. Aunque Inicialmente la metodología utilizada para el cálculo hidráulico del ejercicio fue la de Hazen-Williams, EPANET obtiene como resultado el factor de fricción debido a su conducción, factor que también está definido en escala de colores acotados por los valores de factor con mayor repetición presente en la red. Dicho factor es adimensional tiene en cuenta la viscosidad del fluido, la rugosidad absoluta del material, el diámetro y la velocidad del fluido

Recursos generados en el proyecto

Tabla 20

Costos de oficina del proyecto.

Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor total
Computador	1	\$1'400.000	\$1'400.000
Impresora	1	\$350.000	\$350.000
Folder grande	1	\$8.500	\$8.50000
Papel impresión	1	\$9.000	\$9.0000
Papel para planos	1	15.000	\$15.000
Perforadora 3 huecos	1	\$22.000	\$22.000
Grapadora	1	\$4.500	\$4.500
TOTAL			\$1809000

Para reunir toda la información se contó con el acompañamiento del fontanero y de un ayudante o cadenero los cual brindo su apoyo para la realización de las actividades

Tabla 21

Costos de personal del proyecto.

Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor total
Ayudante	Dia	6	\$25.000	\$150.000
TOTAL				\$150.000

Tabla 22*Costos de trabajo en campo.*

Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor total
Alquiler GPS	Pto	2	\$380.000	\$760.000
Transporte GPS	Ud	2	\$50.000	\$100.000
Transporte TOPCON	Ud	2	\$50.000	\$100.000
Transporte NIKON	Ud	2	\$50.000	\$100.000
Transporte ayudante	Ud	6	\$15.000	\$90.000
Transporte visita Técnica	Ud	3	\$50.000	\$150.000
Alimentación	Ud	6	\$8.000	\$48.000
Hospedaje	Dia	6	\$60.000	\$360.000
TOTAL				\$1'708.000

- Transporte contempla el valor de traslado de equipos desde la ciudad de Bogotá hasta el municipio y de la ciudad de Tunja al municipio incluido los pasajes urbanos necesarios
- Hospedaje, comprende estadía para mí y almacenamiento de equipos
- Alimentación incluye desayuno almuerzo y comida para la comisión de topografía

Tabla 23*Foto de equipos y personal del proyecto*

Equipo 1 GPS TRIMBLE 4000	Equipo 2 GPS TRIMBLE 4000
 A photograph of a GPS TRIMBLE 4000 receiver mounted on a silver tripod. The receiver is black and red. A yellow carrying case and a black bag are on the ground next to the tripod. The setup is on a paved area with a brick curb.	 A photograph of a GPS TRIMBLE 4000 receiver mounted on a silver tripod. The receiver is black and red. A yellow carrying case and a black bag are on the ground next to the tripod. The setup is on a paved area with a brick curb.
Estación Total Topcon	Estación Total NIKON NPL 532
 A photograph of a yellow Topcon total station mounted on a silver tripod. The instrument has a large lens and a digital display. It is positioned outdoors on a paved surface.	 A photograph of a Nikon NPL 532 total station mounted on a silver tripod. The instrument is teal and black with a digital display. It is positioned outdoors on a paved surface.

Fontanero y Ayudante



Conclusiones

Par recolectar la información de los accesorios se requiere efectuar numerosos apiques, aforos de agua, pruebas de calidad, etc. donde se cuente con personal certificado y experimentado, por lo que se realizó este catastro como base para la ejecución del catastro oficial, el cual complementa la información acopiada en este proyecto

Este catastro plasma el contenido de la red de distribución de agua potable del municipio de Susacón, aquí se caracteriza y archiva cada uno de los accesorios que permiten dar la continuidad al flujo del recurso hídrico hasta llegar a los consumidores; siendo este un punto de partida para el mejoramiento en la prestación del servicio de agua potable del municipio. El catastro ejecutado permite realizar análisis de la prestación del servicio a medida que la población lo requiera, ya sea por causa de la implementación de nuevos componentes al sistema o por ejemplo; válvulas, cambios de tuberías, extensión de la red, sistemas para incendio, control de calidad del agua, entre otros.

El municipio de Susacón cuenta con un fontanero, quien se encuentra en disposición de atender una emergencia cuando se requiera; desde el inicio de este proyecto el municipio puso a mi disposición a esta persona y teniendo en cuenta los conocimientos adquiridos durante la formación académica, se consideró trabajar junto con un ayudante de topografía, siendo un total de tres personas en el equipo para realizar dicho levantamiento.

Se realiza un primer levantamiento topográfico donde algunos datos no quedan registrados para el cierre total de la poligonal dificultando la realización del proyecto; por lo que se realiza un segundo levantamiento topográfico donde me persuado de no cometer los mismos errores; arrojando resultados satisfactorios y aceptables según la tolerancia de precisión en la

toma de información, mostrando un error de cierre de poligonal de 0°1'9" producido por fuentes de viento o quizás errores humanos.

Una vez recolectada toda la información topográfica de la red de distribución suministrada por el municipio, se determinó que hay instalados en el casco urbano un total de 3452 metros de tubería de PVC aproximadamente, donde predominan los diámetros de 3" (82 mm), 2" (54.58 mm), de 1" (30.2 mm) y 1 ½ "(43.68 mm), la cual se cree encontrar en buen estado por su poca antigüedad y tipo de material. Esta red cuenta con 265 suscriptores registrados por la Unidad de servicios públicos y 3 puntos de extracción de agua para uso institucional o comunitario registrándose sus características físicas.

Para la Georreferenciación del levantamiento topográfico o geolocalización de la poligonal se requería un mínimo de 2 puntos situados sobre el terreno, donde se permitiera realizar una medición con GPS de alta frecuencia a cielo abierto, razón por la cual en el levantamiento topográfico se establecieron 2 puntos iniciales, destinados como amarre de la poligonal.

Los puntos GPS1 y GPS2 fueron calculados arrojando las coordenadas: Norte 1180960.509m – Este 1153520.459m - Elevación 2478.913msnm y Norte 1181032.692m – Este 1153549.497m – Elevación 2477.381msnm respectivamente, las cuales quedaron registradas con placas de aluminio insertadas en el suelo del parque central del municipio de Susacón grabadas de la siguiente forma: placa 1- ALCALDIA MUNICIPAL DE SUSACON – USTA – GPS-01- 27 – MAYO-2019 y placa 2- ALCALDIA MUNICIPAL DE SUSACON – USTA – GPS-01- 27 – MAYO-2019

De acuerdo a los conocimientos adquiridos en el transcurso de mi formación personal, el trabajar con el programa de AutoCAD en cada semestre fue gratificante, sin embargo, para

realizar el modelo tridimensional de la planta de tratamiento de agua potable, fue algo laborioso pues se tuvo que hacer toma de varios videos con el fin de generar un modelo 3D real donde se pueda visualizar su organización, programar mejoras, hacer reparaciones o solamente realizar mantenimiento con conocimiento previo de sus componentes. Se organizó un archivo de Excel como inventario donde se registran todos los componentes físicos de la planta de tratamiento como tubería, codos de 90° y 45°, tee, válvulas, entre otros, junto con sus características; En cuanto a su funcionamiento se encuentra realizándose de manera satisfactoria sin presencia de fallas o roturas en la tubería ni daños en los accesorios que la componen.

EPANET es un excelente software usado para realizar este tipo de trabajos, ya que cuenta con una amplia gama de herramientas de cálculo para modelar algunos de los aspectos físicos de la red de manera realista y así tener un mayor acercamiento a lo que está sucediendo actualmente en la red, permitiendo a futuro modelar propuestas que mejoren las condiciones del servicio, que impacten de manera positiva el municipio y la comunidad.

Al ser este un trabajo de aproximación real, y al no contar con varios datos visualizados de la red, se realizaron algunas simplificaciones para llevar dicho modelo a la realidad, se tomaron decisiones en este, ya que la información de la red en su mayoría es por memoria histórica del fontanero y este no sabe si hay elementos fuera de servicio dentro del sistema.

Con el modelo hidráulico se logró determinar algunas características en el funcionamiento de la red, como, establecer las presiones en los nodos o conexiones, el cálculo del caudal y la velocidad de flujo de agua a través de las tuberías, la determinación del factor de fricción o coeficiente de perdidas, comprobando que según la condición de parámetros hidráulicos asignados a la modelación de este proyecto, la red se encuentra en estado óptimo para

la prestación del servicio de acuerdo a los estándares de diseño establecidos por el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (Ras)

Gracias al software AutoCAD se crearon los planos General, Zonal y Esquinero en los cuales se consigue visualizar de forma general y detallada todos los aspectos urbanísticos del municipio, con la ubicación real de la red, incluida la posición de los tanques de almacenamiento y la planta de tratamiento de agua potable (PTAP). Estos planos están acompañados con el inventario de accesorios registrado en fichas técnicas, las cuales describen las propiedades físicas de la tubería u accesorio presentes

Recomendaciones

Se debe continuar sistematizando la información recolectada y verificar mediante la ejecución del catastro oficial que presente apiques, pruebas de calidad, aforos y localización georreferenciada de los accesorios en las esquinas con todas las características técnicas reales de las tuberías y accesorios y una vez organizada puede ser utilizada para lograr una eficiente operatividad del sistema, siendo necesario hacer ajustes periódicos en la medida que se presenten fallas en la red, se renueven tuberías de conducción, se cambien accesorios o ingresen nuevos usuarios al sistema.

Se debe avanzar paulatinamente con el fin de seguir adaptándose a la reglamentación existente en el documento: Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS y es necesario seguir estableciendo una pedagogía con la comunidad sobre el uso del recurso, mediante la organización de campañas de concientización, con el fin de conservar los recursos hídricos del planeta y el cuidar el medio ambiente

Es necesario efectuar el catastro oficial teniendo en cuenta los requerimientos técnicos para la ejecución de este tipo de proyectos con personal certificado y calificado como por ejemplo, ingeniero civil, comisiones de topografía, dibujantes, auxiliares de oficina y campo, técnico fontanero y obreros con experiencia en realización de apiques para determinar estado real de la red. Todo esto teniendo en cuenta los costos directos e indirectos necesarios para realización de apiques, rotura y reconstrucción de pavimentos y andenes, costos de administración entre otros

Bibliografía

- Rosman, L. (2017). EPANET 2.0 en español. Análisis hidráulico y de calidad en redes de distribución de agua.(Manual del usuario versión 2.00.12) Universidad Politécnica de Valencia.
https://www.iiama.upv.es/iiama/src/elementos/Software/2/epanet/EN2Manual_esp_v20012_ext.pdf
- Acuña Pitarri, M. I. (2013). Modelación con EPANET de red de distribución de agua potable de Valle Hermoso. [Tesis de pregrado] Repositorio digital UNC. Colecciones Prácticas Supervisadas en Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Córdoba. <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/1192>.
- Corcho Romero, F. H., & Duque Serna, J. I. (2005). Acueductos teoría y diseño. Universidad de Medellín.
- García Alcaraz, M. (2006).Modelación y simulación de redes hidráulicas a presión mediante herramientas informáticas.[Tesis ingeniería técnica de obras públicas especialidad hidrología] Repositorio digital Universidad Politécnica de Cartagena.
https://www.upct.es/hidrom/publicaciones/Tesis_pfc/PFC_MMarGracia_2006.pdf.
- Gómez Otero, I. (2006). Diseño de sistemas de acueducto y alcantarillado basados en la norma técnica Colombiana RAS-2000. Pontificia Universidad Javeriana. <https://www2.javerianacali.edu.co/sello-editorial-javeriano/catalogo/disenio-de-sistemas-de-acueducto-y-alcantarillado-basados-en-la#gsc.tab=0>.
- Colmenares Delgado, J. V. (2012). Soporte a las actividades de actualización de catastro de redes de alcantarillado para la empresa EMPAS S.A. E.S.P.[Tesis de pregrado] Repositorio Universidad Pontificia Bolivariana. <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/2160?locale-attribute=en>.
- López Cualla, R. A. (2003). Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Matera, L. C. (2002).Topografía plana. Universidad de los Andes. http://www.serbi.ula.ve/serbiula/libros-electronicos/Libros/topografia_plana/pdf/CARATULAPROLOGOINDICE.pdf.

- Méndez Abril, I. M., & Valdiviezo Luna, K. J. (2018). Elaboración del catastro de la red de agua potable en la parroquia Aurelio Bayas de la ciudad de Azogues, [Tesis de pregrado] Repositorio digital Universidad de Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/29361?locale=es>.
- Muños Martos, C. L., & Rueda Rincón, A. D. (2017). Manual de procedimientos para elaborar catastro de redes de alcantarillado,[Tesis de pregrado] Repositorio Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/5407/1/Mu%C3%B1ozMartosCristianLibardo2017.pdf>
- PAVCO. (2018).Manual técnico tubo sistemas presión PVC. PAVCO Colombia. <https://pavco.com.co/cotizador-pavco>.
- COVAL. (2018). Tuberías y accesorios plásticos Durman Esquivel Colombia. <https://coval.com.co/productos/tuberias-y-accesorios-plasticos/>
- Resolución 0330 de 2017.[Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia].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. 8 de junio de 2017. <http://www.minvivienda.gov.co/viceministerios/viceministerio-de-agua/reglamento-tecnico-del-sector/reglamento-tecnico-del-sector-de-agua-potable>
- Rojas Llanos, A. M., & Meneces Toro, D. (2017). Actualización del catastro y evaluación de la red matriz del acueducto veredal Arueda en Acacías, Meta [Tesis de pregrado]. Repositorio Universidad La Salle. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/132/
- Sánchez Días, L. H. (2016). Catastro de redes del acueducto de la vereda Yerbabuena, Chía, Cundinamarca [Tesis de tecnología] Repositorio Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/4138/6/S%C3%A1nchezD%C3%ADazLuisErnesto2016.pdf>

Bayona Sarabia Y. D. (2012). Actualización del catastro de redes de acueducto de las zonas de servicios 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 del casco urbano de la ciudad de Ocaña norte de Santander [Tesis de pregrado] Repositorio institucional de la universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

<http://repositorio.ufpso.edu.co/simple-search?query=catastro>

Ente Regulador de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento. (2007). Procedimientos y buenas prácticas en catastro de redes de agua potable y redes de alcantarillado. ERSAPS Observatorio de centralización. http://observatoriodescentralizacion.org/descargas/wp-content/uploads/2017/08/manual_catastro_redes.pdf

Santana M., Bonilla J., & Castillo C. (2015). Rango de consumo básico Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico.

https://cra.gov.co/documents/Documento_de_Trabajo_y_Participacion_Ciudadana_750.pdf

Sarmiento Huertas L. S., & Silva Diaz R. (2017). Modelación y optimización de la red de acueducto urbano del municipio de Tibana Boyacá. [Tesis de pregrado] Universidad Católica de Colombia.

<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15487/1/Modelaci%C3%B3n%20y%20optimizaci%C3%B3n%20de%20la%20red%20de%20acueducto%20urbano%20del%20municipio%20de%20Tiban%C3%A1-Boyac%C3%A1.pdf>

Solorzano, J. S. (2017). Ejercicios prácticos en EPANET ejercicios básicos de mecánica de fluidos e hidráulica aplicados a través del software de distribución gratuita. Universidad Piloto de Colombia.

<https://www.unipiloto.edu.co/descargas/LibroEpanet.pdf>

Zuccardi Merlano, L. A. (2003). acueductos fundamentos y nuevas tecnologías. Pontificia Universidad Javeriana.

Anexos

Anexo A. Planos urbanísticos antecedentes

Anexo B. Topografía 2011

Anexo C. Esquema de predios IGAC

Anexo D. Croquis Base Susacón

Anexo E. Certificado NIKON NPL-352

Anexo F. Datos crudos Susacón

Anexo G. Certificado GPS TRIMBLE 4000

Anexo H. Certificado de población DANE

Anexo H. Formato de materialización de puntos GPS1 y GPS2

Anexo I. Formato de campo zona 1

Anexo J Formato de campo zona 2

Anexo K. Ficha técnica de accesorios

Anexo L. Plano general del municipio

Anexo M. Planos zonales (L.1-L.2).

Anexo N. Planos esquineros (M.1-M.22)