

Práctica Empresarial Como Auxiliar de Ingeniería Civil en la Oficina de Estudios y Diseños de
la Empresa Aguas Kpital S.A. E.S.P. en la Ciudad de Cúcuta, Norte de Santander



Karol Juliana Lizcano Moncada

Director

Diego Ivan Sánchez Tapiero

Ingeniero Civil, Magíster en Ingeniería Ambiental

Universidad de Pamplona

Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Departamento de Ingeniería Ambiental, Civil y Química

Programa Ingeniería Civil

Pamplona

2024

Práctica Empresarial Como Auxiliar de Ingeniería Civil en la Oficina de Estudios y Diseños de
la Empresa Aguas Kpital S.A. E.S.P. en la Ciudad de Cúcuta, Norte de Santander



Karol Juliana Lizcano Moncada

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniera Civil

Director

Diego Ivan Sánchez Tapiero

Ingeniero Civil, Magíster en Ingeniería Ambiental

Universidad de Pamplona

Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Departamento de Ingeniería Ambiental, Civil y Química

Programa Ingeniería Civil

Pamplona

2024

Dedicatoria

A mi familia, por su apoyo constante, por ser una parte fundamental de la persona que soy y de los logros que hoy comparto. Gracias por siempre querer que esté a la altura de sus expectativas, por ser mi ejemplo a seguir, por enseñarme a perseverar y por mostrarme lo que realmente es importante en la vida. Su amor y acompañamiento me han dado la motivación necesaria para continuar en cada paso.

A mis amigos, por ser parte de esta etapa tan especial. Gracias por acompañarme en cada risa y en cada desafío, por su apoyo incondicional y por estar siempre presentes a lo largo de este proceso.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Universidad de Pamplona, por proporcionarme las herramientas necesarias para desarrollar mis capacidades profesionales, agradezco especialmente a cada uno de mis docentes, cuyo conocimiento, dedicación y orientación fueron esenciales para mi crecimiento personal y académico.

También deseo extender mi gratitud a los miembros de la oficina de Estudios y Diseños de la empresa AguasKpital, por haberme brindado la oportunidad de realizar mi práctica empresarial allí, por recibirme con los brazos abiertos, siempre dispuestos a dejarme una enseñanza para mi vida profesional y personal, gracias por confiar en mí y permitirme aplicar y expandir mis conocimientos.

Agradezco al Ingeniero Diego Sánchez, por darme a conocer nuevas herramientas que facilitaran mi carrera profesional, por contribuir de manera significativa en el desarrollo de mi práctica y de este trabajo, y por cada enseñanza dada a lo largo de mi formación académica.

Tabla de Contenido

Resumen.....	14
Abstrac	15
Introducción	16
Objetivos	18
Objetivo General.....	18
Objetivos Específicos.....	18
Marco Referencial.....	19
Marco de antecedentes o estado del arte.....	19
Antecedentes Internacionales.....	19
Antecedentes Nacionales.	19
Antecedentes Regionales.	20
Marco teórico	21
Sistema de Acueducto.....	22
Redes de Distribución en Sistemas de Acueducto	24
Diseño del Sistema de Acueducto.....	27
Sistema de Alcantarillado	28
Diseño del Sistema de Alcantarillado Sanitario.....	29
Herramientas para Modelación Computacional y Sistemas de Localización Geográfica.....	30
SIG (Sistemas de Información Geográfica).....	32
Marco Legal	35

Marco Contextual.....	36
Metodología	40
Fase 1. Revisión de Documentación	40
Fase 2. Diseño y Modelamiento de Redes de Acueducto en Epanet	41
Recopilación de Datos Iniciales para el Diseño.....	42
Diseño Preliminar de Redes.....	42
Simulación del Diseño	44
Informe Técnico del Diseño Final	45
Fase 3. Diseño y Modelamiento de Redes de Alcantarillado Sanitario en SWMM.....	47
Recolección de Datos Iniciales para el Diseño	47
Modelado Inicial	48
Simulación del Diseño	49
Generación de Informe de Modelado	50
Fase 4. Implementación de Plugins	51
Plugin Qwater Para el Diseño de Sistemas de Acueductos	51
Plugin Generate SWMM Inp Para el Diseño de Sistemas de Alcantarillados.....	56
Resultados	59
Fase 2. Diseño y Modelamiento de Redes de Acueducto en Epanet	63
Reposición de Red de Distribución de Agua Potable en el Barrio La Libertad	63
Reposición de Red de Distribución de Agua Potable en el Barrio Los Pinos	65
Reposición de Red de Distribución de Agua Potable en Avenida Libertadores.....	68
Reposición de Red de Distribución de Agua Potable en Barrio La Riviera	70

Fase 3. Diseño y Modelamiento de Redes de Alcantarillado Sanitario en SWMM.....	73
Reposición de Red de Tubería de Alcantarillado Sanitario en el Barrio La Libertad	73
Reposición de Red de Tubería de Alcantarillado Sanitario en el Barrio Santa Teresita.....	77
Reposición de Red de Tubería de Alcantarillado Sanitario en el Barrio Ceiba II Los Pinos.....	81
Fase 4. Implementación de Plugins	86
Plugin Qwater Para el Diseño de Sistemas de Acueductos	86
Plugin Generate SWMM Inp Para el Diseño de Sistemas de Alcantarillados.....	94
Conclusiones	100
Recomendaciones	102
Referencias.....	103

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Recopilación Normatividad Colombiana Vigente Para el Sistema de Acueducto.</i>	
.....	59
Tabla 2. <i>Recopilación Normatividad Colombiana Vigente Para el Sistema de Alcantarillado.</i>	
.....	60

Lista de Figuras

Figura 1. <i>Ubicación geográfica de San José de Cúcuta.</i>	37
Figura 2. <i>Área Metropolitana de Cúcuta (AMC).</i>	38
Figura 3. <i>Diagrama de fases de la metodología.</i>	40
Figura 4. <i>Base de Datos de la Infraestructura del Sistema de Acueducto y Alcantarillado Sanitario de la Ciudad de Cúcuta.</i>	41
Figura 5. <i>Detalles en AutoCAD Para el Diseño de Redes de Acueducto y Alcantarillado.</i>	43
Figura 6. <i>Interfaz del Software EpaCAD.</i>	44
Figura 7. <i>Interfaz de Epanet.</i>	45
Figura 8. <i>Formato de Excel de la Empresa AguasKpital.</i>	46
Figura 9. <i>Sectorización Hidráulica en el Sistema de Información Geográfica Google Earth.</i>	48
Figura 10. <i>Base de Qgis con Información de Pozos y Tubería de Alcantarillado Sanitario Existente.</i>	49
Figura 11. <i>Interfaz del Software SWMM.</i>	50
Figura 12. <i>Plugin Qwater en Qgis.</i>	52
Figura 13. <i>Configuración del Plugin Qwater.</i>	53
Figura 14. <i>Sistema de Referencia de Coordenadas del Proyecto.</i>	54
Figura 15. <i>Simulación Exitosa de la Red de Distribución Utilizando Qwater.</i>	55
Figura 16. <i>Imágenes Satelitales Cargadas en Qgis.</i>	56
Figura 17. <i>Funciones del Plugin Generate SWMM Inp.</i>	57
Figura 18. <i>Función ImportInpFile del Plugin Generate SWMM Inp.</i>	58

Figura 19. <i>Modelado en AutoCAD de la Red de Acueducto Barrio La Libertad.</i>	64
Figura 20. <i>Simulación en Epanet de la Red de Acueducto en el Barrio La Libertad.</i>	65
Figura 21. <i>Modelado en AutoCAD de la Red de Acueducto Barrio Los Pinos.</i>	66
Figura 22. <i>Simulación en Epanet de la Red de Acueducto en el Barrio Los Pinos.</i>	67
Figura 23. <i>Modelado en AutoCAD de la Red de Acueducto Avenida Libertadores</i>	69
Figura 24. <i>Simulación en Epanet de la Red de Acueducto Avenida Libertadores.</i>	70
Figura 25. <i>Modelado en AutoCAD de la Red de Acueducto Barrio La Riviera.</i>	71
Figura 26. <i>Simulación en Epanet de la Red de Acueducto en el Barrio La Riviera.</i>	72
Figura 27. <i>Inspección de Pozos para Proyecto de Reposición Barrio La Libertad.</i>	73
Figura 28. <i>Cálculo de Áreas con el SIG Google Earth Barrio La Libertad.</i>	74
Figura 29. <i>Modelado en AutoCAD de la Red de Alcantarillado Barrio La Libertad.</i>	75
Figura 30. <i>Cuadro de Diseño de Alcantarillado Sanitario de la Empresa AKC, para el Barrio La Libertad.</i>	76
Figura 31. <i>Simulación en SWMM de la Red de Alcantarillado en el Barrio La Libertad.</i>	77
Figura 32. <i>Cálculo de Áreas con el SIG Google Earth Barrio Santa Teresita.</i>	78
Figura 33. <i>Modelado en AutoCAD de la Red de Alcantarillado Barrio Santa Teresita.</i> .	79
Figura 34. <i>Cuadro de Diseño de Alcantarillado Sanitario de la Empresa AKC, para la Red del Barrio Santa Teresita.</i>	80
Figura 35. <i>Simulación en SWMM de la Red de Alcantarillado en el Barrio Santa Teresita.</i>	81
Figura 36. <i>Cálculo de Áreas con el SIG Google Earth Barrio Los Pinos.</i>	82
Figura 37. <i>Modelado en AutoCAD de la Red de Alcantarillado Barrio Los Pinos.</i>	83

Figura 38. Cuadro de Diseño de Alcantarillado Sanitario de la Empresa AKC, para la Red del Barrio Los Pinos y Ceiba II.	84
Figura 39. Simulación en SWMM de la Red de Alcantarillado de 8" en el Barrio CEIBA II Los Pinos.	85
Figura 40. Simulación en SWMM de la Red de Alcantarillado de 24" en el Barrio CEIBA II Los Pinos.	86
Figura 41. Implementación del Plugin Qwater en Qgis Barrio La Libertad.	87
Figura 42. Implementación del Plugin Qwater en Qgis Barrio Los Pinos.	89
Figura 43. Implementación del Plugin Qwater en Qgis Avenida Libertadores.	91
Figura 44. Implementación del Plugin Qwater en Qgis Barrio La Riviera.	93
Figura 45. Diseño del Barrio La Libertad Exportado de SWMM a Qgis con el Plugin Generate SWMM Inp.	95
Figura 46. Diseño del Barrio Santa Teresita Exportado de SWMM a Qgis con el Plugin Generate SWMM Inp.	96
Figura 47. Diseño de 8" a Exportar de Qgis a SWMM a Qgis con el Plugin Generate SWMM Inp.	97
Figura 48. Diseño de 24" a Exportar de Qgis a SWMM a Qgis con el Plugin Generate SWMM Inp.	98

Glosario

AKC. Abreviatura de Aguas Kpital Cúcuta, empresa operadora del sistema de acueducto y alcantarillado sanitario de esta ciudad. (*Aguas Kpital Cucuta S.A ESP | Portal Web de Aguas Kpital Cucuta S.A ESP*, 2024)

Capa de Archivo Shape. En Qgis, la capa de archivo shape es un formato vectorial que guarda la ubicación de elementos geográficos y los atributos asociados a ellos. Los elementos geográficos pueden representarse como puntos, líneas o polígonos. (Alonso, 2014)

CN. Denotación dada para los Centros de Negocios en la empresa Aguas Kpital como parte de su esquema organizacional. (*Esquema organizacional | Aguas Kpital Cucuta S.A ESP*, 2023)

Embalse. Los embalses son nodos o puntos que representan una fuente externa infinita o un sumidero de agua para la red. Se pueden utilizar para modelar elementos como lagos, ríos, acuíferos subterráneos y conexiones con otros sistemas. (De Plaza, 2017)

ESRI. Empresa especializada en software de sistemas de información geográfica (SIG), inteligencia de ubicación y representación geográfica. Su nombre proviene de la abreviatura de Environmental Systems Research Institute. (Mitchel A., 2005)

Nodo. Un nodo es un elemento en el que se puede introducir un consumo, como un embalse, un depósito o una unión. Para el modelado de redes de acueducto en Epanet y Qgis se definirá como el punto de conexión o unión entre tuberías en una red de distribución de agua. (Rossman, 2001)

Objetos Espaciales. En Qgis, un objeto espacial es aquel que se representa mediante datos vectoriales, los cuales son una forma de representar entidades del mundo real en el entorno GIS. (GISP et al., 2016)

Plugin. Un plugin, también conocido como complemento o extensión, es un software que se instala en un programa para ampliar sus funciones. Los plugins son como mini programas que añaden un fragmento de código adicional al software en el que se instalan. (Mariño, 2021)

Sectorización Hidráulica. La sectorización del sistema de distribución consiste en delimitar zonas de la red, por medio de líneas divisorias que las separen físicamente entre sí, seccionando la menor cantidad posible de tubería de distribución; de tal manera que instalando macromedidores en éstas, se puedan determinar los volúmenes de agua consumida en cada una de las zonas, permitiendo de esta manera mediante comparación con la micromedición de cada sector establecer un indicador de pérdidas o indicador de agua no facturada. (*Normas para la Delimitación y Sectorización de los Distritos de Riego de la Costa del Perú*, 2010.)

Resumen

Este trabajo de grado documenta la práctica empresarial como auxiliar de ingeniería civil en la empresa Aguas Kpital Cúcuta, encargada de operar los servicios de acueducto y alcantarillado sanitario de la ciudad San José de Cúcuta, Norte de Santander; en búsqueda de satisfacer la necesidad de diseñar y modelar redes hidráulicas eficientes que mejoren la calidad del servicio y aseguren su sostenibilidad, dada las principales problemáticas como la creciente demanda derivada del crecimiento urbano, el retorno migratorio y el cambio climático.

La metodología se desarrolló en cuatro fases, en primer lugar, se revisaron normativas colombianas vigentes y se analizó la infraestructura existente mediante bases de datos geoespaciales. Posteriormente, se diseñaron redes de acueducto con Epanet, considerando datos topográficos, demanda hídrica y características técnicas, y se modelaron redes de alcantarillado sanitario utilizando SWMM, teniendo en cuenta cotas, diámetros y condiciones de flujo. Finalmente, se implementaron complementos como Qwater y Generate SWMM en Qgis para simular y visualizar proyectos con precisión geográfica.

Entre los principales resultados, se destacan diseños de redes de acueducto y alcantarillado que cumplen con las normativas vigentes y optimizan los recursos disponibles. Las simulaciones confirmaron la viabilidad técnica y la sostenibilidad de las propuestas, beneficiando directamente a la comunidad al garantizar servicios básicos continuos y de calidad.

En conclusión, este proyecto cumplió con los objetivos académicos y profesionales de la práctica y contribuyó a demostrar la importancia de integrar herramientas computacionales y metodologías geoespaciales en el diseño de infraestructuras esenciales, reafirmando el papel clave de la ingeniería civil en la mejora de la calidad de vida de la población.

Abstrac

This thesis documents the business practice as a civil engineering assistant in the company Aguas Kpital Cúcuta, in charge of operating the water and sewer services of the city of San José de Cúcuta, Norte de Santander; in search of satisfying the need to design and model efficient hydraulic networks that improve the quality of the service and ensure its sustainability, given the main problems such as the growing demand derived from urban growth, migratory return and climate change.

The methodology was developed in four phases. First, current Colombian regulations were reviewed and the existing infrastructure was analyzed using geospatial databases. Subsequently, water networks were designed with Epanet, considering topographic data, water demand and technical characteristics, and sewer networks were modeled using SWMM, taking into account elevations, diameters and flow conditions. Finally, plugins such as Qwater and Generate SWMM were implemented in Qgis to simulate and visualize projects with geographic precision. Among the main results, the designs of water and sewer networks that comply with current regulations and optimize available resources stand out. The simulations confirmed the technical feasibility and sustainability of the proposals, directly benefiting the community by guaranteeing continuous and quality basic services.

In conclusion, this project met the academic and professional objectives of the practice and contributed to demonstrating the importance of integrating computational tools and geospatial methodologies in the design of essential infrastructures, reaffirming the key role of civil engineering in improving the quality of life of the population.

Introducción

En la actualidad, muchas ciudades enfrentan desafíos significativos derivados del crecimiento urbano y poblacional, entre ellas la ciudad de San José de Cúcuta, que se ha visto particularmente afectada por el retorno de migrantes venezolanos. Este fenómeno ha sobrepasado la capacidad de la infraestructura existente, lo que afecta la calidad y la continuidad del servicio, especialmente en zonas con redes de acueducto y alcantarillado deterioradas.

En este contexto, Aguas Kpital SAESP, encargada de operar los servicios públicos de acueducto y alcantarillado en la ciudad, enfrenta el reto de garantizar un suministro eficiente y sostenible. Además, factores como el cambio climático y la contaminación de fuentes hídricas han disminuido los caudales disponibles, incrementando la necesidad de optimizar y expandir los sistemas actuales para atender la creciente demanda de la población.

La situación exige nuevos estudios y diseños que consideren los retos actuales y futuros, garantizando la sostenibilidad del servicio. La ausencia de infraestructura adecuada puede derivar en problemas graves, como el derrame de aguas residuales no tratadas, que afectan la salud pública y el medio ambiente local. Ante esta realidad, la participación de un auxiliar de ingeniería civil es clave para atender estas necesidades, contribuyendo al desarrollo de proyectos técnicos que aborden los problemas mencionados.

El presente trabajo de grado tuvo como propósito realizar una práctica empresarial en la oficina de estudios y diseños de Aguas Kpital Cúcuta, desempeñándose como auxiliar de ingeniería civil. Se buscó apoyar el desarrollo de proyectos de infraestructura hidráulica mediante la implementación de herramientas computacionales destacadas por su importancia como EPANET y SWMM para el diseño y modelado de sistemas eficientes, así como la

implementación de metodologías geoespaciales mediante sistemas de información geográfica (GIS), contribuyendo así a mejorar la calidad y sostenibilidad de los servicios de acueducto y alcantarillado en la ciudad.

Este proyecto responde a la necesidad de fortalecer las capacidades técnicas de la empresa operadora, optimizando los procesos de diseño y modelación de redes hidráulicas, garantizando a su vez el cumplimiento de las normativas colombianas. La práctica empresarial permitió también integrar los conocimientos adquiridos en la formación académica con la experiencia profesional, beneficiando tanto a la empresa como a la estudiante resaltando las competencias aplicadas que refuerzan su perfil como ingeniero civil.

El impacto de este trabajo de grado se traduce en mejoras directas para la empresa y la comunidad de Cúcuta. La implementación de diseños eficientes contribuyó a optimizar los recursos y garantizar la continuidad del servicio, beneficiando a miles de habitantes al asegurar el acceso al agua potable y al saneamiento básico. Además, la experiencia acumulada refuerza el prestigio de la Universidad de Pamplona y su programa de Ingeniería Civil, demostrando la capacidad de sus estudiantes para abordar problemáticas complejas en el sector.

Este proyecto no solo cumplió con los objetivos académicos y profesionales del estudiante, sino que también contribuyó al desarrollo sostenible y al bienestar de la región, reafirmando el importante papel de la ingeniería civil.

Objetivos

Objetivo General

Realizar práctica empresarial como auxiliar de Ingeniería Civil en la oficina de estudios y diseños de la empresa Aguas Kpital S.A. E.S.P. en la Ciudad de Cúcuta en Norte de Santander.

Objetivos Específicos

- Hacer una revisión sistemática de las normativas colombianas vigentes del sector de agua potable y saneamiento básica, e investigación documental de la infraestructura actual del sistema de acueducto y alcantarillado sanitario de la ciudad de Cúcuta.
- Elaborar diseños de sistemas de redes de acueducto asignados, implementando el uso de la herramienta computacional EPANET que cumplan los parámetros exigidos por la normatividad vigente.
- Modelar computacionalmente los diseñados de los sistemas de alcantarillado sanitarios asignados, mediante el uso del software SWMM, conociendo su comportamiento en el cumplimiento de los parámetros establecidos por la normatividad vigente.
- Implementar el uso de Plugins en sistemas de información geográfica para el diseño de redes de acueducto y alcantarillado sanitario bajo la normatividad colombiana vigente.

Marco Referencial

Marco de antecedentes o estado del arte

Antecedentes Internacionales.

En el libro de Biswas, A. K., & Tortajada, C. “Gestión integrada de los recursos hídricos, principios y aplicaciones” (2019), se analiza cómo la gestión integrada de recursos hídricos (GIRH) se adapta al cambio climático mediante casos de estudio globales y análisis comparativo. Se concluye que la GIRH debe adaptarse continuamente para enfrentar los desafíos del cambio climático, promoviendo la resiliencia y sostenibilidad en la gestión del agua.(Biswas, 2004)

Brown y Farrelly (2009) concluyeron que la gestión sostenible del agua urbana requiere un enfoque holístico que integre aspectos técnicos, sociales y ambientales, tras una revisión sistemática de artículos académicos y estudios de caso sobre la gestión sostenible del agua urbana.(Brown & Farrelly, 2009)

Wong y Brown (2021) analizaron riesgos y evaluaron políticas de seguridad hídrica en diversas ciudades de Asia, concluyendo que la seguridad hídrica urbana debe incluir la gestión de riesgos climáticos, la conservación de recursos y la participación comunitaria.(Chapagain et al., 2021)

Antecedentes Nacionales.

Zamudio Rodríguez (2016) concluyó que la implementación de la gestión integrada de recursos hídricos (GIRH) en Colombia ha sido parcial y enfrenta desafíos en coordinación interinstitucional y participación comunitaria, evaluando estudios de caso y análisis de políticas públicas. (Zamudio Rodríguez, 2012)

Pérez y Vargas (2015) determinaron que la modernización del sistema de acueducto en Bogotá mejoró significativamente la eficiencia operativa y la calidad del servicio, aunque persisten desafíos en términos de sostenibilidad y equidad, basándose en el análisis de indicadores de eficiencia y calidad del servicio antes y después de la modernización.(M. L. Pérez & Vargas, 2015)

Ramírez y Castaño (2018) concluyeron que la calidad del agua del río Cauca presenta niveles de contaminación preocupantes que afectan el suministro de agua potable, destacando la necesidad de medidas de control y tratamiento más estrictas, a través del muestreo y análisis físico-químico del agua.(Ramirez & Cataño, 2018)

Antecedentes Regionales.

González & Tibaduiza (2017) concluyeron que la infraestructura de acueducto y alcantarillado en Las Juntas, Hacarí, es deficiente y necesita urgente inversión y modernización para garantizar un servicio adecuado.(Tibaduiza Paipilla & González González, 2017)

Martínez (2019) propuso estrategias para mejorar la eficiencia del uso del agua y asegurar la sostenibilidad a largo plazo en Cúcuta, analizando recursos hídricos y proyecciones de demanda (Martínez, 2019). Fernández (2020) concluyó que la calidad del agua potable en Cúcuta cumple con los estándares básicos, pero identificó áreas de mejora en tratamiento y distribución, tras analizar muestras de agua.(Fernández, 2020)

González (2018) encontró que los sistemas de alcantarillado tienen una eficiencia limitada debido a problemas de diseño y mantenimiento, requiriendo intervención urgente (González, 2018). Pérez & Ramírez (2019) propusieron estrategias para mitigar inundaciones urbanas y mejorar la resiliencia de Cúcuta ante eventos climáticos extremos mediante análisis hidrológico y diseño de infraestructuras de drenaje.(A. M. Pérez & Ramírez, 2019)

Rojas (2016) utilizó modelado hidráulico y simulación de escenarios de mejora para proponer formas de reducir las pérdidas de agua y mejorar la eficiencia del suministro en Cúcuta (Rojas, 2016). Sánchez (2021) concluyó que la contaminación del Río Pamplonita afecta negativamente el suministro de agua potable en Cúcuta, subrayando la necesidad de medidas de control y remediación.(Sánchez, 2021)

Torres (2017) determinó que las tecnologías de tratamiento de aguas residuales en Cúcuta necesitan mejoras para cumplir con los estándares ambientales y aumentar la eficiencia del tratamiento tras evaluar instalaciones y desempeño.(Torres, 2017)

Uribe (2019) concluyó que un plan de saneamiento adecuado puede mejorar significativamente la calidad de los cuerpos de agua y la salud pública en Cúcuta, tras analizar fuentes de vertimientos y formular estrategias de control y tratamiento.(Uribe, 2019)

Marco teórico

La gestión de recursos hídricos es clave en la planificación de sistemas de acueducto y alcantarillado. La gestión integrada de recursos hídricos (GIRH) es vital para el desarrollo sostenible, equilibrando consumo humano, agricultura, industria y medio ambiente, promoviendo coordinación, participación y principios de equidad y sostenibilidad (Loucks & van Beek, 2017). El diseño y operación de sistemas de acueducto y alcantarillado son esenciales para el suministro de agua potable y la disposición de aguas residuales. Los diseños deben basarse en datos actualizados y proyecciones de crecimiento, incorporando tecnologías avanzadas y prácticas sostenibles para mejorar eficiencia y reducir impactos ambientales.(American Water Works Association, 2000)

Sistema de Acueducto

Un acueducto es un conjunto de infraestructuras que transporta agua desde una fuente, como un río, lago o pozo, hasta una ciudad o poblado, garantizando el acceso a agua potable de calidad. Estos sistemas incluyen la captación del agua de la fuente natural, su transporte (aducción) a plantas de tratamiento, donde se eliminan contaminantes mediante filtración, desinfección y otros tratamientos. Luego, el agua tratada se almacena en tanques o embalses para asegurar un suministro constante, y finalmente se distribuye a viviendas, comercios e industrias a través de una red de tuberías. (Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2024)

Sistema de Acueducto Urbano. Un sistema de acueducto urbano es una infraestructura esencial que capta, trata y distribuye agua potable a la población urbana. Comprende una red de tuberías, estaciones de bombeo, plantas de tratamiento de agua potable y depósitos de almacenamiento que garantizan el acceso a un recurso vital para la vida humana, estos sistemas son esenciales para garantizar el acceso a agua limpia y segura para las necesidades básicas de la población, contribuyendo a la salud pública, el desarrollo económico y la calidad de vida en las ciudades. (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS | Minvivienda, 2022) En Colombia, la prestación del servicio de acueducto es responsabilidad de los municipios, quienes a su vez pueden delegar la operación a empresas públicas o privadas. La regulación del sector está a cargo de la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA).

Componentes de un Sistema de Acueducto

- Fuente de abastecimiento; pueden ser de tipo superficial o subterránea y su elección depende de factores como la localización del proyecto, cantidad y calidad del agua.
- Obras de captación; el recurso hídrico puede ser captado de las fuentes de manera superficial a través de una bocatoma o subterránea por medio de pozos.
- Obras para el transporte del agua; depende de la topografía y distancia de ubicación, pueden ser tuberías o conductos a presión o por gravedad. Las tuberías correspondientes para el transporte de agua cruda son denominadas líneas de aducción, a diferencia de las que transportan el agua tratada que se denominan líneas de conducción.
- Tratamiento del agua; teniendo en cuenta que actualmente ningún agua en su estado natural es apta para el consumo humano, es necesario que este recurso requiere de un tratamiento mínimo de cloración, con la intención de que sea potable.
- Almacenamiento; un tanque de almacenamiento, nos garantiza la disponibilidad sin interrupciones del servicio de agua potable, adelantándose de esta manera a las posibles disminuciones de caudal en la fuente de captación que puedan presentarse por diversas razones, además, permite proveer a las redes de distribución un caudal constante, por ende, mantener una velocidad y presión para la cual de diseño inicialmente el sistema de tuberías.
- Distribución; conformada por una serie de tuberías llamada redes de distribución.

Su diseño depende de tres componentes esenciales, el periodo de diseño, población de diseño y caudal de diseño. El periodo de diseño estará dado por la normatividad colombiana RAS, que especifica que debe ser 25 años, tiempo para el cual se deberá calcular la proyección de población por los métodos establecidos en esta normativa, tomando inicialmente los datos

actuales de población de fuentes de información demográficas validas en Colombia. El caudal de diseño combina las necesidades de la población y los costos de construcción de un acueducto; este caudal dependerá del consumo diario por habitante, la altura sobre el nivel del mar, la población de diseño, consumo en horas picos y factores de mayoración.

Redes de Distribución en Sistemas de Acueducto

Las redes de distribución de agua potable son esenciales para transportar el agua tratada desde los tanques de almacenamiento hasta las conexiones domiciliarias o comunitarias. Están formadas por tuberías, válvulas, hidrantes y medidores que aseguran un suministro constante y con la presión adecuada para la población.(«Red de abastecimiento de agua potable», 2024)

Tuberías de Distribución

Las tuberías son el esqueleto de la red de distribución, garantizando la entrega segura del agua y manteniendo su calidad para evitar contaminaciones que afecten la salud de la comunidad. El material de las tuberías debe ser duradero y resistente a la corrosión, soportando la presión y condiciones del entorno. Además, deben considerar los impactos de las cargas del suelo a la profundidad en la que estarán enterradas. (Maestros, 2023)

Válvulas. Las válvulas son esenciales para controlar la presión y el flujo en sistemas de distribución de agua potable. Sus funciones incluyen aislar áreas, prevenir excesos de presión, evitar vaciados, mantener la dirección del flujo y asegurar que el flujo sea de una sola fase. Su eficacia depende de sus características estructurales y de su posicionamiento estratégico, considerando la seguridad del sistema, costos de instalación y mantenimiento, y la homogenización de presiones. Las válvulas se pueden clasificar según su funcionalidad y según su estructura, estas a su vez se clasifican de la siguiente manera:

Clasificación según su función

- Válvulas de aislamiento; válvulas de corte o sectorización, u objetivo es sectorizar la red de distribución, convirtiendo estos sectores de tubería en subsistemas independientes.
- Válvulas de control de presión y flujo; se encuentran las válvulas reguladoras de presión, válvulas de regulación de caudal, válvulas reductoras de presión, válvulas de cheque o retención, y válvulas de alivio. Como su nombre lo indica, estas válvulas permiten proteger a las tuberías de posibles variaciones de presión.
- Válvulas de drenaje; evita el estancamiento de agua por medio del drenaje.
- Válvulas de control de salida/ entrada de aire; evita presiones menores a la presión atmosférica, controla el aire en la tubería cuando opera y cuando no lo está.

Clasificación según su estructura

- Válvulas mariposa; consiste en el cierre y estrangulación de grandes flujos a baja presión, controla la circulación y produce baja caída en la presión.
- Válvulas de compuerta; se utiliza por completo cerrada o abierta, tiene una resistencia mínima al flujo de la tubería.
- Válvulas globo; Produce una caída en la presión importante y resistencia, su uso es principalmente poco frecuente.
- Válvulas de bola; minimiza las pérdidas en las tuberías.
- Válvulas apriete; el cierre es dado por uno o más elementos como diafragmas o tubos flexibles que permitan apretarse entre sí para detener la circulación.
- Válvulas de diafragma; el diafragma permite cortar la circulación por medio de un sello dado cuando el compresor desciende.

- Válvulas macho; cuenta con un cierre hermético, deben permanecer por completo cerradas o abiertas. (Escobar, 2009)

Conexiones domiciliarias o acometidas. Las conexiones domiciliarias son las tuberías que enlazan la red de distribución con las viviendas o establecimientos, llevando el agua potable hasta el interior de las edificaciones. Estas conexiones deben cumplir con especificaciones técnicas y normativas para garantizar la seguridad y calidad del agua. (*Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico*, 2024)

Medidores de agua. Los medidores de agua son dispositivos instalados en las conexiones domiciliarias para registrar el consumo individual de agua potable. Estos dispositivos permiten a los usuarios controlar su consumo y a las empresas prestadoras del servicio realizar la facturación y el control del uso del agua. (*Gestor Normativo de la CRA - Medidores - medición*, 2017)

Accesorios. En los sistemas de acueducto, los accesorios como tees, codos y otros elementos cumplen funciones específicas para dirigir, ramificar o conectar las tuberías. Las tees se utilizan para realizar una conexión en forma de "T", permitiendo derivar el flujo hacia una nueva dirección. Existen diferentes codos que permiten cambiar la dirección del flujo en ángulos específicos; según el grado de desvío, se clasifican en codo de 11.25° (para desvíos pequeños, adecuados en trazados de alta precisión), codo de 22.5° (útil para ajustes moderados en el trayecto de la tubería), codo de 45° (ideal para cambios significativos en la dirección) codo de 90° (se emplea para giros en ángulo recto); diseñados para trabajar a presiones específicas, dependiendo del material y la aplicación. Dentro de los accesorios también se encuentran las reducciones, utilizadas para conectar tuberías de distintos diámetros; uniones que facilitan el

montaje y desmontaje de las tuberías para mantenimiento y cruces, similares a las tees pero con cuatro salidas, permiten la intersección de dos líneas principales.

Diseño del Sistema de Acueducto

El diseño de un sistema de acueducto es el proceso de planificar los elementos que se necesitan para captar, transportar, tratar, almacenar y distribuir agua potable. (*Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico*, 2024)

En Colombia, el diseño de sistemas de acueducto está regulado por normas específicas que buscan garantizar la calidad, cobertura y sostenibilidad del servicio; dentro de estos se comprende la Ley 142 de 1994 la cual regula los servicios públicos domiciliarios, incluyendo acueductos, y establece lineamientos para su prestación eficiente así como la Resolución 0330 de 2017 modificatoria del Reglamento del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico en donde se define las etapas de planeación, incluyendo diagnóstico del sistema existente, estudios de demanda, análisis de alternativas y formulación de proyectos. También aborda la gestión técnica, económica y social de los proyectos. (*Gestor Normativo de la CRA - Resolución 330 de 2017 MVCT*, 2017)

Los diseños deben asegurar el acceso equitativo al agua potable en cada vivienda, garantizando presión y calidad adecuada. Esto incluye la instalación de redes de tuberías, sistemas de control como válvulas y medidores, así como tanques de almacenamiento cuando sea necesario. Los sistemas deben cumplir con la Resolución 501 de 2017, que detalla los requisitos técnicos para los componentes utilizados en las redes de distribución, como tuberías y accesorios. (*Gestor Normativo de la CRA - Resolución 501 de 2017 MVCT*, 2017)

Sistema de Alcantarillado

El sistema de alcantarillado consta de tuberías y estructuras necesarias para recolectar y evacuar aguas residuales y escorrentías superficiales. Las aguas residuales pueden ser domésticas o industriales, junto con las aguas pluviales. Hay sistemas convencionales (sanitario, pluvial, combinado) y no convencionales (simplificados, condominales, sin arrastre de sólidos), seleccionados según la población, topografía y presupuesto del proyecto para asegurar un diseño adecuado y eficiente. (López Cuella, 1995)

Sistema de Alcantarillado Sanitario. Un sistema de alcantarillado sanitario es una red compleja de tuberías, estaciones de bombeo y plantas de tratamiento diseñada para recolectar, transportar y tratar las aguas residuales domésticas e industriales, incluyendo aguas negras, aguas grises y residuos sólidos. Este sistema juega un papel importante en la protección de la salud pública y del medio ambiente al prevenir la contaminación de fuentes de agua y la proliferación de enfermedades (Ardila & Erazo, 2010). El sistema de alcantarillado incluye tuberías y conductos para recolectar aguas residuales y pluviales, con alcantarillas, pozos de inspección y colectores. Donde la topografía no permite el flujo por gravedad, se utilizan estaciones de bombeo para elevar el agua según sea necesario. Para prevenir la contaminación y proteger la salud pública, se instalan Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), que emplean procesos físicos, químicos y biológicos para purificar las aguas antes de su vertido o reutilización.

Clasificación de las tuberías

- Laterales; también llamadas iniciales, son aquellas tuberías que transportan las aguas residuales desde las edificaciones hasta la red.
- Secundarias; estas tuberías recolectan al menos dos tuberías laterales.

- Colector secundario; recolecta mínimo dos tuberías secundarias.
- Colector principal; recolecta del colector secundario.
- Emisario final; conlleva las descargas finales.
- Interceptor; se ubica paralelamente a la orilla del río.

Elementos del alcantarillado sanitario

- Pozos de inspección; unión de colectores, cambio de dirección en el alineamiento horizontal o vertical. Cambio de diámetro o sección. Labores de inspección, limpieza y mantenimiento general. Este compuesto por una tapa de acceso, cilindro, reducción cónica y cañuela.
- Cámaras de caída; reduce la velocidad en el sistema.
- Aliviaderos frontales o laterales
- Sifones invertidos
- Sumideros y rejillas
- Conexiones domiciliarias

Diseño del Sistema de Alcantarillado Sanitario

Para el diseño de un sistema de alcantarillado y la selección del tipo del mismo, es importante tener en cuenta inicialmente la información de la localización del proyecto, como las condiciones topográficas, altura sobre el nivel del mar, curvas de nivel. Además, los elementos fundamentales para el diseño será el periodo de diseño, que según la normatividad colombiana vigente corresponde a 25 años; la población de diseño, es decir la población calculada por diferentes métodos de proyección (lineal, geométrico, logarítmico y wappus) para el periodo de diseño; y el caudal de diseño. Este caudal de diseño esperado corresponde a la suma del caudal máximo horario final, caudal de infiltración y caudal de conexiones erradas, en donde el caudal

máximo horario final, depende del caudal medio diario de aguas residuales, que se constituye por el caudal de aguas residuales domésticas, caudal de aguas residuales industrial, caudal de aguas residuales comercial y caudal de aguas residuales institucionales. En estos cálculos se tendrá en cuenta la dotación neta máxima por habitante dada por el Reglamento Técnico Colombiano del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, según la altura sobre el nivel de mar de la zona de estudio. (López Cuella, 1995)

Herramientas para Modelación Computacional y Sistemas de Localización Geográfica

El uso de herramientas computacionales y softwares especializados es fundamental para el diseño eficiente y sostenible de sistemas de alcantarillado y acueductos, así como para la localización geográfica precisa de las infraestructuras. Estas herramientas permiten simular y analizar diferentes escenarios, optimizando los recursos y garantizando un diseño que cumpla con las normativas colombianas vigentes y necesidades específicas de cada región. Programas como EPANET, utilizado para modelar la distribución de agua potable en redes de acueducto, y SWMM (Storm Water Management Model), empleado para la gestión de aguas pluviales y sistemas de alcantarillado, son ampliamente utilizados por ingenieros civiles. Además, el uso de sistemas de información geográfica (SIG) como ArcGIS y QGIS permite una visualización y análisis espacial detallado, facilitando la planificación y toma de decisiones basada en datos geográficos precisos.

EPANET. Es un software de código abierto ampliamente utilizado para el modelado hidráulico y el análisis de redes de distribución de agua potable. Este programa permite simular el comportamiento del agua en las tuberías, incluyendo el flujo, la presión y la calidad del agua. Epanet es una herramienta valiosa para el diseño, operación y mantenimiento de sistemas de agua potable, permitiendo optimizar el rendimiento y detectar posibles problemas en la red

(Kentucky Water Resources Research Institute, University of Kentucky, 2009). Actualmente, los ingenieros y consultores emplean Epanet para la planificación y dimensionamiento de nuevas infraestructuras hídricas, así como para la modernización de redes de distribución antiguos. Este software es clave para optimizar las operaciones de tanques y bombas, disminuir el consumo de energía, analizar problemas de calidad del agua y prepararse ante emergencias. Además, se utiliza para simular amenazas de contaminación y evaluar la resiliencia de los sistemas frente a amenazas de seguridad o desastres naturales. (US EPA, 2014)

Epanet es un software que simula el comportamiento hidráulico y la calidad del agua en redes de suministro a presión. Puede realizar simulaciones prolongadas de uno o varios días, rastreando caudales en tuberías, presiones en nodos, niveles de agua en depósitos y concentraciones de productos químicos suspendidos. Permite análisis detallados en diferentes intervalos de tiempo, modelando de manera precisa el flujo, presión y calidad del agua en cada parte de la red..(Nuevo, 2022)

SWMM (Storm Water Management Model). El modelo de gestión de aguas pluviales (SWMM, por sus siglas en inglés) de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos EPA, es una herramienta utilizada globalmente para la planificación, análisis y diseño de la escorrentía de aguas pluviales, alcantarillados combinados y sanitarios, y otros sistemas de drenaje. SWMM permite evaluar estrategias de control de aguas pluviales en infraestructuras tradicionales, como tuberías y desagües pluviales, y es útil para desarrollar soluciones híbridas que combinan métodos ecológicos y tradicionales de manera rentable. Este modelo fue creado para apoyar los objetivos de gestión de aguas pluviales a nivel local, estatal y nacional, enfocándose en reducir la escorrentía mediante infiltración y retención, y minimizando las descargas que deterioran los cuerpos de agua. (US EPA, 2014)

SWMM simula el movimiento de agua de lluvia y contaminantes, tanto en escorrentía superficial como en infiltración al subsuelo. Se usa para modelar el flujo en redes de colectores y canales hacia instalaciones de almacenamiento o tratamiento. SWMM permite simular eventos de lluvia específicos y evaluar períodos prolongados de tiempo, analizando tanto la cantidad como la calidad del agua de manera integral. (Nuevo, 2020)

SIG (Sistemas de Información Geográfica)

Son herramientas que organizan, almacenan, analizan y visualizan datos geográficos, que incluyen desde características físicas como ríos y montañas hasta información social como la distribución de la población. Al integrar estos datos, los GIS permiten a los usuarios comprender mejor su entorno, creando mapas, analizando patrones y modelando escenarios futuros. Son utilizados por gobiernos, empresas, universidades y ONG para aplicaciones como planificación urbana, gestión de recursos naturales, respuesta a desastres e investigación científica. (*Modelacion Hidrologica Con Sig Contribuciones en Su Diffusion Y Aplicacion*, 2006.)

QGIS. QGIS es un Sistema de Información Geográfico (SIG) gratuito, de código abierto y fácil de usar que permite crear, visualizar, analizar, editar y publicar información geográfica. Es un proyecto oficial de la Fundación Geoespacial de Código Abierto (OSGeo) y funciona en Linux, Unix, Mac OSX, Windows y Android. QGIS soporta una amplia gama de formatos y funcionalidades de datos vectoriales, ráster y bases de datos, convirtiéndose en una herramienta profesional para la gestión y análisis de información geoespacial. Al igual que otros SIG, QGIS permite la creación de mapas con múltiples capas que se pueden combinar en diferentes formatos según las necesidades del usuario. (*QGIS y sus aplicaciones en agua*, 2016)

QGIS cuenta además con una serie de **plugins** o complementos con una tarea concreta que aumentan la funcionalidad del programa, creados por desarrolladores independientes que le

enriquecen aún más; la calidad y cantidad de los complementos es uno de los motivos principales por el que QGIS es la referencia entre los programas de SIG de escritorio, ya que no existe ningún programa (de código abierto) con tal variedad de complementos.

Plugins o Complementos. La implementación de *plugins* es de suma importancia para el diseño de sistemas de acueductos y alcantarillados, ya que amplían las capacidades del software QGIS y permiten realizar análisis y modelados más específicos y avanzados. Estos facilitan la automatización de procesos, la integración de datos geoespaciales y la generación de modelos precisos, lo que resulta en un diseño más eficiente y preciso, adaptado a las normativas y necesidades locales (Morales, 2020).

Entre los complementos disponibles para QGIS que facilitan el diseño de sistemas de acueductos, destaca QWater, una herramienta especializada para el análisis hidráulico en sistemas de distribución de agua. Este complemento permite modelar redes de acueducto, considerando aspectos como la presión, caudal y demanda en distintos puntos, lo que es clave para garantizar la eficiencia y sostenibilidad del diseño, además, su integración con herramientas SIG permite una representación geoespacial precisa.

Para sistemas de alcantarillado, se empleará el complemento Generate SWMM, el cual simplifica la creación de modelos para el manejo de aguas residuales y pluviales. Este complemento es esencial para analizar la capacidad del sistema bajo diferentes escenarios ya sea de lluvia o demanda, asegurando un diseño adecuado que evite inundaciones y sobrecargas.

- *Qwater.* Es un plugin que utiliza el plugin GHydraulics ya integrado en Qgis de Steffen Macke que permite diseñar y analizar redes de suministro de agua utilizando EPANET sin necesidad de instalación. Facilita la generación de archivos INP de EPANET y la ejecución de simulaciones directamente desde QGIS, incluyendo la carga de datos de

resultados. QWater contiene una función para calcular diámetros económicos en función de los diámetros dados y la pérdida de carga máxima por fricción. (Almerio, 2023)

- *Generate SWMM inp.* Este complemento proporciona herramientas para generar archivos de entrada SWMM a partir de capas creadas en QGIS y para importar archivos de entrada SWMM al sistema de información geográfica QGIS. Puede crear submodelos por encima o por debajo de un nodo determinado en las capas de su modelo. El complemento necesita la biblioteca de Python 'pandas' la cual se encuentra incluida en las versiones actuales de QGIS. Este plugin nos permite además utilizar de manera eficiente las herramientas de Qgis como la implementación de mapas bases y geo servicios del lugar del proyecto por medio del plugin QuickMapServices con bases de datos geográficos de Google, ESRI, NASA, entre otros. (Schilling & Tränckner, 2022)

Excel. En el sector del agua potable y saneamiento básico, se emplea para cálculos de caudales, volúmenes, costos y parámetros relacionados. Excel de Office es una herramienta crucial para la elaboración y gestión de tablas, análisis de datos y presentación de resultados, siendo ampliamente utilizado para realizar cálculos, generar gráficos y organizar información de manera eficiente. (Microsoft 365, 2011)

AutoCAD. AutoCAD es un software de diseño asistido por computadora (CAD) desarrollado por Autodesk. Este programa es ampliamente utilizado en diversos sectores como la arquitectura, la ingeniería y el diseño gráfico para crear dibujos y modelos en 2D y 3D. AutoCAD ofrece herramientas especializadas que permiten diseñar con precisión, generar documentación técnica, modelar objetos tridimensionales y automatizar tareas repetitivas. (Autodesk AutoCAD, 2024)

EpaCAD. Es un programa gratuito que permite convertir de forma sencilla un fichero que contenga una red de AutoCAD, en un fichero interpretable por EPANET; en este proceso, EpaCAD es capaz de reconocer de forma automática las principales propiedades de los elementos, facilitando en gran medida el trabajo necesario para generar una red. (EpaCAD, 2022)

EpaCAD es capaz de reconocer las coordenadas XY del fichero de AutoCAD, además también adquiere la cota de elevación a la que se encuentran los diferentes nudos que forman la red de tuberías, conservando longitudes reales de tus tuberías y referencias de la posición real de los elementos.

Google Earth. Es un sistema de información geográfica (SIG) que permite visualizar múltiple cartografía, basado en imágenes satelitales, permite la creación de entidades de puntos, líneas, polígonos y mapas. Posee herramientas como regla y cálculo de áreas en polígonos designados. (Google Earth, 2024)

Marco Legal

Para asegurar una operación eficiente y regulada de los servicios de acueducto y alcantarillado, es fundamental cumplir con la normativa colombiana vigente en el sector de agua potable y saneamiento básico; esta normativa de manera jerárquica establece:

La Constitución de 1991 establece en su Artículo 365 que los servicios públicos, entre ellos los de acueducto y alcantarillado, son inherentes a la finalidad social del Estado y deben ser prestados directa o indirectamente por el Estado, por comunidades organizadas, o por particulares. (Asamblea Nacional Constituyente, 2001)

Ley 142 de 1994, ley de servicios públicos domiciliario la cual regula la prestación de los servicios públicos domiciliarios, incluyendo el agua potable y saneamiento básico. Establece

obligaciones de las empresas prestadoras, derechos de los usuarios y competencias de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (Gestor Normativo, 2007.)

Decreto 1575 de 2007, establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano, reglamenta condiciones de potabilidad y los procedimientos para el control y vigilancia de la calidad del agua.(Decreto 1575 de 2007 - Gestor Normativo, 2007.)

Decreto 3930 de 2010, reglamenta la gestión integral del recurso hídrico, incluyendo la regulación de vertimientos y el uso eficiente del agua.(Gestor Normativo, 2007.)

Resolución 2115 de 2007, establece los requisitos de calidad del agua para consumo humano, así como los criterios para el monitoreo y control de la misma.(Minvivienda, 2016.)

Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico del 2017 (RAS) incluyendo las resoluciones modificatorias desde la fecha de publicación, por medio de la cual se especifica los criterios técnicos para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de acueducto y alcantarillado en Colombia.(Minvivienda, 2016)

Resolución 0330 del 2017, por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005 y 2320 de 2009. (Minvivienda, 2016)

Resolución 0799 del 2021, por la cual se modifica la Resolución 0330 de 2017, expedida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Agua y Saneamiento (RAS). (Minvivienda, 2016.)

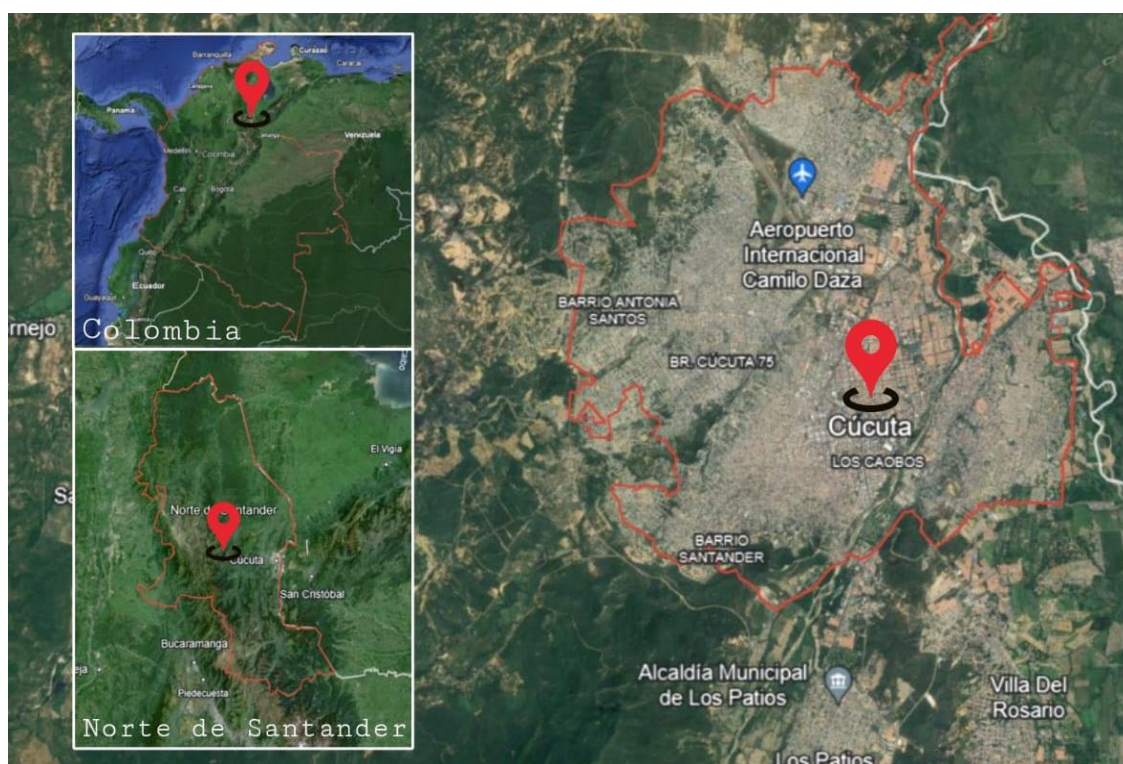
Marco Contextual

San José de Cúcuta, es el municipio más poblado y capital del departamento de Norte de Santander, Colombia, como se observa en la Figura 1, fundada el 17 de junio de 1733 por Juana Rangel de Cuellar, comprende una superficie aproximada de 1119 km², que corresponden a un

área urbana de 64 km² y un área rural de 1055 km², se encuentra a una altura respecto al nivel del mar de 320 m con una temperatura de alrededor de 28° (AMC, 2022.); según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística su población proyectada para el año 2023 fue de 795608 habitantes en la totalidad de su extensión . (DANE, 2022)

Figura 1.

Ubicación geográfica de San José de Cúcuta.



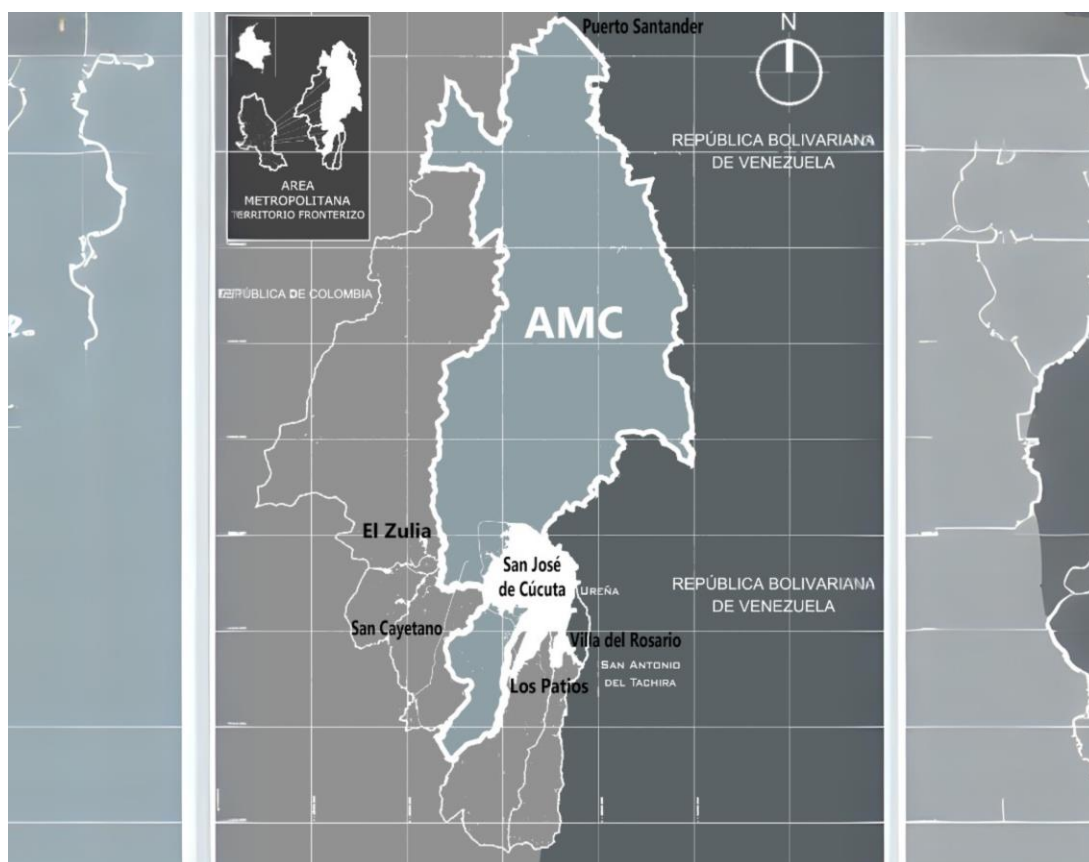
Nota. Ubicación geográfica de la ciudad de Cúcuta a nivel departamental y nacional.

Limita geográficamente con el municipio de Tibú, El Zulia, San Cayetano, Villa del Rosario, Bochalema, Los Patios, Puerto Santander y Venezuela (Cámara de Comercio de Cúcuta, 2019). Como se observa en la Figura 2, Es el núcleo del Área Metropolitana de Cúcuta, aglomeración urbana constituida en 1991, conformada por los municipios de Cúcuta, Los Patios, Villa del Rosario, El Zulia, San Cayetano y Puerto Santander; esta unión, además de la

conectividad con algunos de los principales corredores viales, como con la región de los Santanderes y la República de Venezuela, permite el crecimiento económico, cultural, ambiental y social de este territorio.(UNAL, 2021; AMC, 2022)

Figura 2.

Área Metropolitana de Cúcuta (AMC).



Nota. Adaptado de Ubicación y conformación Área Metropolitana de Cúcuta, por Erika Ayala, 2021, Instituto de Estudios Urbanos (<https://ieu.unal.edu.co/medios/noticias-del-ieu/item/area-metropolitana-de-cucuta-historia-de-un-territorio-una-frontera-y-una-region>).

La empresa operadora de los servicios de acueducto y alcantarillado de la ciudad de San José de Cúcuta, encargada de la operación, ampliación, rehabilitación, mantenimiento y gestión comercial de la infraestructura de estos servicios públicos Aguas Kpital Cúcuta S.A. E.S.P, fue

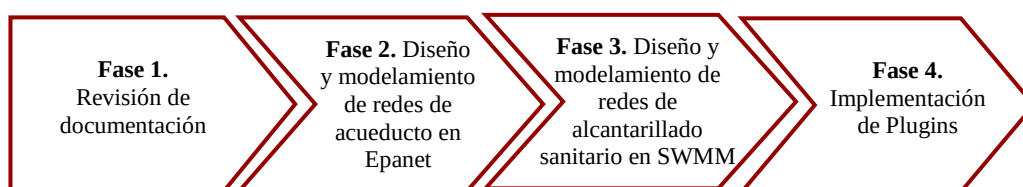
constituida oficialmente el 21 de abril del 2006, con el principal objetivo de garantizar un servicio de calidad a los hogares cucuteños, su oficina principal se encuentra ubicada en la Avenida 6 Calle 11 esquina en el Edificio San José en el Barrio Centro, bajo la dirección del señor gerente Hugo Iván Vergel Hernández. Su operación incluye la captación de agua desde fuentes hídricas, su tratamiento en plantas potabilizadoras, y la distribución a los usuarios a través de una red de tuberías que cubre las zonas urbanas y rurales del área de influencia. La empresa también realiza el mantenimiento y limpieza de canales, así como el manejo de residuos líquidos en su sistema de alcantarillado sanitario. Entre sus objetivos, Aguas Kpital busca garantizar agua potable de alta calidad y servicios sostenibles, cumpliendo con estándares de eficiencia y responsabilidad ambiental. También destaca su participación en programas de certificación y acreditación como AQUARATING, que evalúa la gestión del agua. Además, brinda servicios como calibración de medidores y análisis de calidad del agua en laboratorios propios. (*Aguas Kpital Cucuta S.A ESP | Portal Web de Aguas Kpital Cucuta S.A ESP, 2024*)

Metodología

La metodología propuesta para el desarrollo de la práctica empresarial como modalidad de trabajo de grado, se establece por cuatro fases expuestas en la Figura 3, las cuales se designan para el cumplimiento de cada uno de los objetivos.

Figura 3.

Diagrama de fases de la metodología.



Nota. En la figura se encuentra las cuatro fases propuestas para el desarrollo de la metodología.

Fase 1. Revisión de Documentación

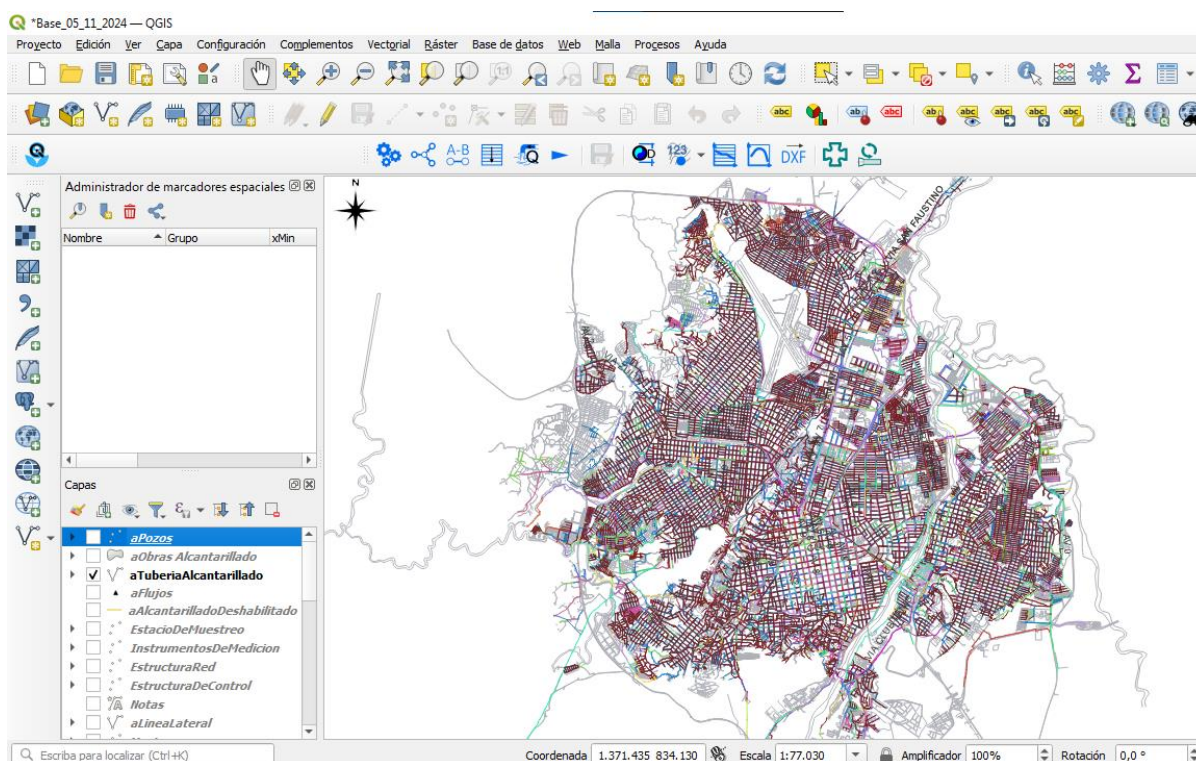
En la primera fase, se realizó una compilación y revisión detallada de la documentación existente sobre normativas colombianas vigentes relacionadas con el sector de agua potable y saneamiento básico utilizando fuentes confiables de búsqueda; se identificó y resumió los aspectos clave necesario para el diseño y puesta en marcha de los sistemas de acueducto y alcantarillado.

Se llevo a cabo la evaluación de la infraestructura actual del sistema de acueducto y alcantarillado sanitario de la ciudad de Cúcuta utilizando la base de datos de Qgis (ver Figura 4), actualizada periódicamente por el equipo del SIG de la oficina de Estudios y Diseños de la empresa Aguas Kpital S.A. E.P.S.; dentro de esta base de datos se logró conocer las características de tubería existentes en cada uno de los sistemas, ubicación de pozos de

inspección, sectorización hidráulica, obras actuales de reposición o ampliación de la red de tubería, número de usuarios y demás. Además, se realizó una revisión de la cobertura actual del sistema de acueducto y sistema de alcantarillado sanitario de la ciudad mediante los reportes históricos e informes de gestión otorgados por la empresa AKC.

Figura 4.

Base de Datos de la Infraestructura del Sistema de Acueducto y Alcantarillado Sanitario de la Ciudad de Cúcuta.



Nota. Base de datos de la infraestructura actual del sistema de acueducto y alcantarillado sanitario en Qgis de la empresa AguasKpital Cúcuta.

Fase 2. Diseño y Modelamiento de Redes de Acueducto en Epanet

Esta fase se desglosa en cuatro actividades, las cuales se describen de la siguiente manera:

Recopilación de Datos Iniciales para el Diseño

Los datos iniciales de topografía de la zona designada para llevar a cabo el diseño de la red de acueducto ya sea por reposición o ampliación, fueron entregados por el personal de topografía de la empresa AKC junto a la viabilidad de ejecución del proyecto. Los datos de presiones y demanda de agua fueron suministrados por el ingeniero encargado del uso del software WaterCad el cual permite el análisis, modelación y gestión de redes a presión.

Diseño Preliminar de Redes

Modelado en AutoCAD de la red de acueducto, incluyendo ubicación de las redes, longitudes de tubería, diámetro y material de tuberías a reponer, así como detalles de accesorios, ubicación de acometidas y detalles de anclajes como se muestra en la Figura 5, lo anterior teniendo en cuenta la infraestructura actual de la red según la información presente en la base de Qgis de la empresa. Calculo de cantidades para el suministro e instalación de tubería y accesorios determinados, por medio del formato Excel de diseño asignado por la empresa.

Figura 5.

Detalles en AutoCAD Para el Diseño de Redes de Acueducto y Alcantarillado.

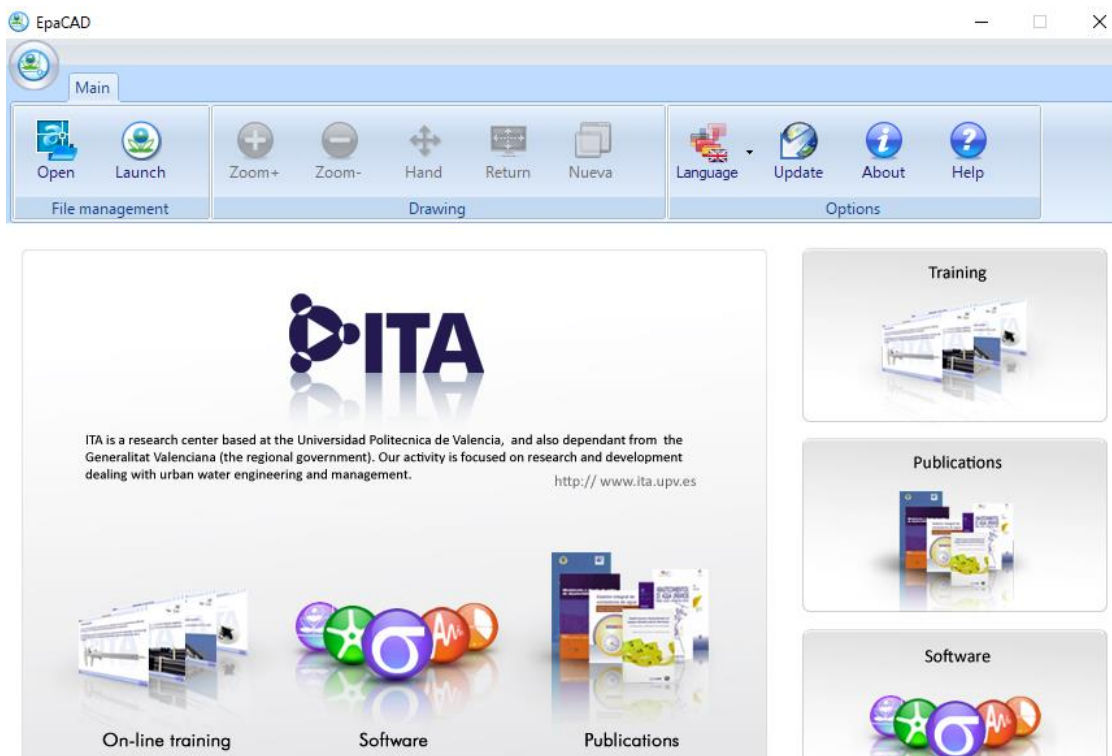


Nota. Dibujo en AutoCAD de detalles de acometidas, instalación de red de tuberías en diferentes tipos de vía, instalación de red domiciliaria, accesorios y tipos de pozos.

Creación de diseño de las redes de acueducto utilizando la herramienta computacional EpaCAD (ver Figura 6) la cual permite exportar un archivo inp o de entrada a Epanet con base al archivo AutoCAD seleccionado, suministrando así longitudes de tubería, nodos y cotas.

Figura 6.

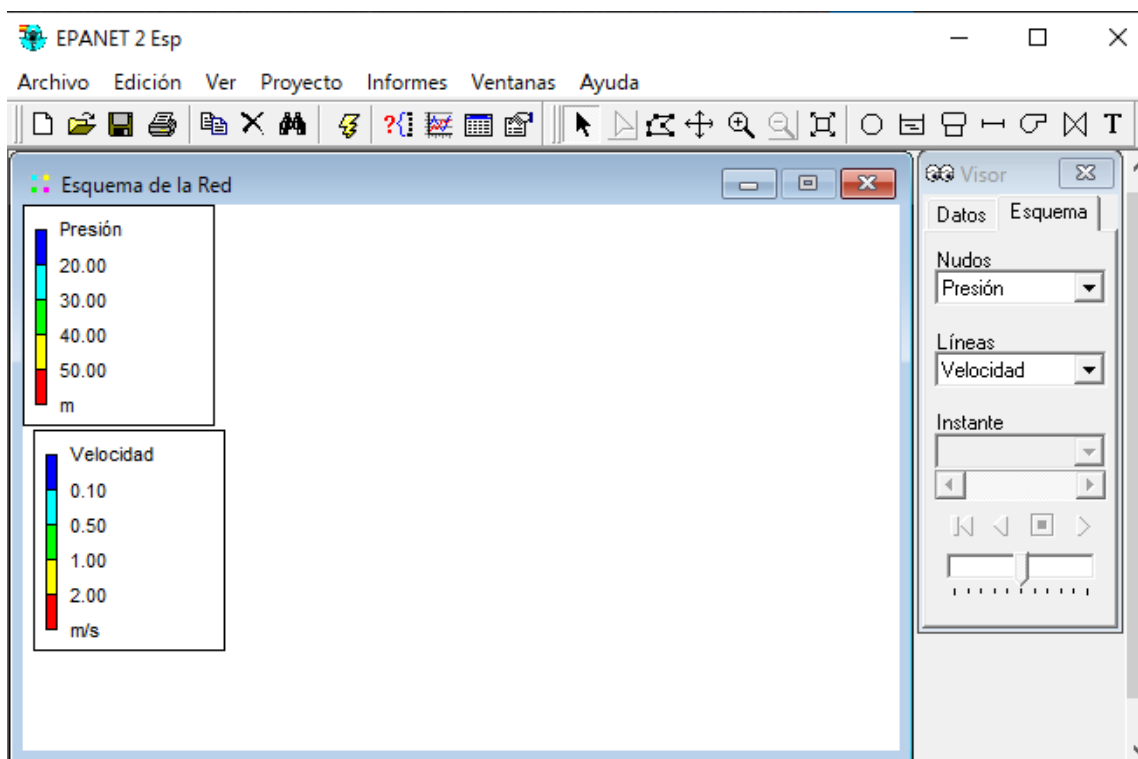
Interfaz del Software EpaCAD.



Nota. Software EpaCAD el cual permite la importación de archivos .dxf (AutoCAD) a archivos .inp del entorno de Epanet.

Simulación del Diseño

Simular en el software Epanet presentado en la Figura 7, el funcionamiento hidráulico de la red de distribución planteada, teniendo en cuenta las perdidas en cada tramo de tubería según los accesorios presentes, rugosidad del material (0.0015 para PVC), diámetro de tuberías (según indicaciones de la empresa y número de beneficiarios), demanda en cada uno de los nodos o uniones, y presión reflejada por medio de un embalse el cual representa la conexión existente al sistema; con el objetivo de verificar la eficiencia de la red diseñada, así como conocer las velocidades, presiones y caudales.

Figura 7.*Interfaz de Epanet.*

Nota. Entorno de trabajo en Epanet donde se visualiza el esquema de la red y datos resultantes como la presión y la velocidad.

Informe Técnico del Diseño Final

Realización de documentos técnicos para la ejecución del proyecto de reposición de redes de acueducto, bajo el formato Excel asignado por la empresa (ver Figura 8). Se destaca en la ficha técnica la ubicación del proyecto, características de la tubería (longitud, diámetro, material), justificación y objetivos de ejecución del proyecto, alcance, densidad, población, dotación, sector hidráulico al que pertenece, estrato social, comuna y barrio correspondiente, evaluación de sistema existente, tipo de suelo y relieve de la zona, entre otros. Se indican las cantidades de obra dentro del presupuesto general incluyendo costos directos y costos indirectos

(AIU, administración, imprevistos y utilidades) teniendo en cuenta los precios entregados por la empresa. Entrega de ficha de seguimiento y evaluación de ejecución del proyecto con respectiva información; entrega de cronograma de actividades y flujo de fondos según el tiempo de realización de la obra, finalmente anexo de simulación valida del sistema realizada con la herramienta computacional Epanet.

Figura 8.

Formato de Excel de la Empresa AguasKpital.

A	B	C	D	E	F	G	H	I
		MANUAL DE PROCESOS TECNICOS						
		ESTUDIOS Y DISEÑOS						
		DISEÑO REDES ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO						
FICHA GENERAL DEL PROYECTO I. IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO								
NOMBRE DEL PROYECTO		NOMBRE						
ACTIVIDAD No								
SERVICIO								
ACUEDUCTO	X	ALCANTARILLADO	SI	TIPO PROYECTO				
EXISTE (S/N)	SI	EXISTE (S/N)	SI	AMPLIACION				
ESTADO (B,R,M)	B	ESTADO (B,R,M)	M	REPOSICIÓN		X		
PROYECTO REQUERIDO POR								
		SOLICITANTE				Medio de solicitud	Radicado No	
COMUNIDAD	X	TUTELA		ORDEN JUDICIAL				
CN AKC	X	ORDEN JUDICIAL		ALCALDIA				
PMAA		ACCION POPULAR		EIS CUCUTA ESP				
PSMV		EMERGENCIA		DIR PROYECTOS	X	CORREO ELECTRONICO		
DIRECCION - UBICACIÓN								
CONSOLIDADO ANTES JUNIO 4/2006 (SI/NO)		SI	LEGALIZADO ANTE PLANEACION (SI/NO)	SI	INTERIOR PERIMETRO URBANO 2006 (SI/NO)	SI	TRATAMIENTO DE SUELO URBANO (PLANO 31/31 POT)	CONSOLIDACIÓN
								TRATAMIENT URBANISTIC (PLANO 30/31 POT)
FICHA TÉCNICA		PRESUPUESTO TOTAL	PPTO SIN AIU	FISICO FINANCIERA		CRONOGRAMA	ATRAQUES	CANTIDADES AC

Nota. Formato de Excel de la Empresa AKC donde se incluye ficha técnica, presupuestos, cantidades y diseño.

Modelado en AutoCAD del plano de roturas del proyecto a ejecutar, siguiendo los lineamientos dados por la empresa AKC y la oficina de planeación municipal respecto a la intervención del espacio público, considerando el diámetro de tuberías a instalar, tipo de vía en la que se ubica, material en el que se encuentra el andén a instalar las domiciliarias a 90° de la

tubería principal, correspondientes a cada usuario beneficiario del sistema de acueducto, así como ajuste de las presentaciones en el rotulado de la empresa para posterior impresión de planos. Realización de la documentación requerida dentro de las cuales se encuentra Carta a la oficina de Planeación municipal, Descripción general del Proyecto, Plan de manejo vial y cálculo de área total a intervenir respectivamente para la clasificación de zonas duras, zonas verdes y zonas construidas.

Fase 3. Diseño y Modelamiento de Redes de Alcantarillado Sanitario en SWMM

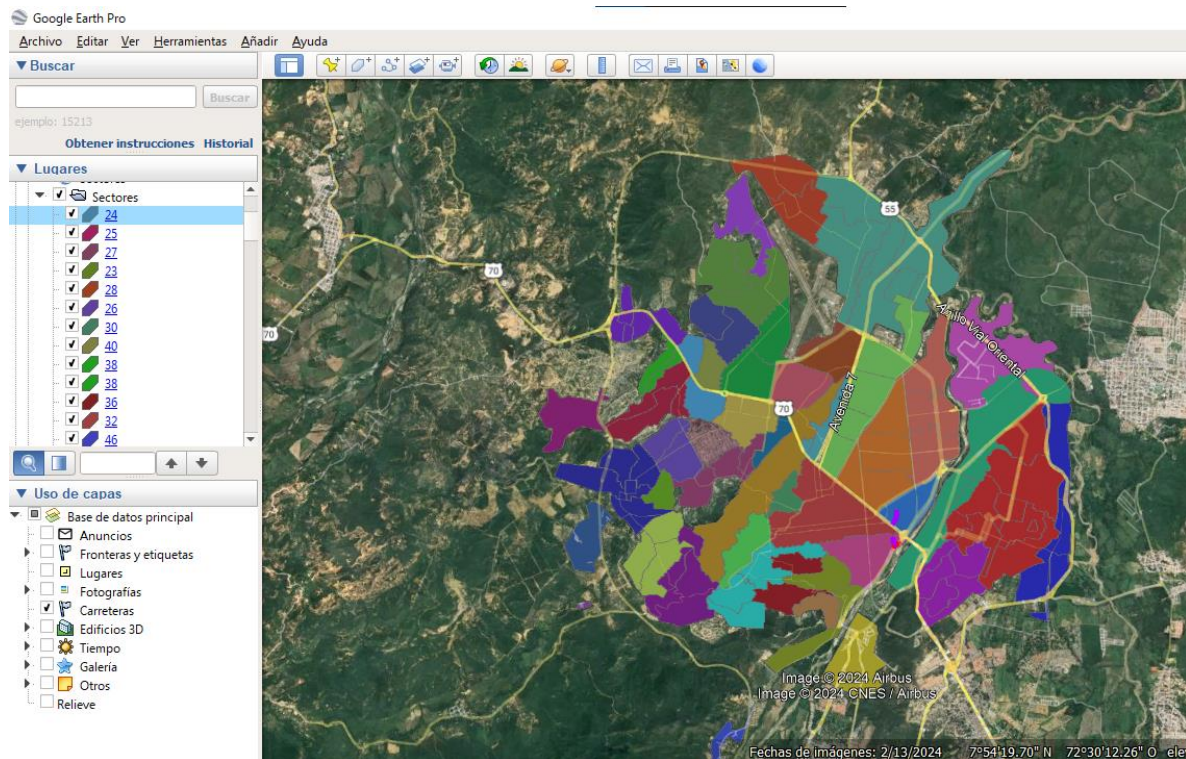
Esta fase se desglosa en cuatro actividades, las cuales se describen de la siguiente manera:

Recolección de Datos Iniciales para el Diseño

Los datos iniciales de topografía de la zona designada para llevar a cabo el diseño de la red de alcantarillado ya sea por reposición o ampliación, fueron entregados por el personal de topografía de la empresa AKC junto a la viabilidad de ejecución del proyecto; para posteriormente en acompañamiento del personal del CN de mantenimiento, se llevó a cabo una revisión en la ubicación determinada para la verificación de datos entregados, dentro de los cuales se encuentra la ubicación de los pozos de inspección, flujos, profundidades, características de las tuberías, usuarios, cotas y demás. Se realizó el cálculo de áreas con el apoyo de los sistemas de información geográfica Qgis y Google Earth teniendo en cuenta la sectorización hidráulica de la ciudad ilustrada en la Figura 9.

Figura 9.

Sectorización Hidráulica en el Sistema de Información Geográfica Google Earth.



Nota. División de sectores hidráulicos en la ciudad de Cúcuta, de la empresa AKC la cual les permite tener un mejor control regulación de las zonas.

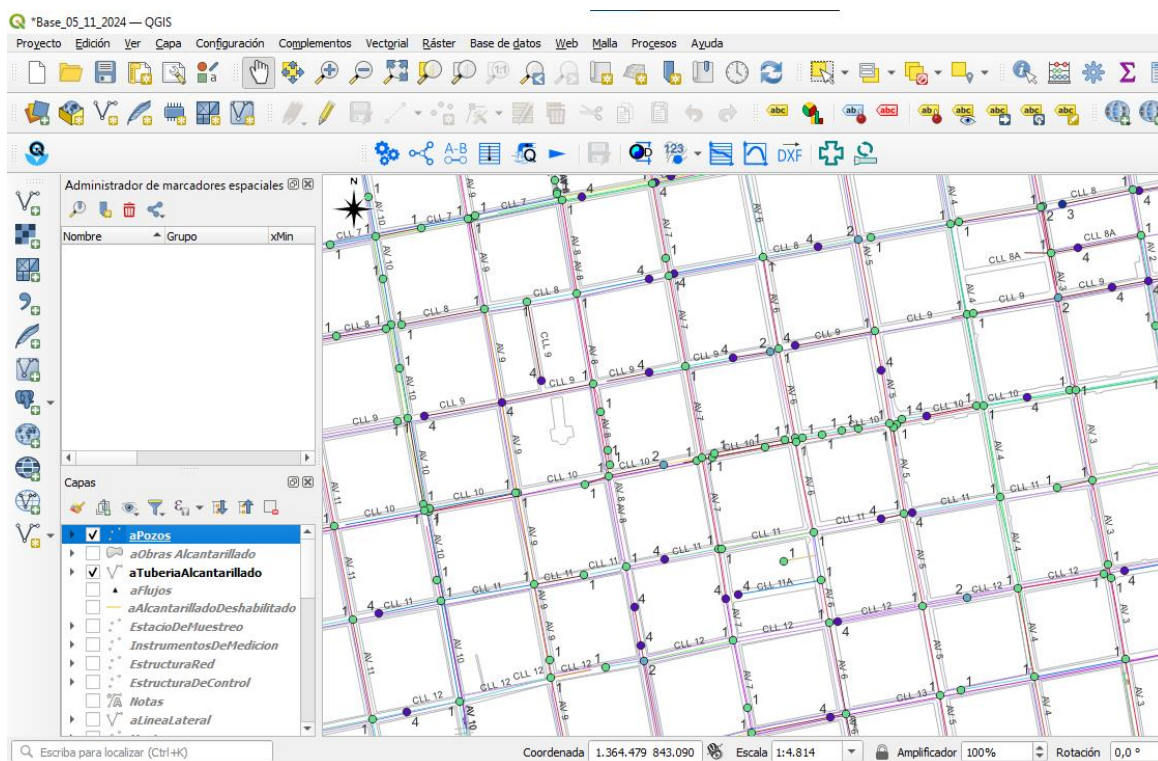
Modelado Inicial

Modelado en AutoCAD de la red de alcantarillado sanitario, incluyendo perfil de elevaciones, ubicación de red de tubería, longitudes de tubería, diámetro y material de tuberías, ubicación de los pozos y/o cajas de inspección, ubicación de cajas domiciliarias y cotas; lo anterior teniendo en cuenta la infraestructura actual de la red de alcantarillado según la información presente en la base de Qgis de la empresa (ver Figura 10). Calculo de cantidades para el suministro e instalación de tubería, detalle de pozos de inspección, número de conexiones a pozos existentes, por medio del formato Excel de diseño asignado por la empresa. Creación de

diseño de las redes de alcantarillado utilizando la herramienta computacional SWMM, alimentada por la información correspondiente como longitudes y diámetro de tubería, ubicación de pozos, cotas y caudales.

Figura 10.

Base de Qgis con Información de Pozos y Tubería de Alcantarillado Sanitario Existente.



Nota. Base de Qgis de la empresa AKC donde por medio de las diferentes capas se dispone de la información actual de la infraestructura del sistema de alcantarillado sanitario.

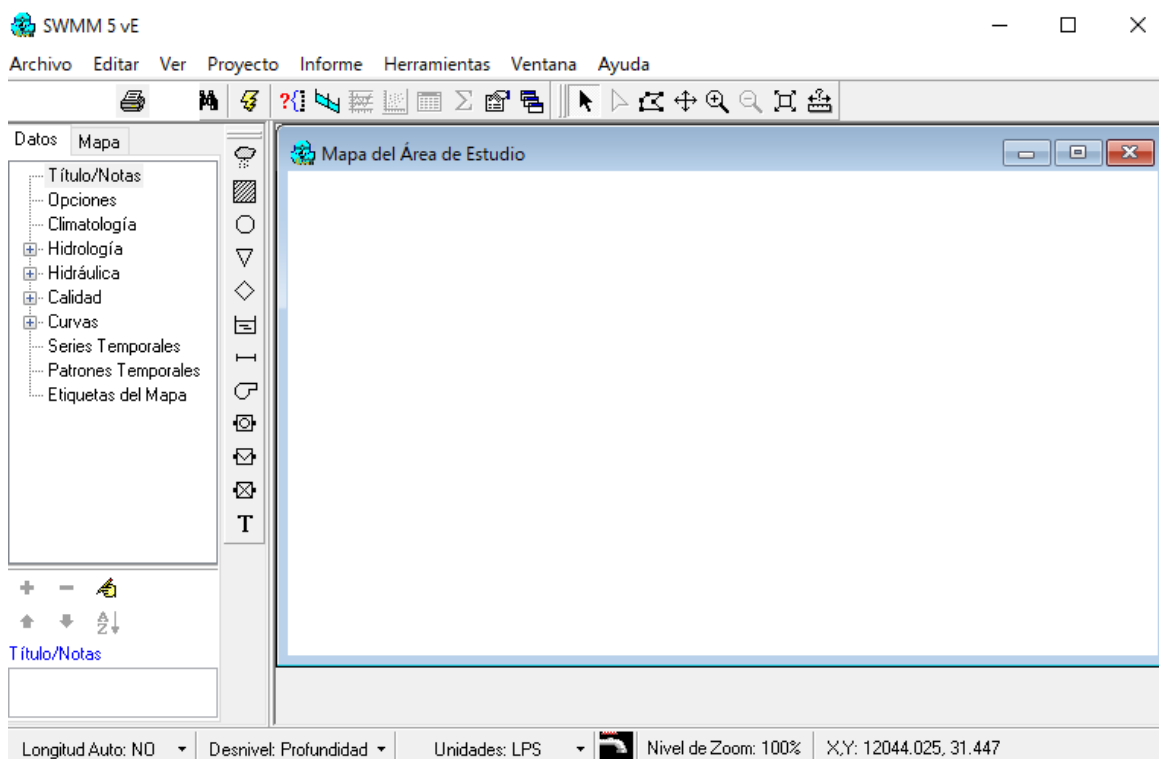
Simulación del Diseño

Simular en el software SWMM mostrado en la Figura 11, el funcionamiento de la red de alcantarillado sanitario planteada, teniendo en cuenta las cotas rasantes y cotas fondo en cada pozo y/o caja de inspección, rugosidad del material (0.0015 para PVC), diámetro de tuberías

(según indicaciones de la empresa y número de beneficiarios), profundidades; con el objetivo de verificar la eficiencia de la red diseñada con la obtención del perfil de la lámina de agua.

Figura 11.

Interfaz del Software SWMM.



Nota. Entorno de trabajo del software SWMM en su versión en español, constituido por su mapa del área de estudio y su variedad de funciones.

Generación de Informe de Modelado

Realización de documentos técnicos para la ejecución del proyecto de reposición de redes de alcantarillado, bajo el formato Excel asignado por la empresa. Se destaca en la ficha técnica la ubicación del proyecto, características de la tubería (longitud, diámetro, material), justificación y objetivos de ejecución del proyecto, alcance, densidad, población, dotación, sector hidráulico al que pertenece, estrato social, comuna y barrio correspondiente, evaluación de sistema existente,

tipo de suelo y relieve de la zona, entre otros. Se indican las cantidades de obra dentro del presupuesto general incluyendo costos directos y costos indirectos (AIU, administración, imprevistos y utilidades) teniendo en cuenta los precios entregados por la empresa. Entrega de ficha de seguimiento y evaluación de ejecución del proyecto con respectiva información; entrega de cronograma de actividades y flujo de fondos según el tiempo de realización de la obra, finalmente anexo de simulación valida del sistema realizada con la herramienta computacional SWMM.

Modelado en AutoCAD del plano de roturas del proyecto a ejecutar, siguiendo los lineamientos dados por la empresa AKC y la oficina de planeación municipal respecto a la intervención del espacio público, considerando el diámetro de tuberías a instalar, tipo de vía en la que se ubica, material en el que se encuentra el andén a instalar las acometidas a 45° de la tubería principal, correspondientes a cada usuario beneficiario del sistema de alcantarillado, así como ajuste de las presentaciones en el rotulado de la empresa para posterior impresión de planos. Realización de la documentación requerida dentro de las cuales se encuentra Carta a la oficina de Planeación municipal, Descripción general del Proyecto, Plan de manejo vial y cálculo de área total a intervenir respectivamente para la clasificación de zonas duras, zonas verdes y zonas construidas.

Fase 4. Implementación de Plugins

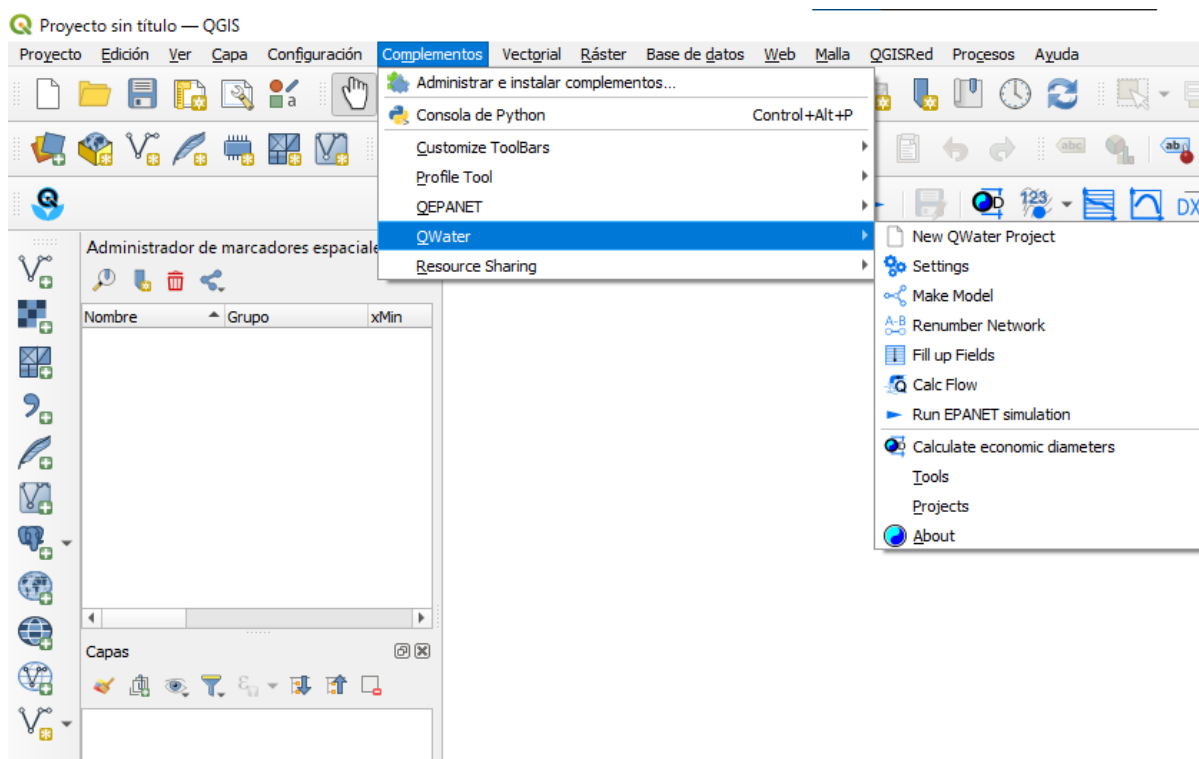
Plugin Qwater Para el Diseño de Sistemas de Acueductos

Se llevo a cabo la instalación e implementación del plugin Qwater que permite realizar simulaciones dentro del software Qgis (ver Figura 12) para verificar el funcionamiento de la red de distribución planteada, inicialmente se debe crear una capa de archivo shape de tipo punto para el caso de los nodos, embalses, tanques, bombas y válvulas, además una capa de archivo

shape de cadena de líneas para las tuberías.

Figura 12.

Plugin Qwater en Qgis.



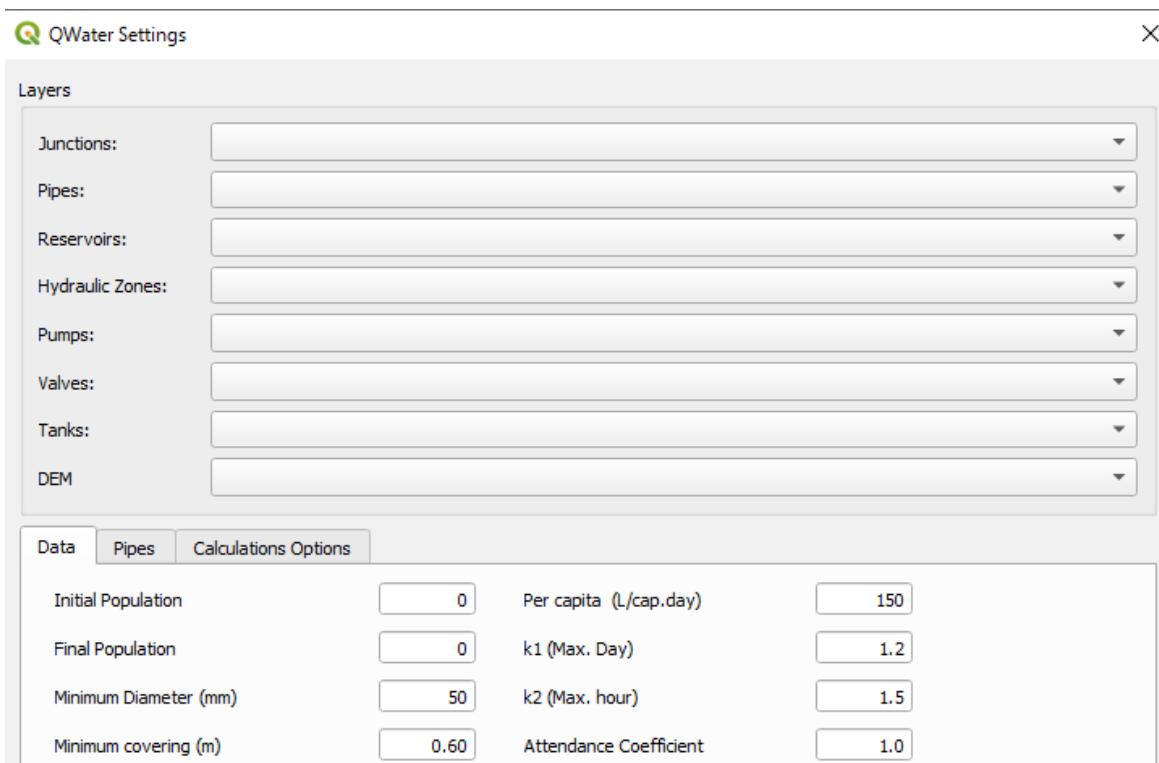
Nota. El plugin Qwater junto a sus funciones se encuentra ubicado, posteriormente a su instalación por medio del repositorio, en el apartado de complementos del entorno de trabajo de Qgis.

Conociendo las características del proyecto se realizó la configuración de Qwater como se muestra en la Figura 13 con la información correspondiente de población actual y futura, consumo per cápita, coeficiente de mayoración k1 o coeficiente de consumo máximo diario, coeficiente de mayoración k2 o coeficiente de consumo máximo horario. Los factores de mayoración k1 y k2 para poblaciones mayores de 12.500 habitantes, al periodo de diseño, corresponderán a 1.2 y 1.5 como valores máximos respectivamente, según la resolución 0330 del

2017. Se deben asociar dentro de esta configuración las capas de archivo shape designadas para las uniones (nodos), reservorios (embalse), tuberías, tanques, bombas y válvulas según requerimiento del proyecto. Por último, en estos ajustes se debe seleccionar la ecuación que se quiere utilizar (Darcy Weibash o Hazen Williams) así como las unidades en las que se desea obtener el resultado, optando por lineamientos de la empresa por DW en lps.

Figura 13.

Configuración del Plugin Qwater.



QWater Settings

Layers

- Junctions:
- Pipes:
- Reservoirs:
- Hydraulic Zones:
- Pumps:
- Valves:
- Tanks:
- DEM:

Data | Pipes | Calculations Options

Initial Population	0	Per capita (L/cap.day)	150
Final Population	0	k1 (Max. Day)	1.2
Minimum Diameter (mm)	50	k2 (Max. hour)	1.5
Minimum covering (m)	0.60	Attendance Coefficient	1.0

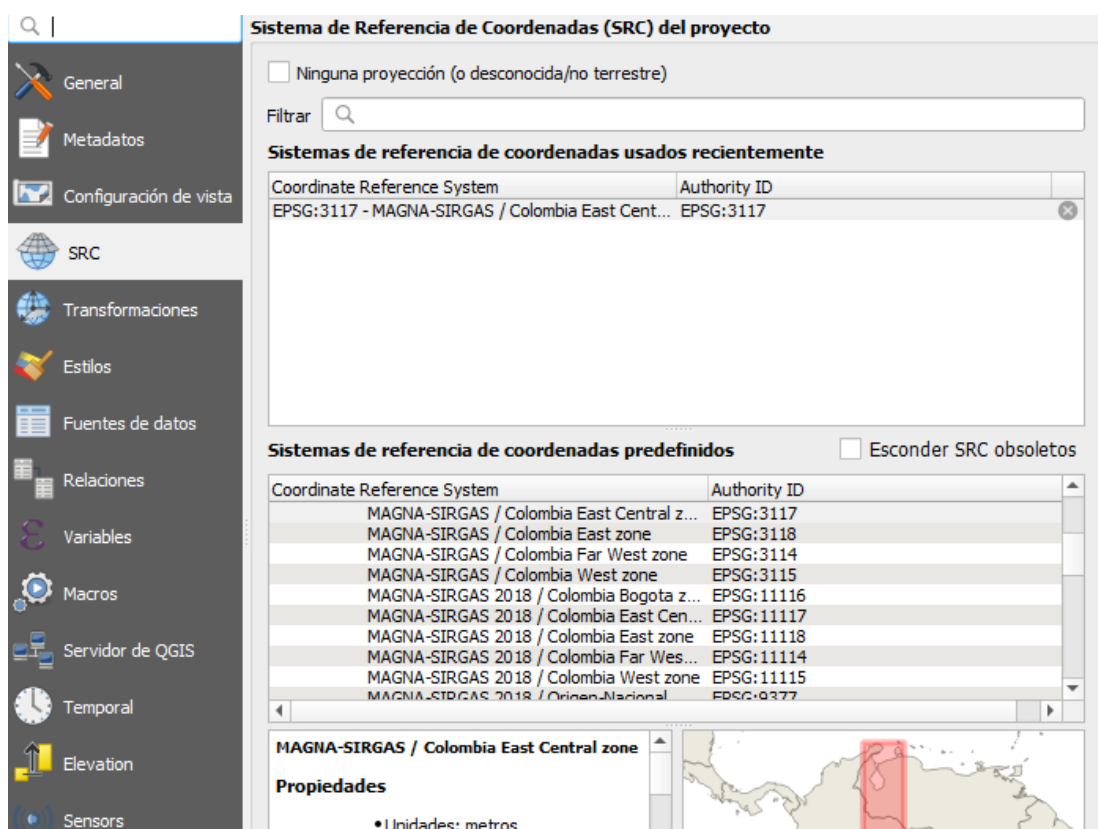
Nota. Es necesario ingresar los datos de población inicial y final, diámetro mínimo, consumo per cápita, factores de mayoración K1 y K2 en el apartado de configuraciones del plugin Qwater en Qgis, así mismo relacionar cada una de las capas a los nodos, tuberías, reservorios y demás.

Una vez realizada la configuración necesaria para crear el modelo de la red de distribución de agua potable en Qgis, se definió el sistema de coordenadas del proyecto el cual es

MAGNA-SIRGAS / Colombia East Central Zone EPSG:3117 (ver Figura 14), zona en la cual se encuentra la ciudad de San José de Cúcuta.

Figura 14.

Sistema de Referencia de Coordenadas del Proyecto.



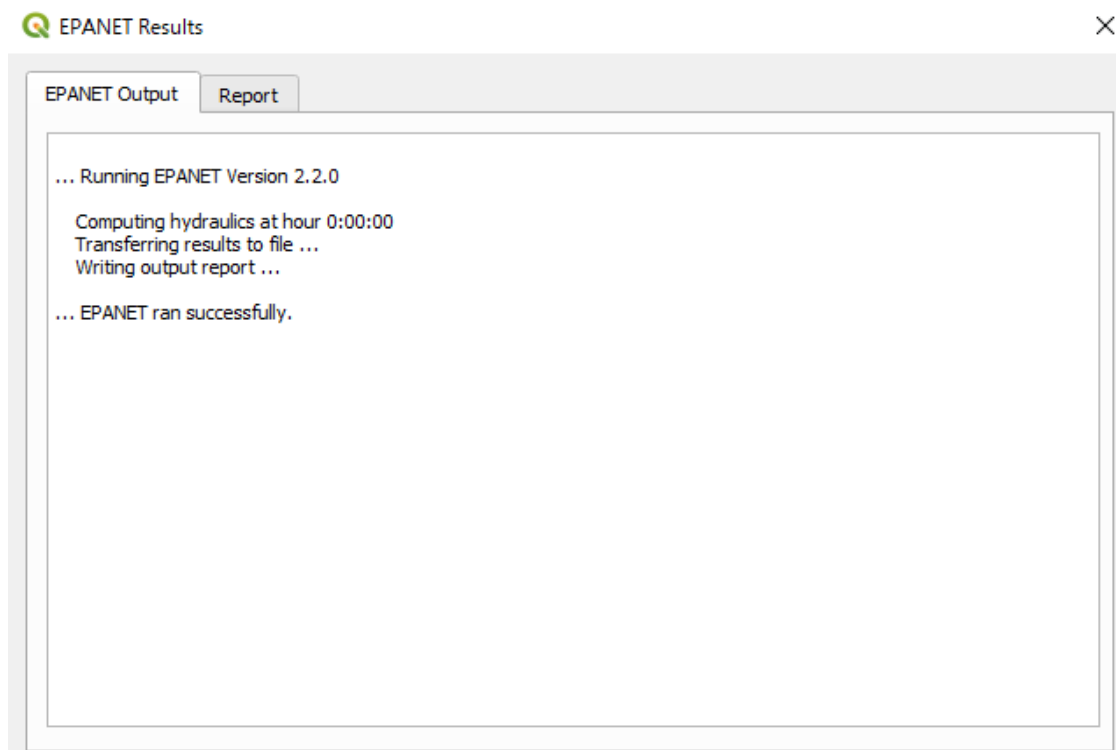
Nota. Configuración en Qgis del sistema de referencia de coordenadas donde se encuentra ubicado el proyecto.

Se procede a iniciar la creación del modelo, editando cada una de las capas y ubicando los objetos espaciales según corresponda, se designan en la tabla de atributos los valores propios de cada capa creada. Para la capa de nodos se asigna la elevación en msnm y la demanda de agua individualmente; para la capa de tuberías se debe indicar el nodo inicial y final, longitudes de tubería en metros, diámetro de tuberías en mm, rugosidad del material, perdidas por

accesorios en cada tramo y estado al momento de la simulación (abierta o cerrada); finalmente se designa la altura a la capa de embalse considerando la presión dada en mca y la cota a la que se encuentra ubicado. Con esta información cargada es posible realizar la simulación del sistema de tuberías, obteniendo velocidades, presiones y caudales para cada tramo de la red, así mismo nos indicara la existencia de errores o si la simulación fue llevada con éxito como se observa en la Figura 15.

Figura 15.

Simulación Exitosa de la Red de Distribución Utilizando Qwater.



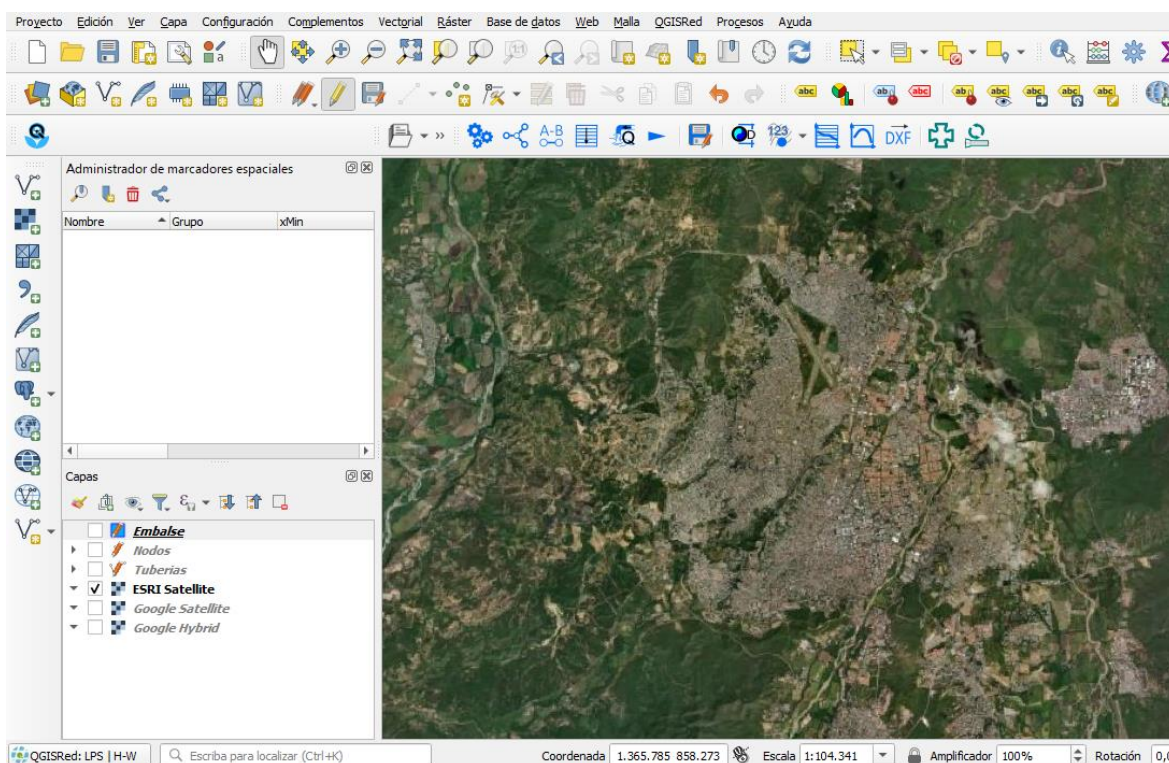
Nota. Resultados de la simulación del funcionamiento de la red, con el plugin Qwater en Qgis, indicando que el programa corrió exitosamente.

Llevar a cabo el diseño de red de distribución de agua potable y simulación del mismo dentro del entorno Qgis nos permite emplear al maximo este software, ya que junto a otros

plugins como Quickmapservices es posible agregar una capa de imagen satelital de sistemas de información geografica como ESRI, Google y la Nasa como se ilustra el la Figura 16, donde se logra comprender de mejor manera la ubicación del proyecto a ejecutar.

Figura 16.

Imágenes Satelitales Cargadas en Qgis.



Nota. Capa de datos geoespaciales agregada al entorno Qgis, del sistema de información geográfica ESRI, enfocada en la ciudad de Cúcuta.

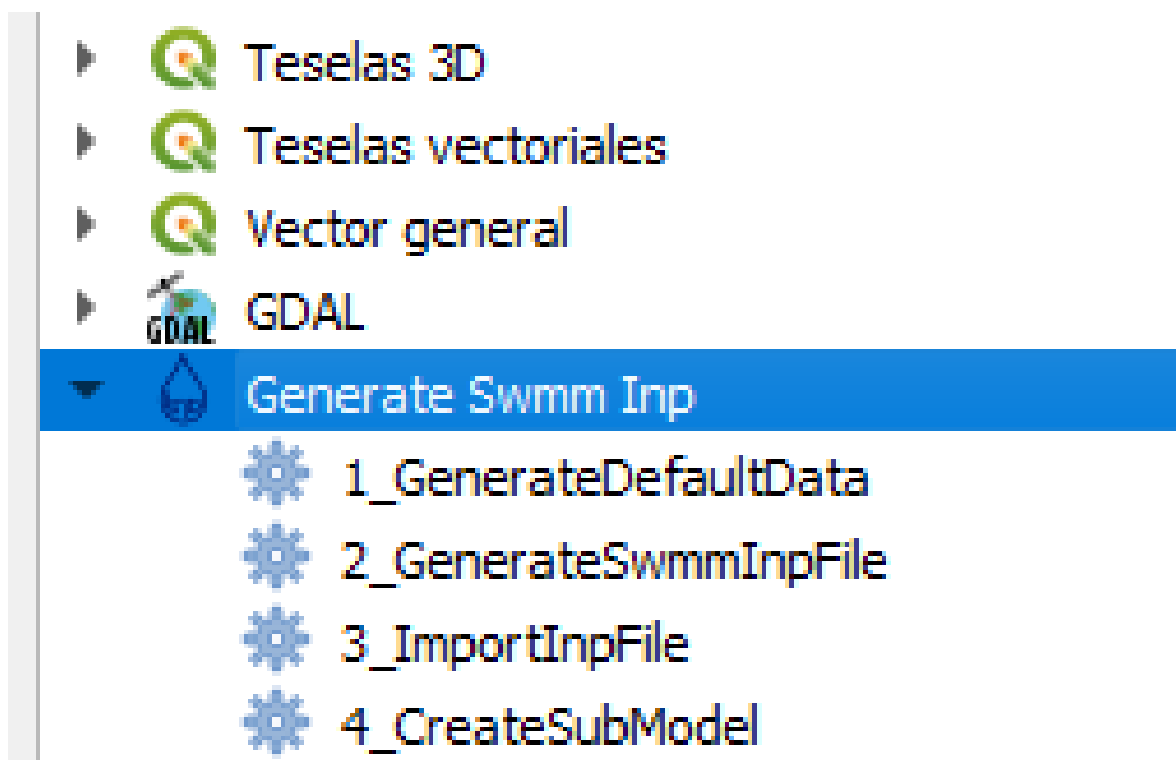
Plugin Generate SWMM Inp Para el Diseño de Sistemas de Alcantarillados

Este plugin cuenta con diferentes funciones las cuales se presentan en la Figura 17, dentro de las cuales permite convertir un archivo de entrada SWMM tipo inp a un archivo de entorno Qgis con su función “ImportInpFile”, conservando los valores otorgados a tuberías, ubicación de pozos y emisarios, creando capas de tipo shape para cada uno de estos. Así mismo,

por medio del reconocimiento y asociación de las capas y permite llevar un archivo de Qgis a SWMM, preservando los valores de origen con la función “GenerateSwmmInpFile”.

Figura 17.

Funciones del Plugin Generate SWMM Inp.



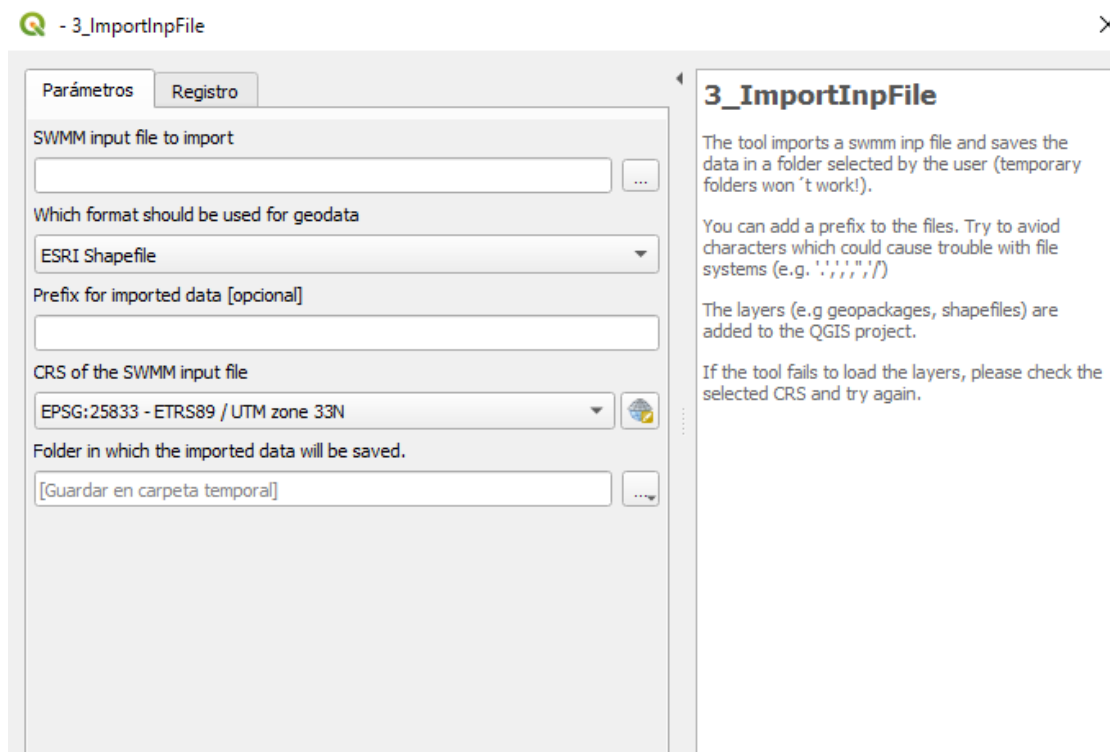
Nota. Funciones incluidas en el plugin GenerateSwmmInp el cual se encuentra ubicado en la caja de herramientas.

Con el objetivo de hacer uso al máximo del software gratuito Qgis, junto a su reservorio de complementos, se importó por medio de la función ImportInpFile como se observa en la Figura 18, los diseños existentes de red de alcantarillado de SWMM al entorno de Qgis, seleccionando el formato de geodatos y el sistema de coordenadas, implementando además el plugin Quickmapservices que nos permite agregar una capa de imagen satelital de sistemas de

información geográfica como ESRI, Google y la Nasa, con el cual se logra comprender de mejor manera la ubicación del proyecto a ejecutar.

Figura 18.

Función ImportInpFile del Plugin Generate SWMM Inp.



Nota. Parámetros a definir en la función ImportInpFile del plugin GenerateSwmmInp para importar el archivo seleccionado de SWMM a Qgis, como el SRC y los datos geoespaciales.

Resultados

Los resultados se presentarán con base a las fases propuestas en la metodología, correspondientes al desarrollo de cada uno de los objetivos:

Fase 1. Revisión de Documentación

En la Tabla 1 y Tabla 2, se recopila la normatividad colombiana vigente más importante para llevar a cabo el diseño y operación del sistema de acueducto y sistema de alcantarillado, teniendo en cuenta el Reglamento del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS y la resolución 0330 del 2017 como modificaría de esta normativa.

Tabla 1.

Recopilación Normatividad Colombiana Vigente Para el Sistema de Acueducto.

Recopilación Normativa Sistema de Acueductos	
<i>Reglamento técnico del sector de agua potable RAS 2014 Título B</i>	<i>Resolución 0330 del 2017</i>
<i>Capítulo 3. Fuentes de Abastecimiento: Criterios para la selección de fuentes de abastecimiento de agua teniendo en cuenta la calidad y disponibilidad; lineamientos para la protección y conservación de la misma. Capítulo 4 y 5. Captación de agua superficial y subterránea: Requisitos para el diseño y construcción de infraestructuras de captación y bombeo. Lineamientos de diseño y operación de plantas de tratamiento de agua potable.</i>	<i>Titulo 2, capítulo 1, artículo 40. Periodo de diseño:</i> Se establece el periodo de 25 años para sistemas de acueducto y alcantarillado. <i>Titulo 2, capítulo 1, artículo 43. Dotación neta máxima:</i> Se especifican los criterios para determinar la dotación neta máxima considerando la altura sobre el nivel del mar de la zona. <i>Titulo 2, capítulo 2, artículo 47. Caudales de diseño:</i> Donde se especifican los caudales de diseño para cada componente del sistema de acueducto.
<i>Capítulo 7. Redes de Distribución: Especificaciones para el dimensionamiento de tuberías, materiales permitidos y métodos de instalación. Límites de presiones y velocidades</i>	<i>Titulo 2, capítulo 2, artículo 44. Dotación bruta:</i> Calculo de la dotación bruta considerando la dotación neta y el porcentaje de perdidas máximas del diseño.

para asegurar un funcionamiento eficiente y seguro del sistema.	Titulo 2, capitulo 2, sección 2, artículo 45. Criterios de selección del material de tuberías:
Capítulo 9. Tanques de almacenamiento y compensación: Requisitos para el diseño y construcción de tanques de almacenamiento de agua potable y medidas para garantizar la calidad del agua que permanezca almacenada.	Teniendo en cuenta capacidad, durabilidad, características del suelo, costos, instalación, entre otros aspectos.
	Titulo 2, capitulo 2, artículo 54. Tipos de captación de agua superficial: Información general de las diferentes estructuras de captación superficial.
	Titulo 2, capitulo 2, sección 3. Sistemas de transporte y distribución de aguas: Especificaciones de líneas de aducción y conducción, modelación de redes de distribución, localización, profundidades, presiones, diámetros de tuberías, válvulas.
	Titulo 2, capitulo 2, sección 4. Estructuras complementarias: Consideraciones para la construcción de tanques de almacenamiento.
	Titulo 2, capitulo 2, sección. Operación y mantenimiento: Rendimientos, prevenciones, presiones, desinfección y mantenimiento.

Nota. Esta tabla presenta de manera resumida las principales secciones de la normativa colombiana vigente para los sistemas de acueductos.

Tabla 2.

Recopilación Normatividad Colombiana Vigente Para el Sistema de Alcantarillado.

Recopilación Normativa Sistema de Alcantarillado	
Reglamento técnico del sector de agua potable RAS 2016 Titulo D	Resolución 0330 del 2017
Capítulo 2. Aspectos comunes en sistemas de	Capítulo 4, sección 1. Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y

<i>alcantarillado de aguas residuales y aguas lluvias:</i>	<i>pluviales:</i>
Estudios y protocolos de diseño, planos y memorias de cálculo.	Artículo 134. Caudal de aguas residuales: Considerando consumos locales, densidades para el periodo de diseño.
<i>Capítulo 3. Redes de alcantarillado de aguas residuales:</i> Parámetros principales de diseño, periodo de diseño, población de diseño, contribuciones de aguas residuales por medio del cálculo del caudal doméstico (basado en la dotación per cápita y proyecciones de crecimiento poblacional), caudal industrial, comercial e institucional (consideración de contribuciones específicas de industrias y comercios en la zona de influencia, como de instituciones) y caudal de infiltración y conexiones erradas (estimación de infiltración y manejo de aportes de agua lluvia).	Artículo 135. Caudal de aguas lluvias: Teniendo en cuenta el periodo de retorno según el área de la zona, intensidad de la lluvia, tipo de cobertura y concentración.
<i>Capítulo 6. Hidráulicas de sistemas de alcantarillado:</i> Establecimiento de rangos de velocidades mínimas y máximas para evitar sedimentación y erosión en las tuberías. Criterios para determinar las pendientes mínimas y máximas para asegurar un flujo eficiente. Normas para el dimensionamiento de las tuberías principales y secundarias.	Artículo 137. Diseño y modelación hidráulica de redes de alcantarillado
<i>Capítulo 7. Estructuras complementarias:</i> Especificaciones para los materiales a utilizar, asegurando durabilidad y resistencia. Criterios para la construcción de pozos de inspección, cámaras de carga y demás estructuras complementarias.	Artículo 138 y 139. Localización de redes de alcantarillado: Distancias, profundidades, cruces, longitudes. <i>Capítulo 4, sección 2. Redes de alcantarillado convencional de aguas residuales:</i> Diámetros, velocidades, conexiones, criterios de autolimpieza. <i>Capítulo 4, sección 5. Estructuras complementarias de las redes de alcantarillado:</i> Requisitos de diseño de conexión, sumideros, aliviaderos, sifones invertidos, disipación de energía y bombeo. <i>Capítulo 4, sección 6. Operación y mantenimiento.</i> Artículo 29. Definir la operación y mantenimiento de sistemas como actividades preventivas y correctivas necesarias para su óptimo funcionamiento, excluyendo rehabilitación y renovación. Artículo 30. Se deben seguir manuales y documentación técnica, incluir inspecciones, registros y actualizaciones, y garantizar eficiencia energética y educación a los usuarios. Se requiere monitoreo constante y planes de gestión de riesgos.

Nota. Esta tabla presenta de manera resumida las principales secciones de la normativa colombiana vigente para los sistemas de alcantarillados.

Según los reportes históricos e informes de gestión otorgados por la empresa AguasKpital Cúcuta, la infraestructura del sistema de acueducto y alcantarillado de la ciudad ha mejorado significativamente gracias a inversiones recientes. En el caso del sistema de acueducto, cuenta con una cobertura del 99.99%% tras la puesta en marcha del Acueducto Metropolitano, beneficiando a más de 805,162 habitantes de Cúcuta, Villa del Rosario y Los Patios, una mejora significativa considerando un porcentaje de cobertura del 86.5% para el año 2006 y 99.83% para el año 2022. Este sistema incrementó la continuidad del servicio de agua potable en Cúcuta de 23 a 24 horas diarias, asegurando acceso constante y de calidad, ya que la empresa cuenta además con la certificación Aquarating el cual evalúa los servicios de agua y saneamiento. Por otro lado, el sistema de alcantarillado presenta una cobertura estimada del 98,86% en áreas urbanas y rurales, se destaca la búsqueda de la calidad de vida considerando el porcentaje de cobertura del 83% para el año 2006.

Con base en los datos disponibles, en la ciudad de Cúcuta, la infraestructura de acueducto y alcantarillado ha sido modernizada de manera significativa en los últimos años por la empresa operadora del servicio de acueducto y alcantarillado AKC. Se reporta que Aguas Kpital ha renovado aproximadamente 300 km de redes de acueducto y 100 km de alcantarillado, priorizando la instalación de tuberías en materiales como PVC debido a su durabilidad y eficiencia, dejando atrás tuberías de materiales como gres y asbesto cemento, con esfuerzos continuos para mejorar estas cifras en áreas rurales y marginales.

Fase 2. Diseño y Modelamiento de Redes de Acueducto en Epanet

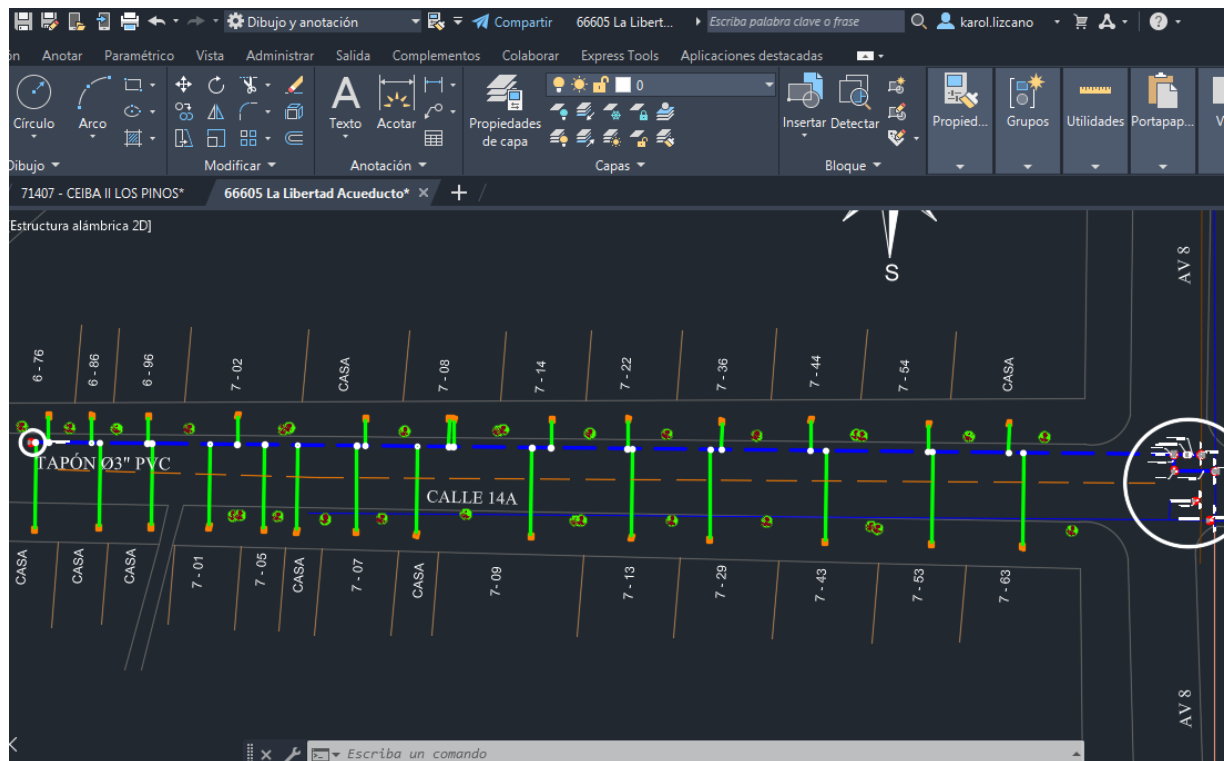
Reposición de Red de Distribución de Agua Potable en el Barrio La Libertad

El proyecto de reposición de la red de acueducto se encuentra ubicado en la ciudad de Cúcuta en la Calle 14A entre las Avenidas 7 y 8 en el Barrio La Libertad, en la comuna 4, sector hidráulico 1808, consta de suministro e instalación de tubería PVC de diámetro de 3 pulgadas RDE 21 con una longitud de 123.10 metros, junto a corte, demolición y reposición de andén y pavimento; este proyecto beneficiará a 27 usuarios conectados a la red con tubería de ½ pulgada instalada a 90° de la tubería principal junto a las cajas de acometidas. Cuenta con la instalación de los siguientes accesorios: Tee Ø3”X3” PVC, Tee Ø6”X3” de Hierro Dúctil, Tee Ø3”X3” HD Válvula de compuerta de Ø3” y Codo 90° de Ø3”; la tubería principal se conectará a tubería existente de Ø6” en PVC. Se indica que se debe realizar la prueba de estanqueidad a la red de tubería de asbesto cemento (AC) que saldrá de servicio y adicionar tapones de 3” en PVC.

Se proyecta la tubería a reponer mediante el modelado en AutoCAD (ver Figura 19) de la red de acueducto, incluyendo ubicación de la red de distribución, longitud de la tubería de Ø3” y material de tuberías a reponer, así como detalles de accesorios a instalar, ubicación de acometidas y detalles de anclajes. Se considera con base a la información existente en la base de Qgis de la empresa AKC la red a la cual se encuentra conectada al sistema y la ubicación de la red a sacar de servicio.

Figura 19.

Modelado en AutoCAD de la Red de Acueducto Barrio La Libertad.

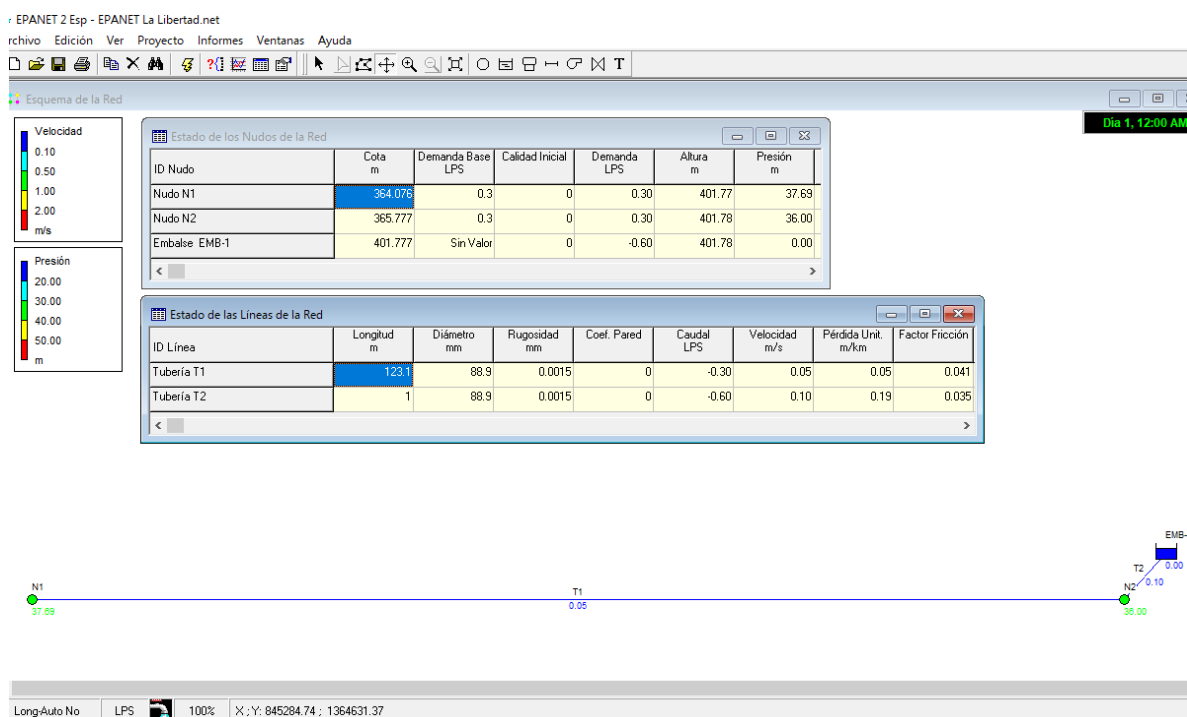


Nota. Dibujo de la red de acueducto del barrio La Libertad, donde se plantea la reposición de la red de tubería de diámetro de 3" y las domiciliarias, así como la instalación de accesorios requeridos.

Se exporto el modelado anterior con Epacad, para llevar a cabo la simulación del sistema en Epanet, considerando longitudes de tubería, nodos y cotas, así mismo se consideró las perdidas según los coeficientes de perdidas menores para accesorios, en el caso de las tee este valor será de 0.8, 0.2 para la válvula de compuerta y 0.9 para los codos de 90°. Para este proyecto la demanda base corresponde a 0.3 lps y se presenta una presión en el embalse de 36 mca; la simulación fue llevada exitosamente, obteniendo valores de presiones, caudales y velocidades de la red las cuales se presentan en la Figura 20.

Figura 20.

Simulación en Epanet de la Red de Acueducto en el Barrio La Libertad.



Nota. En la imagen se observan los resultados obtenidos para caudales, velocidades, perdidas y presiones al finalizar la simulación de la red de acueducto del Barrio La Libertad exitosa en Epanet.

Reposición de Red de Distribución de Agua Potable en el Barrio Los Pinos

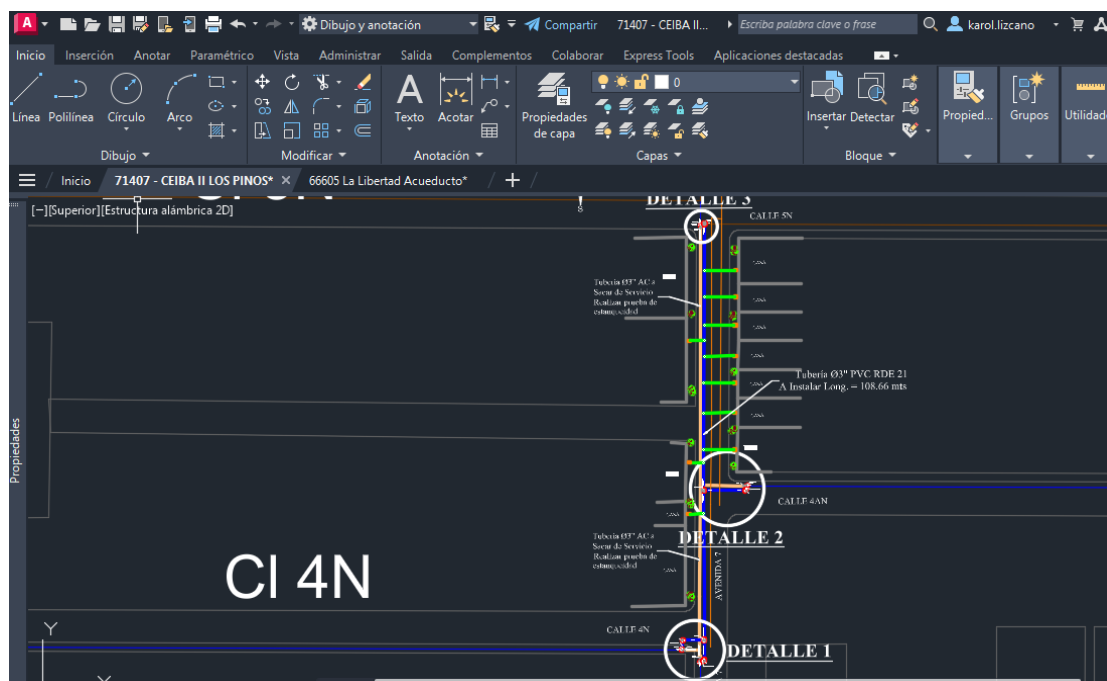
El proyecto de reposición de la red de acueducto se encuentra ubicado en la ciudad de Cúcuta en la Avenida 5E entre calles 4N y 5N barrio Los Pinos, en la comuna 2, sector hidráulico 0202, consta de suministro e instalación de tubería PVC de diámetro de 3 pulgadas RDE 21 con una longitud de 108.66 metros, junto a corte, demolición y reposición de andén y pavimento rígido; este proyecto beneficiara a 10 usuarios conectados a la red con tubería de ½ pulgada instalada a 90° de la tubería principal junto a las cajas de acometidas. Cuenta con la instalación de los siguientes accesorios: 2 Tee Ø3"X3" PVC, Tee Ø6"X3" de Hierro Dúctil, y 4

Codos de 90° de Ø3"; la tubería principal se conectará a tubería existente de Ø6" en PVC. Se indica que se debe realizar la prueba de estanqueidad a la red de tubería de asbesto cemento (AC) que saldrá de servicio y adicionar tapones de Ø3" en concreto.

Se proyecta la tubería a reponer mediante el modelado en AutoCAD (ver Figura 21) de la red de acueducto, incluyendo ubicación de la red de distribución, longitud de la tubería de Ø3" y material de tuberías a reponer, así como detalles de accesorios a instalar, ubicación de acometidas y detalles de anclajes. Se considero con base a la información existente en la base de Qgis de la empresa AKC la red a la cual se encuentra conectada al sistema y la ubicación de la red a sacar de servicio.

Figura 21.

Modelado en AutoCAD de la Red de Acueducto Barrio Los Pinos.

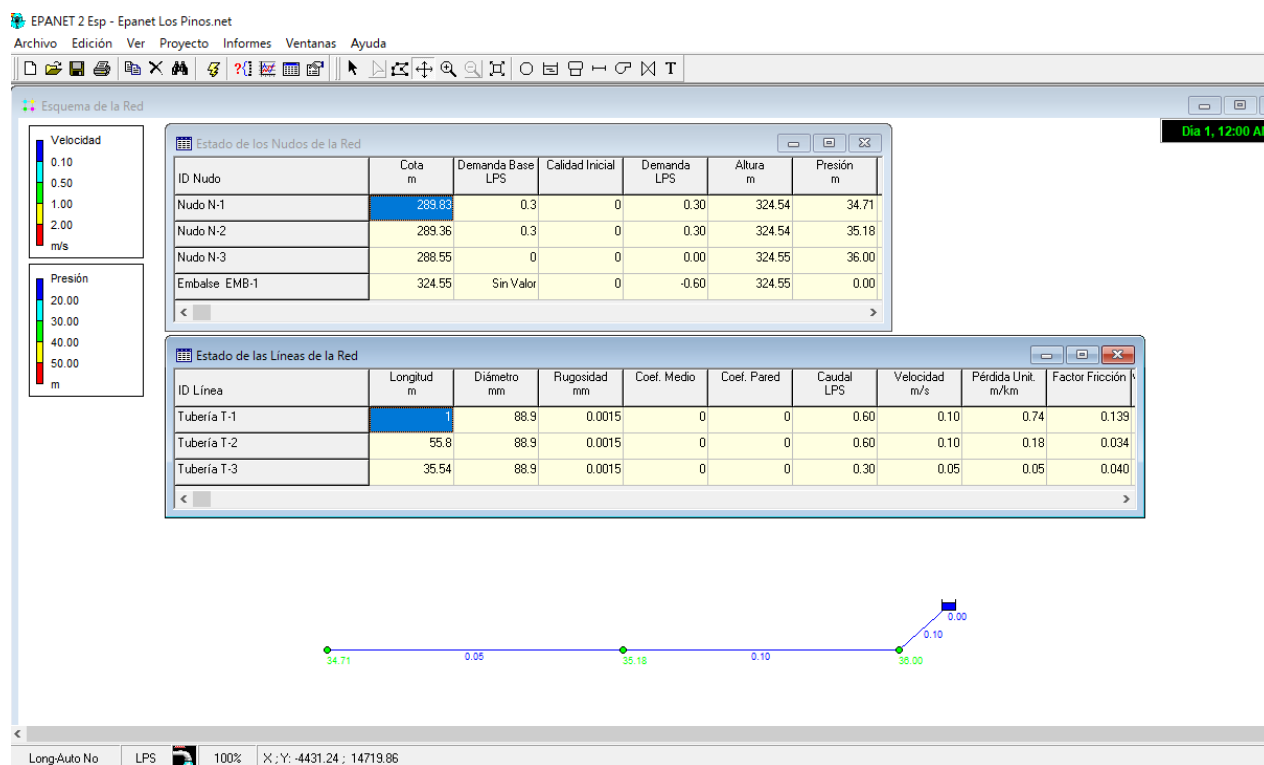


Nota. Dibujo de la red de acueducto del barrio Los Pinos, donde se plantea la reposición de la red de tubería de diámetro de 3" y las domiciliarias, así como la instalación de accesorios requeridos.

Se exporto el modelado anterior con Epanet, para llevar a cabo la simulación del sistema en Epanet, considerando longitudes de tubería, nodos y cotas, así mismo se consideró las perdidas según los coeficientes de perdidas menores para accesorios, en el caso de las tee este valor será de 0.8 y 0.9 para los codos de 90°. Para este proyecto la demanda base corresponde a 0.3 lps y se presenta una presión en el embalse de 36 mca; la simulación fue llevada exitosamente, obteniendo valores de presiones, caudales y velocidades de la red como se observa en la Figura 22.

Figura 22.

Simulación en Epanet de la Red de Acueducto en el Barrio Los Pinos.



Nota. En la imagen se observan los resultados obtenidos para caudales, velocidades, perdidas y presiones al finalizar la simulación de la red de acueducto del Barrio Los Pinos exitosa en Epanet.

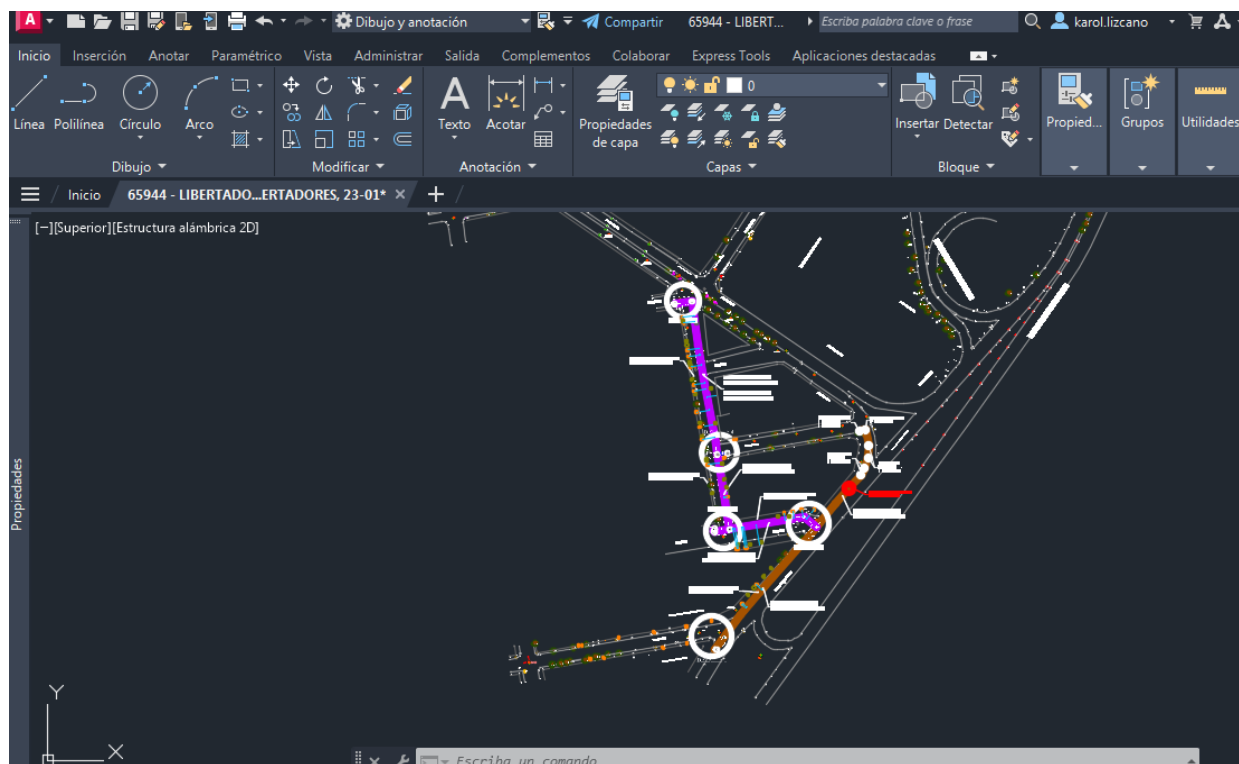
Reposición de Red de Distribución de Agua Potable en Avenida Libertadores

El proyecto de reposición de la red de acueducto se encuentra ubicado en la ciudad de Cúcuta en la Avenida Libertadores entre Calles 15 y 15ª; Calle 15 entre Avenida Libertadores y Avenida 3BE; Avenida 3BE entre Calles 15 13ª y 15, Barrio Libertadores y Caobos, consta de suministro e instalación de tubería PVC de diámetro de 3 pulgadas RDE 21 con una longitud de 7.63 metros, tubería PVC de diámetro de 4 pulgadas con una longitud de 231.84 metros, tubería PVC de diámetro de 6 pulgadas con una longitud de 182.52 metros, junto a corte, demolición y reposición de andén y pavimento flexible; este proyecto beneficiará a 26 usuarios conectados a la red con tubería de ½ pulgada instalada a 90° de la tubería principal junto a las cajas de acometidas. Cuenta con la instalación de los siguientes accesorios: Tee Ø4”X3” PVC, Tee Ø4”X4” de Hierro Dúctil, Tee Ø6”X4” PVC, Reducción Ø4”X3” HD, Reducción Ø6”X3” HD, Codos de 90° de Ø3” de HD, Codos de 90° de Ø4” de HD, y Codos de 90° de Ø6” de HD. Se indica que se debe realizar la prueba de estanqueidad a la red de tubería de asbesto cemento (AC) que saldrá de servicio y adicionar tapones en concreto.

Se proyecta la tubería a reponer mediante el modelado en AutoCAD (ver Figura 23) de la red de acueducto, incluyendo ubicación de la red de distribución, longitud de la tubería de Ø3”, Ø4” y Ø6” de PVC a reponer, así como detalles de accesorios a instalar, ubicación de acometidas y detalles de anclajes. Se considera con base a la información existente en la base de Qgis de la empresa AKC la red a la cual se encuentra conectada al sistema y la ubicación de la red a sacar de servicio.

Figura 23.

Modelado en AutoCAD de la Red de Acueducto Avenida Libertadores

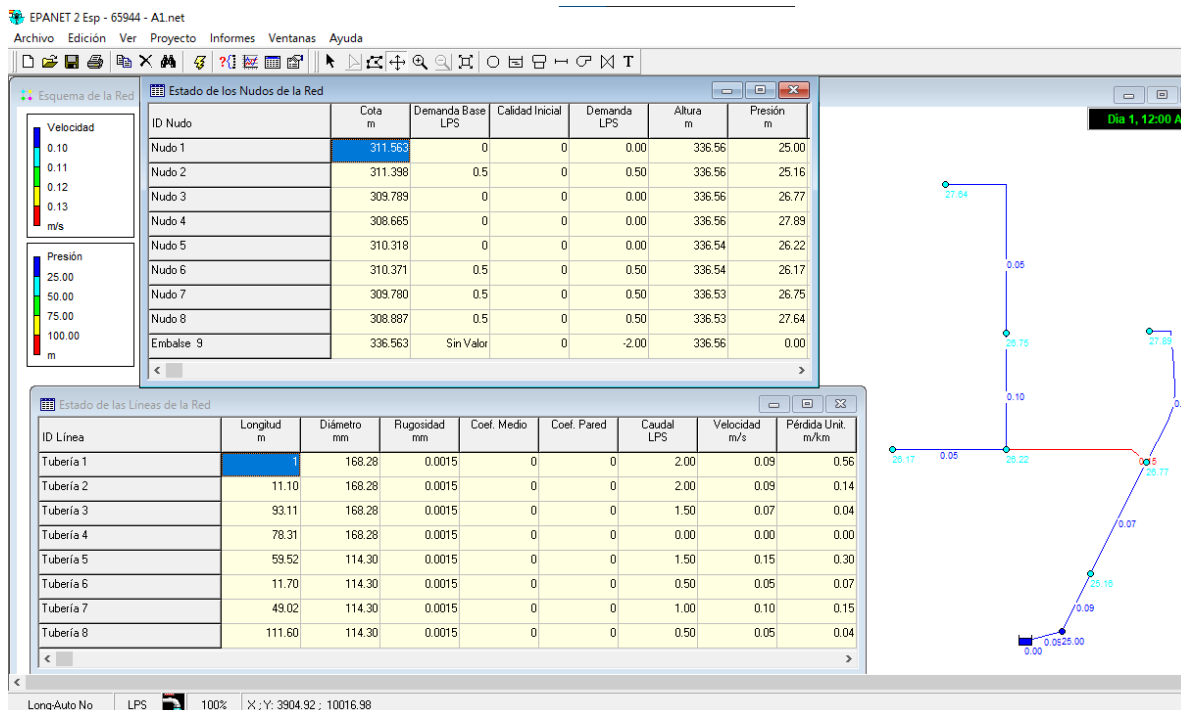


Nota. Dibujo de la red de acueducto de la Avenida Libertadores, donde se plantea la reposición de la red de tubería de diámetro de 4" y 6" así como la instalación de accesorios requeridos.

Se exporto el modelado anterior con Epacad, para llevar a cabo la simulación del sistema en Epanet, considerando los diferentes diámetros y longitudes de tubería presentes, uniones y cotas, así mismo se consideró las perdidas según los coeficientes de perdidas menores para cada uno de los accesorios, en el caso de las tee este valor será de 0.8 y 0.9 para los codos de 90°. Para este proyecto la demanda base corresponde a 0.5 lps y se presenta una presión en el embalse de 27.676 mca; la simulación fue llevada exitosamente, obteniendo valores de presiones, caudales y velocidades de la red como se observa en la Figura 24.

Figura 24.

Simulación en Epanet de la Red de Acueducto Avenida Libertadores.



Nota. En la imagen se observan los resultados obtenidos para caudales, velocidades, perdidas y presiones al finalizar la simulación de la red de acueducto de la Avenida Libertadores exitosa en Epanet.

Reposición de Red de Distribución de Agua Potable en Barrio La Riviera

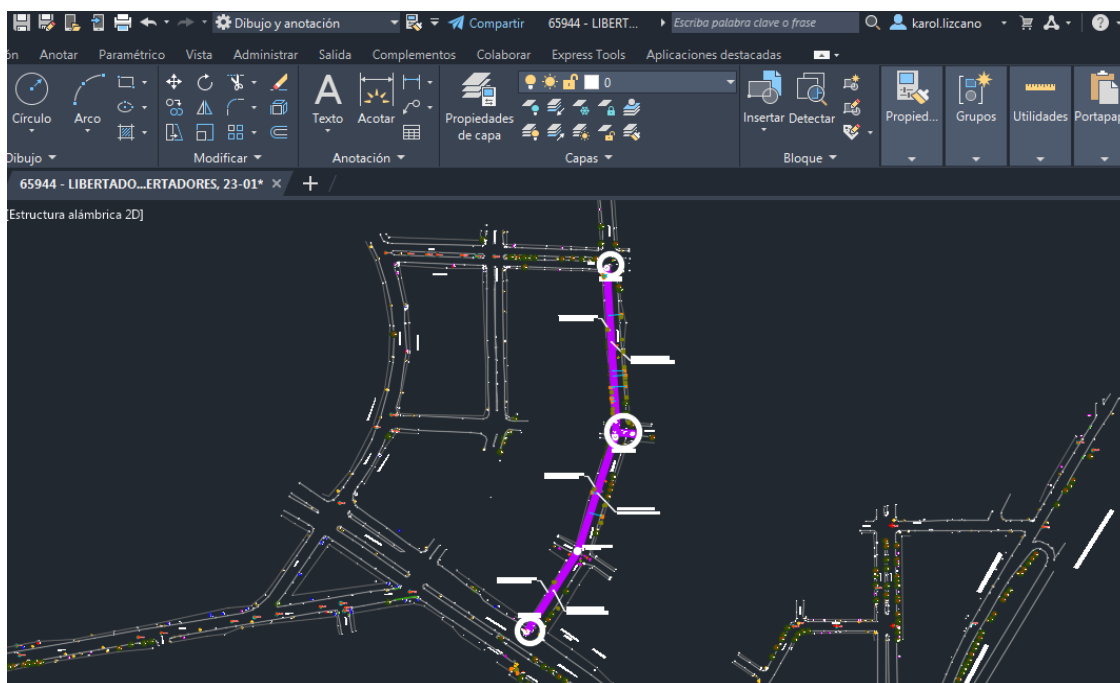
El proyecto de reposición de la red de acueducto se encuentra ubicado en la ciudad de Cúcuta en la Avenida 5E entre Calle 9 y Diagonal Santander, Barrio La Riviera, consta de suministro e instalación de tubería PVC de diámetro de 4 pulgadas RDE 21 con una longitud de 334.56 metros, junto a corte, demolición y reposición de andén y pavimento flexible; este proyecto beneficiará a 11 usuarios conectados a la red con tubería de ½ pulgada instalada a 90° de la tubería principal junto a las cajas de acometidas. Cuenta con la instalación de los siguientes accesorios: Tee Ø6"X4" HD, Tee Ø4"X4" de Hierro Dúctil, Tee Ø8"X4" HD, Codos de 90° de

Ø4” de HD y Codos de 11.25° de Ø4” de HD. Se indica que se debe realizar la prueba de estanqueidad a la red de tubería de asbesto cemento (AC) que saldrá de servicio y adicionar tapones en concreto.

Se proyecta la tubería a reponer mediante el modelado en AutoCAD (ver Figura 25) de la red de acueducto, incluyendo ubicación de la red de distribución, longitud de la tubería de Ø4” de PVC a reponer, así como detalles de accesorios a instalar, ubicación de acometidas y detalles de anclajes. Se considero con base a la información existente en la base de Qgis de la empresa AKC la red a la cual se encuentra conectada al sistema y la ubicación de la red a sacar de servicio.

Figura 25.

Modelado en AutoCAD de la Red de Acueducto Barrio La Riviera.

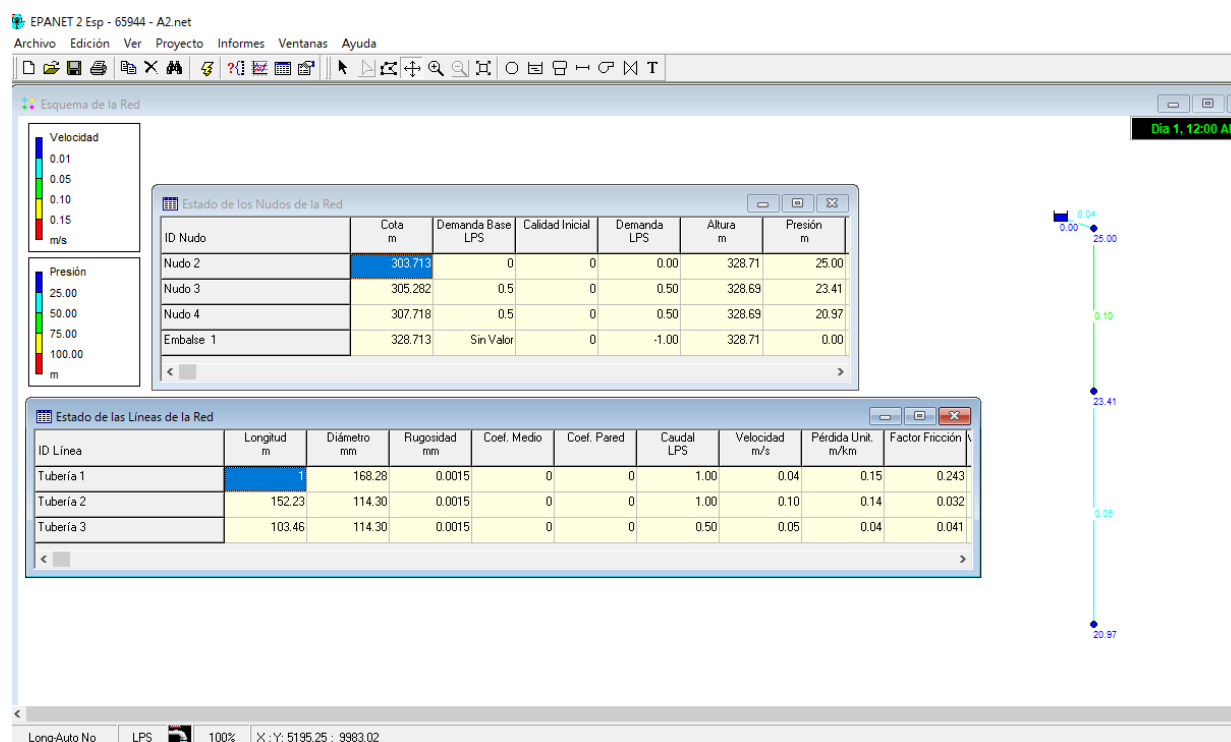


Nota. Dibujo de la red de acueducto del barrio La Riviera, donde se plantea la reposición de la red de tubería de diámetro de 4” así como la instalación de accesorios requeridos.

Se exporto el modelado anterior con Epanet, para llevar a cabo la simulación del sistema en Epanet, considerando el diámetro y longitud de la tubería, uniones y cotas, así mismo se consideró las perdidas según los coeficientes de perdidas menores para cada uno de los accesorios, en el caso de las tee este valor será de 0.8, 0.9 para los codos de 90° y 11.25°. Para este proyecto la demanda base corresponde a 0.5 lps y se presenta una presión en el embalse de 20.995 mca; la simulación fue llevada exitosamente, obteniendo valores de presiones, caudales y velocidades de la red como se observa en la Figura 26.

Figura 26.

Simulación en Epanet de la Red de Acueducto en el Barrio La Riviera.



Nota. En la imagen se observan los resultados obtenidos para caudales, velocidades, perdidas y presiones al finalizar la simulación de la red de acueducto del Barrio La Riviera exitosa en Epanet.

Fase 3. Diseño y Modelamiento de Redes de Alcantarillado Sanitario en SWMM

Reposición de Red de Tubería de Alcantarillado Sanitario en el Barrio La Libertad

El proyecto de reposición de la red de alcantarillado sanitario se encuentra ubicado en la ciudad de Cúcuta en la Calle 14A, Avenida 7 y 8 Barrio La Libertad, en la comuna 4, sector hidráulico 1808, consta de suministro e instalación de tubería PVC de diámetro de 12 pulgadas RDE 21 con una longitud de 115.25 metros, junto a corte, demolición y reposición de andén y pavimento rígido; este proyecto beneficiara a 27 usuarios conectados a la red con tubería de Ø 6” pulgadas instalada a 45° de la tubería principal junto a las domiciliarias. Cuenta con la construcción de 1 caja de inspección y el uso de 2 pozos existente. Se llevó a cabo una revisión en la ubicación del proyecto para la verificación de datos entregados por el personal de topografía, como profundidades de pozos de inspección existentes, flujos y características de tuberías, junto al CN de mantenimiento de la empresa AKC como se observa en la Figura 27.

Figura 27.

Inspección de Pozos para Proyecto de Reposición Barrio La Libertad.

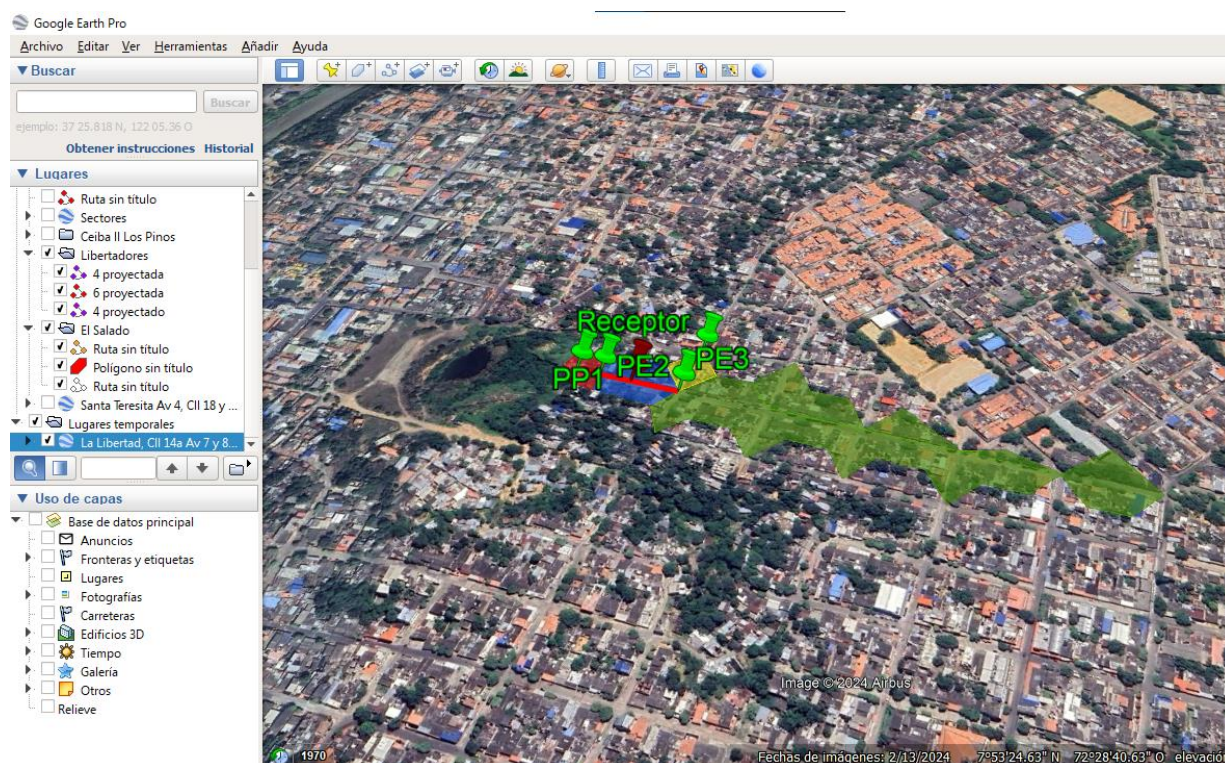


Nota. Visita a la ubicación del proyecto en el Barrio La Libertad, en acompañamiento del personal de mantenimiento de la empresa AKC.

Se realizó el cálculo de áreas con el apoyo del sistema de información geográfica Google Earth, considerando la ubicación de los pozos existentes o proyectados y del receptor, para obtener el área propia en cada tramo como se indica en la Figura 28. Se verificó los flujos e infraestructura del sistema de alcantarillado existente para definir el área superior que tendrá el receptor.

Figura 28.

Cálculo de Áreas con el SIG Google Earth Barrio La Libertad.



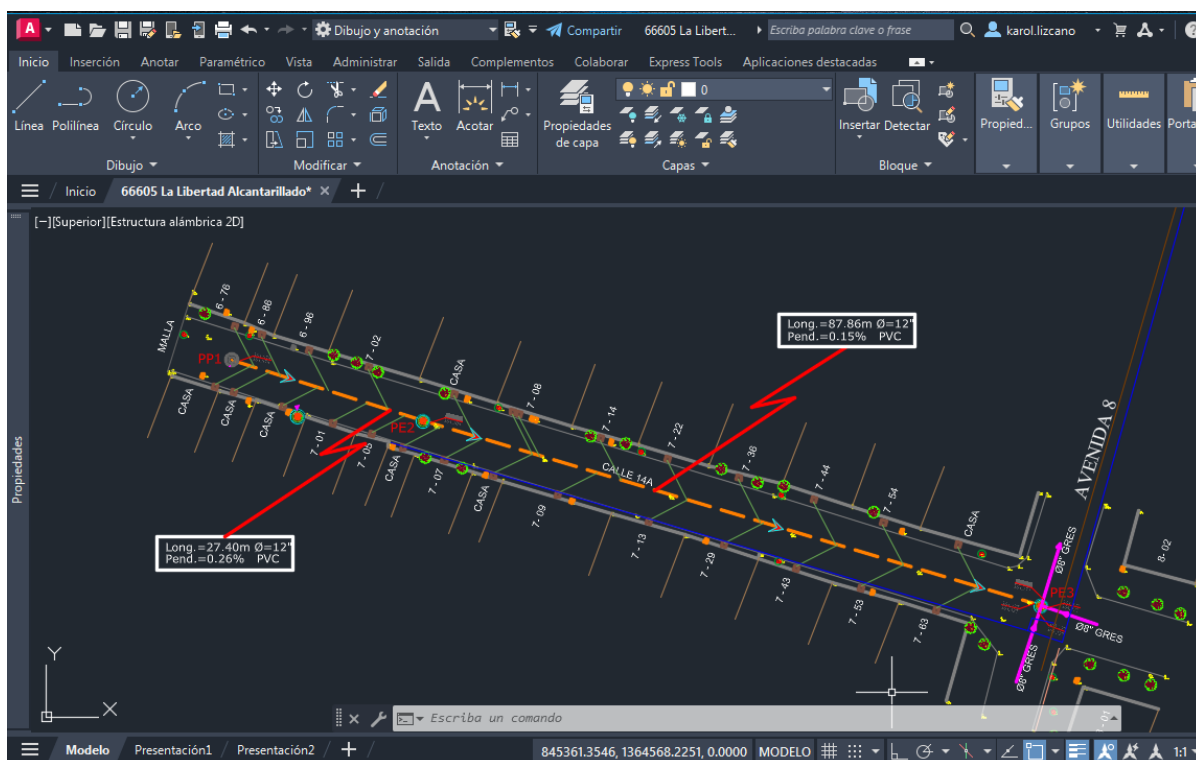
Nota. Ubicación de polígonos de áreas propias y superiores de cada pozo mediante Google Earth para la obtención del área correspondiente en hectáreas.

Se modeló en el software AutoCAD (ver Figura 29) de la red de alcantarillado sanitario, incluyendo perfil de elevaciones, ubicación de la red, longitudes, pendientes, diámetro y material

de tuberías, ubicación de los pozos y/o cajas de inspección, ubicación de cajas domiciliarias y cotas.

Figura 29.

Modelado en AutoCAD de la Red de Alcantarillado Barrio La Libertad.



Nota. Dibujo en autocad de la red de alcantarillado del barrio La Libertad, donde se plantea la reposición de la red de tubería de diámetro de 12” y ubicación de pozos existentes o proyectados.

Se diseñó el alcantarillado sanitario bajo el cuadro de áreas y caudales y cuadro de diseño de colectores de la empresa AguasKpital (ver Figura 30) y se realizó la simulación en el software SWMM la red de alcantarillado, teniendo en cuenta las cotas rasantes y cotas fondo en los pozos existentes y la caja de inspección, rugosidad del material que corresponde a 0.0015 para tubería de PVC, diámetro de Ø12”, con el objetivo de verificar la eficiencia de la red diseñada con la obtención del perfil de la lámina de agua como se muestra en la Figura 31.

Figura 30.

Cuadro de Diseño de Alcantarillado Sanitario de la Empresa AKC, para el Barrio La Libertad.

66605 - LA LIBERTAD, CALLE 14A AV 7 - 8 - Excel

Karol Juliana Lizcano Moncada

ArchivoInicioInsertarDiseño de páginaFórmulasDatosRevisarVistaAyudaAcrobat¿Qué desea hacer?

Tahoma12A⁺⁻

Número

Formato condicionalDar formato como tablaEstilos de celda

InsertarEliminarFormatoCeldas

Ordenar y filtrarBuscar y seleccionarCrear un PDF y compartir vínculo

EdiciónAdobe Acrobat

DX29

A	B	C	D	F	G	H	I	DX	FC	FD	FE	FF	FG	FH	FI
FECHA															
TEMP	30														
Visc Cinem	0.000000804	m2/s													
Peso Esp	9764	N/m3													
Tipo alcantarillado		SANITARIO													
FORMULA	2	MANNING													
TRAMO															
DE	A	Q DIS	Mat	LONG	PEND	(n/d) Max	Ø=d	Chequeo Desborde	CAIDA BATEA ASUMIDA	SUPER	F INFER	SUPER	C INFER	SUPER	T INFER
		lt/s		mts	%	%	m		m	msnm	msnm	msnm	msnm	msnm	msnm
(1)	(2)	(3)	(4)	(6)	(7)	(8)	(9)	(129)	(160)	(161)	(162)	(163)	(164)	(165)	(166)
PP1	PE2	1.50	PVC	27.40	0.26%	85%	0.284	No desborda	0.05	363.576	363.506	363.758	363.688	364.076	364.706
PE2	PE3	1.83	PVC	87.86	0.15%	85%	0.284	No desborda	0.10	363.456	363.327	363.638	363.509	364.706	365.777
PE3	RECEPTOR	10.73	PVC	66.40	3.39%	85%	0.284			363.227	360.977	363.409	361.159	365.777	362.777

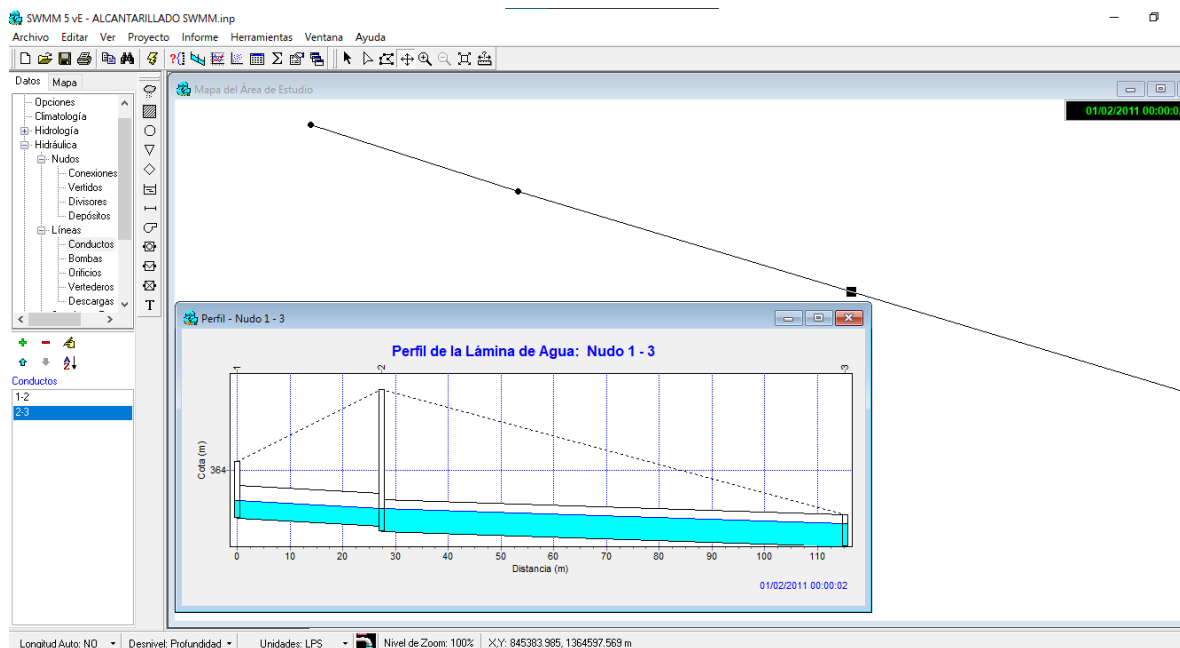
ARES Y QDIS-ALC-MODELOCUADRO R1CUADRO R2PVC

M. NET - INP

Nota. Se presenta sección del cuadro de diseño en Excel de colectores de la red de alcantarillado del Barrio La Libertad, formato de uso exclusivo de la empresa AguasKpital.

Figura 31.

Simulación en SWMM de la Red de Alcantarillado en el Barrio La Libertad.



Nota. En la imagen se observan el perfil de la lámina de agua obtenido al finalizar la simulación de la red de alcantarillado del Barrio La Libertad exitosa en SWMM.

Reposición de Red de Tubería de Alcantarillado Sanitario en el Barrio Santa Teresita

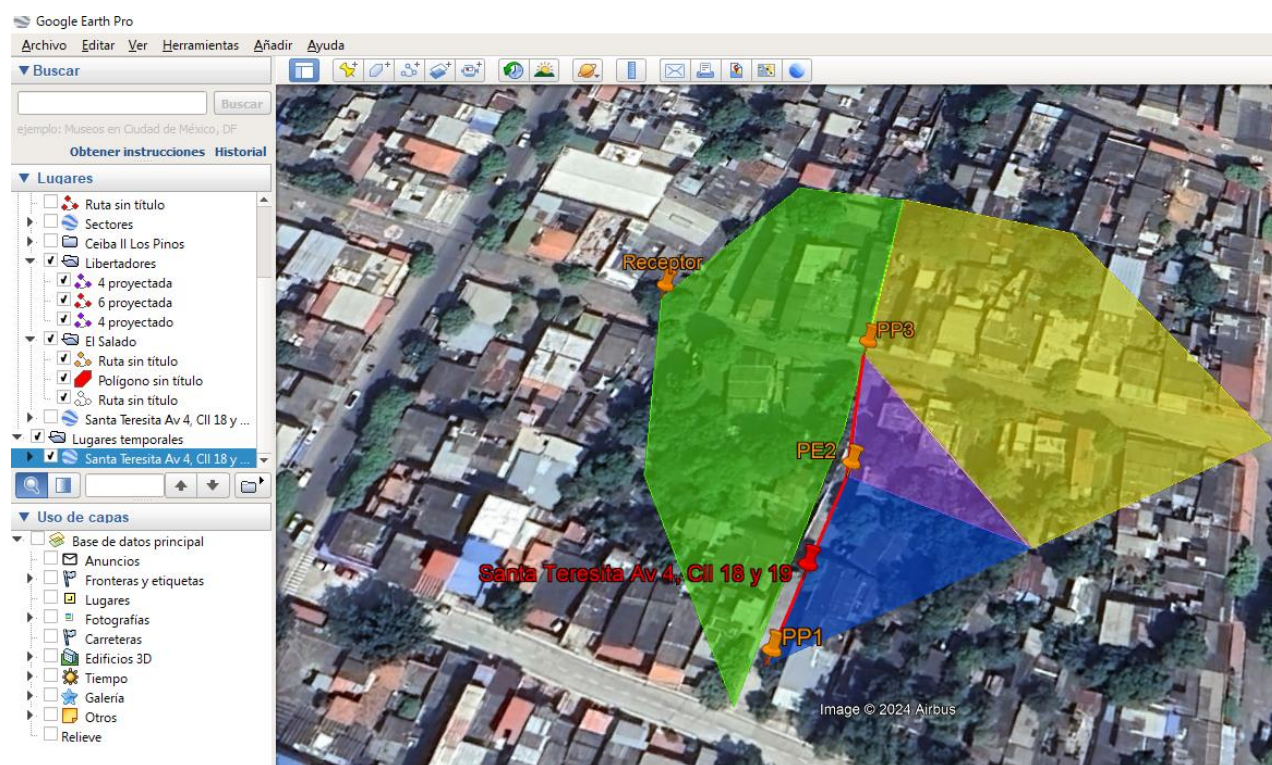
El proyecto de reposición de la red de alcantarillado sanitario se encuentra ubicado en la ciudad de Cúcuta en la Avenida 4 Calle 18 y 19 Barrio Santa Teresita, en la comuna 4, sector hidráulico 1806, consta de suministro e instalación de tubería PVC de diámetro de 8 pulgadas RDE 21 con una longitud de 70.98 metros, junto a corte, demolición y reposición de andén y pavimento rígido; este proyecto beneficiara a 6 usuarios conectados a la red con tubería de Ø 6” pulgadas instaladas a 45° de la tubería principal junto a las domiciliarias. Cuenta con la construcción de 2 pozos de inspección y el uso de 1 pozos existente.

Se realizó el cálculo de áreas con el apoyo del sistema de información geográfica Google Earth como se muestra en la Figura 32, considerando la ubicación de los pozos existentes o

proyectados y del receptor, para obtener el área propia en cada tramo. Se verifico los flujos e infraestructura del sistema de alcantarillado existente para definir el área superior que tendrá el receptor.

Figura 32.

Cálculo de Áreas con el SIG Google Earth Barrio Santa Teresita.

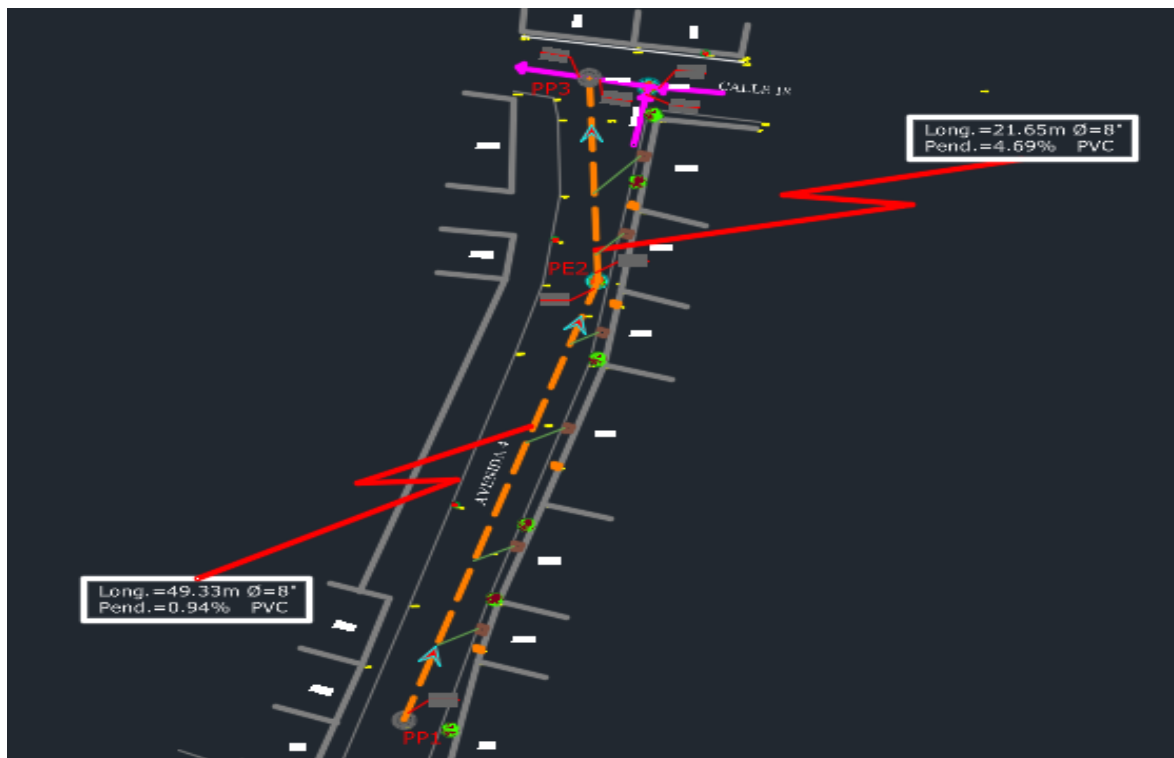


Nota. Ubicación de polígonos de áreas propias y superiores de cada pozo mediante Google Earth para la obtención del área correspondiente en hectáreas.

Se modelo en el software AutoCAD (ver Figura 33) de la red de alcantarillado sanitario, incluyendo perfil de elevaciones, ubicación de la red, longitudes, pendientes, diámetro y material de tuberías, ubicación de los pozos y/o cajas de inspección, ubicación de cajas domiciliarias y cotas.

Figura 33.

Modelado en AutoCAD de la Red de Alcantarillado Barrio Santa Teresita.



Nota. Dibujo en autocad de la red de alcantarillado del barrio Santa Teresita, donde se plantea la reposición de la red de tubería de diámetro de 8" y ubicación de pozos existentes o proyectados.

Se diseñó el alcantarillado sanitario bajo el cuadro de áreas y caudales y cuadro de diseño de colectores de la empresa AguasKpital (ver Figura 34) y se realizó la simulación en el software SWMM la red de alcantarillado planteada como se muestra en la Figura 35, teniendo en cuenta las cotas rasantes y cotas fondo en los pozos proyectados y el pozo existente, rugosidad del material que corresponde a 0.0015 para tubería de PVC, diámetro de Ø8", con el objetivo de verificar la eficiencia de la red diseñada con la obtención del perfil de la lámina de agua.

Figura 34.

Cuadro de Diseño de Alcantarillado Sanitario de la Empresa AKC, para la Red del Barrio Santa Teresita.

63757 Santa Teresita Av 4 Cll 18 y 19 - Excel

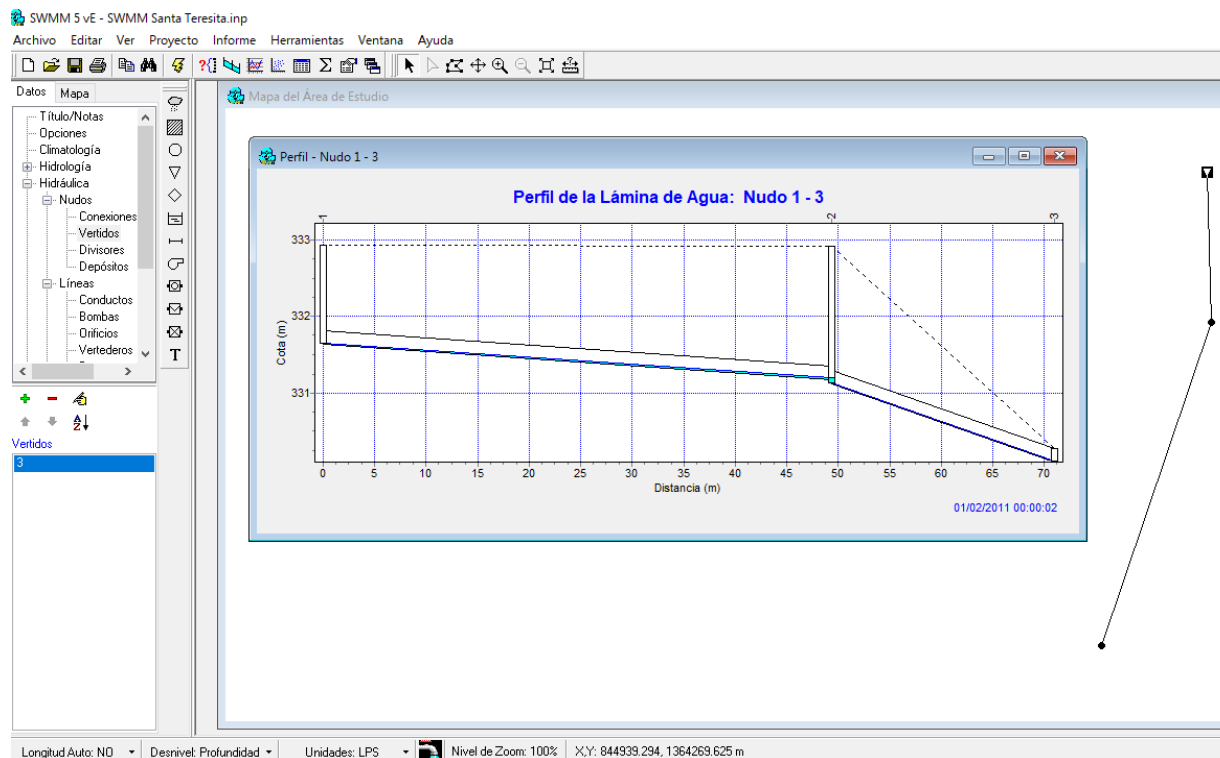
Karol Juliana Lizcano Moncada

InicioInsertarDiseño de páginaFórmulasDatosRevisarVistaAyudaAcrobat¿Qué desea hacer?

Nota. Se presenta sección del cuadro de diseño en Excel de áreas y caudales de la red de alcantarillado del Barrio Santa Teresita formato de uso exclusivo de la empresa AguasKpital.

Figura 35.

Simulación en SWMM de la Red de Alcantarillado en el Barrio Santa Teresita.



Nota. En la imagen se observan el perfil de la lámina de agua obtenido al finalizar la simulación de la red de alcantarillado del Barrio Santa Teresita exitosa en SWMM.

Reposición de Red de Tubería de Alcantarillado Sanitario en el Barrio Ceiba II Los Pinos

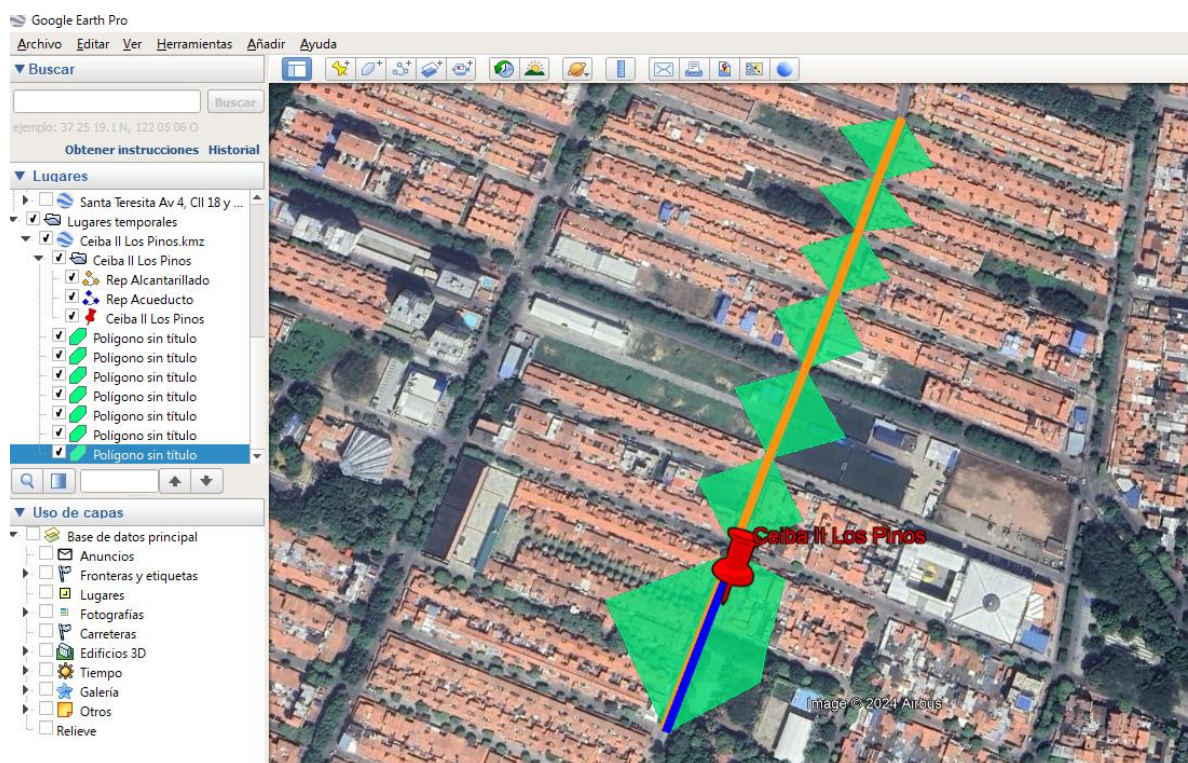
El proyecto de reposición de la red de alcantarillado sanitario se encuentra ubicado en la ciudad de Cúcuta en la Avenida 5E entre calles 4N y 5N barrio Los Pinos; Avenida 5E entre calles 5N y 7N barrio Ceiba II, en la comuna 2, sector hidráulico 0202, consta de suministro e instalación de tubería PVC de diámetro de 8 pulgadas con una longitud de 332.81 metros y tubería PVC de diámetro de 24 pulgadas con una longitud de 425.81 metros, junto a corte, demolición y reposición de andén y pavimento rígido; este proyecto beneficiara a 19 usuarios

conectados a la red con tubería de Ø6” pulgadas instalada a 45° de la tubería principal junto a las domiciliarias.

Se realizó el cálculo de áreas con el apoyo del sistema de información geográfica Google Earth, considerando la ubicación de los pozos existentes o proyectados y del receptor, para obtener el área propia en cada tramo como se indica en la Figura 36. Se verificó los flujos e infraestructura del sistema de alcantarillado existente para definir el área superior que tendrá el receptor.

Figura 36.

Cálculo de Áreas con el SIG Google Earth Barrio Los Pinos.

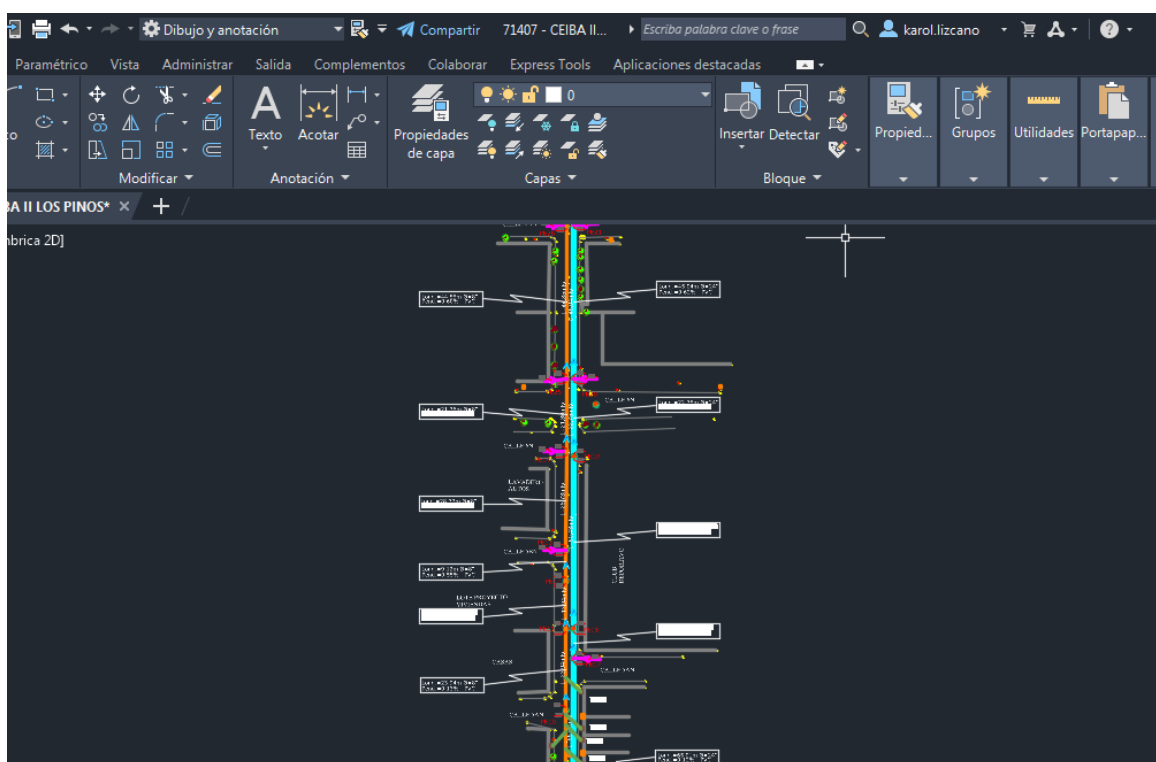


Nota. Ubicación de polígonos de áreas propias y superiores de cada pozo mediante Google Earth para la obtención del área correspondiente en hectáreas.

Se modelo en el software AutoCAD (ver Figura 37) de la red de alcantarillado sanitario, incluyendo perfil de elevaciones, ubicación de la red, longitudes, pendientes, diámetro y material de tuberías, ubicación de los pozos y/o cajas de inspección, ubicación de cajas domiciliarias y cotas.

Figura 37.

Modelado en AutoCAD de la Red de Alcantarillado Barrio Los Pinos.



Nota. Dibujo en autocad de la red de alcantarillado del barrio Ceiba II y Los Pinos, donde se plantea la reposición de la red de tubería de diámetro de 8" y 24" y ubicación de pozos existentes.

Se diseño el alcantarillado sanitario bajo el cuadro de áreas y caudales y cuadro de diseño de colectores de la empresa AguasKpital (ver Figura 38) y se realizó la simulación en el software SWMM la red de alcantarillado planteada para cada uno de los diámetros presentes , teniendo en

cuenta las cotas rasantes y cotas fondo en los pozos existentes, rugosidad del material que corresponde a 0.0015 para tubería de PVC, con el objetivo de verificar la eficiencia de la red diseñada con la obtención del perfil de la lámina de agua como se observa en la Figura 39 para el diámetro de Ø8” y la Figura 40 para el diámetro de Ø24”.

Figura 38.

Cuadro de Diseño de Alcantarillado Sanitario de la Empresa AKC, para la Red del Barrio Los Pinos y Ceiba II.

71407 - CEIBA II LOS PINOS - ALC - Excel

Karol Juliana Lizcano Moncada

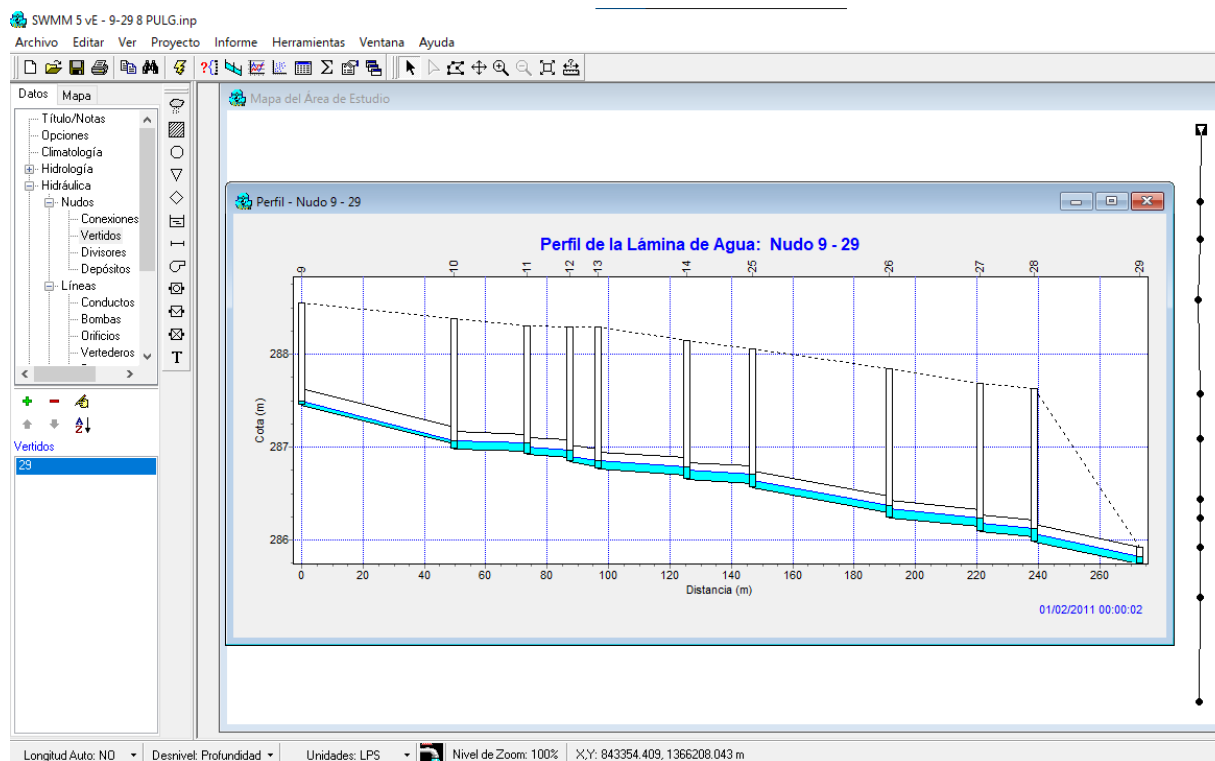
ArchivoInicioInsertarDiseño de páginaFórmulasDatosRevisarVistaAyudaAcrobat¿Qué desea hacer?

</

Nota. Se presenta sección del cuadro de diseño en Excel de colectores de la red de alcantarillado de los Barrios Los Pinos y Ceiba II, formato de uso exclusivo de la empresa AguasKpital.

Figura 39.

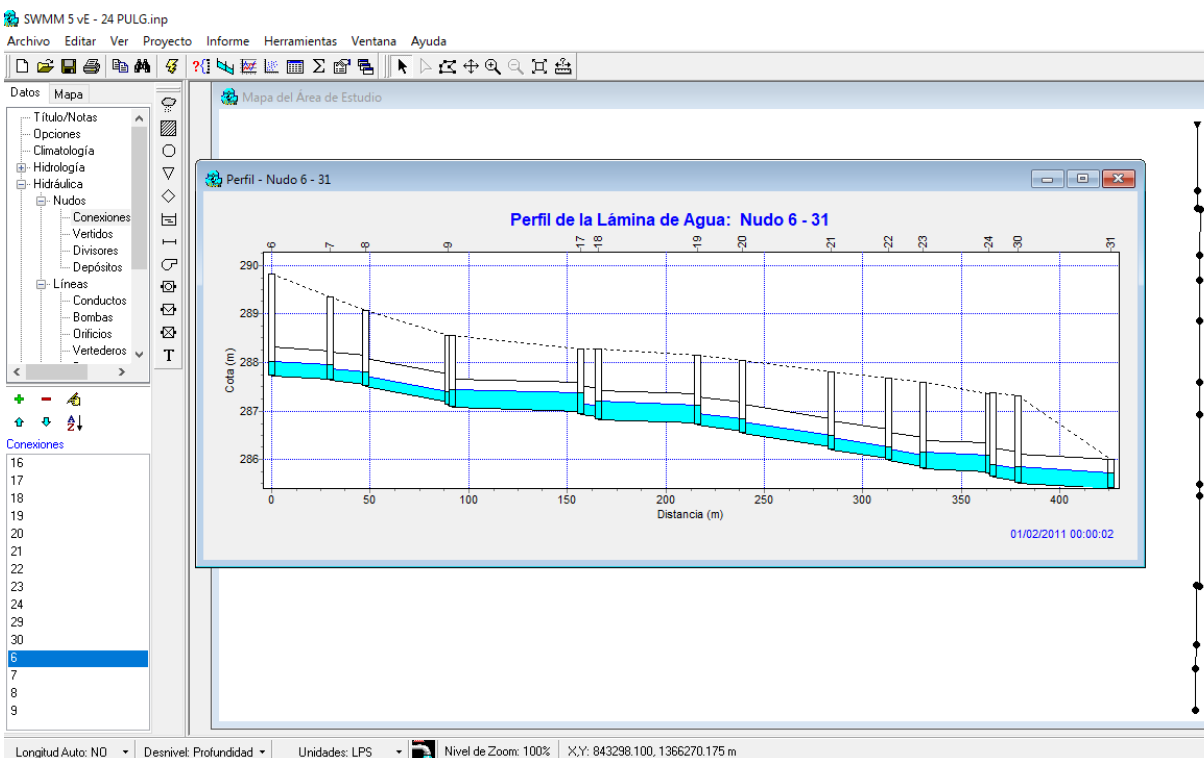
Simulación en SWMM de la Red de Alcantarillado de 8" en el Barrio CEIBA II Los Pinos.



Nota. En la imagen se observan el perfil de la lámina de agua obtenido al finalizar la simulación de la red de alcantarillado de diámetro de 8" del Barrio Ceiba II y Los Pinos exitosa en SWMM.

Figura 40.

Simulación en SWMM de la Red de Alcantarillado de 24" en el Barrio CEIBA II Los Pinos.



Nota. En la imagen se observan el perfil de la lámina de agua obtenido al finalizar la simulación de la red de alcantarillado de diámetro de 24" del Barrio Ceiba II y Los Pinos exitosa en SWMM.

Fase 4. Implementación de Plugins

Plugin Qwater Para el Diseño de Sistemas de Acueductos

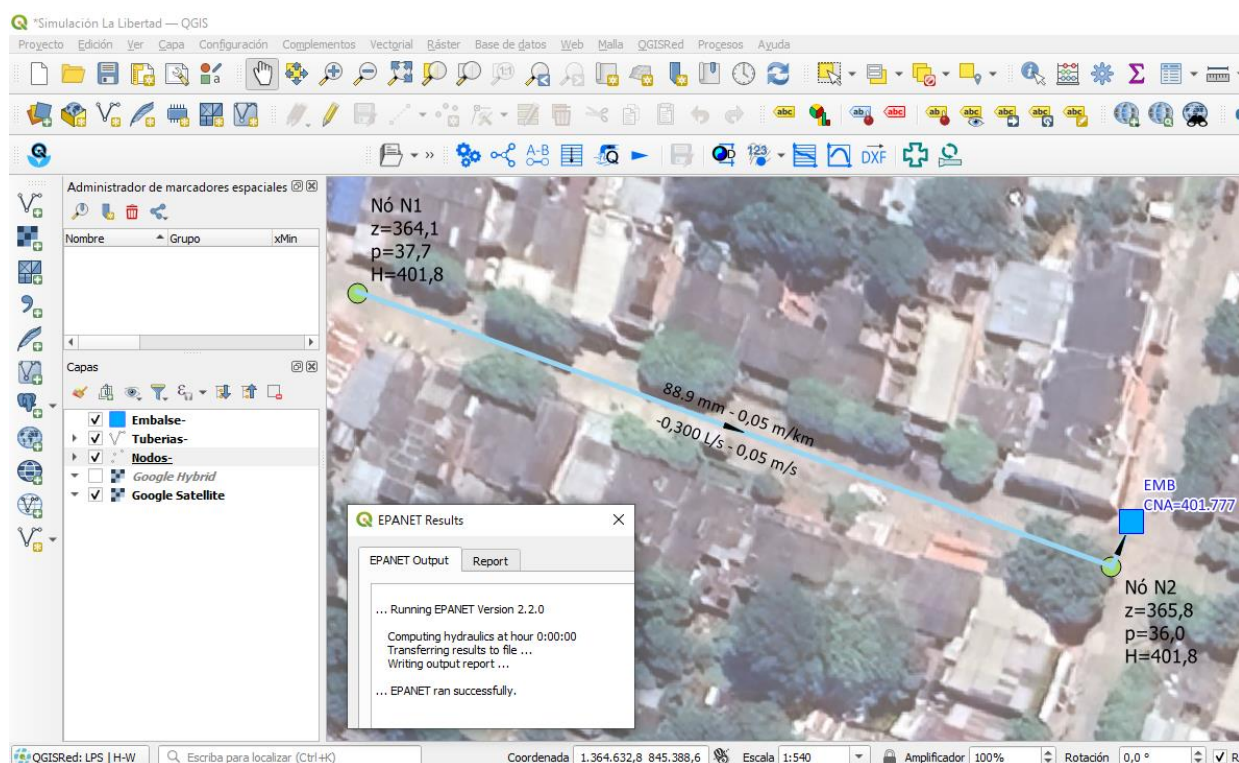
Simulación Red de Distribución de Agua Potable en el Barrio La Libertad

Se realizó la simulación de la red de distribución de agua potable con el Plugin de Qwater dentro del entorno de Qgis, tras completar la información requerida de las características de este diseño agregadas en la fase 3 como desarrollo de la simulación en Epanet. Obteniendo nuevamente resultados exitosos del funcionamiento del sistema como se observa en la Figura 41,

así como valores correspondientes a velocidades, caudales y presiones. El proyecto fue ubicado en la Calle 14A, Avenida 7 y 8 Barrio La Libertad, gracias a la imagen satelital que se permite incluir en Qgis, facilitando la comprensión al momento de ejecutar la reposición de la tubería.

Figura 41.

Implementación del Plugin Qwater en Qgis Barrio La Libertad.



Nota. En la imagen se observan los resultados obtenidos para caudales, velocidades, perdidas y presiones al finalizar la simulación exitosa de la red de acueducto del Barrio La Libertad en Qgis por medio del plugin Qwater.

Análisis de Resultados Obtenidos.

El análisis comparativo entre la simulación del funcionamiento de la red de distribución de agua potable realizado con Epanet (ver Figura 20.) y el plugin Qwater en Qgis (ver Figura

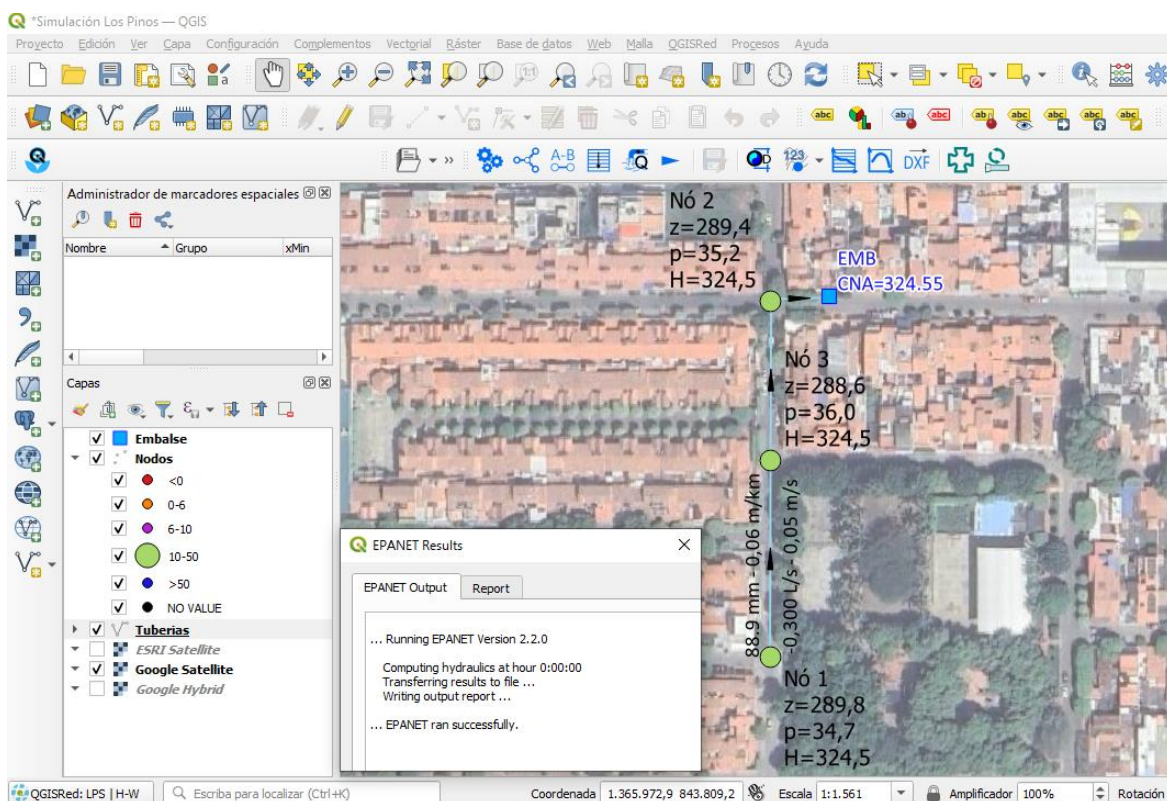
41.) mostró que ambos métodos arrojaron resultados casi idénticos, obteniendo una velocidad de 0.05m/s, pérdida unitaria de 0.05 m/km, caudal de -0.30 lt/s y presión en el nodo 2 de 36 mca para las dos simulaciones; para el nodo 1 se obtuvo un valor de presión de 37.7 mca en la simulación con Qwater y 37.69 en la simulación de Epanet. Esto evidencia que tanto EPANET como Qwater implementan de manera precisa las ecuaciones fundamentales de la hidráulica, como la ecuación de continuidad y la ecuación de energía (o de Bernoulli), para modelar el comportamiento del flujo en la red. Los cálculos relacionados con las pérdidas de carga, las velocidades de flujo, caudales y las presiones en los nodos presentan un margen de error poco considerable de 0.027%, generado principalmente por aproximaciones en el número de cifras de los resultados, lo que confirma la certeza y confiabilidad de ambos métodos.

Simulación Red de Distribución de Agua Potable en el Barrio Los Pinos

Se realizó la simulación de la red de distribución de agua potable con el Plugin de Qwater dentro del entorno de Qgis como se muestra en la Figura 42, tras completar la información requerida de las características de este diseño agregadas en la fase 3 como desarrollo de la simulación en Epanet. Obteniendo nuevamente resultados exitosos del funcionamiento del sistema, así como valores correspondientes a velocidades, caudales y presiones. El proyecto fue ubicado en la Avenida 5E entre calles 4N y 5N barrio Los Pinos gracias a la imagen satelital que se permite incluir en Qgis, facilitando la comprensión al momento de ejecutar la reposición de la tubería.

Figura 42.

Implementación del Plugin Qwater en Qgis Barrio Los Pinos.



Nota. En la imagen se observan los resultados obtenidos para caudales, velocidades, perdidas y presiones al finalizar la simulación exitosa de la red de acueducto del Barrio Los Pinos en Qgis por medio del plugin Qwater.

Análisis de Resultados Obtenidos.

El análisis comparativo entre la simulación del funcionamiento de la red de distribución de agua potable realizado con Epanet (ver Figura 21.) y el plugin Qwater en Qgis (ver Figura 42.) mostró que ambos métodos arrojaron resultados muy similares, obteniendo una velocidad de 0.05m/s en el tramo 1 y 0.10 m/s en el tramo 2, caudal de -0.30 lt/s en el tramo 1 y -0.6 lt/s en el tramo 2, presión en el nodo 3 de 36 mca y pérdida unitaria en el tramo 2 de 0.18 m/km para las dos

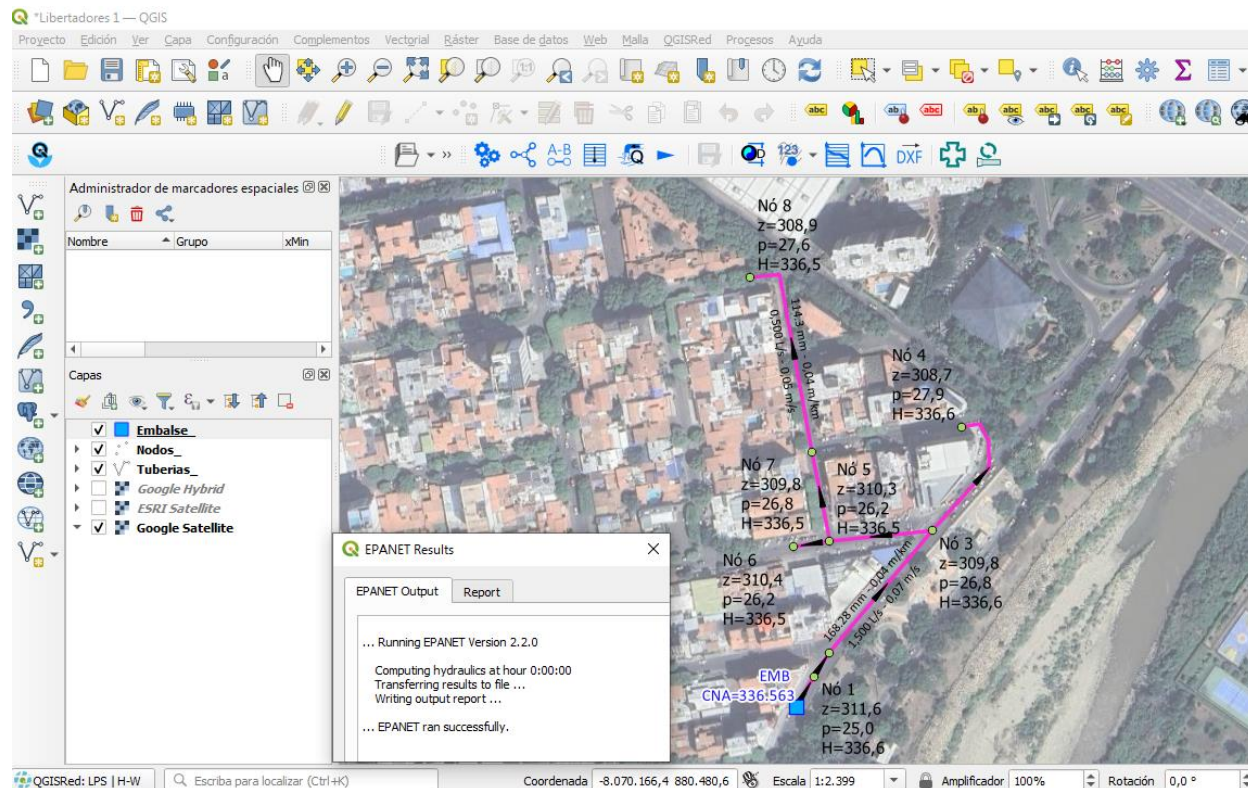
simulaciones; para el nodo 1 se obtuvo un valor de presión 34.7 mca en la simulación con Qwater y 34.71 en la simulación de Epanet, para el nodo 2 se obtuvo un valor de presión 35.2 mca en la simulación con Qwater y 35.18 en la simulación de Epanet, y un valor de pérdida unitaria de 0.06 m/km en la simulación con Qwater y 0.05 m/km en la simulación de Epanet. Esto evidencia que tanto EPANET como Qwater implementan de manera precisa las ecuaciones fundamentales de la hidráulica, como la ecuación de continuidad y la ecuación de energía (o de Bernoulli), para modelar el comportamiento del flujo en la red. Los cálculos relacionados con las velocidades de flujo, caudales y las presiones en los nodos presentan un margen de error poco considerable de 0.1%, generado principalmente por aproximaciones en el número de cifras de los resultados, sin embargo, para los resultados de pérdidas unitarias se presenta un error de 16.67%, lo que podría indicar diferencias de cálculo de este factor entre ambos métodos.

Simulación Red de Distribución de Agua Potable en Avenida Libertadores

Se realizó la simulación de la red de distribución de agua potable con el Plugin de Qwater dentro del entorno de Qgis como se muestra en la Figura 43, tras completar la información requerida de las características de este diseño agregadas en la fase 3 como desarrollo de la simulación en Epanet. Obteniendo nuevamente resultados exitosos del funcionamiento del sistema, así como valores correspondientes a velocidades, caudales y presiones. El proyecto fue ubicado en la Avenida Libertadores entre Calles 15 y 15ª; Calle 15 entre Avenida Libertadores y Avenida 3BE; Avenida 3BE entre Calles 15 13ª y 15, Barrio Libertadores y Caobos, gracias a la imagen satelital que se permite incluir en Qgis, facilitando la comprensión al momento de ejecutar la reposición de la tubería.

Figura 43.

Implementación del Plugin Qwater en Qgis Avenida Libertadores.



Nota. En la imagen se observan los resultados obtenidos para caudales, velocidades, perdidas y presiones al finalizar la simulación exitosa de la red de acueducto del Avenida Libertadores en Qgis por medio del plugin Qwater.

Análisis de Resultados Obtenidos.

El análisis comparativo entre la simulación del funcionamiento de la red de distribución de agua potable realizado con Epanet (ver Figura 23.) y el plugin Qwater en Qgis (ver Figura 43.) mostró que ambos métodos arrojaron resultados muy similares, obteniendo perdidas unitarias, velocidades y caudales iguales en todos los tramos; presentando una variación en las presiones en los nodos de 0.12% como margen de error generado principalmente por aproximaciones en el

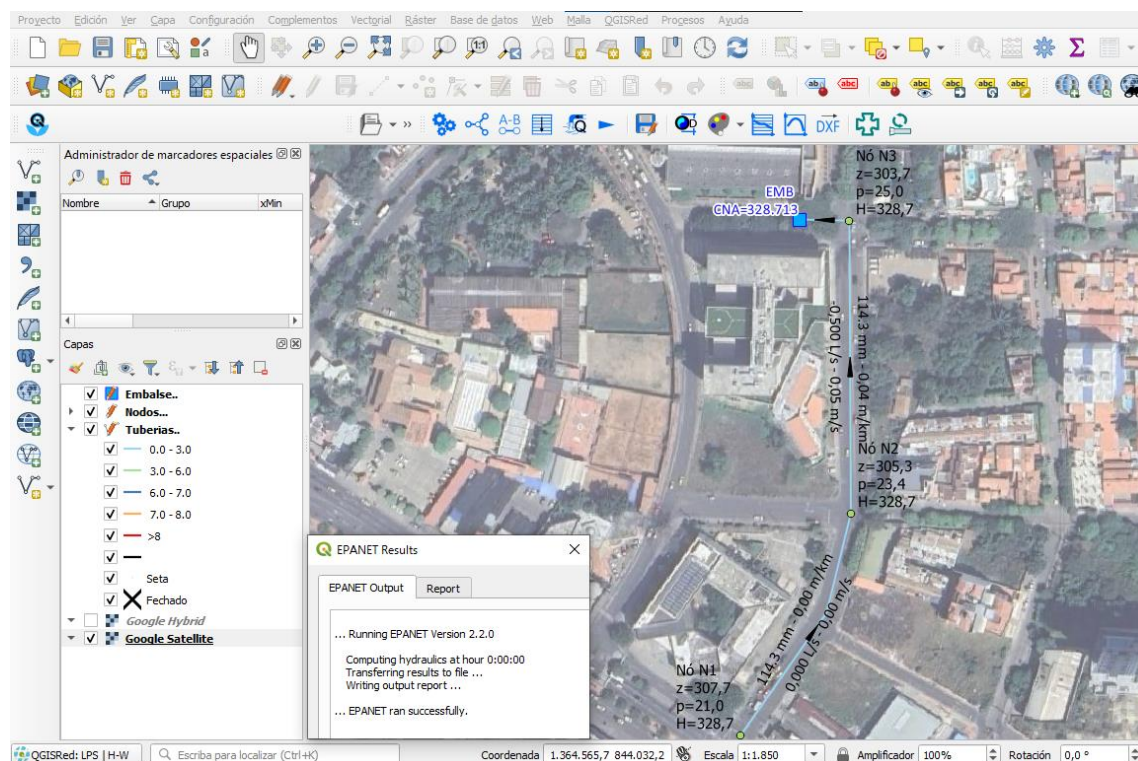
número de cifras de los resultados, como por ejemplo en el nodo 3 obteniendo en Qwater 26.8 mca y en Epanet 26.77 mca. Esto evidencia que tanto EPANET como Qwater implementan de manera precisa las ecuaciones fundamentales de la hidráulica, como la ecuación de continuidad y la ecuación de energía (o de Bernoulli), para modelar el comportamiento del flujo en la red, lo que confirma la certeza y confiabilidad de ambos métodos.

Simulación Red de Distribución de Agua Potable en el Barrio La Riviera

Se realizó la simulación de la red de distribución de agua potable con el Plugin de Qwater dentro del entorno de Qgis, tras completar la información requerida de las características de este diseño agregadas en la fase 3 como desarrollo de la simulación en Epanet. Obteniendo nuevamente resultados exitosos del funcionamiento del sistema como se muestra en la Figura 44, así como valores correspondientes a velocidades, caudales y presiones. El proyecto fue ubicado en la Avenida 5E entre Calle 9 y Diagonal Santander, Barrio La Riviera, gracias a la imagen satelital que se permite incluir en Qgis, facilitando la comprensión al momento de ejecutar la reposición de la tubería.

Figura 44.

Implementación del Plugin Qwater en Qgis Barrio La Riviera.



Nota. En la imagen se observan los resultados obtenidos para caudales, velocidades, perdidas y presiones al finalizar la simulación exitosa de la red de acueducto del Barrio La Riviera en Qgis por medio del plugin Qwater.

Análisis de Resultados Obtenidos.

El análisis comparativo entre la simulación del funcionamiento de la red de distribución de agua potable realizado con Epanet (ver Figura 24) y el plugin Qwater en Qgis (ver Figura 44.) mostró que ambos métodos arrojaron resultados muy similares, obteniendo perdidas unitarias, velocidades y caudales iguales en todos los tramos; presentando una variación en las presiones en los nodos de 0.092% como margen de error generado principalmente por aproximaciones en

el número de cifras de los resultados, como por ejemplo en el nodo 1 obteniendo en Qwater 21 mca y en Epanet 20.97 mca. Esto evidencia que tanto EPANET como Qwater implementan de manera precisa las ecuaciones fundamentales de la hidráulica, como la ecuación de continuidad y la ecuación de energía (o de Bernoulli), para modelar el comportamiento del flujo en la red, lo que confirma la certeza y confiabilidad de ambos métodos.

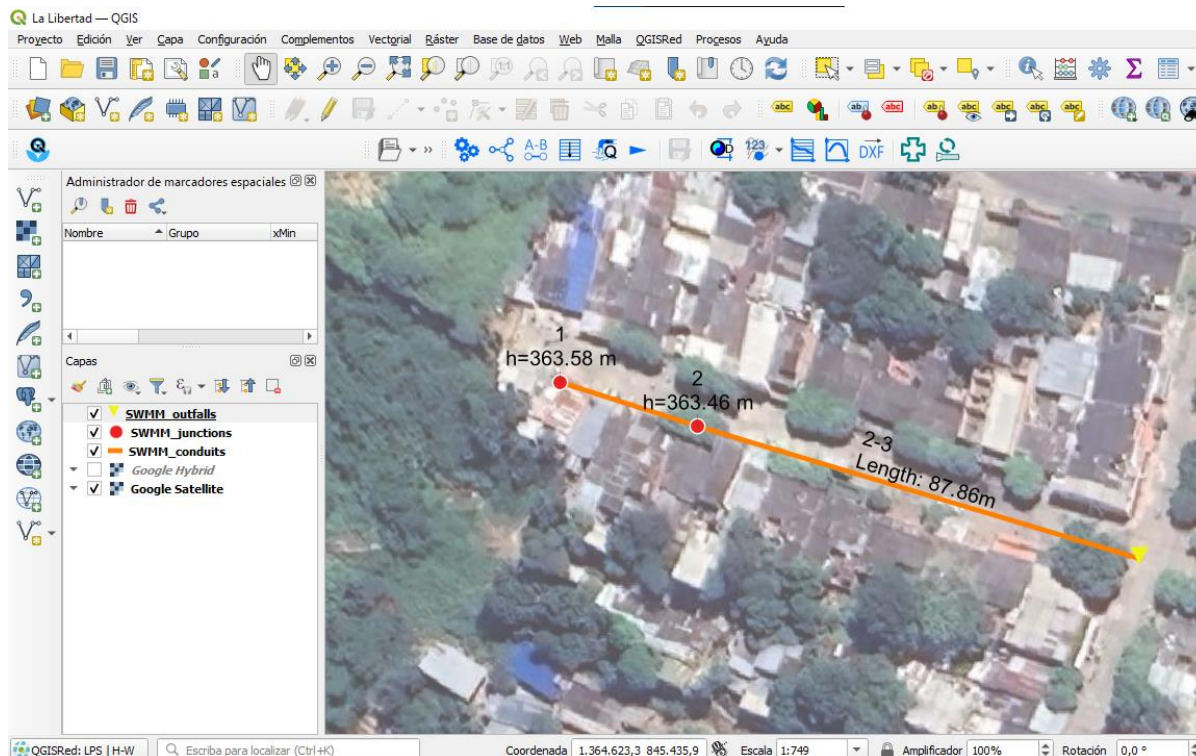
Plugin Generate SWMM Inp Para el Diseño de Sistemas de Alcantarillados

Reposición de Red de Tubería de Alcantarillado Sanitario en el Barrio La Libertad

Se utilizó el plugin Generate SWMM Inp en QGIS debido a sus múltiples ventajas para la gestión y análisis de proyectos de alcantarillado. Este complemento permitió importar el modelo SWMM al entorno de QGIS como se observa en la Figura 45 por medio de su función ImportInpFile, lo que facilitó la visualización y edición del proyecto de reposición de tubería de alcantarillado sanitario en el Barrio La Libertad, al integrarlo con imágenes satelitales que sirvieron como base para ubicar esta red de tuberías en su posición geográfica real. Esto permitió la mejora de la precisión en la evaluación del diseño, proporcionando un contexto visual claro para la toma de decisiones técnicas, verificación de datos y la identificación de posibles problemas en la infraestructura planteada.

Figura 45.

Diseño del Barrio La Libertad Exportado de SWMM a Qgis con el Plugin Generate SWMM Inp.



Nota. Modelo exportado de la red de alcantarillado del barrio La Libertad desde SWMM al entorno de Qgis por medio del plugin GenerateSwmmInp.

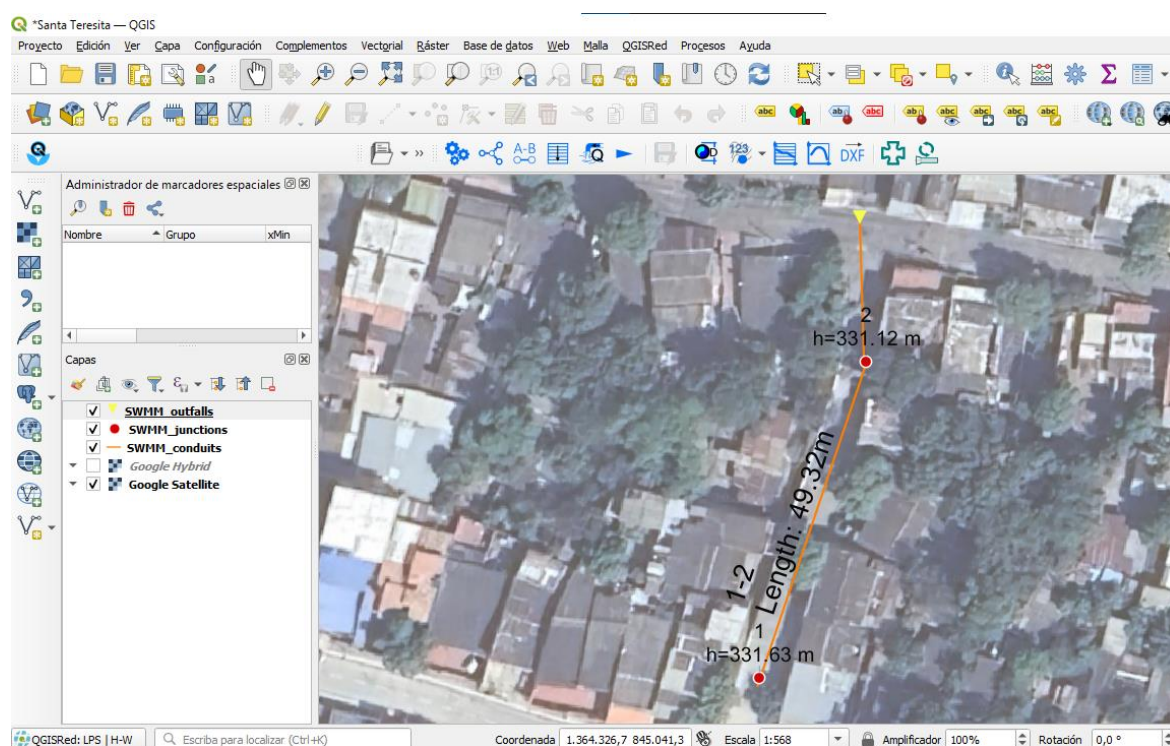
Reposición de Red de Tubería de Alcantarillado Sanitario en el Barrio Santa Teresita

Se utilizó el plugin Generate SWMM Inp en QGIS debido a sus múltiples ventajas para la gestión y análisis de proyectos de alcantarillado. Este complemento permitió importar el modelo SWMM al entorno de QGIS por medio de su función ImportInpFile, lo que facilitó la visualización y edición del proyecto de reposición de tubería de alcantarillado sanitario en el Barrio Santa Teresita, al integrarlo con imágenes satelitales que sirvieron como base para ubicar esta red de tuberías en su posición geográfica real como se observa en la Figura 46. Esto permitió

la mejora de la precisión en la evaluación del diseño, proporcionando un contexto visual claro para la toma de decisiones técnicas, verificación de datos y la identificación de posibles problemas en la infraestructura planteada.

Figura 46.

Diseño del Barrio Santa Teresita Exportado de SWMM a Qgis con el Plugin Generate SWMM Inp.



Nota. Modelo exportado de la red de alcantarillado del barrio Santa Teresita desde SWMM al entorno de Qgis por medio del plugin GenerateSwmmInp.

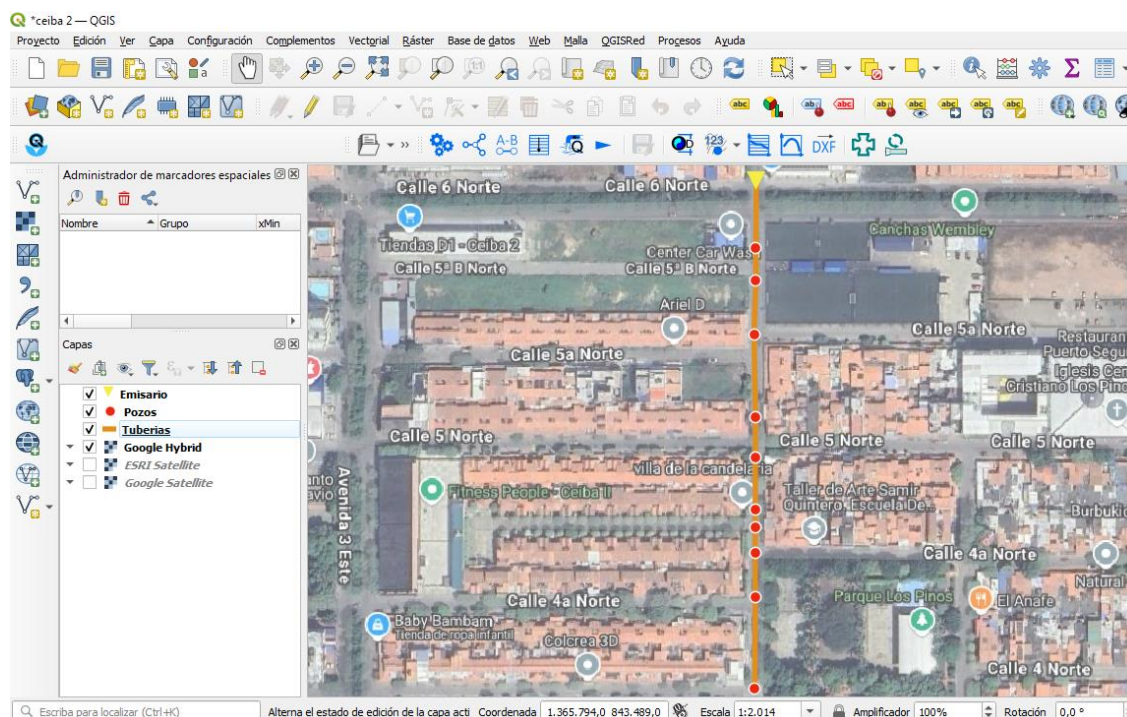
Reposición de Red de Tubería de Alcantarillado Sanitario en el Barrio Ceiba II Los Pinos

Se exporto, con el plugin Generate SWMM Inp, los modelos de redes de alcantarillado a reponer (24" y 8") en el Barrio Ceiba II y el Barrio Los pinos al formato Inp de entrada SWMM,

aprovechando la capacidad de este complemento para combinar análisis geoespacial con la modelación hidráulica como se observa en la Figura 47 para el diámetro de Ø8" y en la Figura 48 para el diámetro de Ø24". A través de Qgis, se creó el modelo detallado, integrando capas como imágenes satelitales de sistemas de información geográficas como Google y Esri, lo que permitió una representación precisa de la red en sus coordenadas reales; este plugin facilitó realizar ajustes con mayor contexto espacial antes de realizar la simulación en SWMM. Una vez finalizado, el modelo fue exportado al formato compatible con SWMM, donde se realizaron las simulaciones hidráulicas e hidrológicas para verificar la funcionalidad del sistema, la cual se dio de manera exitosa.

Figura 47.

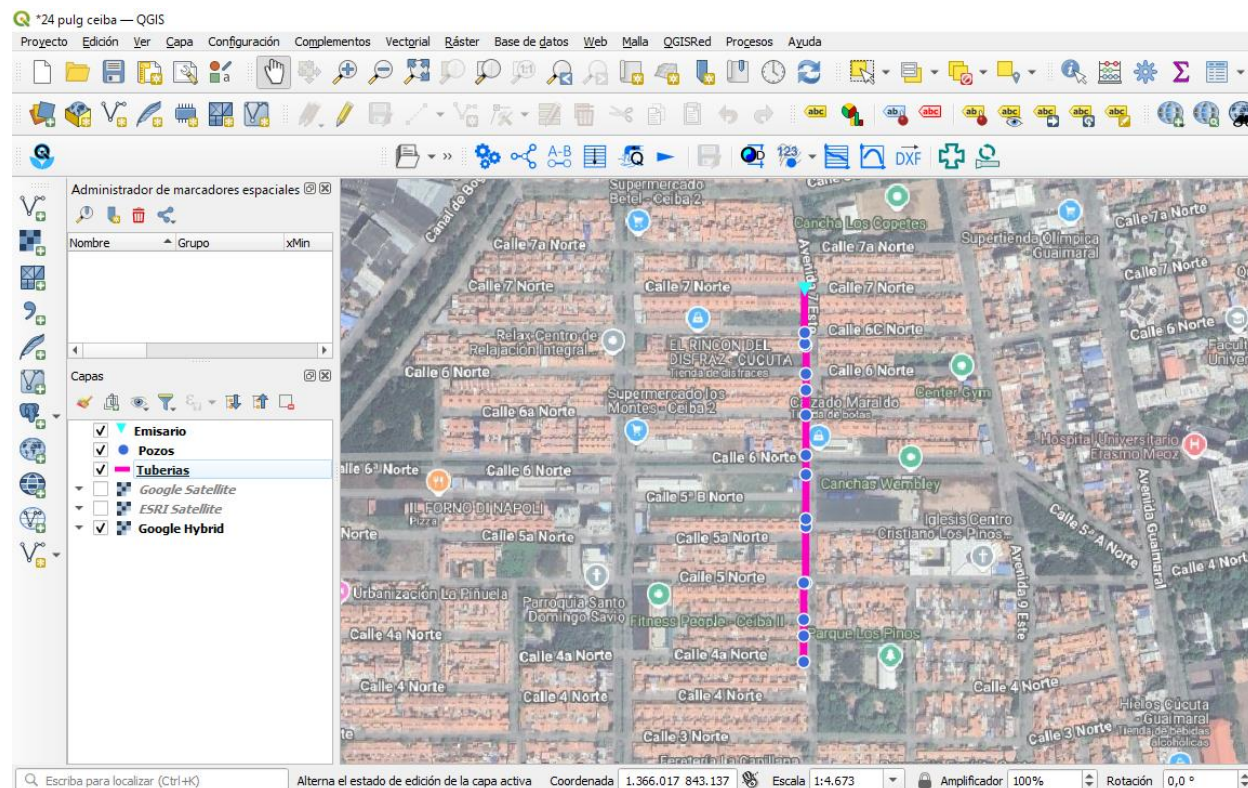
Diseño de 8" a Exportar de Qgis a SWMM a Qgis con el Plugin Generate SWMM Inp.



Nota. Modelo exportado de la red de alcantarillado de diámetro 8" del barrio Ceiba II y Los Pinos desde SWMM al entorno de Qgis por medio del plugin GenerateSwmmInp.

Figura 48.

Diseño de 24" a Exportar de Qgis a SWMM a Qgis con el Plugin Generate SWMM Inp.



Nota. Modelo exportado de la red de alcantarillado de diámetro 24” del barrio Ceiba II y Los Pinos desde SWMM al entorno de Qgis por medio del plugin GenerateSwmmInp.

Análisis de Resultados Obtenidos

La implementación del plugin GenerateSWMM en Qgis para importar y exportar archivos entre SWMM (Storm Water Management Model) y Qgis revela grandes ventajas significativas, tanto en la transferencia de datos como en la interpretación espacial de los mismos. Este plugin nos permite una integración fluida entre ambos programas, lo que simplifica la manipulación de los datos al estar dentro de un entorno SIG (Sistema de información geográfico). La posibilidad de crear capas dentro de Qgis para representar los diferentes elementos del modelo SWMM como pozos, tuberías y emisarios facilitó la interpretación visual

de los resultados, lo que mejora la toma de decisiones al integrar la información hidráulica con el contexto espacial. Además, la exportación de modelos desde Qgis hacia SWMM con la función `GenerateSwmmInpFile` incluida en el plugin, facilita realizar ajustes en los datos geoespaciales de manera más intuitiva.

Conclusiones

- Se realizó una revisión detallada de las normativas colombianas vigentes del sector de agua potable y saneamiento básico, complementada con una investigación documental sobre la infraestructura actual del sistema de acueducto y alcantarillado sanitario de la ciudad de Cúcuta.
- Se desarrollo diseños de redes de acueducto asignados utilizando la herramienta computacional EPANET, asegurando el cumplimiento de los parámetros exigidos por las normativas vigentes y optimizando su funcionalidad para satisfacer las necesidades del sistema.
- Se modelo los sistemas de alcantarillado sanitario asignados mediante el software SWMM, evaluando su comportamiento hidráulico y verificando que cumplan los parámetros establecidos por la normatividad vigente, asegurando un diseño eficiente y sostenible.
- Se efectuó la implementación de plugins en sistemas de información geográfica (SIG) para la elaboración de diseños de redes de acueducto y alcantarillado sanitario, logrando integrar herramientas tecnológicas que facilitaron la interpretación y análisis espacial bajo el marco normativo colombiano. En este contexto, la integración de las ecuaciones hidráulicas dentro del entorno SIG a través de Qwater permite vincular el análisis técnico de la red con información espacial detallada, ofreciendo una solución confiable, complementaria al uso exclusivo de Epanet, y adaptada a los requerimientos técnicos y normativos del país.
- Se logró llevar a cabo la práctica empresarial como auxiliar de Ingeniería Civil en la oficina de estudios y diseños de la empresa Aguas Kpital S.A.E.S.P, participando activamente en

actividades relacionadas con el diseño y análisis de redes del sistema de acueducto y alcantarillado sanitario de la ciudad de Cúcuta, Norte de Santander.

Recomendaciones

- Implementar herramientas como EPANET y SWMM para modelar redes que optimicen la distribución del agua potable y el manejo de aguas residuales, considerando escenarios futuros de crecimiento urbano.
- Fomentar la capacitación constante en el uso de herramientas computacionales como QGIS, incluyendo los plugins que incrementan la productividad y el análisis en proyectos hidráulico.
- Proponer planes de mantenimiento preventivo en las redes de acueducto y alcantarillado para evitar reparaciones costosas e inesperadas.
- Diseñar estrategias que mitiguen los riesgos de contaminación de fuentes hídricas, como la implementación de sistemas de control y tratamiento en los puntos críticos del alcantarillado.
- Asegurar que todos los diseños incluyan componentes sostenibles que minimicen el impacto ambiental, cumpliendo con la normativa vigente.
- Mantener una comunicación constante con la comunidad sobre los avances en los proyectos, para generar confianza y sensibilización sobre el uso eficiente del agua.

Referencias

- Aguas Kpital Cucuta S.A ESP | Portal Web de Aguas Kpital Cucuta S.A ESP.* (2024).
<https://akc.com.co/web/>
- Alonso, D. (2014, diciembre 11). Como crear un shapefile con ArcGIS, QGIS y gvSIG. *MappingGIS*. <https://mappinggis.com/2014/12/como-crear-un-shapefile-con-arccgis-qgis-y-gvsig/>
- AMC. (s. f.). *Cucuta – Área Metropolitana de Cúcuta*. Recuperado 30 de junio de 2024, de <https://amc.gov.co/amc/cucuta/>
- American Water Works Association (Ed.). (2000). *Principles of water rates, fees, and charges* (5th ed). American Water Works Association.
- Ardila, D. S., & Erazo, A. N. (s. f.). *MAURICIO PERFETTI DEL CORRAL*.
- Autodesk AutoCAD 2025 | Obtener precios y comprar el software AutoCAD oficial.* (s. f.).
 Recuperado 26 de noviembre de 2024, de <https://www.autodesk.com/latam/products/autocad/overview>
- Biswas, A. (2004). Integrated Water Resources Management: A Reassessment. *Water International*, 29, 8. <https://doi.org/10.1080/02508060408691775>
- Brown, R., & Farrelly, M. (2009). Delivering sustainable urban water management: A review of the hurdles we face. *Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research*, 59, 839-846.
<https://doi.org/10.2166/wst.2009.028>

Camara de Comercio de Cúcuta, S. (s. f.). *CAMARA DE COMERCIO DE CUCUTA - Datos Geográficos*. CAMARA DE COMERCIO DE CUCUTA. Recuperado 30 de junio de 2024, de <https://sitioanterior.cccucuta.org.co/secciones-51-s/datos-geograficos.htm>

Chapagain, K., Aboelnga, H. T., Babel, M. S., Ribbe, L., Shinde, V. R., Sharma, D., & Dang, N. M. (2021). *Urban Water Security: A Comparative Assessment and Policy Analysis of Five Cities in Diverse Developing Countries of Asia* (SSRN Scholarly Paper 3992955). <https://doi.org/10.2139/ssrn.3992955>

Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico. (2024). <https://www.cra.gov.co/>

Constitución Política 1 de 1991 Asamblea Nacional Constituyente—Gestor Normativo. (s. f.). Recuperado 2 de julio de 2024, de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=4125>

DANE. (2022, febrero). *Información del Dane*. <https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/planes-departamentos-ciudades/220201-InfoDane-Cucuta-Norte-de-Santander.pdf>

Decreto 1575 de 2007—Gestor Normativo. (s. f.). Recuperado 2 de julio de 2024, de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=30007>

Decreto 3930 de 2010—Gestor Normativo. (s. f.). Recuperado 2 de julio de 2024, de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=40620>

EpaCAD. *Conversión de AutoCAD a EPANET*. ITA. Presentación. (s. f.). Recuperado 26 de noviembre de 2024, de <https://www.epacad.com/epacad-es.php>

Epanet.pdf. (s. f.). Recuperado 1 de diciembre de 2024, de <https://www.unipiloto.edu.co/descargas/epanet.pdf>

Escobar, A. (2009). *Criterios modernos de localización de valvulas en redes de distribución de agua potable*.

Esquema organizacional | Aguas Kpital Cucuta S.A ESP. (2023).
<https://akc.com.co/web/esquema/>

Fernandez, P. M. (2020). *Análisis de la Calidad del Agua Potable en Cúcuta*.

Free Online Spreadsheet Software: Excel | Microsoft 365. (s. f.). Recuperado 2 de julio de 2024,
 de <https://www.microsoft.com/en-us/microsoft-365/excel>

Gestor Normativo de la CRA - Medidores—Medición. (s. f.). Recuperado 3 de julio de 2024, de
https://normas.cra.gov.co/gestor/acue_cto_medidores_medicion.html

Gestor Normativo de la CRA - Resolución 330 de 2017 MVCT. (s. f.). Recuperado 26 de
 noviembre de 2024, de
https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/resolucion_minviviendact_0330_2017.htm

Gestor Normativo de la CRA - Resolución 501 de 2017 MVCT. (s. f.). Recuperado 26 de
 noviembre de 2024, de
https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/resolucion_minviviendact_0501_2017.htm

GISP, K. M., GISP, D. R. S. J., Pirelli, D. L., & GISP, D. J. V. H. (2016). *Mastering QGIS*.
 Packt Publishing Ltd.

Gonzalez, P. M. (2018). *Evaluación de la Eficiencia de los Sistemas de Alcantarillado en San José de Cúcuta*.

Google Earth. (2024). En *Wikipedia, la enciclopedia libre*.
https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Google_Earth&oldid=163182908

- Kentucky Water Resources Research Institute, University of Kentucky. (s. f.). *Water Distribution System Research Database* [Dataset]. University of Kentucky Libraries. <https://doi.org/10.13023/KWRRI.WDSRD>
- Ley 142 de 1994—Gestor Normativo. (s. f.). Recuperado 2 de julio de 2024, de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=2752>
- López Cuella, R. A. (1995). *Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados*.
- Loucks, D. P., & van Beek, E. (2017). *Planificación y gestión de sistemas de recursos hídricos*.
- Maestros, A. la O. (2023, agosto 30). *Tuberías de distribución de agua potable: Características y materiales ideales*. A la Obra Maestros. <https://maestros.com.co/asi-se-hace/tuberias-de-distribucion-de-agua-potable-caracteristicas-y-materiales-ideales/>
- Mariño, M. (2021, julio 13). ¿Qué es un plugin y para qué sirve? *El blog de dinahosting*. <https://dinahosting.com/blog/que-es-un-plugin-y-para-que-sirve/>
- Martinez, S. F. (2019). *Plan de Manejo Integral del Agua en Cúcuta*.
- Mitchel A., E. (2005). The ESRI Guide to GIS analysis, Volume 2: Spatial measurements and statistics. *ESRI Guide to GIS analysis*, 2. <https://agris.fao.org/search/en/providers/122621/records/64724fa453aa8c896305d3af>
- Modelacion Hidrologica Con Sig Contribuciones en Su Diffusion Y Aplicacion*. (s. f.). Universidad Nac. del Litoral.
- Morales, A. (2020). *Top 10 plugins para QGIS y cómo instalarlos—MappingGIS*. <https://mappinggis.com/2020/03/10-plugins-para-qgis-instalacion/>
- Normas para la Delimitacion y Sectorizacion de los Distritos de Riego de la Costa del Peru*. (s. f.). IICA.

Nuevo, D. (2020). *¿Qué es swmm? | Formación de ingenieros*. <https://www.tecpa.es/swmm-que-es-para-que-sirve/>

Nuevo, D. (2022). *¿Qué es EPANET? | Formación de ingenieros*. <https://www.tecpa.es/epanet-que-es-para-que-sirve/>

Pérez, A. M., & Ramirez, D. L. (2019). *Gestión de Aguas Pluviales en Áreas Urbanas de Cúcuta*.

Pérez, M. L., & Vargas, H. A. (2015). *Impacto de la Modernización del Sistema de Acueducto en Bogotá*.

QGIS y sus aplicaciones en agua y en gestión del riesgo—Google Books. (s. f.). Recuperado 1 de diciembre de 2024, de https://www.google.com.co/books/edition/QGIS_y_sus_aplicaciones_en_agua_y_en_ges/OrzTDwAAQBAJ?hl=es&gbpv=1&dq=QGIS&pg=PA22&printsec=frontcover

QWater/README.md at master · jorgealmerio/QWater. (s. f.). GitHub. Recuperado 26 de noviembre de 2024, de <https://github.com/jorgealmerio/QWater/blob/master/README.md>

Ramirez, J. F., & Cataño, R. M. (2018). *Evaluación de la Calidad del Agua en el Río Cauca*.

Red de abastecimiento de agua potable. (2024). En *Wikipedia, la enciclopedia libre*. https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Red_de_abastecimiento_de_agua_potable&oldid=160818240

Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico—RAS | Minvivienda. (2022). <https://www.minvivienda.gov.co/viceministerio-de-agua-y-saneamiento-basico/reglamento-tecnico-sector/reglamento-tecnico-del-sector-de-agua-potable-y-saneamiento-basico-ras>

- Resolución 2115—2007 | Minvivienda.* (s. f.). Recuperado 2 de julio de 2024, de <https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-2115-2007>
- Rojas, H. J. (2016). *Optimización de la Red de Distribución de Agua Potable en Cúcuta.*
- Rossman, L. A. (s. f.). *EPANET 2 MANUAL DEL USUARIO.*
- Sánchez, L. E. (2021). *Impacto de la Contaminación del Río Pamplonita en el Suministro de Agua Potable en Cúcuta.*
- Schilling, J., & Tränckner, J. (2022). Generate_SWMM_inp: An Open-Source QGIS Plugin to Import and Export Model Input Files for SWMM. *Water*, 14(14), 2262. <https://doi.org/10.3390/w14142262>
- Tibaduiza Paipilla, L. C., & González González, C. O. (2017). *Monografía* [Bachelor thesis]. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/30581>
- Torres, F. G. (2017). *Evaluación del Uso de Tecnologías de Tratamiento de Aguas Residuales en Cúcuta.*
- UNAL. (2021, marzo 22). *Área Metropolitana de Cúcuta: Historia de un territorio, una frontera y una región.* <http://ie.u.unal.edu.co/en/medios/noticias-del-ieu/item/area-metropolitana-de-cucuta-historia-de-un-territorio-una-frontera-y-una-region>
- Uribe, N. C. (2019). *Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos en Cúcuta.*
- US EPA, O. (2014a, mayo 21). *Storm Water Management Model (SWMM)* [Data and Tools]. <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>
- US EPA, O. (2014b, junio 24). *EPANET* [Data and Tools]. <https://www.epa.gov/water-research/epanet>
- Zamudio Rodríguez, C. (2012). *Gobernabilidad sobre el recurso hídrico en Colombia: Entre avances y retos.* <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/71375>