

Practica Empresarial Como Auxiliar De Ingeniería Civil En La Oficina De Estudios Y Diseños
En La Empresa Aguas Kpital S.A. E.S.P En La Ciudad De Cúcuta, Norte De Santander



Eduard Sanabria Pardo

Director

Diego Iván 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

2025

Practica Empresarial Como Auxiliar De Ingeniería Civil En La Oficina De Estudios Y Diseños
En La Empresa Aguas Kpital S.A. E.S.P En La Ciudad De Cúcuta, Norte De Santander



Eduard Sanabria Pardo

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Civil

Director

Diego Iván 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

2025

Dedicatoria

*A mis padres, **Pablo Sanabria** y **Yolanda Pardo**, quienes en ningún momento dejaron de apoyarme, me tuvieron siempre en sus oraciones y nunca me juzgaron por mis errores. En las ocasiones en que me rendí y sentí desfallecer, ellos me alentaron a seguir. “Dedicado a su esfuerzo y a su trabajo incansable; desde que tengo memoria, con sus manos han trabajado honorablemente bajo el inclemente sol llanero.”*

*A mi hermana, **Liseth Sanabria**, quien siempre confió en mis capacidades y me motivó a pesar de mi carácter refunfuñón.*

*A mis abuelos, **Graciela Mendoza** e **Hipólito Sanabria** quienes aportaron su granito de arena durante todo el proceso.*

*A mi primo **Félix, Guerrero Sanabria**, quien confió en mí y no dudó en apoyarme en los momentos difíciles de mi carrera.*

A mí, a los sacrificios personales que hice, a todas las veces que fallé, pero continúe a pesar de creer que no era posible.

Agradecimientos

A mis padres, que en mis momentos de duda siempre me alentaron a seguir adelante y que, con su esfuerzo y dedicación, hicieron posible mi proceso formativo.

*Al ingeniero **Diego Iván Sánchez**, mi director, por ser mi guía, brindarme su conocimiento y disposición durante el desarrollo de este proyecto; su acompañamiento fue fundamental para su realización, le estaré siempre agradecido por su confianza y apoyo.*

A la Universidad de Pamplona, que me brindó la oportunidad de pertenecer a su casa de estudios, y a cada uno de los docentes que fueron partícipes de mi formación, cuya guía, exigencia y flexibilidad me permitieron crecer de forma personal y profesional.

A la empresa Aguas Kpital Cúcuta S.A. E.S.P., por permitirme vivir esta experiencia, por su confianza y por fortalecer en mí el valor del trabajo responsable y el compromiso. Extiendo mis agradecimientos a la ingeniera Luz Marina Barbosa por su apoyo y al equipo de estudios y diseños por su disposición y paciencia desde el primer día.

A las ingenieras Andrea Ortiz, Mairena Barriga y Karol Lizcano, por su disposición para enseñarme y por acompañarme en cada momento en que tuve dudas y necesité su guía.

A todos ellos, mi más sincero agradecimiento.

Tabla De Contenido

	Pág
lista De Tablas.....	10
Lista De Figuras	11
Lista De Apéndices.....	16
Glosario	17
Resumen	19
Abstrac	20
Introducción	21
Objetivos	23
Objetivo General	23
Objetivos Específicos.....	23
MARCO REFERENCIAL	24
Marco De Antecedentes O Estado Del Arte	24
Antecedentes Internacionales.....	24
Antecedentes Nacionales	26
Antecedentes regionales.....	30
Marco Teórico.....	33
Marco Conceptual	38
Sistema De Acueducto	38
Sistema De Alcantarillado	41

Pozos de inspección	42
Cámaras De Caída.....	44
Herramientas Para Modelación Computacional Y Sistemas De Localización Geográfica.....	45
EPANET	46
EPA CAD.....	46
EPA SWMM.....	47
WaterCAD	48
SewerCAD	48
OpenFOAM	48
Salome.....	51
Marco Legal	52
De acuerdo con la Constitución Política de Colombia (1991).....	52
La Ley 99 de 1993	52
La Ley 142 de 1994	53
El Decreto 1575 de 2007.....	53
El Decreto 3930 de 2010.....	53
La Resolución 2115 de 2007.....	53
El Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico del 2017 (RAS)	53
La Resolución 0799 del 2021	54
La Resolución 0548 de 2022.....	54
Marco Contextual.....	54

METODOLOGÍA.....	57
Desarrollo De La Metodología	57
Diagrama De La Metodología	57
Fase 1: Diagnóstico Normativo Y Contextual	58
Fase 2: Aplicar Criterios Técnicos Para Apoyar En La Reparación De Redes	61
Fase 3: Diseño Técnico Y Elaboración De Planos	63
Fase 4: Simulación De Redes De Acueducto Y Alcantarillado.....	63
Fase 5: Modelado Tridimensional De Estructura Tipo Pozo De Inspección En Openfoam.....	66
 RESULTADOS	70
Objetivo 1.....	70
Objetivo 2.....	74
Reposición De Red Matriz De Acueducto Y Alcantarillado Barrio Nuevo	75
Reposición De Red Matriz De Acueducto Y Alcantarillado Urbanización Santa Ana	78
Reposición De Red Matriz De Acueducto Y Alcantarillado Antonia Santos	82
Objetivo 3.....	86
Reposición De Tubería De Alcantarillado En La Avenida Del Río	87
Reposición De Red Matriz De Acueducto Barrios Carlos Ramírez París Y Atalaya90	
Reposición De Red Matriz De Acueducto Y Alcantarillado Barrio Nuevo	93
Reposición De Red Matriz Barrio Bellavista.....	96
Reposición De Red Matriz De Acueducto Y Alcantarillado Urbanización Santa Ana	98

Reposición De Red Matriz De Acueducto Y Alcantarillado Antonia Santos	99
Objetivo 4.....	102
Reposición De Red Matriz De Acueducto Y Alcantarillado Barrio Nuevo	102
Reposición De Red Matriz De Acueducto Y Alcantarillado Urbanización Santa Ana	107
Reposición De Red Matriz De Acueducto Y Alcantarillado Antonia Santos	112
Objetivo 5.....	121
Pozo PP2: Barrio Antonia Santos (caída sin diferencia de niveles marcada).....	121
Pozo PP4 – Antonia Santos (caída moderada de 0,40 m).....	124
Pozo PY2 – Urbanización Santa Ana (caída crítica > 1,0 m).....	128
Pozo PP5 – Urbanización Santa Ana (Caída crítica y con dos aportes)	132
Síntesis de resultados según la altura de caída.....	137
Selección del pozo de inspección más crítico.....	138
Resultados De La Simulación CFD Del Pozo Más Crítico	142
Aportes Ingenieriles En La Empresa Durante La Práctica Empresarial	148
CONCLUSIONES.....	151
RECOMENDACIONES	153
REFERENCIAS	155
APÉNDICES.....	164
Anexo A. Modelado tridimensional del Pozo de inspección en Salomé	164
Anexo B. Principales Códigos de la configuración de entorno en el CFD.....	164
Alpha.wather	164

U (Condiciones del flujo de entrada)	166
Nut (condicioines de Rugosidad).....	168
ControlDict	169

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Guías técnicas y manuales de diseño implementados como material teórico en aguas Kpital -Alcantarillado.</i>	60
Tabla 2. <i>Cuadro resumen Normatividad Colombia aplicada en sistemas de Acueducto.</i>	71
Tabla 3. <i>Cuadro resumen Normatividad Colombiana aplicada en sistemas de alcantarillado.</i> ..	72
Tabla 4. <i>Pozos designados para la simulación en EPA SWMM.</i>	109
Tabla 5. <i>Datos recopilados para revisión en EPA SWMM</i>	110
Tabla 6. <i>Parámetros de entrada PP2.</i>	121
Tabla 7. <i>Parámetros de entrada PY2.</i>	128
Tabla 8. <i>Parámetros de entrada PP5</i>	132
Tabla 9. <i>Parámetros geométricos e hidráulicos del pozo crítico P-22.</i>	140

Lista de Figuras

Figura 1. Pozos de inspección de acuerdo al tipo.	43
Figura 2. Localización Geográfica San José de Cúcuta.....	55
Figura 3. Área Metropolitana de Cúcuta.....	55
Figura 4. Diagrama de la Metodología	57
Figura 5. Especificaciones Disponibles en la base de datos de QGIS	58
Figura 6. Representación gráfica de las redes de acueducto y alcantarillado disponibles en el SIG.	59
Figura 7. Manuales implementados por Aguas Kpital.....	60
Figura 8. Visualización de la base de Datos en el SIG QGIS.....	62
Figura 9. Interfáz gráfica de EPA SWMM	64
Figura 10. Macro en Excel de EPM para exportar a EPA SWMM.	65
Figura 11. Entorno Gráfico de Salome	67
Figura 12. Material de apoyo proporcionado por aguas Kpital.	73
Figura 13. Ubicación de la zona de diseño en el Barrio Nuevo.....	76
Figura 14. Visualización de la zona de diseño en Qgis.	77
Figura 15. Modelado en AutoCAD de la Red de Acueducto y Alcantarillado en Barrio Nuevo	78
Figura 16. Ubicación de la zona de diseño en la urbanización Santa Ana.	79
Figura 17. Visualización de la zona de diseño en Qgis.	80
Figura 18. Cuadro resumen del diseño de Alcantarillado Sanitario.	81
Figura 19. Modelado en AutoCAD de la Red de Acueducto y Alcantarillado en la Urbanización Santa Ana.....	81

Figura 20. Ubicación de la zona de diseño en la urbanización Santa Ana.	83
Figura 21. Visualización de la Zona de Diseño en Qgis.....	84
Figura 22. Cuadro resumen del diseño de Alcantarillado Sanitario.	84
Figura 23. Modelado en AutoCAD de la Red de Acueducto y Alcantarillado en Antonia Santos.	85
Figura 24. Plano correspondiente al Diseño de la Red de tubería de alcantarillado en la Avenida del Río.....	88
Figura 25. Planos correspondientes a la representación gráfica de las roturas.....	89
Figura 26. Cuadro resumen del cálculo de áreas zona intervenida de acuerdo al tipo de material.	90
Figura 27. Plano referente a la ubicación de las redes matrices de acueducto en Barrio Carlos Ramírez París y Atalaya.....	91
Figura 28. Representación gráfica del trazado para roturas.....	92
Figura 29. Modelado en AutoCAD trazado de la red de Acueducto y alcantarillad.	93
Figura 30. Plano de Detalles para la instalación de accesorios.....	94
Figura 31. Plano de Roturas de reposición de tubería de acueducto y alcantarillado en Barrio Nuevo.....	95
Figura 32. Plano en AutoCAD red de tubería de acueducto Barrio Bellavista.....	96
Figura 33. Plano de roturas Acometidas de acueducto Barrio Bellavista.....	97
Figura 34. Plano en AutoCAD referente al trazado de la red de acueducto en la Urbanización Santa Ana.....	98
Figura 35. Plano en AutoCAD referente al trazado de la red de alcantarillado en la Urbanización Santa Ana.....	99

Figura 36. Modelado en AutoCAD de las acometidas y los accesorios.	100
Figura 37. Modelado en AutoCAD de las domiciliarias.....	101
Figura 38. Plano de detalle referentes a la instalación de Alcantarillado Sanitario.....	102
Figura 39. Cuadro de Diseño de Alcantarillado Barrio Nuevo.....	103
Figura 40. Revisión de coordenadas en los pozos de inspección.	104
Figura 41. Verificación de cotas y parámetros hidráulicos.....	105
Figura 42. Simulación de la Red de alcantarillado en EPA SWMM.....	105
Figura 43. Perfiles de la lámina de agua obtenidos en la simulación.	106
Figura 44. Simulación de la red de Acueducto en la urbanización Santa Ana.	107
Figura 45. Cuadro de diseño Alcantarillado Urbanización Santa Ana.	108
Figura 46. En el modelado de AutoCAD se ubicó el colector para y se modeló en EPA SWMM.	110
Figura 47. Ajustes de caudal de acuerdo con el aporte de los tramos.	111
Figura 48. Simulación de la red de alcantarillado en la urbanización Santa Ana.....	112
Figura 49. Se replicó la tubería de acueducto en una capa específica para exportar en .dxf.....	113
Figura 50. Implementación de EpaCAD para exportar el archivo a .inp.....	114
Figura 51. Configuración de condiciones de flujo.....	115
Figura 52. Simulación de la red de Acueducto en Antonia Santos.....	116
Figura 53. Identificación de coordenadas de los pozos de inspección	117
Figura 54. Datos de diseño en el Excel de EPM.....	118
Figura 55. Modelo exportado desde macro de EPM.....	119
Figura 56. Simulación de la red de alcantarillado en Antonia Santos.	120
Figura 57. Flujo Volumétrico en el pozo PP2 - Antonia Santos.....	122

Figura 58. Campo de velocidad en el pozo PP2 - Antonia Santos	123
Figura 59. Líneas de corriente del campo de velocidades.	123
Figura 60. Parámetros de entrada PP4.	124
Figura 61. Flujo volumétrico en el pozo PP4 - Antonia Santos.....	125
Figura 62. Líneas de corriente del flujo volumétrico.....	125
Figura 63. Campo de velocidades en el pozo PP4 - Antonia Santos.	126
Figura 64. Líneas de corriente del campo de velocidades.	127
Figura 65. Distribución de la energía cinética turbulenta.	128
Figura 66. Flujo volumétrico en el pozo PY2 - Urbanización Santa Ana.	129
Figura 67. Campo de velocidades y turbulencia en el pozo PY2 – Urbanización Santa Ana. ..	130
Figura 68. Líneas de corriente del campo de velocidades.	130
Figura 69. Distribución de la energía cinética turbulenta k a lo largo del chorro descendente en el pozo de inspección.	131
Figura 70. Distribución tridimensional de la fracción volumétrica de agua en el pozo de inspección.	133
Figura 71. Distribución volumétrica del flujo en el pozo PP5 – Urbanización Santa Ana aporte con caída crítica.	133
Figura 72. Distribución volumétrica del flujo en el pozo PP5 – Urbanización Santa Ana aporte con caída de 0.2 m.	134
Figura 73. Campo de velocidades y energía en el pozo PP5 – Urbanización Santa Ana.	135
Figura 74. Líneas de corriente del campo de velocidades en el pozo de inspección crítico.....	136
Figura 75. Distribución tridimensional de la energía cinética turbulenta k en el pozo de inspección.	137

Figura 76. Perfil Lámina de agua en pozo crítico.....	139
Figura 77. Pozo PY22, Ubicación en el plano de AutoCAD.....	140
Figura 78. Modelado del pozo de inspección y Malla generada mediante el programa de modelado tridimensional de salome.....	141
Figura 79. Programación del modelado numérico, en “0”.....	142
Figura 80. Programación de modelado numérico, variables en “System”	143
Figura 81. Visualización volumétrica de Alpha.water.....	144
Figura 82. Campo de velocidades U en el pozo de inspección.....	145
Figura 83. Distribución del campo de presión hidrostática modificada (p_{rgh}) en el pozo de inspección.	146
Figura 84. Distribución de energía cinética turbulenta.....	147
Figura 85. Pozo de inspección modelado en salome	164

Lista de Apéndices

APÉNDICES.....	164
Anexo A. Modelado tridimensional del Pozo de inspección en Salomé	164
Anexo B. Principales Códigos de la configuración de entorno en el CFD.....	164
Alpha.wather	164
U (Condiciones del flujo de entrada)	166
Nut (condicioines de Rugosidad).....	168
ControlDict	169

Glosario

Acueducto. Sistema de tuberías y estructuras para transportar agua potable hasta los usuarios.

Alcantarillado sanitario. Red destinada a conducir aguas residuales domésticas por gravedad.

Altura de caída. Diferencia de nivel entre tuberías en un pozo; determina la necesidad de cámara de caída.

Análisis hidráulico. Evaluación de presión, velocidad y caudal para determinar el comportamiento del flujo.

AutoCAD. Software para elaborar y editar planos técnicos con precisión geométrica.

AKC (Aguas Kpital Cúcuta). Empresa operadora de los sistemas de acueducto y alcantarillado de Cúcuta.

Caudal. Volumen de agua que pasa por una sección en un tiempo determinado.

Cámara de caída. Estructura que disipa energía cuando existe una diferencia significativa de niveles.

CFD. Técnica de simulación numérica para analizar el comportamiento tridimensional del flujo.

Cota clave. Altura del intradós superior de la tubería respecto a la rasante o referencia.

EPANET. Software para modelar redes de distribución de agua potable.

EPA SWMM. Herramienta para modelar hidráulicamente sistemas de alcantarillado sanitario o pluvial.

Geometría tridimensional. Representación 3D de una estructura para análisis avanzado.

InterFoam. Solver de OpenFOAM para flujos multifásicos con superficie libre.

Lámina de agua. Altura del flujo dentro de una tubería parcialmente llena.

OpenFOAM. Software de simulación para resolver ecuaciones de dinámica de fluidos.

Pendiente hidráulica. Relación entre pérdida de energía y longitud del tramo.

Perfiles hidráulicos. Representación de la variación de la lámina de agua a lo largo de un colector.

PF (Pozo Final). Pozo donde termina un tramo de alcantarillado y se evalúan sus condiciones hidráulicas.

Pozo de inspección. Estructura para el acceso, unión y cambio de dirección o pendiente en las redes.

PVC. Material plástico usado en tuberías por su resistencia y facilidad de instalación.

Presión dinámica. Energía asociada a la velocidad del flujo.

Presión estática. Energía ejercida por el agua en reposo en un punto.

QGIS. Software GIS para análisis y visualización de información georreferenciada.

RDE. Relación entre diámetro exterior y espesor de pared en tuberías.

Superficie libre. Interfaz entre el agua y el aire en flujos abiertos.

Turbulencia. Movimiento irregular del flujo con remolinos y variaciones bruscas de velocidad.

Velocidad del flujo. Rapidez con la que el agua se desplaza dentro de la tubería.

Volumen de control. Elemento utilizado en CFD para resolver las ecuaciones de conservación.

Resumen

El presente trabajo de grado se desarrolló a partir de la práctica empresarial realizada en Aguas Kpital Cúcuta S.A. E.S.P., en la cual se apoyaron actividades de revisión y verificación de proyectos de acueducto y alcantarillado en distintos sectores del municipio. Durante la práctica se integraron herramientas como Sistemas de Información Geográfica (SIG), AutoCAD, EPANET y EPA SWMM para consolidar información técnica, ajustar trazados, elaborar planos y evaluar el desempeño hidráulico de las redes proyectadas, verificando el cumplimiento de los parámetros establecidos por la normativa vigente.

Complementariamente, se realizó un análisis tridimensional mediante dinámica de fluidos computacional (CFD) en OpenFOAM, aplicado a diferentes pozos de inspección con el fin de observar el comportamiento hidráulico cuando hay diferencia de niveles. La simulación permitió examinar la distribución de velocidades, presiones y turbulencia, y evidenció la necesidad de implementar cámaras de caída cuando las diferencias de cota superan los límites normativos, con el fin de evitar impactos directos y mejorar la estabilidad hidráulica de la estructura.

Los resultados obtenidos destacan la utilidad de integrar herramientas digitales en los procesos de diseño y revisión técnica, ya que facilitan la detección de inconsistencias y fortalecen la toma de decisiones en la planeación de obras. Asimismo, la práctica empresarial contribuyó al mejoramiento progresivo de las redes de saneamiento básico, apoyando la optimización de proyectos que impactan directamente en la calidad de vida de las comunidades intervenidas.

Abstrac

This thesis was developed based on the business internship carried out at Aguas Kpital Cúcuta S.A. E.S.P., which involved reviewing and verifying water and sewerage projects in different sectors of the municipality. During the internship, tools such as Geographic Information Systems (GIS), AutoCAD, EPANET, and EPA SWMM were integrated to consolidate technical information, adjust layouts, prepare plans, and evaluate the hydraulic performance of the projected networks, verifying compliance with the parameters established by current regulations.

In addition, a three-dimensional analysis was performed using computational fluid dynamics (CFD) in OpenFOAM, applied to an inspection well with the greatest difference in levels identified. The simulation allowed for the examination of the distribution of velocities, pressures, and turbulence, and highlighted the need to implement drop chambers when elevation differences exceed regulatory limits, in order to avoid direct impacts and improve the hydraulic stability of the structure.

The results obtained highlight the usefulness of integrating digital tools into design and technical review processes, as they facilitate the detection of inconsistencies and strengthen decision-making in construction planning. Likewise, business practices contributed to the progressive improvement of basic sanitation networks, supporting the optimization of projects that directly impact the quality of life of the communities involved.

Introducción

El acceso a servicios básicos como el acueducto y el alcantarillado constituye un elemento fundamental para el bienestar y la calidad de vida de cualquier comunidad. En ciudades con crecimiento, como San José de Cúcuta, la actualización y verificación de las redes se convierte en una tarea indispensable para garantizar la continuidad del servicio y reducir los riesgos asociados a fallas operativas, inundaciones o deficiencias sanitarias. Bajo este contexto, este proyecto se desarrolla a partir de la práctica empresarial realizada en Aguas Kpital Cúcuta S.A. E.S.P., empresa responsable de la operación y mantenimiento de los sistemas de agua potable y saneamiento básico del municipio.

Durante la práctica se tuvo la oportunidad de participar en actividades que vinculan directamente el componente técnico con el impacto social de las obras ejecutadas. La revisión de proyectos, la verificación de trazados y la elaboración de planos permitieron apoyar procesos que, a mediano y largo plazo, benefician a las comunidades intervenidas mediante redes más eficientes, seguras y ajustadas a las necesidades reales de cada sector. Este trabajo busca documentar y analizar dicha experiencia, no solo desde la perspectiva técnica, sino también reconociendo la manera en que cada intervención contribuye al mejoramiento de las condiciones de salubridad y funcionalidad urbana.

Para el desarrollo del estudio se integraron herramientas como Sistemas de Información Geográfica (SIG), AutoCAD, EPANET y EPA SWMM, utilizadas para revisar, validar y simular el comportamiento de las redes existentes y proyectadas. Estas herramientas facilitaron la detección de inconsistencias, la verificación de pendientes y cotas, y la evaluación del desempeño hidráulico en diferentes escenarios operativos.

De manera complementaria, se llevó a cabo una modelación tridimensional mediante dinámica de fluidos computacional (CFD) en OpenFOAM, enfocada en analizar el comportamiento las estructuras tipo pozo de inspección con el fin de examinar sus condiciones hidráulicas cuando se presenta un gradiente de caída. Este análisis permitió comprender los efectos de la turbulencia, las sobrepresiones y la energía del flujo, aportando criterios relevantes para el diseño de cámaras de caída que garanticen la operación segura de la infraestructura.

El documento se estructura en función de los objetivos planteados para la práctica empresarial, abordando inicialmente la recopilación y depuración de información técnica, seguida de la revisión de redes y elaboración de planos conforme a los lineamientos de la empresa. Posteriormente, se presentan los resultados obtenidos mediante las simulaciones hidráulicas y, finalmente, el análisis CFD del pozo crítico seleccionado. Con ello, se busca evidenciar el aporte de la práctica no solo al fortalecimiento de competencias profesionales, sino también a la mejora progresiva de los sistemas de saneamiento básico que impactan de manera directa a las comunidades del municipio.

Objetivos

Objetivo General

Ejecutar 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. en la ciudad de Cúcuta, con el fin de integrar la teoría con la práctica, afianzar habilidades técnicas y adquirir experiencia en el análisis y diseño de proyectos de distribución de agua potable e infraestructura sanitaria.

Objetivos Específicos

- Realizar una revisión bibliográfica y normativa con el fin de conocer las variables hidráulicas y parámetros establecidos para el diseño y modelamiento de redes de acueducto y alcantarillado sanitario.
- Diseñar redes de acueducto y alcantarillado sanitario asignadas, con el propósito de contribuir al mejoramiento continuo y sostenible del servicio de saneamiento básico
- Colaborar en la elaboración de planos técnicos para sistemas de acueducto y alcantarillado sanitario mediante herramientas CAD, asegurando el cumplimiento de las especificaciones técnicas y normativas internas de la empresa.
- Simular las redes de acueducto y alcantarillado sanitario mediante la implementación de softwares especializados, con el fin verificar su diseño, realizando análisis según parámetros normativos.
- Modelar tridimensionalmente la estructura tipo pozo de inspección más crítica de los diseños realizados, con la finalidad de evaluar el comportamiento hidráulico de las caídas dentro de ella.

Marco Referencial

Marco De Antecedentes O Estado Del Arte

Antecedentes Internacionales

Gestión De Acueducto Y Alcantarillado En La Habana Con Sistemas De Información Geográfica. Este estudio presenta como objetivo principal la implementación de sistemas de información geográfica (SIG), como una herramienta clave en la gestión de sistemas de acueducto y alcantarillado, específicamente en la empresa Aguas de La Habana. Este estudio consistió en aplicar software como SIG, EPANET y bases de datos, para monitorear redes, planificar mantenimientos y prevenir incidentes, mediante su ubicación geográfica. Los resultados demostraron que el uso del SIG mejoró la eficiencia operativa, aunque se identificó la necesidad de aprovechar aún más su capacidad analítica. (Amorós Núñez & Sánchez Cruz, 2012)

Revelando El Nexo Entre La Producción Científica, La Gestión De Los Recursos Hídricos Y Los Desafíos Mundiales Del Agua. Como objetivo principal, se planteó analizar la producción científica en cuanto a la gestión del agua, específicamente en América Latina y el caribe, mediante un análisis con métodos estadísticos y análisis cualitativo con herramientas como Tree of Science y software R. Se recopilaron alrededor de 2800 artículos y se evaluaron patrones de colaboración y tendencias. Como resultado, se evidenció que, a pesar de contar con grandes recursos hídricos, la región enfrenta serios desafíos de gobernanza y sostenibilidad, lo que demanda enfoques científicos integrados y estrategias adaptativas..(Carrillo-Acosta et al., 2024)

Evaluación De Acciones De Eficiencia Energética En Acueductos Mexicanos Con Un Enfoque En Su Desempeño A Lo Largo Del Tiempo. Caso De Estudio: Acueducto Del Noroeste De México. Se buscó evaluar el desempeño a largo plazo de la eficiencia energética aplicadas al acueducto del Noroeste de Mexico. Se desarrollo un estudio de caso con datos referentes a operaciones, simulaciones hidráulicas y modelos de optimización. Al implementar los modelos de optimización, como el monitoreo constante y mantenimiento oportuno se obtuvo una reducción del consumo energético del 25 % y se concluyó que el mantenimiento continuo y la adaptación tecnológica son clave para replicar este enfoque en otros sistemas hidráulicos.(Euyoqui Aréchiga et al., 2024)

Un Sistema De Apoyo A La Toma De Decisiones Para Diseñar Programas De Intervención De Sustitución De Tuberías De Suministro De Agua Y Alcantarillado. Este artículo tuvo como propósito desarrollar un sistema de apoyo para diseñar programas de sustitución de redes hidráulicas considerando variables técnicas, económicas y urbanas. La metodología incluyó agrupamiento de tramos mediante celdas de Voronoi y optimización multiobjetivo con algoritmos genéticos. La gestión eficiente de la renovación de redes hidráulicas requiere planificaciones que integren criterios técnicos, económicos y sociales. Los resultados mostraron que el sistema generó planes eficientes y personalizables, validados en una red urbana de más de 7.000 km y Su aplicación en una red de más de 230.000 tuberías en Sevilla evidenció la viabilidad del enfoque para grandes sistemas.(Ramos-Salgado et al., 2021)

Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Modelación Hidráulica y de Calidad del Agua en Redes de Distribución. El objetivo de este manual es proporcionar lineamientos técnicos para la modelación hidráulica y de calidad del agua en redes de distribución. En base a una metodología con fundamento en normativa técnica y ejemplos prácticos, se explican los pasos desde la recolección de datos; la calibración de modelos; la aplicación de modelos matemáticos en las redes de distribución de agua potable, y a que se comprometan resultados que se acerquen al funcionamiento real de la red y al abastecimiento de agua de calidad en toda esta. Se concluye que la implementación de estos modelos mejora el control del cloro residual, la planificación operativa y la calidad del servicio. (Conagua, s. f.)

Diseño De Cámaras De Alcantarillado Bajo Condiciones Críticas Mediante Modelación CFD. El estudio tuvo como objetivo principal evaluar el comportamiento hidráulico de una cámara de alcantarillado sometida a condiciones críticas de operación, utilizando el software de dinámica computacional de fluidos OpenFOAM como una alternativa a los análisis convencionales y a los que ofrecen los softwares comerciales. La metodología se basó en la construcción de un modelo tridimensional bifásico agua-aire mediante el solver *interFoam*, incorporando mallas generadas con *snappyHexMesh*, condiciones de frontera realistas y modelos de turbulencia tipo RANS para representar adecuadamente las oscilaciones del flujo. Los resultados mostraron que, ante caudales elevados, el sistema experimenta fluctuaciones no estacionarias del nivel del agua, lo que puede generar sobre flujo y comportamientos inestables en la estructura. Se concluyó que ajustes mínimos en el diámetro de salida pueden mitigar estos efectos, demostrando que la modelación CFD es una herramienta útil para optimizar el diseño de cámaras de alcantarillado bajo escenarios exigentes. (Tsuchida et al., 2018)

Antecedentes Nacionales

Modelación Hidráulica Del Diseño De Alcantarillado De La Vereda Sierra De La Cañada Municipio De Tello-Huila, Mediante La Herramienta Informática Epa SWMM

5.0. El objetivo principal de esta investigación fue modelar y evaluar el diseño de la red de alcantarillado sanitario para la vereda Sierra de la Cañada, en el municipio de Tello-Huila, utilizando la herramienta EPA SWMM 5.0. Entre los métodos utilizados en la metodología se tiene la recolección de datos a través de visitas de campo, el levantamiento topográfico y el análisis de los caudales que procesados con la herramienta de software permite simular el comportamiento hidráulico del sistema. De esta manera, se obtiene una propuesta técnica que permite anticipar los puntos críticos del sistema, validar su funcionamiento en territorio y planificar un diseño ha mejorado las condiciones sanitarias de la clínica y la comunidad.(Pérez Rojas, 2017)

Simulación A Través Del Software Libre Epanet Versión 2.0, De La Red De Distribución De Agua Potable En La Vereda Alejandría, Municipio Garzón-Huila. El propósito del estudio fue simular y analizar la red de distribución de agua potable en la vereda Alejandría del municipio de Garzón, Huila, mediante el software EPANET 2.0, con el objetivo de optimizar su diseño hidráulico. Se llevó a cabo un estudio práctico que incluyó la medición de caudales, el mapeo detallado del terreno y el análisis de las necesidades de la población. Gracias a esto, se creó un modelo hidráulico capaz de simular cómo funciona el sistema en la realidad. Los hallazgos más relevantes mostraron que en varios puntos había problemas de presión, por lo que se propusieron soluciones adaptadas a las condiciones de la zona rural. Así, el software se convirtió en una herramienta accesible y eficiente, especialmente útil en lugares con recursos técnicos limitados. (Rojas, 2017)

Optimización De La Red De Distribución De Agua Potable Del Municipio De Villeta Cundinamarca. Este estudio tuvo como objetivo mejorar la red de distribución de agua potable en la zona urbana de Villeta, Cundinamarca. Para ello, se utilizaron herramientas especializadas como EPANET, que permite modelar el sistema hidráulico, y Python, que ayudó a automatizar el análisis y rediseño de la red. La metodología incluyó la recopilación de datos en campo, la simulación de cómo funciona el sistema en la realidad y la programación de variables clave como presión, rugosidad y diámetro de las tuberías. Los resultados revelaron problemas importantes, como presiones fuera del rango adecuado y fugas que superaban el 50%. Para solucionar esto, se propuso una reconfiguración parcial de la red, con el objetivo de cumplir con la norma RAS 0330 y garantizar un mejor servicio a la comunidad.(Castro Sanchez et al., 2021)

Metodología Para La Selección De Tecnologías De Rehabilitación De Alcantarillado Sin Zanja En Bogotá, Colombia. Este estudio tuvo como propósito desarrollar una metodología que sirviera de apoyo en la toma de decisiones para elegir la mejor tecnología en la rehabilitación de redes de alcantarillado sin necesidad de hacer excavaciones en Bogotá. Se evaluaron diferentes alternativas, como el pipe Bursting, la tubería curada en sitio (CIPP), el slip Lining y el espiral enrollado. Para ello, se creó el programa SELECTOR, que analiza aspectos técnicos clave como el diámetro, el material, la longitud, el estado de deterioro y la sección de la tubería. Se aplicaron métodos avanzados como la lógica difusa, árboles de decisión y técnicas de interpretación de datos. El resultado fue la identificación de ocho variables determinantes, lo que permitió reducir más de 34 millones de combinaciones posibles a solo 100 reglas de decisión. Gracias a esto, se logró una selección técnica precisa, eficiente y automatizada, convirtiéndose en una herramienta valiosa para las empresas de servicios públicos que operan en entornos urbanos complejos.(Tovar Romero et al., 2021)

Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados. Este libro, escrito por Ricardo Alfredo López Cualla, tiene como propósito servir de guía tanto teórica como práctica para el diseño de sistemas de agua potable y saneamiento en comunidades rurales o de pequeña escala. Para ello, integra la normativa colombiana vigente, como el RAS, y facilita el aprendizaje mediante ejemplos resueltos y herramientas computacionales. La estructura del texto sigue un enfoque secuencial, abarcando cada etapa del proceso, desde la captación del agua hasta su tratamiento y distribución. Además, dedica capítulos a elementos fundamentales como bocatomas, desarenadores, estaciones de bombeo y redes de alcantarillado, combinando conceptos teóricos con cálculos detallados, ilustraciones y el uso de software especializado. Gracias a su enfoque práctico y alineado con la regulación colombiana, el libro se ha consolidado como un referente para estudiantes y profesionales del sector. Además, su material digital complementario ha mejorado los procesos de diseño técnico, lo que ha permitido que siga vigente a través de múltiples reimpresiones desde su publicación en 1995.(López Cualla, 1995)

Gestión Integral de Redes: Un Estudio de Caso de Bogotá y la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá, EAB ESP. Este artículo tiene como objetivo principal presentar un modelo integral para gestionar las redes del sistema de acueducto en Bogotá, con el propósito de optimizar el uso del agua y la infraestructura disponible, reducir pérdidas y mejorar la eficiencia técnica, operativa y comercial del servicio. Para lograrlo, se estableció una metodología que consistió en dividir la red hidráulica en 37 sectores independientes, complementando esta estrategia con medidas técnicas como mantenimiento, control de presión, detección de fugas, renovación de tuberías, medición a gran escala y eficiencia energética. Además, se implementaron mejoras comerciales, incluyendo la sincronización de ciclos de facturación, actualización del censo de usuarios y optimización en la gestión administrativa.

Entre los resultados más destacados, el consumo promedio por persona se redujo significativamente, pasando de más de 200 a 110 litros diarios. También se logró disminuir las pérdidas mensuales por usuario, de 21.03 m³ en 1993 a 7.13 m³ en 2014. Gracias a la optimización de los recursos disponibles, se pudieron postergar proyectos de expansión innecesarios, asegurando un uso más eficiente del sistema.(Aldana, 2017)

Antecedentes regionales.

Modelación De Los Impactos De Los Escenarios De Cambio Climático En La Cuenca Del Río Pamplonita En Norte De Santander. Este estudio tuvo como objetivo analizar cómo el cambio climático podría afectar la disponibilidad de agua superficial en la cuenca del río Pamplonita, en Norte de Santander. Para ello, se realizaron simulaciones de escenarios futuros utilizando el modelo Hydro-BID. La metodología se desarrolló en tres fases: primero, se caracterizó el clima de la cuenca con datos históricos de estaciones de precipitación, temperatura y caudal. Luego, se aplicó una técnica de reducción de escala estadística basada en la teoría del caos, con el objetivo de adaptar modelos climáticos globales (GCM) a las condiciones locales. Finalmente, se llevó a cabo la calibración y validación del modelo hidrológico con información recopilada entre 1989 y 2014.

Los resultados demostraron que el método de reducción de escala mejoró la precisión de las proyecciones. Además, bajo los tres escenarios evaluados, se estima que el caudal podría disminuir entre un 1.8 % y un 13 %, lo que pone de manifiesto la presión que enfrentará el recurso hídrico en el futuro. Ante esta situación, se enfatiza la importancia de implementar medidas de adaptación para garantizar una gestión sostenible de la cuenca. (Rentería et al., 2020)

Diseño Académico De La Red De Alcantarillado Sanitario Del Asentamiento Humano Colinas Del Tunal, En La Ciudad De Cúcuta. Este proyecto tuvo como objetivo diseñar una red de alcantarillado sanitario para el asentamiento Colinas del Tunal, en Cúcuta, con el objetivo de mejorar las condiciones sanitarias y la calidad de vida de sus habitantes. Para ello, se empleó una metodología descriptiva, aplicada y cuantitativa, basada en el análisis del levantamiento topográfico suministrado por la Fundación Vergel & Castellanos. Además, se desarrollaron cálculos hidráulicos siguiendo los parámetros de la Resolución 0330 de 2017, y se validó el diseño mediante el software SWMM. Se pudo identificar las zonas las zonas de descarga, definir los diámetros óptimos de las tuberías, establecer las pendientes y profundidades necesarias, y desarrollar los planos y el presupuesto técnico del sistema. Con esto se brindó una solución viable para una comunidad en situación de vulnerabilidad que carecía de infraestructura sanitaria. (Perez, 2020)

Diseño Implementado Con Herramientas Tecnológica De Las Redes De Acueducto Y Alcantarillado Sanitario Del Asentamiento José Bernal Municipio De Cúcuta Norte De Santander. El trabajo tuvo como objetivo diseñar e implementar una red de acueducto y alcantarillado sanitario para el asentamiento José Bernal en Cúcuta, Norte de Santander, buscando solventar la necesidad del asentamiento al mejorar el acceso al agua potable y saneamiento básico. La metodología se basa en una investigación aplicada, utilizando técnicas topográficas y herramientas computacionales para el diseño hidráulico, incluyendo la recopilación de datos con equipos especializados, mediante la aplicación de herramientas tecnológicas como EPANET, SWMM y ArcGIS, junto con la elaboración de un análisis presupuestal, con el fin de proporcionar una solución integral a la problemática de servicios básicos en la comunidad.

Los resultados obtenidos confirman que el diseño de las redes cumple con la normativa colombiana (Resolución 0330 de 2017), garantizando presiones adecuadas y caudales suficientes en el acueducto, además de un sistema de alcantarillado eficiente que previene problemas de contaminación y salud pública. Asimismo, la integración de la información geográfica con ArcGIS facilitará futuras consultas y planificación del servicio.(Sánchez Tapiero, 2017)

Análisis De La Eficiencia En La Prestación De Los Servicios Públicos Domiciliarios De Acueducto, Alcantarillado Y Aseo En El Municipio De El Carmen, Norte De Santander.

Esta investigación buscó analizar la eficiencia con que EMCAGUA APC presta los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo en el municipio de El Carmen (Norte de Santander), evaluando su infraestructura operativa y la percepción de los usuarios.

La metodología utilizada fue de tipo descriptiva, se aplicaron encuestas a 310 suscriptores y se hizo una observación directa de las condiciones operativas de la empresa, permitiendo obtener datos cuantitativos y cualitativos. En los resultados se identificó que, aunque EMCAGUA contaba con infraestructura mínima y cobertura parcial, también había debilidades como la limitada continuidad del servicio de y demoras en los tiempos de reconexión. Sin embargo, también se evidencian aspectos positivos, como la cobertura casi total de micro medición, campañas educativas, y mantenimiento frecuente de redes, lo que permitió proponer un plan de acción orientado a mejorar la eficiencia del servicio y la satisfacción del usuario. (Núñez Navarro, 2021)

Diagnostico Y Propuesta Para El Manejo De Las Aguas Residuales Del Área Urbana Del Municipio De El Zulia Norte De Santander. La investigación tuvo como objetivo diagnosticar el estado del sistema de alcantarillado del área urbana de El Zulia, Norte de Santander, y proponer una solución técnica para mejorar el manejo de las aguas residuales. Se empleó una metodología descriptiva que incluyó el análisis de vertimientos, estudios poblacionales proyectados al 2020, modelación hidráulica, estudios topográficos y evaluación de alternativas de tratamiento.

Como resultado, se diseñó un emisario interceptor sanitario de 1.930,80 metros de longitud y 12 pulgadas de diámetro, que operaría por gravedad y permitiría centralizar los cuatro vertimientos existentes en uno solo, reduciendo así la contaminación en la quebrada La Alejandra y el río Zulia. También se identificó que solo 32 de los 97 tramos del sistema de alcantarillado pueden ajustarse a la normativa vigente sin necesidad de reposición total. Se concluyó que el mayor problema es la falta de tratamiento, lo que contribuye a una alta carga contaminante sobre los cuerpos de agua del municipio. (Pancha Parada & Laguado Ortega, 2019)

Estado del conocimiento, teorías, investigaciones, tesis y artículos consultadas en el anteproyecto, igualmente debe hacer las respectivas citas de las fuentes que consulto para redactarlo.

Marco Teórico

La **gestión de los recursos hídricos** consiste en el desarrollo de políticas, estrategias y tecnologías que permitan la asignación y uso eficiente del agua para satisfacer las demandas sociales, económicas y ambientales, asegurando la sostenibilidad del recurso a largo plazo. Según Loucks y van Beek (2017), esta gestión debe concebirse bajo un enfoque integrado, que tenga en cuenta la disponibilidad, la variabilidad climática, la calidad del recurso y la interacción

entre los distintos componentes del sistema hidrológico. El objetivo fundamental es maximizar los beneficios del uso del agua sin comprometer su disponibilidad futura, reconociendo que el aprovechamiento debe ser equitativo, eficiente y ambientalmente responsable.

La gestión integral de redes de agua potable y saneamiento busca optimizar el uso de los recursos hídricos y de la infraestructura existente, garantizando la sostenibilidad del servicio y postergando ampliaciones costosas. Tal como lo demuestra la experiencia de la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá (EAB-ESP), esta estrategia permite segmentar la red en sectores hidráulicos independientes, lo cual facilita la implementación de programas de recuperación eficientes desde los puntos de vista técnico y financiero. Este tipo de gestión no solo mejora la eficiencia operativa y comercial del sistema, sino que también contribuye al uso racional del agua y genera beneficios ambientales y sociales para las comunidades atendidas. (Jiménez Aldana, 2017).

La aplicación de los conceptos normativos que propone el **Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS**, donde establece los lineamientos técnicos y sanitarios que deben cumplirse en el diseño, construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de agua potable y saneamiento. Busca proteger la salud pública y el medio ambiente y asegurar que las soluciones implementadas sean sostenibles y adaptadas a las características geográficas, sociales y económicas de cada territorio. De acuerdo con el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, el RAS constituye un instrumento técnico de obligatorio cumplimiento que permite unificar criterios y reducir los riesgos asociados a una mala gestión del recurso hídrico y de los sistemas que lo conducen y tratan. (Resolución 330 de 2017, s. f.)

El diseño de redes de abastecimiento de agua potable y gestión de servicios de saneamiento, busca dignificar las condiciones de vida de las comunidades. Estos lineamientos se abordan en los ODS que proponen alcanzar una cobertura total en todo el mundo referente al acceso de agua limpia y saneamiento. (Moran, s. f.)

Un sistema de acueducto que garantice el suministro continuo de agua limpia a una comunidad asegura el acceso a este recurso vital, lo que potencia el desarrollo económico y el bienestar general. Según lo expuesto por Arboleda et al. (s.f.), los sistemas de acueducto comunitario constituyen una alternativa fundamental para garantizar el acceso al agua, ya que no solo permiten su distribución para el consumo y la higiene, sino que también fortalecen el tejido social, promueven la organización comunitaria y contribuyen al mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes.

Los sistemas de alcantarillado contribuyen en la preservación de la salud de las familias, ya que elimina el riesgo de contraer enfermedades causadas por las aguas residuales que contaminan el entorno de las personas. Es por esto que se debe implementar un adecuado diseño en las redes de alcantarillado, para gestionar eficientemente la deposición de estos residuos y evitar que tengan un impacto negativo en las comunidades. («Servicios de Alcantarillado Sanitario», s. f.)

El uso de herramientas como EPA NET, EPA SWMM, ArcGIS y Excel contribuye significativamente en el diseño y gestión de sistemas de acueducto y alcantarillado, ya que permiten modelar, representar espacialmente y analizar datos de forma eficiente, facilitando la planificación y optimización de las infraestructuras hidráulicas.

OpenFOAM se utiliza en la evaluación de estructuras hidráulicas como un laboratorio numérico basado en dinámica de fluidos computacional (CFD), capaz de resolver las ecuaciones

de Navier–Stokes mediante el método de volúmenes finitos en mallas tridimensionales estructuradas o no estructuradas. En el caso de obras con lámina libre, como saltos hidráulicos, cuencos disipadores, vertederos o pozos de inspección, se recurre habitualmente a solvers bifásicos aire–agua, como *interFoam*, que emplean el método VOF (Volume of Fluid) para seguir la fracción de agua y la posición de la superficie libre (Lopes, 2013; Moukalled et al., 2016).

El flujo de trabajo típico comprende la generación de la geometría de la estructura en un software CAD o en preprocesadores como Salome, la creación de la malla con herramientas como *snappyHexMesh* o la importación mediante *ideasUnvToFoam*, la definición de condiciones de contorno (caudal o velocidad en la entrada, cota o presión a la salida, condición atmosférica en la parte superior y rugosidad en paredes), la selección de modelos de turbulencia (habitualmente modelos RANS como $k-\epsilon$ o $k-\omega$ SST, y en casos avanzados LES) y el control del cálculo transitorio mediante el número de Courant y el tamaño de paso de tiempo. Una vez ejecutada la simulación, el posproceso en ParaView permite analizar campos de velocidad, tirantes, presiones y longitud de salto, y comparar estos resultados con datos experimentales o fórmulas empíricas de diseño para verificar el desempeño hidráulico de la estructura (Bayón & López-Jiménez, 2015; Greenshields, 2022).

Entre las principales ventajas de OpenFOAM en el análisis de estructuras hidráulicas se destaca que es un software libre, sin costo de licencias, lo cual facilita la realización de múltiples escenarios de diseño y de verificación frente a crecientes, caudales extremos o modificaciones geométricas, sin las restricciones de los paquetes comerciales (Greenshields, 2022). Al tratarse de un *toolbox* en C++, ofrece una gran flexibilidad para adaptar o desarrollar solvers específicos, incorporar modelos de turbulencia o de aireación, e implementar condiciones de frontera

particulares para compuertas, orificios, cámaras de caída u otras obras especiales (Moukalled et al., 2016). La capacidad de modelar flujos bifásicos con superficie libre permite representar con detalle fenómenos como el salto hidráulico, la disipación de energía en cuencos, la distribución de presiones en vertederos o el patrón de aire arrastrado en estructuras altamente turbulentas, con resultados que, en diversos estudios, han mostrado buena concordancia con códigos comerciales como FLOW-3D y con ensayos de laboratorio (Bayón et al., 2016; Bayón Barrachina, 2017; Damarneqara et al., 2020). Además, OpenFOAM está diseñado para ejecución paralela en clústeres, lo que lo hace adecuado para mallas finas y dominios complejos propios de presas, desarenadores o cámaras de inspección de gran detalle geométrico (Bayón et al., 2016; Greenshields, 2022).

No obstante, su implementación presenta retos importantes. En primer lugar, la curva de aprendizaje es considerable, ya que exige familiaridad con sistemas tipo Unix, manejo de línea de comandos, edición de archivos de configuración y una base sólida en fundamentos de CFD y análisis numérico; esto contrasta con interfaces más guiadas de algunos códigos comerciales (Moukalled et al., 2016; Greenshields, 2022). En segundo lugar, la calidad de los resultados depende de forma crítica de la malla y de la configuración numérica: parámetros como el refinamiento en zonas de fuerte gradiente, la elección de esquemas de discretización, el control del número de Courant y la correcta definición de las condiciones de contorno determinan la estabilidad del cálculo y la fidelidad de la superficie libre, pudiendo aparecer oscilaciones no físicas o difusión numérica si la configuración no es adecuada (Bayón & López-Jiménez, 2015; Bayón et al., 2016). A esto se suma que las simulaciones 3D de flujos aire-agua con turbulencia, especialmente cuando se utilizan modelos LES o mallas muy refinadas, requieren un esfuerzo computacional elevado, tanto en tiempo de cálculo como en recursos de hardware (Lopes, 2017;

Bayón Barrachina, 2017). Finalmente, procesos complejos como la cavitación, el transporte de sedimentos o la aireación muy intensa todavía requieren modelos específicos y una validación cuidadosa; por ello, en la práctica profesional y en investigación se recomienda usar OpenFOAM como complemento a la experimentación física y a los datos de campo, en lugar de considerarlo un sustituto completo de los modelos físicos (Bayón & López-Jiménez, 2015; Lopes, 2017).

Marco Conceptual

La gestión de los recursos hídricos, consiste en un proceso integral que busca planificar el desarrollo, la distribución y el uso eficiente del agua, con el fin de satisfacer las necesidades humanas de forma sostenible, donde se considera la disponibilidad del recurso, la calidad del mismo y la variabilidad climática que puede llegar a afectarlo junto con el crecimiento demográfico. Estos elementos son claves para condicionar un uso racional. (Loucks & van Beek, 2017)

De acuerdo con los Objetivos De Desarrollo Sostenible (ODS), como lo es el ODS 6: Agua limpia y saneamiento, se busca promover el acceso universal y equitativo del agua potable, este objetivo recalca la necesidad de llevar a cabo un enfoque participativo que priorice la gestión efectiva del recurso, minimizando el deterioro y priorizando también la gestión responsable o disposición de aguas residuales de modo que no generen contaminación. (Moran, s. f.)

Sistema De Acueducto

Comprende el conjunto de elementos y componentes físicos que se encargan de transportar el agua desde una fuente de agua, ya sea un río, lago o pozo hasta el lugar donde se desee garantizar el acceso al recurso. (*Componentes del sistema de acueducto | Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico*, s. f.)

Componentes del acueducto:

- La fuente de abastecimiento: Las fuentes de abastecimiento constituyen la base de un sistema de acueducto, ya que suministran el agua que será tratada para el consumo humano. Pueden ser de tipo superficial o subterráneo, de acuerdo con la disponibilidad del recurso.
- La captación de agua superficial y/o aguas subterráneas. Son las estructuras necesarias para captar el agua proveniente de ríos, lagos o en su defecto acuíferos subterráneos.
- La aducción. Es el tramo que comprende desde la captación hasta la planta de tratamiento, se implementan generalmente canales abiertos, debido a que no han recibido ningún tipo de tratamiento.
- Desarenador. Tiene como función retener la arena presente en el agua cruda o las partículas suspendidas en el agua, básicamente es la primera estructura que responde al tratamiento de del agua.
- Planta de tratamiento. Es la parte del acueducto donde el agua cruda se somete a un proceso químico, físico y biológico para eliminar aquellos componentes que pueden ser nocivos para el consumo humano. («Planta de tratamiento de agua potable - PTAP», s. f.)
- Tanques de almacenamiento. Estos tienen como objetivo garantizar un caudal constante en el suministro de agua potable. Dado que el caudal de la captación de la captación no es constante y el caudal demandado tampoco lo es. (López Cualla, 1995)

- Redes de distribución. Consiste en suministrar o distribuir el recurso de forma eficiente a los usuarios.

En el diseño de un sistema de acueducto se fundamenta en tres aspectos clave: el período de diseño, la población proyectada y el caudal requerido. Según lo establecido por la normativa colombiana RAS, el período de diseño debe ser de 25 años, durante los cuales se calcula la proyección poblacional utilizando los métodos definidos en dicha reglamentación, basándose inicialmente en datos demográficos actualizados y oficiales. Por su parte, el caudal de diseño responde tanto a las necesidades hídricas de la población como a los costos asociados a la construcción del sistema. Este caudal se determina considerando variables como el consumo diario por persona, la altitud del lugar, la población proyectada, las demandas en horas pico y los factores de ajuste correspondientes.

La red de distribución de agua potable se compone de tuberías, accesorios, válvulas, estructuras y equipos diseñados para transportar el agua tratada desde los tanques de almacenamiento o puntos de impulsión hasta los usuarios finales, garantizando la presión, caudal y calidad adecuados para el consumo humano. Su diseño debe asegurar la continuidad del servicio, minimizar pérdidas y permitir el mantenimiento eficiente del sistema. (NTC 1500, 2013)

Trazado de la red. Depende de la conformación física de la población y, por ende, no existe una forma predefinida para el diseño. Es básicamente el esquema o esqueleto de la red de distribución. (López Cualla, 1995)

Tubería de distribución. Se encargan de suministrar el recurso a la comunidad evitando que el agua se contamine y manteniendo la calidad previa su tratamiento. Las tuberías deben ser resistentes y duraderas, para evitar la corrosión y así mismo, asegurar que no se deterioren

rápidamente afectando la calidad del suministro. (*Tuberías para la distribución de agua potable*, s. f.)

Sistema De Alcantarillado

Consta de tuberías y estructuras necesarias para recolectar y evacuar aguas residuales producto de la escorrentía superficial y las aguas residuales. Estas aguas residuales pueden ser de tipo doméstico, industrial, y pluviales. Se establecen sistemas de alcantarillado convencional y no convencional, que se seleccionan de acuerdo con la población existente. (López Cuella, 1995)

Alcantarillado sanitario. El alcantarillado sanitario es un sistema conformado por tuberías y estructuras complementarias, diseñado para recolectar y transportar las aguas residuales generadas por la comunidad. La ausencia de este tipo de infraestructura representa un alto riesgo para la salud pública, ya que puede favorecer la propagación de enfermedades de origen epidemiológico. (López Cuella, 1995)

La gestión adecuada de estos desechos, es necesaria para el bienestar de las comunidades, de modo que se pueda garantizar las buenas condiciones de limpieza e higiene al contar con una buena evacuación de los desechos de aguas servidas.

En estos sistemas de alcantarillado es necesario garantizar la implementación de Plantas de Tratamiento de aguas residuales (PTAR), para aplicarle el proceso físico, químico y biológico, de modo que, al verter estas aguas, estén limpias y puedan ser reutilizadas de forma confiable.

Los conductos de un sistema de alcantarillado se clasifican como:

- Laterales o iniciales: Punto donde se reciben los desagües de los domicilios.
- Secundarias: Recibe uno o más desagües de las tuberías iniciales.

- Colector secundario: Recibe el desagüe de dos o más tuberías secundarias
- Colector principal: Recoge el caudal de los colectores secundarios
- Emisario final: Conduce todo el caudal hasta el punto de entrega o salida, este puede ser una planta de tratamiento o vertimiento de agua.
- Interceptor: Es un colector lateral del vertimiento de agua o de un canal.

Otros elementos de alcantarillado. Contribuyen con el buen desempeño del sistema, permitiendo, entre otros aspectos, las variaciones en la dirección de los colectores a través de los pozos de inspección, o los cambios de pendiente mediante el uso de cámaras de caída.

Estos componentes permiten resolver variaciones en la dirección de los colectores, controlar cambios de pendiente, manejar excedentes de caudal y facilitar el mantenimiento de la red. Su adecuada selección y diseño contribuyen al correcto desempeño del sistema y a la protección de la infraestructura. (López Cualla, 1995)

Pozos de inspección

Los pozos de inspección constituyen estructuras esenciales dentro del sistema de alcantarillado, ya que permiten el cambio de dirección de las tuberías, el acceso para limpieza y mantenimiento, y la conexión de diferentes diámetros o profundidades. Su configuración geométrica y su correcta ubicación influyen directamente en la estabilidad hidráulica del flujo, especialmente en condiciones donde se presentan transiciones energéticas, uniones múltiples o variaciones topográficas.

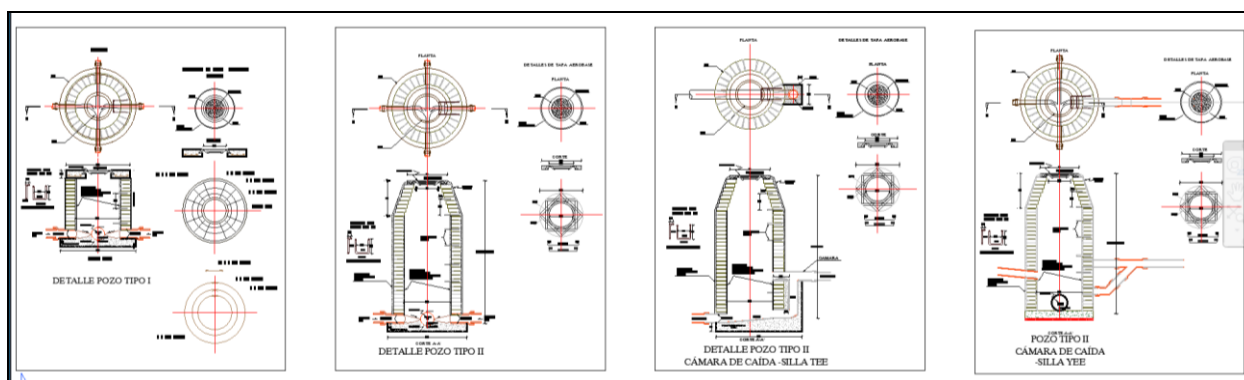
En el diseño de los sistemas de alcantarillado sanitario, los pozos de caída se clasifican según la magnitud del salto hidráulico que deben disipar y el diámetro de la tubería que ingresa a la estructura. De acuerdo con los lineamientos técnicos referenciados por la Empresa Municipal

de Agua Potable y Alcantarillado de Quito, se identifican tres categorías principales. Los pozos de caída Tipo I se utilizan para diferencias de nivel relativamente pequeñas, con saltos de hasta 0,75 m, y cuando la tubería de entrada presenta un diámetro hidráulico menor a 0,90 m.

Para situaciones donde la diferencia de cotas es mayor, se implementan los pozos de caída Tipo II, diseñados para disipar saltos de hasta 3,00 m, manteniendo igualmente diámetros hidráulicos inferiores a 0,90 m. Finalmente, los pozos de caída Tipo III se emplean en condiciones de caídas significativas, también del orden de 3,00 m, pero en este caso destinados a colectores de mayor tamaño, específicamente aquellos con diámetros hidráulicos comprendidos entre 1,00 m y 1,50 m. (EMAAP-Quito, 2009).

Figura 1.

Pozos de inspección de acuerdo al tipo.



Nota. Representación esquemática de los pozos de inspección tipo 1, tipo 2 y tipo 3, de acuerdo con su función hidráulica en la red de alcantarillado. Ilustración elaborada por el equipo de estudios y diseños a partir de los criterios de diseño implementados por Aguas Kpital Cúcuta S.A. E.S.P. y las recomendaciones técnicas de Durman Esquivel S.A. (2017, pp. 142–146), utilizando el software de dibujo asistido por computador AutoCAD (Autodesk Autocad, 2021).

Cámaras De Caída

Las cámaras de caída son estructuras diseñadas para manejar diferencias de nivel entre tramos consecutivos del colector, garantizando la disipación controlada de energía y evitando impactos directos del flujo dentro del pozo. Su implementación es obligatoria cuando la diferencia de cotas supera los valores establecidos por la normativa, ya que previenen fenómenos como turbulencia excesiva, erosión interna y sobrepresiones que comprometen el desempeño hidráulico y la durabilidad del sistema.

El RAS 2017 establece que, cuando la diferencia de niveles entre las tuberías que convergen en un pozo supera los 0,75 m, es necesario incorporar una cámara de caída para disipar la energía generada por el descenso del flujo y evitar impactos directos sobre la estructura. En la práctica del diseño de alcantarillado sanitario se utilizan diversas configuraciones para cumplir esta función. Una de ellas corresponde a la caída simple interna, en la cual la tubería de ingreso descarga dentro del pozo mediante una canalización vertical o una rampa interna que conduce el flujo hacia el fondo de la estructura. (Título D, 2017)

Otra configuración es la caída por tubo vertical o Silla Tee, que emplea una derivación interna tipo Tee para encauzar el flujo en sentido vertical, disminuyendo la velocidad y evitando que el chorro impacte directamente las paredes del pozo. Finalmente, se encuentra la caída por rampa inclinada o Silla Yee, diseñada con un elemento tipo codo o Yee que guía el flujo a través de una trayectoria descendente más suave, permitiendo reducir la turbulencia y el desgaste en la base del pozo ver Figura 1. Estas alternativas buscan asegurar la disipación controlada de energía y la continuidad hidráulica del sistema, en concordancia con los criterios exigidos por la normativa vigente.

Para llevar a cabo el diseño de un sistema de alcantarillado y definir el tipo más adecuado, es fundamental considerar desde el inicio la ubicación geográfica del proyecto, incluyendo factores como la topografía, la altitud y las curvas de nivel. Entre los elementos clave del diseño se encuentran: el periodo de diseño, que de acuerdo con la normativa colombiana vigente es de 25 años; la población de diseño, estimada mediante métodos como el lineal, geométrico, logarítmico o Wappus; y el caudal de diseño. Para estos cálculos, se deben adoptar las disposiciones del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS). (López Cuella, 1995).

Herramientas Para Modelación Computacional Y Sistemas De Localización Geográfica

Implementar herramientas tecnológicas especializadas, permite desarrollar diseños eficientes, de forma más precisa ya que se tienen en cuenta todos aquellos factores que pueden llegar a influir en el diseño. Los sistemas de ubicación geográfica, permiten alcanzar un alto nivel de precisión al ubicar el sitio específico donde se desea trabajar. De este modo, podemos elaborar un diseño específico para cada región y seguir los lineamientos establecidos en la norma.

EPANET y SWMM, son herramientas popularmente conocidas en el campo de la ingeniería civil aplicada en la simulación y modelación computacional de redes de distribución de agua potable y manejo de aguas pluviales y residuales. Dado que presentan una alta capacidad en el análisis y la predicción.

Por otra parte, los Sistemas de Información Geográfica (SIG), como ArcGIS y QGIS, permiten ubicar espacialmente la zona donde se está trabajando y optimizan la toma de decisiones con base en datos georreferenciados. También se implementan aplicaciones como

WaterCAD, SewerCAD y OpenFOAM que están especialmente diseñadas para la modelación hidráulica y la planificación técnica de redes de acueducto y alcantarillado, respectivamente.

Adicionalmente, el uso de Microsoft Excel permite analizar datos, y hacer representaciones precisas de acuerdo con los resultados, esta es una herramienta que permite optimizar y gestionar la información en todas las etapas de diseño.

Estas son algunas de las herramientas comúnmente implementadas en el diseño, análisis y gestión de distribución de recursos hídricos y la gestión de sistemas de deposición de aguas residuales.

EPANET

Es un programa que facilita la comprensión del comportamiento del agua dentro de las tuberías, mediante simulaciones. Esto facilita el estudio del recorrido del flujo desde los tanques hasta los usuarios, permitiendo observar su comportamiento hidráulico. Es muy utilizado en el campo de la ingeniería, para diseñar simular el comportamiento de sistemas de acueducto. De modo que optimiza el análisis de datos y permite una rápida toma de decisiones técnicas.

Este programa modela elementos como tuberías, bombas, tanques y válvulas, y facilita el monitoreo de variables clave como caudal, presión, concentración química y edad del agua. Su interfaz intuitiva permite crear y editar redes fácilmente, generando reportes visuales para apoyar la toma de decisiones. Además, incluye avanzadas capacidades de modelado hidráulico y de calidad del agua, considerando diversos tipos de reacciones, pérdidas de carga y configuraciones de demanda. (US EPA, 2014b)

EPA CAD

EPACAD es una herramienta computacional especializada que permite generar modelos hidráulicos a partir de planos de redes de acueducto y alcantarillado dibujados en AutoCAD. Su

principal función es transformar la información geométrica contenida en los planos (ejes, longitudes, diámetros, cotas y nodos) en un modelo numérico compatible para el software de simulación EPANET, evitando la digitalización manual y reduciendo significativamente los tiempos de procesamiento. (*EPACAD*, s. f.)

El programa interpreta los elementos hidráulicos representados en el dibujo, identifica conexiones, pendientes, cotas y atributos de cada tramo, y genera automáticamente los archivos de entrada que requieren los modelos de análisis. Gracias a este proceso, *EPACAD* facilita la integración entre diseño en CAD y simulación hidráulica, asegurando que los modelos sean coherentes con la información geométrica del proyecto y disminuyendo el riesgo de errores de transcripción o digitación en el levantamiento.

EPA SWMM

Modelo de Gestión de Aguas Pluviales, es una herramienta utilizada a nivel mundial para asistir procesos de planificación, análisis, diseño y toma de decisiones en sistemas de drenaje urbano, que incluye redes de alcantarillado pluvial, sanitario y combinado. Su uso contribuye al cumplimiento de políticas de gestión hídrica a distintos niveles, promoviendo prácticas que favorecen la infiltración, almacenamiento y disminución de escorrentías que podrían impactar negativamente los cuerpos de agua receptores. (US EPA, 2014^a)

Este programa es efectivo y versátil, permite simular de forma precisa el comportamiento de los sistemas de drenaje urbano. Facilita el diseño y la evaluación de infraestructuras hidráulicas, permitiendo implementar estrategias de manejo de aguas pluviales mediante la simulación detallada de caudales, calidad del agua y escorrentía. Además, puede representar desde redes simples hasta complejas, incorporando elementos como bombas, canales, orificios y

estructuras de control, haciendo posible optimizar su operación en tiempo real y adaptarla a condiciones específicas de cada área urbana.

WaterCAD

Este software es utilizado en el modelado hidráulico de redes de distribución de agua potable, permite simular el comportamiento que ocurre dentro de las tuberías, evaluar la presión y calidad del agua, junto con la facilidad de diseñar una red eficiente y óptima. (Lesli, 2024)

SewerCAD

Es un software que permite analizar hidráulicamente y diseñar sistemas de alcantarillado sanitario, pluvial y combinado. Implementa funciones hidráulicas e hidrológicas. Este considera las demandas en cuanto a crecimiento demográfico y aborda los desafíos referentes a las necesidades de las infraestructuras deterioradas. (Nitin, 2024)

OpenFOAM

OpenFOAM es un software de simulación numérica basado en el método de volúmenes finitos que permite resolver ecuaciones de dinámica de fluidos y transporte asociadas al comportamiento de flujos complejos. Su estructura se desarrollada en C++, organiza los procesos de modelación en tres componentes principales: la carpeta *0/* para las condiciones iniciales y de frontera; *constant/* para la definición de propiedades físicas, malla y modelos de turbulencia; y *system/* para los parámetros numéricos y de control de la solución. Esta arquitectura facilita la personalización completa del modelo físico y de los algoritmos de solución, ofreciendo un nivel de control mayor al de plataformas comerciales de CFD. (Greenshields, s. f.)

En proyectos de infraestructura hidráulica, OpenFOAM se utiliza para estudiar la interacción entre fases, la distribución de presiones y velocidades, y el comportamiento energético en zonas donde el flujo presenta cambios bruscos de geometría. Su aplicación resulta

útil en elementos como pozos de inspección, cámaras de caída, codos, derivaciones y estructuras con riesgo de aireación.

Es un software libre y de código abierto, sin embargo, el desarrollo de aplicaciones en su entorno de programación, limita su implementación en gran medida, debido a la complejidad de la configuración de los entornos numéricos. Es ampliamente utilizado en investigación y en la academia ya que las alternativas disponibles de CFD en el mercado, resultan bastante costosas.

Modelación CFD Del Flujo Bifásico En Estructuras Hidráulicas Mediante OpenFOAM. El análisis del comportamiento hidráulico dentro del pozo de inspección se sustenta en las ecuaciones de continuidad para flujo incompresible, principios ampliamente descritos en la literatura de dinámica de fluidos computacional. (Ferziger & Perić, 2002)

La continuidad exige que el campo de velocidades no presente acumulación de fluido, lo cual es coherente con el comportamiento del agua en estructuras cerradas y con caídas internas. Esta restricción fundamental se expresa mediante la condición:

$$\nabla \cdot U = 0$$

La evolución del campo de velocidades se describe a partir de la forma promediada de las ecuaciones de Navier–Stokes, que incorporan el efecto de la viscosidad molecular y de la turbulencia a través de una viscosidad efectiva. Esta formulación permite representar aceleraciones, pérdidas de energía por fricción, y la influencia directa de la gravedad sobre el chorro que cae dentro del pozo. (OpenFOAM Foundation, 2023)

$$\frac{\partial(\rho U)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U U) = -\nabla p + \nabla \cdot (\mu_{\text{eff}} \nabla U) + \rho g$$

Con:

$$\mu_{\text{eff}} = \mu + \mu_t$$

Donde μ_t es la viscosidad turbulenta asociada a los efectos de mezcla y recirculación.

Debido a la presencia de una superficie libre altamente deformable, el fenómeno se aborda como un flujo bifásico aire-agua. Para ello se emplea el método de Fracción de Volumen (VOF), que rastrea la posición de la interfaz mediante una variable α que identifica la fracción de agua en cada celda. (Hirt & Nichols, 1981)

Esto permite representar el impacto del chorro, la dispersión y la posible formación de remolinos dentro de la estructura. Su ecuación de transporte se expresa como:

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha U) + \nabla \cdot [\alpha(1 - \alpha)U_r] = 0$$

Donde U_r es una velocidad relativa artificial que ayuda a mantener una interfaz definida y reduce la difusión numérica en zonas con gradientes pronunciados.

Para mejorar la estabilidad numérica en problemas donde la gravedad tiene un papel dominante, OpenFOAM reformula el campo de presión separando el componente hidrostático. En lugar de resolver directamente para la presión total, utiliza una presión reducida que permite diferenciar las variaciones dinámicas generadas por el movimiento del flujo respecto al aporte gravitacional. La relación entre ambas presiones se expresa como:

$$p = p_{\text{rgh}} + \rho gh$$

Esta estrategia contribuye a obtener soluciones más estables en estructuras donde existen caídas verticales importantes.

El flujo en la cámara de caída presenta recirculación, impacto y gradientes fuertes, por lo que se emplea un modelo de turbulencia que pueda capturar estos fenómenos con adecuada robustez numérica. El modelo $k-\omega$ SST es una alternativa común en la simulación de flujos con superficies libres, ya que combina el buen desempeño del modelo $k-\omega$ cerca de las paredes y del modelo $k-\varepsilon$ en regiones alejadas. La ecuación de transporte para la energía cinética turbulenta k se escribe como:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho k U) = P_k - \beta^* \rho k \omega + \nabla \cdot [(\mu + \sigma_k \mu_t) \nabla k]$$

Esta ecuación representa el balance entre la producción, transporte y disipación de energía turbulenta producida por cizallamientos y cambios bruscos en la dirección del flujo.

La segunda variable del modelo, la frecuencia específica de disipación ω , controla la tasa a la cual se disipa la energía turbulenta hacia escalas menores. Su ecuación de transporte incluye términos de producción, disipación y difusión, y permite obtener la viscosidad turbulenta que se utiliza en la ecuación de cantidad de movimiento:

$$\frac{\partial(\rho \omega)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \omega U) = \alpha \frac{P_k}{\mu_t} - \beta \rho \omega^2 + \nabla \cdot [(\mu + \sigma_\omega \mu_t) \nabla \omega] + S_\omega$$

La resolución conjunta de las ecuaciones de k y ω permite cerrar el sistema matemático y representa de forma adecuada la disipación de energía y los patrones de mezcla característicos de las caídas internas.

Salome

Salomé es una plataforma modular de software libre orientada al preprocesamiento en ingeniería, utilizada para la construcción de geometrías, la generación de mallas y la preparación

de modelos numéricos para su posterior análisis. Su entorno integra herramientas CAD y de mallado que permiten definir sólidos con precisión, aplicar condiciones geométricas y exportar dominios en formatos compatibles con distintos solvers CFD y FEM. Gracias a su arquitectura basada en componentes y a su capacidad para manejar geometrías complejas, Salomé se ha consolidado como una herramienta ampliamente empleada en procesos de modelación avanzada. (EDF & OpenCascade, 2023).

Marco Legal

Para que la operación de los servicios de acueducto y alcantarillado en Colombia sea eficiente, es fundamental aplicar los lineamientos establecidos en la normativa colombiana vigente del sector de agua potable y saneamiento básico. Estas disposiciones deben observarse en su respectivo orden jerárquico, se establece que:

De acuerdo con la Constitución Política de Colombia (1991)

Se debe garantizar el derecho al acceso al agua y a un ambiente sano, resaltando la protección de los recursos hídricos y la salud pública. En su artículo 365, se establece que los servicios públicos, como el acueducto y el alcantarillado, son inherentes a la finalidad social del Estado y deben ser prestados por este, directa o indirectamente, por comunidades organizadas o por particulares (*Constitución Política de Colombia, 1991*).

La Ley 99 de 1993

Reorganizó las competencias ambientales y creó instrumentos para la gestión y protección del medio ambiente, crucial en proyectos que interfieren en los recursos hídricos. (*Ley 99 de 1993, s. f.*)

La Ley 142 de 1994

Se encarga de definir el régimen referente a la gestión de los servicios públicos domiciliarios, donde se establecen directrices en cuanto a la prestación del servicio de acueducto y alcantarillado. Donde se establecen las obligaciones de las empresas prestadoras, derechos de los usuarios y competencias de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (*Ley 142 de 1994, s. f.*)

El Decreto 1575 de 2007

Establece objetivos relacionados directamente con la protección de la calidad del agua, con el fin de monitorear, prevenir y controlar aquellos riesgos relacionados con la salud humana debido a su ingesta. (*Decreto 1575 de 2007, s. f.*)

El Decreto 3930 de 2010

Se establecen dictámenes en cuanto al uso de los recursos hídricos, el ordenamiento de los mismos y los vertimientos de estos, junto con el uso de suelo y la implementación de alcantarillados. (*Decreto 3930 de 2010, s. f.*)

La Resolución 2115 de 2007

Es la que establece los requisitos de calidad del agua para el consumo humano, junto con los criterios para el monitoreo y control de la misma. (*Decreto 1575 de 2007, s. f.*)

El Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico del 2017 (RAS)

Junto con aquellas resoluciones posteriores que la modifican, establece y especifica los criterios mínimos técnicos para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de acueducto y alcantarillado en Colombia. (*Resolución 330 de 2017, s. f.*)

La Resolución 0799 del 2021

Modifica la Resolución 330 de 2017, expedida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, misma que a su vez modifica el Reglamento Técnico de Agua y Saneamiento (RAS).(*Resolución 799 de 2021*, s. f.)

La Resolución 0548 de 2022

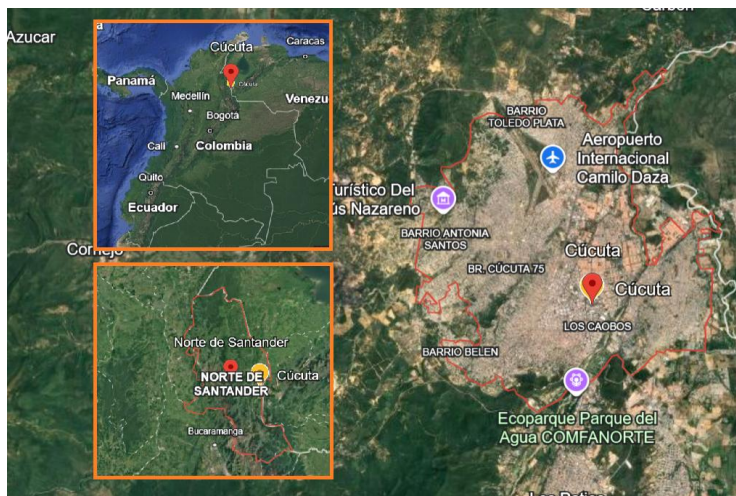
La cual adiciona indicaciones sobre la selección de alternativas referentes a la gestión eficiente de los recursos económicos. (*Resolución 548 de 2022*, s. f.)

Marco Contextual

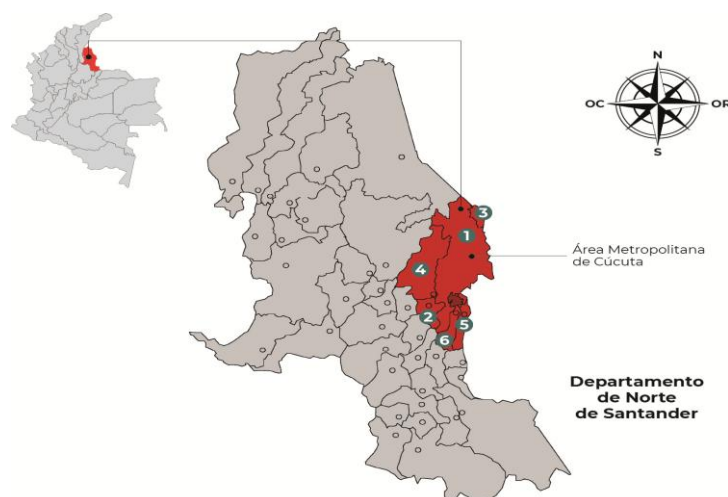
San José de Cúcuta es la capital de Norte de Santander (Colombia) y se ubica en el noreste del país. Fue fundada por Antonio Villamizar Pineda en 1773. Su clima es cálido y presenta una temperatura promedio de 28°C. Según la Cámara de Comercio de Cúcuta (s. f.), esta ciudad cuenta con un área de 1.176 km², de los cuales aproximadamente 64 km² corresponden al área urbana. La ciudad es atravesada por el río Pamplonita, y su ubicación estratégica la conecta con Bogotá, Bucaramanga y Venezuela.

Según las proyecciones del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2022), se estimó que la población para el año 2024 sería de 812.176 habitantes.

San José de Cúcuta limita geográficamente con el municipio de Tibú al norte, con San Cayetano y Bochalema al sur, con Venezuela y Puerto Santander al este, y al oeste con El Zulia, Villa del Rosario y Los Patios de acuerdo con la (Cámara de Comercio de Cúcuta, s. f.). Además, es el núcleo del Área Metropolitana de Cúcuta (AMC) que fue constituida en 1991, integrando los municipios de Cúcuta, Los Patios, Villa del Rosario, El Zulia, San Cayetano y Puerto Santander (AMC, s. f.).

Figura 2.*Localización Geográfica San José de Cúcuta*

Nota. Elaboración propia con base en capturas de Google Earth de la ciudad de Cúcuta, Norte de Santander (Google, 2025).

Figura 3.*Área Metropolitana de Cúcuta*

Nota. En la figura se presentan los municipios asociados a la AMC, siendo 1.San José de Cúcuta (Núcleo), 2. San Cayetano, 3. Puerto Santander, 4. El Zulia, 5. Villa de Rosario y 6. Los Patios.

Adaptado de la Asociación De Áreas Metropolitanas De Colombia (ASOAREAS, s. f.) Esta aglomeración urbana potencia el desarrollo económico y el crecimiento poblacional, se estima que la población de la AMC asciende a los 1, 2 millones de personas. Se presenta una gran diversidad cultural ligada a la integración colombo-venezolana. (AMC, s. f.)

Aguas Kpital Cúcuta S.A. E.S.P. es una empresa privada que fue constituida legalmente el 21 de abril de 2006 mediante la escritura pública No. 1.252 en la Notaría Tercera de Cúcuta. Está registrada con matrícula mercantil No. 00150449 y NIT 900.080.956-2. Mediante el contrato No. 030 de 2006, celebrado con la Empresa Industrial y Comercial de Cúcuta (E.I.S. Cúcuta E.S.P.), asumió la operación, ampliación, mantenimiento, rehabilitación y gestión comercial de los servicios de acueducto y alcantarillado en San José de Cúcuta, de acuerdo con lo establecido en el pliego de condiciones de la convocatoria 01-2005 del 18 de noviembre de 2005 (Superservicios, 2023).

Metodología

La metodología definida para este proyecto se estructuró en cinco fases, representadas en la Figura 4, las cuales integran el conjunto de procedimientos necesarios para alcanzar los objetivos planteados. Cada fase establece las actividades técnicas y los elementos de análisis, permitiendo una ejecución ordenada, trazable y coherente con las exigencias operativas del sistema de alcantarillado.

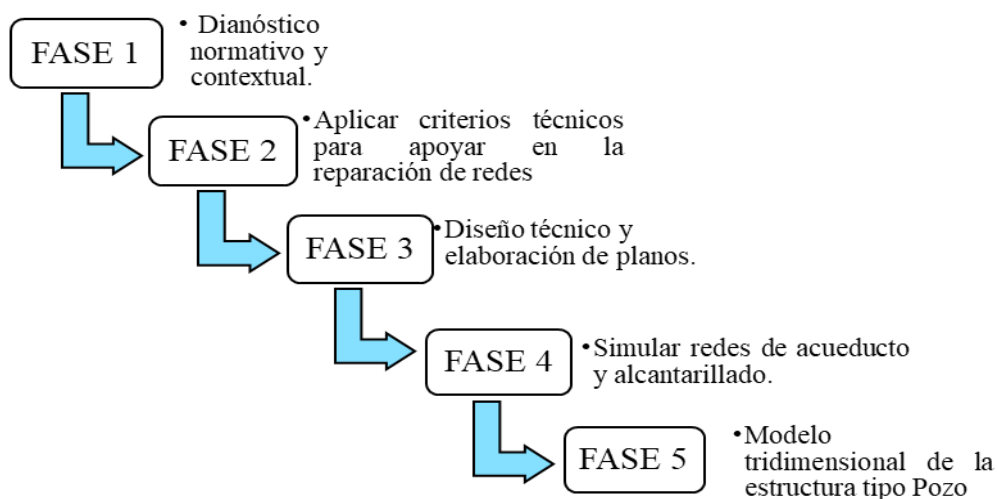
Desarrollo De La Metodología

La metodología propuesta para el desarrollo de la práctica empresarial como modalidad de trabajo de grado, se estableció para cinco fases, las cuales se observan en la Figura 4. Cada una de estas fases estuvo compuesta por diferentes actividades que permitieron cumplir con el desarrollo del proyecto.

Diagrama De La Metodología

Figura 4.

Diagrama de la Metodología



Nota. Diagrama de flujo que sintetiza las cinco fases metodológicas definidas para el desarrollo

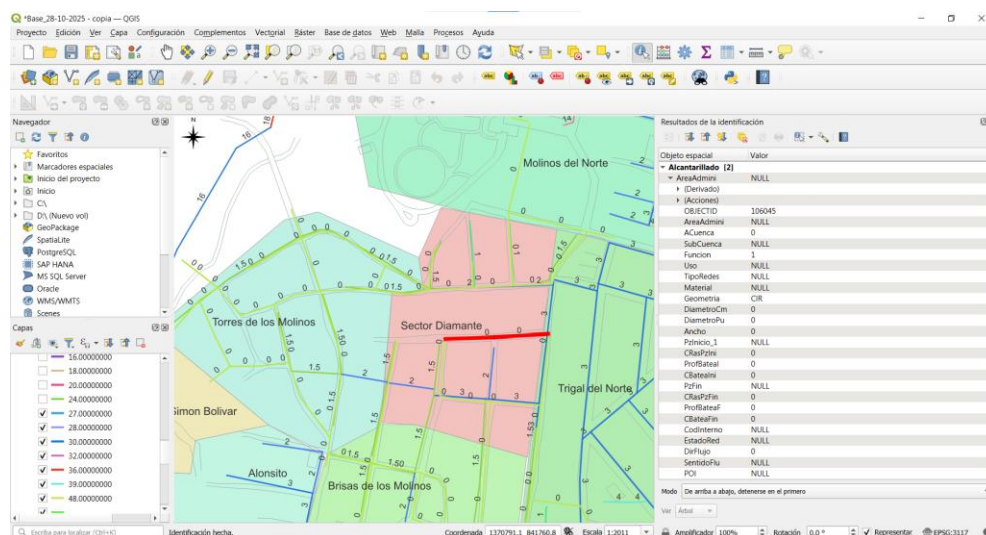
de la práctica empresarial, elaborado por el autor en Microsoft Word a partir de los objetivos, actividades y productos establecidos para el proyecto (Microsoft Corporation, 2021).

Fase 1: Diagnóstico Normativo Y Contextual

La empresa Aguas Kpital facilitó diferentes herramientas de estudio que permitieron realizar una revisión detallada de la normativa y de los criterios técnicos que se aplican según las necesidades de diseño. Gracias a la información facilitada por el equipo encargado del SIG fue posible comprender con mayor claridad el componente de redes de acueducto y alcantarillado disponible en la ciudad de Cúcuta, incluyendo su operabilidad, el estado actual de las tuberías y las zonas que cuentan con cobertura del sistema.

Figura 5.

Especificaciones Disponibles en la base de datos de QGIS

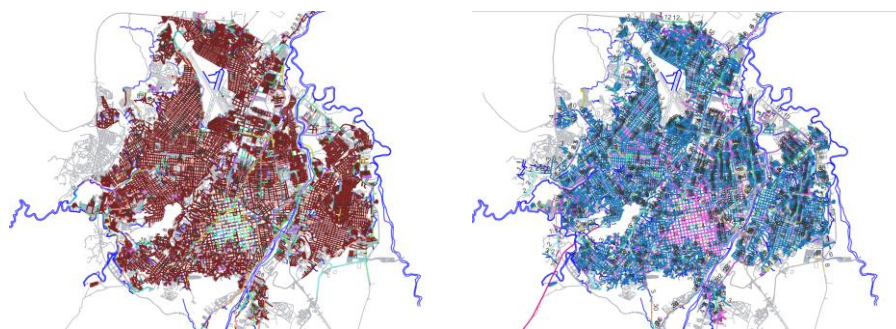


Nota. Base en GGIS donde se muestran las especificaciones disponibles en la base de datos de Aguas Kpital Cúcuta S.A. E.S.P., incluyendo información de tuberías, sectores hidráulicos, usuarios y barrios del sistema de acueducto y alcantarillado (QGIS Development Team, 2024).

Esta revisión también permitió identificar los tipos de obras que se han ejecutado en la ciudad y las características principales de cada una de estas intervenciones. Todo este análisis se apoyó en el software SIG QGIS, que facilitó la visualización de la infraestructura existente y la interpretación de los datos suministrados.

Figura 6.

Representación gráfica de las redes de acueducto y alcantarillado disponibles en el SIG.



Nota. Base de datos del sistema de acueducto y alcantarillado sanitario de la empresa AguasKpital Cúcuta, visualizado en el SIG de QGIS (QGIS Development Team, 2024).

Revisión Y Análisis De La Legislación Colombiana Vigente En Materia De Agua Potable Y Saneamiento Básico.

Esta actividad comprendió la recopilación de información referente al diseño, operación y evaluación de sistemas de acueducto y alcantarillado de acuerdo con los criterios técnicos y normativos. Para ello se analizaron el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), junto con documentos técnicos proporcionados por la empresa, que dictaminan aquellos procedimientos de diseño, las resoluciones nacionales relacionadas con criterios hidráulicos, sanitarios y constructivos, así como las normas que regulan la gestión de redes por parte de las empresas de servicios públicos.

Recolección De Información Documental Sobre El Estado Actual De Los Sistemas De Acueducto Y Alcantarillado Sanitario En La Ciudad De Cúcuta.

De acuerdo con la información disponible en el SIG, que es operado por la empresa de Aguas Kpital, Figura 8. Se pudo recopilar información referente a infraestructura y capacidad operativa de la empresa.

Figura 7.

Manuales implementados por Aguas Kpital



Nota. Compilación de las portadas de algunos manuales técnicos de fabricantes de tubería (Pavco, Gerfor y O-Tek) que Aguas Kpital Cúcuta S.A. E.S.P. implementa como referencia para el diseño, instalación y operación de redes de acueducto y alcantarillado. (Pavco Wavin, s. f)

Tabla 1.

Guías técnicas y manuales de diseño implementados como material teórico en aguas Kpital - Alcantarillado.

Nombre del documento	Contenido explorado	Aplicación en alcantarillado
Manual sanitario	Red sanitaria, caudales, pendientes, pozos.	Diseño de alcantarillado urbano.
Manual tubería enterrada	Compactación, tipos de	Instalación de redes sanitarias.

Nombre del documento	Contenido explorado	Aplicación en alcantarillado
octubre 16	instalación, deflexión.	
Manual infraestructura ts	Hidro sellos, conexiones a pozos, tubería estructural.	Compatibilidad tubo–pozo plástico.
Novacam baja	Cámaras de inspección 600 y 1000 mm, bases y conos.	Selección de pozos prefabricados AKC.
Pav grp tanques	Material GRP, resistencia y rigidez.	Colectores de gran diámetro.
Publication rib stell	Conexión tubería–pozo, materiales sellantes.	Conexión hermética a pozos.
Publication acdto unión mecánica	Uniones para tuberías sin presión.	Conexión de tuberías sanitarias.
Publication caakogo var	Variantes en tubería corrugada y conexiones.	Tipos estructurales de tubería plástica.
Publication alcant pared estructural	Análisis estructural de tubería de pared estructural.	Selección de tuberías rígidas o semirrígidas.
Manual para el diseño de tecnologías de	Cajas de visita, buzones, cámaras condominiales.	Tipos de pozos tradicionales de concreto.
Maestria camara de caida ayuda	Cámaras de caída: vórtice, bajante, escalonada, libre.	Diseño de caídas y modelación CFD.
Novas 2014	Clases de suelo I–V, soporte lateral, compactación.	Diseño de cama de apoyo.
Zinzanja 2	Excavación, rellenos, pendientes.	Obra civil del alcantarillado.
Tubería acero pared solida f	Diseño estructural de tubería metálica.	Redes especiales o profundas.
Manual tec tdp dic 2024	Tubería corrugada TDP.	Colectores sanitarios y pluviales.
Fluidos 1 a fluidos 7	Flujo a superficie libre, pérdidas y energía.	Dimensionamiento SWMM.
Hidráulica clase del 4mar2024	Flujo crítico, subcrítico, supercrítico.	Evaluación hidráulica en pozos y caídas.

Nota. Listado de algunos de los documentos de estudio proporcionados por aguas Kpital

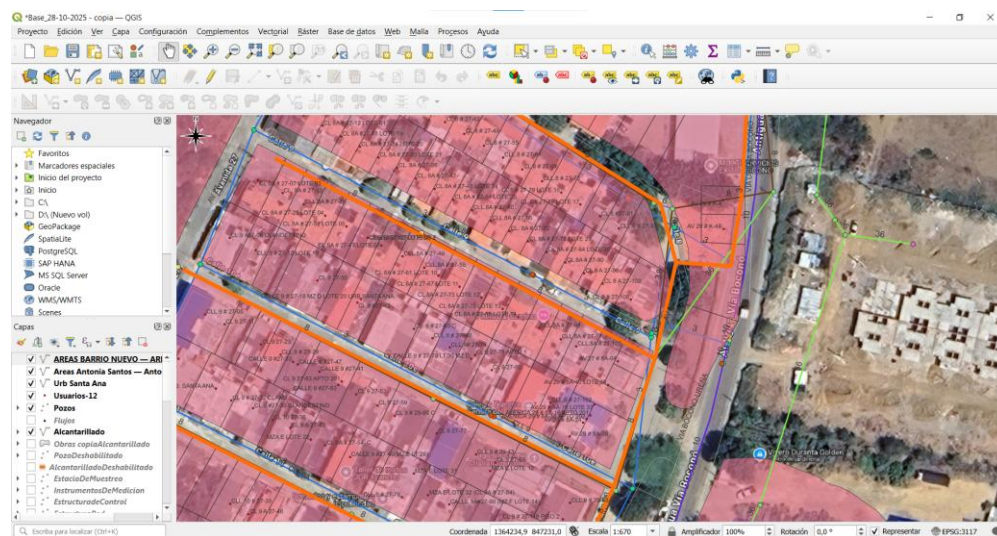
Fase 2: Aplicar Criterios Técnicos Para Apoyar En La Reparación De Redes

En esta fase el trabajo se enfocó en la revisión técnica de la información disponible sobre los tramos de acueducto y alcantarillado que presentaban inconsistencias o que requerían ajustes antes de programar la respectiva intervención. El aporte se centró en el análisis detallado de la red mediante el uso combinado del SIG, Google Earth, los planos suministrados por la empresa y las bases de datos en Excel.

El proceso consistió en verificar que la información coincidiera con las condiciones del entorno urbano y con la configuración de las tuberías reportadas (Figura 8). Se revisaron alineamientos, diámetros, localización exacta de las conexiones y posibles interferencias con andenes, viviendas o estructuras cercanas. Esta etapa permitió identificar errores de ubicación, desajustes entre capas de información y tramos que podían generar algún tipo de irregularidad durante el desarrollo de las obras.

Figura 8.

Visualización de la base de Datos en el SIG QGIS



Nota. Visualización en QGIS de la base de datos geográfica suministrada por Aguas Kpital Cúcuta S.A. E.S.P., en la que se integran las capas correspondientes a redes de acueducto y alcantarillado, usuarios, sectores y demás elementos asociados al sistema de saneamiento básico (QGIS Development Team, 2024).

La revisión sistemática de estos elementos facilitó la detección de detalles que, aunque pequeños, podían comprometer la claridad del diseño o generar dificultades en la ejecución. A partir de estas observaciones se propusieron ajustes puntuales en la representación de las, con el

fin de mejorar la precisión y asegurar que la información técnica estuviera alineada con las condiciones de la zona.

Fase 3: Diseño Técnico Y Elaboración De Planos

Durante esta fase se brindó apoyo técnico en la elaboración de planos de redes de acueducto y alcantarillado sanitario, implementando principalmente el software de diseño asistido AutoCAD. Los planos se desarrollaron conforme a las directrices técnicas establecidas por la empresa, garantizando el cumplimiento de normas de diseño, simbología, escalas y formatos requeridos. Esta fase es clave para representar de manera precisa la infraestructura proyectada o existente, y sirve como base para la ejecución de obras, licencias o intervenciones futuras. Además, contribuye a mejorar la documentación técnica del sistema.

Fase 4: Simulación De Redes De Acueducto Y Alcantarillado

En esta fase se elaboraron los modelos hidráulicos en EPANET y SWMM utilizando los datos técnicos disponibles de las redes. En EPANET principalmente, se verificó el cumplimiento de velocidades, presiones, velocidades y pérdidas en los tramos analizados, identificando sectores con baja velocidad y puntos donde la pérdida de carga resultaba elevada.

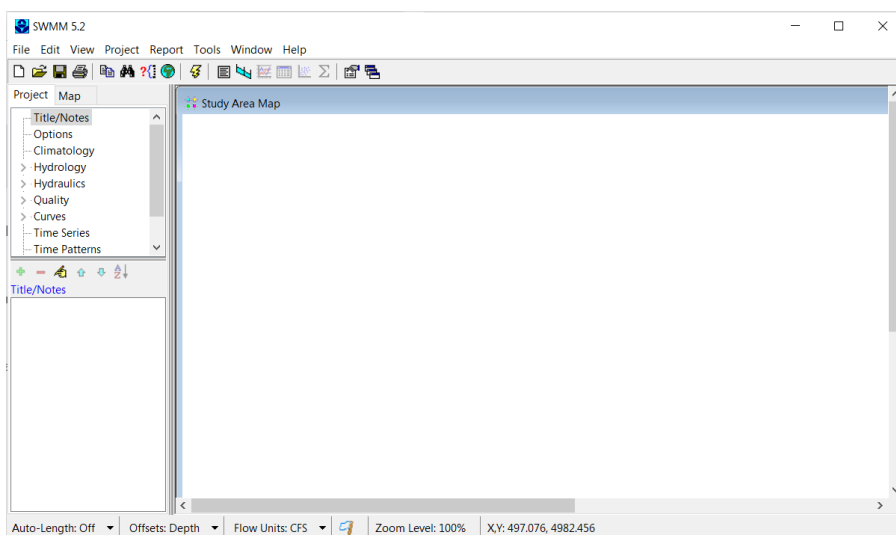
Para la elaboración del modelo hidráulico en EPANET, primero se seleccionó la información técnica correspondiente a diámetros, longitudes, cotas y materiales de la red de acueducto. Posteriormente, el trazado generado en AutoCAD fue exportado a EPACAD, desde donde se obtuvo la geometría inicial del sistema. Una vez importado el archivo en EPANET, se ajustaron los parámetros hidráulicos relacionados con demandas, elevaciones, rugosidades y conexiones entre nodos. Finalmente, se ejecutó la simulación para obtener los valores de caudal, presión y pérdidas de carga, verificando su coherencia con los criterios operativos establecidos por la empresa.

En SWMM se evaluó la capacidad hidráulica de los colectores y las pendientes críticas, lo que permitió detectar tramos con riesgo de sobrecarga o acumulación de aguas residuales.

Los resultados obtenidos proporcionaron una visualización técnica del desempeño general de ambas redes y permitieron definir ajustes y recomendaciones puntuales orientadas a mejorar su operación y priorizar intervenciones.

Figura 9.

Interfaz gráfica de EPA SWMM



Nota. Interfaz gráfica del software EPA SWMM, en la que se observa la estructura básica del modelo de alcantarillado sanitario, utilizada como entorno de trabajo para la simulación hidráulica de las redes evaluadas en este proyecto (U.S. Environmental Protection Agency, 2000).

En el caso del modelado en EPA SWMM, el trazado del sistema de alcantarillado fue exportado con ayuda del cuadro de diseño de acueducto de EPM (Figura 10), manteniendo las especificaciones y geometría del proyecto. A continuación, se verificaron las cotas asociadas a las elevaciones de los nodos y pendientes de las conducciones. Una vez revisada la información

altimétrica, se ubicaron los componentes del sistema, incluyendo diámetros, materiales, pozos y aportes de caudal. Finalmente, se ejecutó la simulación para obtener perfiles hidráulicos, niveles de lámina y velocidades, con el fin de identificar posibles sobrecargas o inconsistencias en el comportamiento del sistema.

Figura 10.

Macro en Excel de EPM para exportar a EPA SWMM.

Nota. Hoja de cálculo de Microsoft Excel correspondiente a la macro desarrollada por EPM para organizar los datos de diseño de alcantarillado sanitario y exportarlos en formato de entrada (.inp) compatible con EPA SWMM, lo que facilita la transición entre el entorno de hoja de cálculo y el software de modelación hidráulica (Microsoft Corporation, s. f).

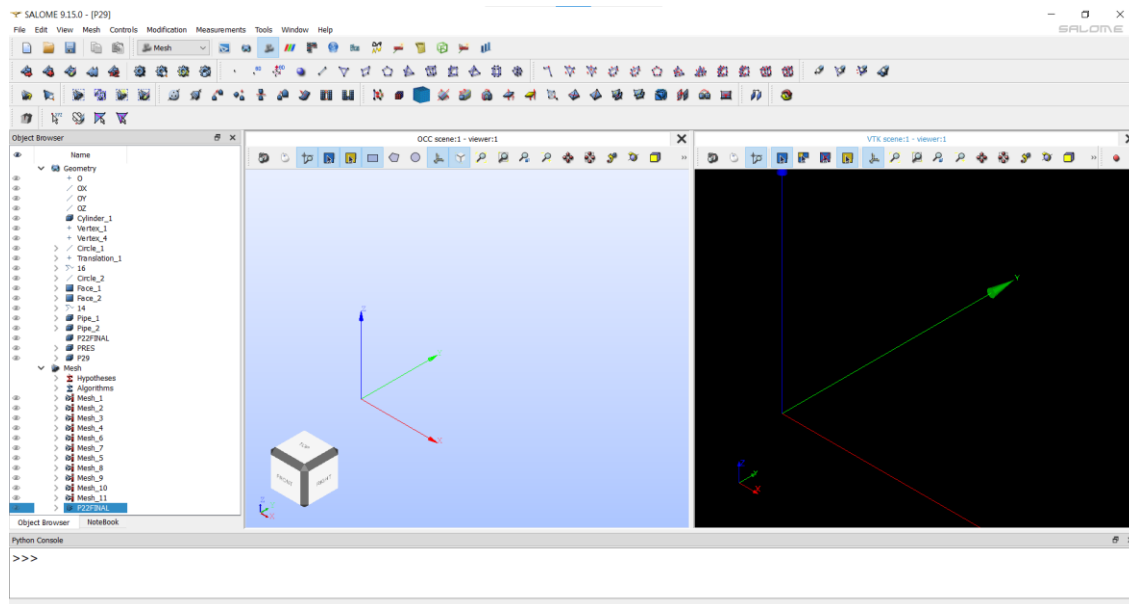
Este documento permite optimizar el proceso de diseño en EPA SWMM, dado que una vez desarrollada la digitación manual o mediante la importación de otros libros de Excel, se pueden configurar los diferentes datos de diseño y exportar un modelo en INP, con cada uno de sus parámetros precisamente ubicados.

Fase 5: Modelado Tridimensional De Estructura Tipo Pozo De Inspección En Openfoam

Se realizó una revisión minuciosa de las estructuras tipo pozo de inspección con el propósito de identificar aquella que presentara la condición hidráulica más crítica. Para ello se examinaron los pozos con caídas superiores a 0.75 m y se contrastaron sus cotas mediante la verificación de los perfiles del trazado y los resultados obtenidos en la simulación de EPA SWMM. A partir de este análisis se seleccionó el pozo que registró la mayor altura de caída, convirtiéndose en el candidato para el modelado tridimensional y la posterior evaluación hidráulica.

En esta fase se construyó el modelo tridimensional de diferentes estructuras tipo pozo de inspección, con el fin de examinar su comportamiento de acuerdo con como varía la altura de caída, además se tomó en cuenta uno de los pozos más críticos de los diseños desarrollados, con el fin de analizar gráficamente su comportamiento hidráulico en las condiciones más críticas, este modelo se basó en los parámetros geométricos e hidráulicos fundamentales para representar su comportamiento interno. Para ello se recopilaron las cotas de instalación de las tuberías, sus diámetros, los caudales de entrada, las velocidades estimadas de ingreso, la rugosidad de los materiales involucrados (PVC y concreto), el diámetro y altura general del cuerpo del pozo.

Para desarrollar el modelado tridimensional se empleó SALOME, una herramienta de diseño que permite construir geometrías de forma precisa y configurar las condiciones de mallado necesarias para la simulación CFD. Este software ofrece un flujo de trabajo dinámico mediante módulos especializados para la creación de sólidos y la generación de mallas, aunque requiere especial cuidado en la definición de detalles paramétricos, la continuidad de las superficies y la asignación de volúmenes, aspectos fundamentales para garantizar que el modelo pueda exportarse sin errores y ser interpretado adecuadamente por OpenFOAM.

Figura 11.*Entorno Gráfico de Salome*

Nota. Entorno gráfico del software SALOME, empleado como plataforma de preprocesamiento para la construcción de la geometría tridimensional y la generación de la malla del pozo de inspección modelado mediante dinámica de fluidos computacional (CFD) (SALOME Platform, 2023).

La geometría del pozo fue elaborada en SALOME, donde se definieron los sólidos que componen la estructura: entrada (inlet), volumen interno, base del pozo y tubería de descarga(outlet) (Ver **Figura 78**).

Estructura General De Los Ficheros Del Caso CFD En Openfoam

Para ejecutar una simulación CFD con *interFoam* a partir de una malla exportada desde SALOME en formato .unv, OpenFOAM organiza el caso en tres carpetas principales: **0/**, **constant/** y **system/**. Cada una cumple una función específica dentro del modelo numérico y

contiene los archivos necesarios para representar la física del flujo, la malla y la configuración de los solvers.

La herramienta `ideasUnvToFoam` es la encargada de convertir la malla `.unv` y generar la estructura base del caso.

- Carpeta 0

Esta carpeta almacena los archivos que definen el estado inicial de cada variable y las condiciones de frontera aplicadas en los dominios de entrada, salida y paredes. Es el punto de partida para la simulación.

- Variables típicas incluidas:
- `U`: campo de velocidades.
- `p_rgh`: presión dinámica (usada en flujos con gravedad).
- `alpha.water`: fracciones volumétricas para el modelo bifásico.
- `k`; energía cinética.
- `omega`: frecuencia específica del modelo $k-\omega$.
- `nut`: viscosidad turbulenta.
- Epsilon: solo si se usa $k-\epsilon$.

Estas condiciones determinan cómo entra el agua al pozo, cómo se comporta la superficie libre y cómo inicia la turbulencia.

- Carpeta `constant`: Propiedades físicas y malla:

Contiene todos los archivos relacionados con la física del modelo y la malla generada.

- Carpeta `polyMesh`:

Generado automáticamente por `ideasUnvToFoam`. Incluye:

- `Points`: coordenadas de los nodos.

- Faces: caras que conforman la malla.
- Owner y Neighbour: relaciones entre celdas.
- Boundary: definición de patches (inlet, outlet, paredes, etc.)

Archivos físicos del modelo.

- TransportProperties: viscosidad y densidad de agua y aire
- TurbulenceProperties: modelo turbulento seleccionado, en este caso k- ω SST
- g: Aceleración de la gravedad
- Carpeta system: Configuración numérica y control de la simulación.

Define los aspectos matemáticos y temporales del cálculo. Archivos principales:

- controlDict

Controla: tiempo inicial y final, paso de tiempo (Δt), ajuste automático de Δt , número máximo de Courant, intervalos de escritura.

Es la sección donde se garantiza la estabilidad de la simulación.

- fvSchemes

Define los esquemas numéricos utilizados para: gradientes, divergencias, laplacianos, interpolaciones, discretización temporal

Controla la precisión y estabilidad del método.

- **fvSolution**

Contiene: solver para presión, velocidad, turbulencia y fracción volumétrica y permite resolver el sistema de ecuaciones de Navier Stokes y la ecuación de transporte de la interfaz agua-aire.

Para el desarrollo del modelado, los componentes del código deben ubicarse en diferentes ficheros e ir configurando sus parámetros de acuerdo con las necesidades de la aplicación.

Una vez generado el dominio tridimensional, se definieron las condiciones iniciales mediante `setFields`, asignando la distribución inicial del fluido mediante α -water (fase líquida) y aire (fase gaseosa). Finalmente, el modelo se resolvió empleando el solver `interFoam`, adecuado para resolver simulaciones bifásicas no estacionarias con superficie libre. De modo que se pudo obtener campos transitorios de velocidad, presión y distribución de fases, fundamentales para el análisis del comportamiento hidráulico del pozo sin cámara de caída.

Resultados

De acuerdo con los objetivos propuestos, se presentan los diferentes resultados obtenidos de acuerdo con el desarrollo de la metodología establecida.

Objetivo 1.

“Realizar una revisión bibliográfica y normativa con el fin de conocer las variables hidráulicas y parámetros establecidos para el diseño y modelamiento de redes de acueducto y alcantarillado sanitario.”

En la Tabla 2. y Tabla 3. se recopila el cuadro resumen de la normatividad colombiana vigente relacionada con sistemas de acueducto y alcantarillado, todo esto según los requisitos que se establecen en el reglamento de Saneamiento Básico RAS y la resolución 0330 del 2017 como modificaría de esta normativa, junto con la Res. 799 de 2021 que la modifica.

Tabla 2.

Cuadro resumen Normatividad Colombia aplicada en sistemas de Acueducto.

Norma	Artículo / Sección	Contenido Relevante
Resolución 0330 de 2017 (RAS adoptado, modificado por Res. 799/2021)	Título B – Cap. 3 – Fuentes de abastecimiento	Criterios para selección de fuentes considerando calidad, cantidad y protección ambiental.
RAS – Título B	Capítulos 4 y 5 – Captación superficial y subterránea	Diseño y construcción de bocatomas, pozos, estaciones de bombeo y protección sanitaria.
RAS – Título B	Cap. tratamiento de agua potable	Parámetros de potabilización, procesos mínimos, calidad del agua y selección de unidades.
RAS – Título B	Cap. 7 – Redes de distribución	Límites de presión, velocidades, materiales permitidos, diámetros, sectorización y válvulas.
RAS – Título B	Cap. 9 – Tanques de almacenamiento	Diseño hidráulico y estructural, tiempos de compensación y preservación de la calidad del agua.
Resolución 0330 de 2017	Art. 40 – Horizonte de diseño	Establece el periodo de diseño para sistemas de acueducto y alcantarillado.
Resolución 0330 de 2017	Art. 43 – Dotación neta máxima	Define la dotación en función de la altura sobre el nivel del mar y condiciones locales.
Resolución 0330 de 2017	Art. 44 – Dotación bruta	Cálculo de dotación bruta integrando pérdidas admisibles en redes.
Resolución 0330 de 2017	Art. 47 – Caudales de diseño	Definición de caudales medios, máximos y factores de variación de la demanda.
Resolución 0330 de 2017	Art. 45 – Selección de materiales	Criterios técnicos para escoger tuberías: durabilidad, resistencia, calidad del agua y suelos.

Nota. Esta tabla, presenta un resumen de algunos de los componentes más representativos de acuerdo con las principales secciones de la normatividad colombiana.

Tabla 3.

Cuadro resumen Normatividad Colombiana aplicada en sistemas de alcantarillado.

Norma	Artículo / Sección	Contenido Relevante
RAS – Título D (2016, adoptado por Res. 0330 de 2017)	Cap. 2 – Aspectos comunes	Requisitos previos: estudios, diagnóstico, alternativas y criterios generales para sistemas de alcantarillado.
RAS – Título D	Cap. 3 – Redes de alcantarillado	Diseño de caudales domésticos, industriales, infiltraciones y contribuciones erradas.
RAS – Título D	Cap. 6 – Hidráulica de alcantarillado	Velocidades mínimas y máximas, pendientes, autolimpieza y control de sedimentación/erosión.
RAS – Título D	Cap. 7 – Estructuras complementarias	Pozos de inspección, cámaras, materiales y criterios de diseño para durabilidad.
Resolución 0330 de 2017	Título 2 – Cap. 4 – Sec. 1 – Recolección y evacuación	Protocolos de diseño, planos, memoria, requisitos técnicos para sistemas residuales y pluviales.
Resolución 0330 de 2017	Art. 134 – Caudal de aguas residuales	Definición de caudales según consumos, densidades y horizonte de diseño.
Resolución 0330 de 2017	Art. 135 – Caudal de aguas lluvias	Periodo de retorno, intensidad, área tributaria, cobertura y tiempo de concentración.
Resolución 0330 de 2017	Art. 137 – Diseño y modelación hidráulica	Especificaciones para modelación de redes residuales y pluviales.
Resolución 0330 de 2017	Arts. 138–139 – Localización de redes	Profundidades mínimas, distancias, cruces, alineación y trazado.
Resolución 0330 de 2017	Cap. 4 – Sec. 5 – Estructuras complementarias	Pozos, sumideros, aliviaderos, disipadores, estaciones de bombeo y sifones invertidos.
Resolución 0330 de 2017	Cap. 4 – Sec. 6 – Operación y mantenimiento	Inspección, registros, gestión operativa, eficiencia, manuales y control de riesgos.

Nota. Esta tabla, presenta un resumen de algunos de los componentes más representativos de acuerdo con las principales secciones de la normatividad colombiana.

Para el desarrollo de los diseños, el equipo técnico de aguas Kpital implementa soluciones a las necesidades de sus proyectos, siguiendo lineamientos técnicos establecidos en normativas, manuales elaborados por empresas de alto prestigio como Pavco, Durman, O-Tek.

Junto con la experiencia empírica que los ha llevado a perfeccionar sus diseños y aplicar soluciones efectivas que se adecuan a las necesidades del sector o la zona de diseño.

Figura 12.

Material de apoyo proporcionado por aguas Kpital.



Nota. Diapositiva de una presentación elaborada en Microsoft PowerPoint por la Oficina de Estudios y Diseños de Aguas Kpital Cúcuta S.A. E.S.P., en la que se sintetizan los avances y el estado de cumplimiento del contrato durante el periodo de ejecución de las obras (Microsoft Corporation, 2021).

El sistema de acueducto y alcantarillado de Cúcuta ha evolucionado de modo que integra captaciones en el Pamplonita y Zulía, permitiendo una oferta conjunta cercana a 2,6 m³/s y reforzada por la captación de contingencia desde Termotasajero. La ampliación de aducciones, la optimización de la PTAP El Pórtico y la instalación de nuevas líneas de conducción han mejorado la capacidad de tratamiento y distribución, logrando una infraestructura más estable frente a variaciones de caudal y demanda urbana.

Desde junio de 2006 a junio de 2025 se han instalado más de 587 km de redes de acueducto.

A pesar de estos avances, el sistema mantiene limitaciones estructurales. La dependencia de Pamplonita, que aporta más del 70% del caudal, constituye un riesgo en eventos de contaminación o fallas aguas arriba. El Índice de Agua No Contabilizada, aunque reducido al 42%, evidencia pérdidas reales y aparentes en redes que aún contienen tramos antiguos. Asimismo, el manual de operación de válvulas, lecturas en campo y calibración de equipos introducen márgenes de error que pueden oscilar entre 5% y 10%, afectando la precisión de las decisiones operativas.

El sistema de almacenamiento de la ciudad, lo conforman veintiún (21) tanques de almacenamiento y compensación con una capacidad total de 46.753 m³, de los cuales 33.622,57 m³ se localizan en el sistema de distribución del Río Pamplonita y 13.130,43 m³ en el sistema Río Zulia.

En alcantarillado, la red de más de 1.200 km presenta predominio de tuberías en gres, con vulnerabilidad a infiltraciones y deterioro estructural, lo que justifica las inversiones ejecutadas desde 2006 en ampliación y reposición de colectores. Alrededor de 256.085 km de colectores, ampliando y renovando un total de 235.955 km de tubería.

Objetivo 2.

“Diseñar redes de acueducto y alcantarillado sanitario asignadas, con el propósito de contribuir al mejoramiento continuo y sostenible del servicio de saneamiento básico.”

Se desarrolló un proceso de revisión técnica de los tramos a diseñar de acueducto y alcantarillado, para revisar si se presentó alguna inconsistencia de acuerdo con la información existente en dichas zonas. Principalmente el aporte como auxiliar de ingeniería consistió en hacer revisiones a los diseños desarrollados previamente por los ingenieros a cargo y verificar que no se presentara alguna inconsistencia.

El análisis se realizó mediante la integración de herramientas SIG, imágenes satelitales, planos récord. y bases de datos internas, lo que permitió detectar desviaciones en la ubicación de las redes, desajustes entre capas de información, conexiones domiciliarias no registradas y posibles interferencias con andenes o estructuras cercanas. La identificación temprana de estas inconsistencias permitió proponer ajustes técnicos puntuales, mejorar la precisión de los planos y reducir el riesgo de errores constructivos durante las obras de rehabilitación o ampliación del sistema.

Reposición De Red Matriz De Acueducto Y Alcantarillado Barrio Nuevo

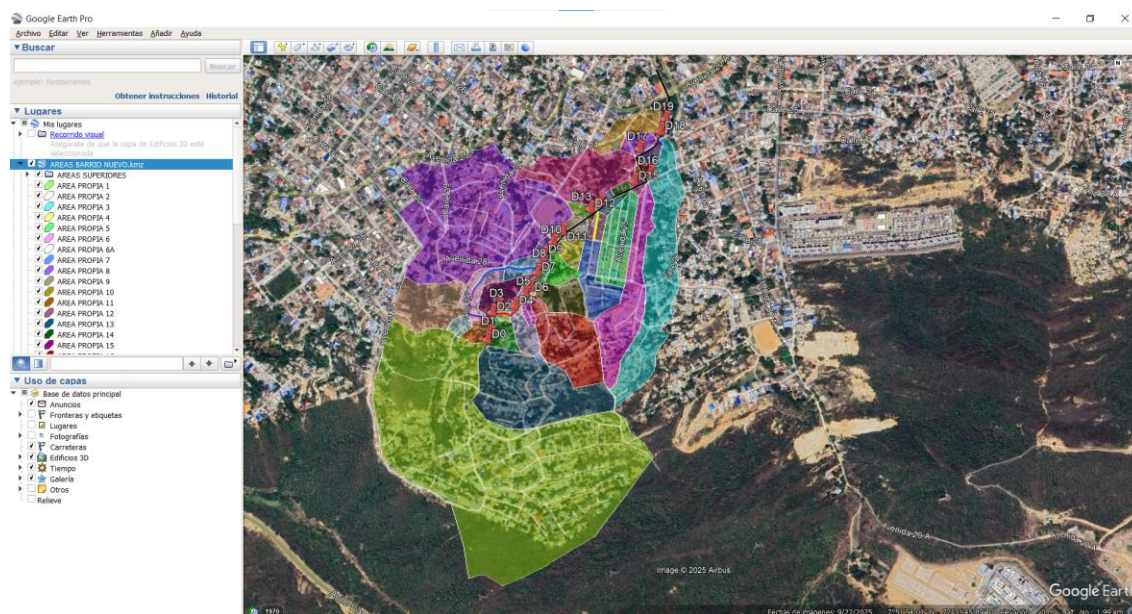
En el corredor de estudio del Barrio Nuevo, localizado entre la Avenida 22 con Canal Bogotá, Avenida 20ª, Calle 25, Avenidas 24 y 30 y Calle 26, se identificó un colector de alcantarillado sanitario compuesto por tuberías de gres de Ø8", Ø10" y Ø16", el cual presenta un avanzado nivel de deterioro. Durante la revisión en SIG y la inspección documental se determinó que se presentaban desbordamientos hacia la calzada incluso en tiempo seco, taponamientos recurrentes y el ingreso de material de arrastre debido a conexiones erradas y vertimientos de residuos por parte de la comunidad. Estas condiciones confirman la pérdida de capacidad hidráulica y la necesidad de reposición de la infraestructura.

En cuanto a la red de acueducto, los tramos evaluados están conformados principalmente por tuberías de Ø3" en asbesto-cemento, actualmente afectadas por fugas no visibles y daños estructurales frecuentes. Se identificaron además segmentos en Ø2" PVC, que, si bien se encuentran operativos, Aguas Kpital opta por la instalación de tuberías de Ø3" PVC, para evitar pérdidas de carga. Adicionalmente, se confirmó la presencia de tramos en Ø3" PVC y Ø20" GRP en buen estado operativo.

El análisis conjunto permitió identificar la necesidad de reposición integral de las redes de acueducto y alcantarillado del sector, con el fin de mejorar su desempeño hidráulico y disminuir los eventos de falla reportados por los usuarios. De acuerdo con los diseños revisados, se proyecta la reposición mediante tuberías en diámetros de 3", 4", 12", 16", 20" y 24" en PVC, conforme a los lineamientos técnicos definidos por el equipo de ingeniería de Aguas Kpital Cúcuta.

Figura 13.

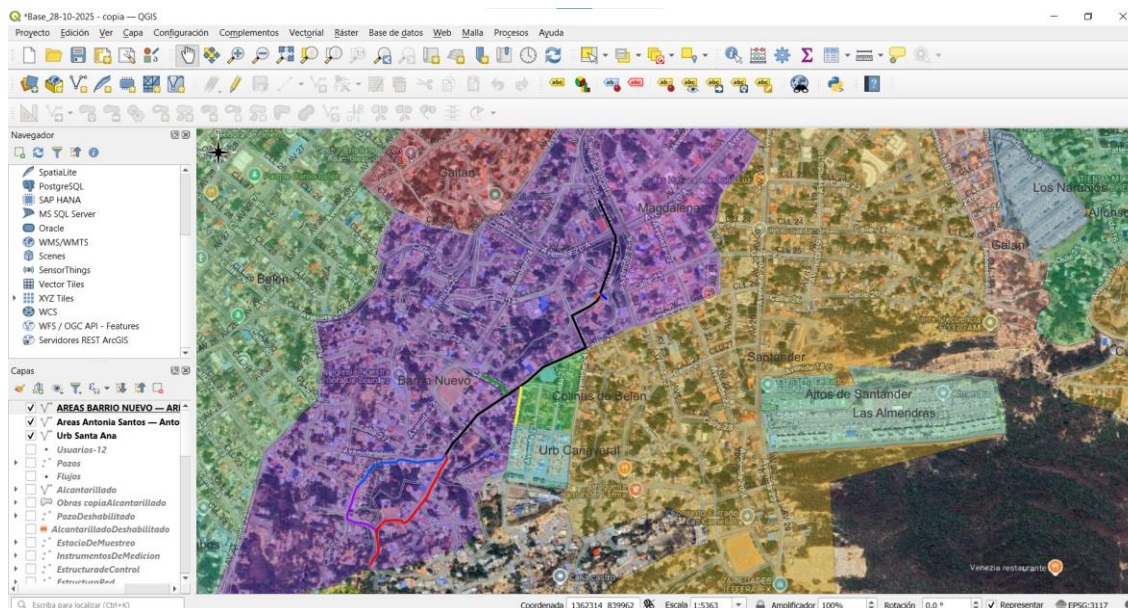
Ubicación de la zona de diseño en el Barrio Nuevo



Nota. Localización cartográfica de la zona de diseño en el Barrio Nuevo, donde se observa la distribución de los polígonos definidos para la posterior identificación de las áreas aferentes al sistema de acueducto y alcantarillado, elaborada en el sistema de información geográfica Google Earth (Google, 2025)

Figura 14.

Visualización de la zona de diseño en Qgis.



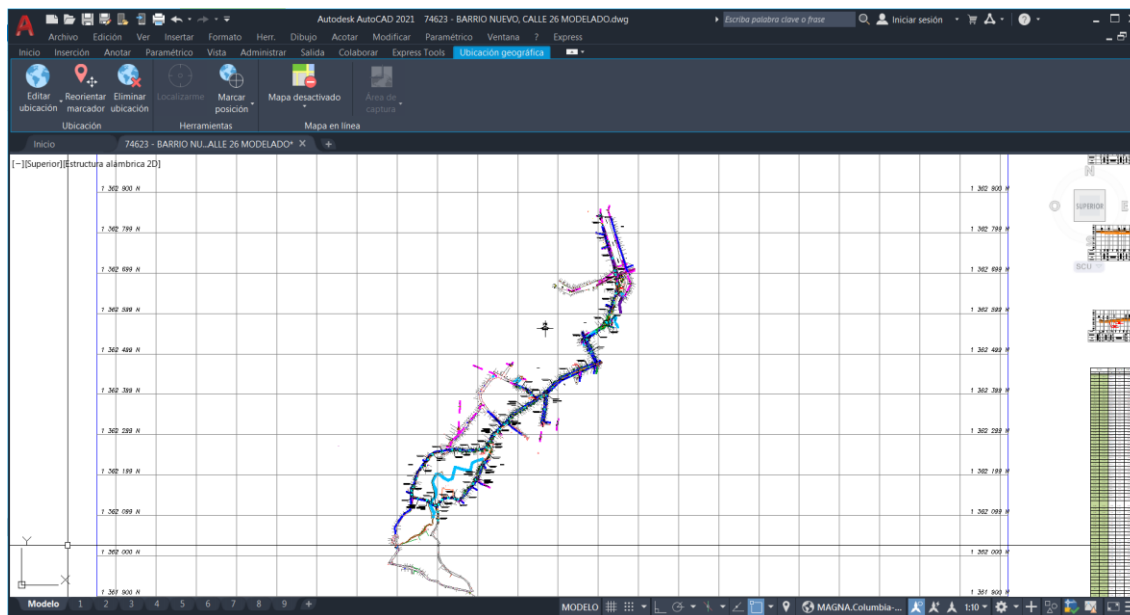
Nota. Figura tomada de la base de datos del SIG, donde se ubicó el trazado para verificar la ubicación de usuarios, tuberías y detalles registrados en el sistema.”

Nota propuesta en APA: “Nota. Visualización en QGIS de la zona de diseño correspondiente al Barrio Nuevo, obtenida a partir de la base de datos del SIG de Aguas Kpital Cúcuta S.A. E.S.P., donde se representa el trazado de la red y se verifica la ubicación de usuarios, tuberías y demás detalles espaciales registrados en el sistema (QGIS Development Team, 2024).

Se diseñó la reposición de la red de acueducto en tubería PVC RDE 21 Ø3” y la renovación de la red de alcantarillado sanitario en tubería en PVC DE Ø8”, Ø10”, Ø14” y Ø16”, abarcando la Avenida 22 Con Canal Bogotá Y Avenida 20ª; Calle 25 Entre Avenidas 20ª Y 24; Avenida 24 Entre Calles 25 Y 26; Calle 26 Entre Avenidas 24 Y 30; Calle 25 Con Avenida 30; Calle 22 Con Calle 26; Avenida 26 Con Calle 26, De Barrio Nuevo.

Figura 15.

Modelado en AutoCAD de la Red de Acueducto y Alcantarillado en Barrio Nuevo



Nota. Plano generado en AutoCAD que muestra el modelado de la red de acueducto y alcantarillado del Barrio Nuevo, en el cual se plantea la reposición de la red de acueducto en tubería PVC Ø3" y de la red de alcantarillado sanitario en tuberías PVC Ø8", Ø10", Ø14" y Ø16", incluyendo las domiciliarias y los accesorios necesarios para la conexión de los usuarios (Autodesk, s. f.)

Reposición De Red Matriz De Acueducto Y Alcantarillado Urbanización Santa Ana

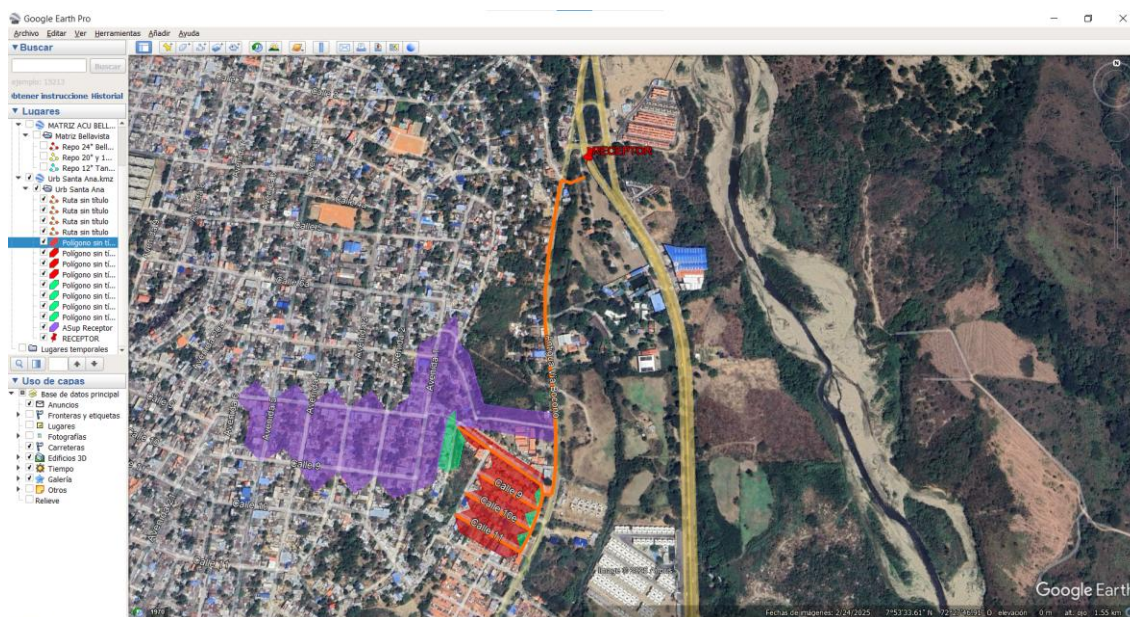
En el sector comprendido por las Calles 8ª, 9 y 9ª entre las Avenidas 27 y 28, así como en la Calle 8 entre las Avenidas 26ª y 28, la Avenida 27, la Avenida 28 entre Calle 8 y 9ª, la Urbanización Santa Ana y la antigua vía Boconó, se identificó una red de alcantarillado sanitario conformada por tubería de gres Ø8", esta red presenta un deterioro significativo que afecta su funcionamiento. Entre las problemáticas registradas se encuentran fisuras longitudinales, taponamientos por material de arrastre y obstrucciones en los pozos generadas por la intrusión y

el crecimiento de raíces provenientes de árboles cercanos. Estas condiciones evidencian pérdida de capacidad hidráulica y riesgo de fallas recurrentes, por lo que se proyecta la reposición del sistema para garantizar la adecuada conducción de las aguas residuales.

En cuanto al sistema de acueducto, se identificaron tuberías en Ø2" PVC, que, si bien se encuentran operativos, Aguas Kpital opta por la instalación de tuberías de Ø3" PVC, para evitar pérdidas de carga. Asimismo, se identificaron tramos en tubería Ø3" en asbesto-cemento (AC) con deterioro acumulado, pérdidas imperceptibles y fallas frecuentes en uniones y acometidas.

Figura 16.

Ubicación de la zona de diseño en la urbanización Santa Ana.



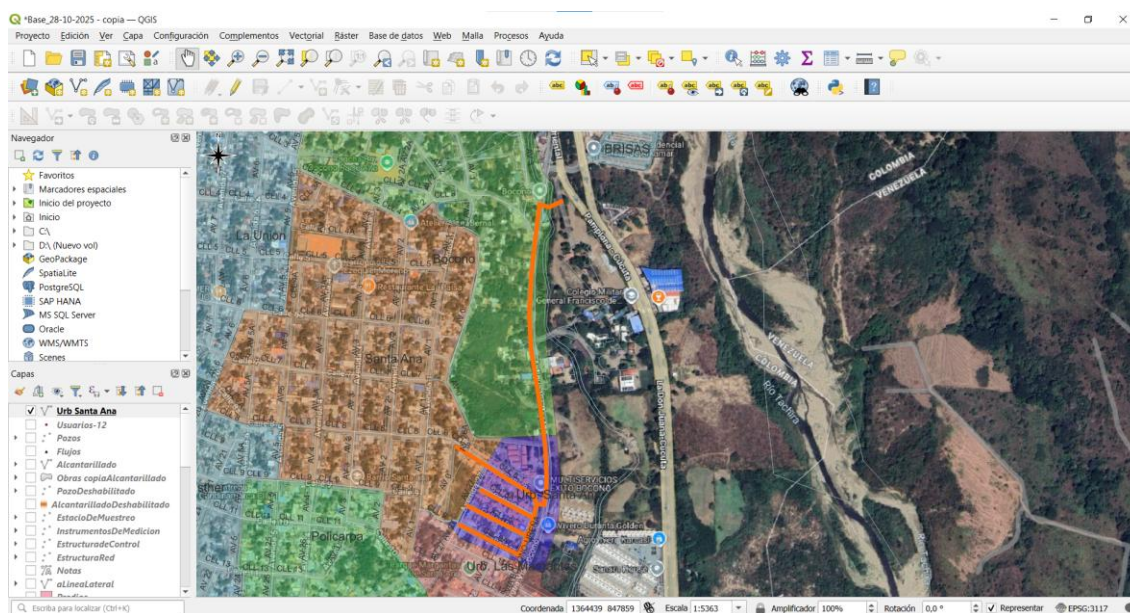
Nota. En la figura, se observa la localización y distribución de los poligonos para la posterior identificación de las areas aferentes. Google Earth (Google, 2025)

Estas condiciones afectan la continuidad del servicio, reducen la eficiencia hidráulica y aumentan la probabilidad de fugas no visibles. Por ello, se contempla la reposición de la red de

acueducto, con el fin de mejorar la confiabilidad del sistema, optimizar la presión disponible y asegurar una adecuada distribución del recurso hídrico en la comunidad del sector intervenido.

Figura 17.

Visualización de la zona de diseño en Qgis.



Nota. Visualización en QGIS de la zona de diseño correspondiente a la urbanización Santa Ana, obtenida a partir de la base de datos del SIG de Aguas Kpital Cúcuta S.A. E.S.P., en la que se verifica el trazado de la red y la ubicación de usuarios, tuberías y demás detalles registrados en el sistema de información geográfica (QGIS Development Team, 2024).

En este proceso se diseñó la reposición de la red de acueducto en tubería PVC RDE 21 Ø3" y la renovación de la red de alcantarillado sanitario en tubería PVC Ø8", abarcando las Calles 8ª, 9 y 9ª entre Avenidas 27 y 28; la Calle 8 entre Avenidas 26ª y 28; así como la Avenida 27 y la Avenida 28 entre las Calles 8 y 9ª, incluyendo el tramo correspondiente a la Urbanización Santa Ana y la antigua vía Boconó entre esta urbanización y la Avenida 0.

Figura 18.

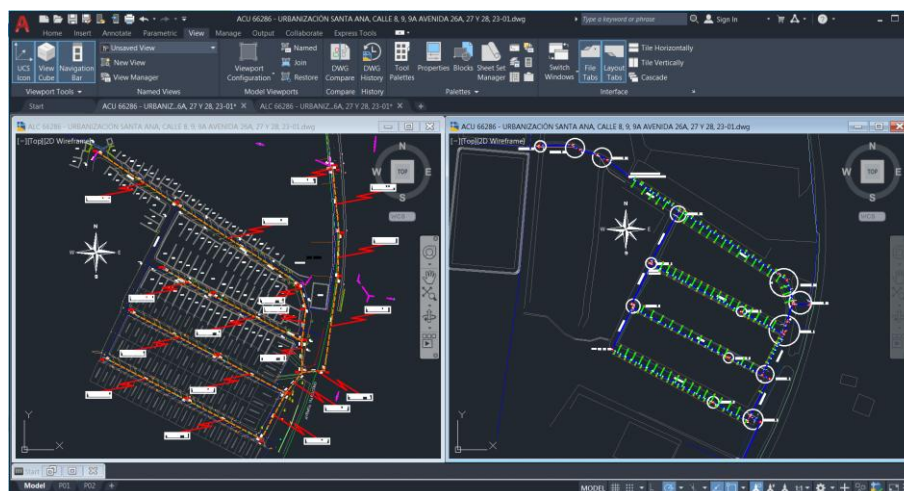
Cuadro resumen del diseño de Alcantarillado Sanitario.

AGUAS KPTAL CÚCUTA S.A. E.S.P.											AGUAS KPTAL CÚCUTA S.A. E.S.P.												
DISEÑO RED ALCANTARILLADO SANITARIO											DISEÑO RED ALCANTARILLADO SANITARIO												
CUADRO Nº 7											CUADRO Nº 8												
COLECTOR ALCANTARILLADO SANITARIO											COLECTOR ALCANTARILLADO SANITARIO												
PROYECTO: 66286 - URBANIZACIÓN SANTA ANA, CALLE 8, 9, 9A AVENIDA 26A, 27 Y 28, 23-01											PROYECTO: 66286 - URBANIZACIÓN SANTA ANA, CALLE 8, 9, 9A AVENIDA 26A, 27 Y 28, 23-01												
UBICACIÓN: Calles 8A, 9, 9A entre Avenidas 27 y 28, Calle 8 entre Avenidas 26A y 28, Avenida 27 y Avenida 28 entre Calle 8 y 9A Urbanización Santa Ana, Antigua Via Boconó entre Urb Santa Ana y Av 0											UBICACIÓN: Calles 8A, 9, 9A entre Avenidas 27 y 28, Calle 8 entre Avenidas 26A y 28, Avenida 27 y Avenida 28 entre Calle 8 y 9A Urbanización Santa Ana, Antigua Via Boconó entre Urb Santa Ana y Av 0												
DISEÑO: ING. OSCAR EDUARDO ZAMBRANO CORZO											DISEÑO: ING. OSCAR EDUARDO ZAMBRANO CORZO												
TRAMO		AREA	DIAMETRO	LONGITUD	PENDIENTE	MATERIAL	SECCION	COTA FONDO	COTA CLAVE	COTA TERRENO	N°	POZO	ANCHO	H POZO DN	H POZO TOTAL	COTA	H TOTAL	POZO TIPO	MATERIAL	TIPO TAPA			
CC	A	DN	M	M	%			M	M	M			M	M	M	M	M						
PP4A	PP4B	0.22	172	72.21	14.68%	PVC	CIRCULAR	338.873	338.271	339.045	338.443	342.373	329.671	1	PP4A	1.2	3.50	342.373	338.873	3.50	POZO TIPO II	MAAMPOSTERIA	CONCRETO R.
PP4B	PP4	0.43	172	57.43	9.34%	PVC	CIRCULAR	338.221	332.927	339.393	333.089	329.671	324.317	2	PP4B	1.2	1.45	329.671	338.221	1.45	POZO TIPO I	MAAMPOSTERIA	CONCRETO R.
PP5A	PP5B	0.21	172	41.45	16.52%	PVC	CIRCULAR	336.682	329.836	336.854	330.008	340.182	331.236	3	PP5A	1.2	3.50	340.182	336.682	3.50	POZO TIPO II	MAAMPOSTERIA	CONCRETO R.
PP5B	PP5	0.44	172	74.19	10.23%	PVC	CIRCULAR	329.786	322.209	329.958	322.172	331.236	323.600	4	PP5B	1.2	1.45	331.236	329.786	1.45	POZO TIPO I	MAAMPOSTERIA	CONCRETO R.
PP5	PP2	0.39	172	71.06	14.96%	PVC	CIRCULAR	340.958	338.327	340.130	338.409	351.958	339.727	5	PP5	1.2	3.00	351.958	340.958	3.00	POZO TIPO II	MAAMPOSTERIA	CONCRETO R.
PP2	PP3	0.72	172	107.49	13.82%	PVC	CIRCULAR	337.227	332.868	337.399	332.540	339.727	323.768	6	PP2	1.2	2.50	339.727	337.227	2.50	POZO TIPO I	MAAMPOSTERIA	CONCRETO R.
PP3	PP4	0.72	172	18.86	2.43%	PVC	CIRCULAR	332.118	331.869	332.490	332.003	323.768	323.260	7	PP3	1.2	1.45	332.490	332.118	1.45	POZO TIPO I	MAAMPOSTERIA	CONCRETO R.
PP4	PP5	1.21	172	24.50	1.67%	PVC	CIRCULAR	321.810	321.400	321.982	321.572	323.260	323.600	8	PP4	1.2	1.45	323.260	321.810	1.45	POZO TIPO I	MAAMPOSTERIA	CONCRETO R.
PP5	PP5	1.26	172	23.21	0.99%	PVC	CIRCULAR	321.350	321.134	321.522	321.306	323.600	323.634	9	PP5	1.2	2.25	323.600	321.350	2.45	POZO TIPO II	MAAMPOSTERIA	CONCRETO R.
PP5	PP2	0.24	172	69.12	13.69%	PVC	CIRCULAR	339.153	329.690	339.325	329.862	342.153	331.090	10	PP5	1.2	3.00	342.153	339.153	3.20	POZO TIPO II	MAAMPOSTERIA	CONCRETO R.
PP2	PP3	0.46	172	62.29	9.19%	PVC	CIRCULAR	329.640	323.918	329.812	324.090	331.090	325.318	11	PP2	1.2	1.45	331.090	329.640	1.45	POZO TIPO I	MAAMPOSTERIA	CONCRETO R.
PP3	PP4	0.99	172	38.65	2.46%	PVC	CIRCULAR	323.688	322.927	324.040	323.089	325.318	324.317	12	PP3	1.2	1.45	324.317	323.688	1.45	POZO TIPO I	MAAMPOSTERIA	CONCRETO R.
PP4	PP5	2.25	172	19.34	1.01%	PVC	CIRCULAR	322.837	322.204	322.989	322.406	325.317	324.564	13	PP4	1.2	1.50	324.564	322.837	1.70	POZO TIPO I	MAAMPOSTERIA	CONCRETO R.
PP5	PP6	2.25	172	16.63	1.11%	PVC	CIRCULAR	321.634	320.890	321.396	321.023	323.634	323.850	14	PP5	1.2	2.80	323.634	321.634	2.80	POZO TIPO II	MAAMPOSTERIA	CONCRETO R.
PP6	PP7	2.25	172	69.28	0.58%	PVC	CIRCULAR	320.750	320.359	320.922	320.523	323.850	322.800	15	PP6	1.2	3.10	323.850	320.750	3.30	POZO TIPO II	MAAMPOSTERIA	CONCRETO R.
PP7	PP8	2.40	172	33.07	1.54%	PVC	CIRCULAR	320.190	320.190	320.502	320.203	322.800	322.100	16	PP7	1.2	3.40	322.800	320.190	2.60	POZO TIPO II	MAAMPOSTERIA	CONCRETO R.
PP8	PP9	2.40	172	47.40	0.53%	PVC	CIRCULAR	320.190	319.900	320.322	320.072	322.100	321.100	17	PP8	1.2	1.95	322.100	320.190	2.15	POZO TIPO I	MAAMPOSTERIA	CONCRETO R.
PP9	PE10	9.36	172	3.50	1.43%	PVC	CIRCULAR	319.900	319.890	320.072	320.022	321.100	321.100	18	PP9	1.2	1.20	321.100	319.900	1.40	CAJA	MAAMPOSTERIA	CONCRETO R.
PE10	PE10	9.36	143	408.23	1.43%	PVC	CIRCULAR	319.890	319.890	320.022	319.890	321.100	321.100	19	PE10	1.2	1.20	321.100	319.890	1.20	POZO TIPO I	MAAMPOSTERIA	CONCRETO R.

Nota. Cuadro resumen del diseño del colector de alcantarillado sanitario de la urbanización Santa Ana, donde se consignan los resultados finales del proceso de dimensionamiento (áreas tributarias, diámetros, pendientes, longitudes y cotas de los pozos), calculados mediante el cuadro de diseño implementado por Aguas Kptal Cúcuta S.A. E.S.P. en una hoja de cálculo de Microsoft Excel (Microsoft Corporation, 2021).

Figura 19.

Modelado en AutoCAD de la Red de Acueducto y Alcantarillado en la Urbanización Santa Ana.



Nota. Plano generado en AutoCAD que representa el modelado de la red de acueducto y alcantarillado de la urbanización Santa Ana, en el que se plantea la reposición de las redes matrices y domiciliarias y la instalación de los accesorios principales (válvulas, codos, tees y pozos de inspección), de acuerdo con los criterios hidráulicos y constructivos establecidos por Aguas Kpital Cúcuta S.A. E.S.P. (Autodesk AutoCAD, 2021).

Reposición De Red Matriz De Acueducto Y Alcantarillado Antonia Santos

En la Calle 11 entre las Avenidas 49 y 53, en el Barrio Antonia Santos, se identificó una red de alcantarillado sanitario conformada por tubería de gres Ø8", la cual presenta un deterioro avanzado. De acuerdo con la visita técnica realizada por el C.N. Mantenimiento de Redes de Alcantarillado de Aguas Kpital Cúcuta S.A. E.S.P., la infraestructura evidencia fisuras, obstrucciones generadas por acumulación de material de arrastre y afectaciones en varios pozos debido a la intrusión de raíces provenientes de árboles cercanos.

Se verificó que adicionalmente existe presencia de un pozo cuya ubicación no coincide con la información cartográfica disponible, lo que dificulta las labores de operación y mantenimiento. Esta inconsistencia fue corroborada mediante revisión en SIG y análisis de trazados, confirmando la necesidad de intervención.

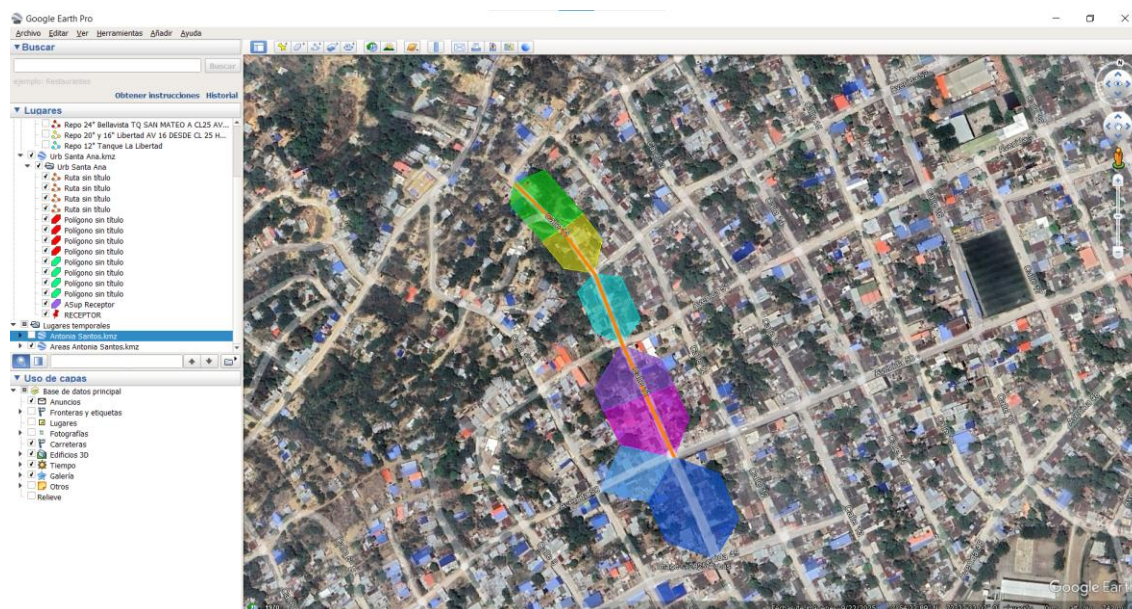
En cuanto a la red de acueducto, se identificó una tubería Ø3" en asbesto-cemento en avanzado estado de deterioro, con presencia de fisuras, fugas imperceptibles y daños en uniones y acometidas. Estas condiciones afectan la continuidad del servicio y reducen la eficiencia hidráulica del sector.

Con base en las problemáticas detectadas en ambos sistemas, se justifica la reposición de las redes con el fin de restablecer su funcionamiento, mejorar la capacidad operativa y garantizar el transporte eficiente de las aguas residuales y el suministro de agua potable.

En este proceso se diseñó la reposición de la red de acueducto en tubería PVC RDE 21 Ø3” y la renovación de la red de alcantarillado sanitario en tubería PVC Ø8”, en Calle 11 entre Avenidas 43 y 53, Barrio Antonia Santos.

Figura 20.

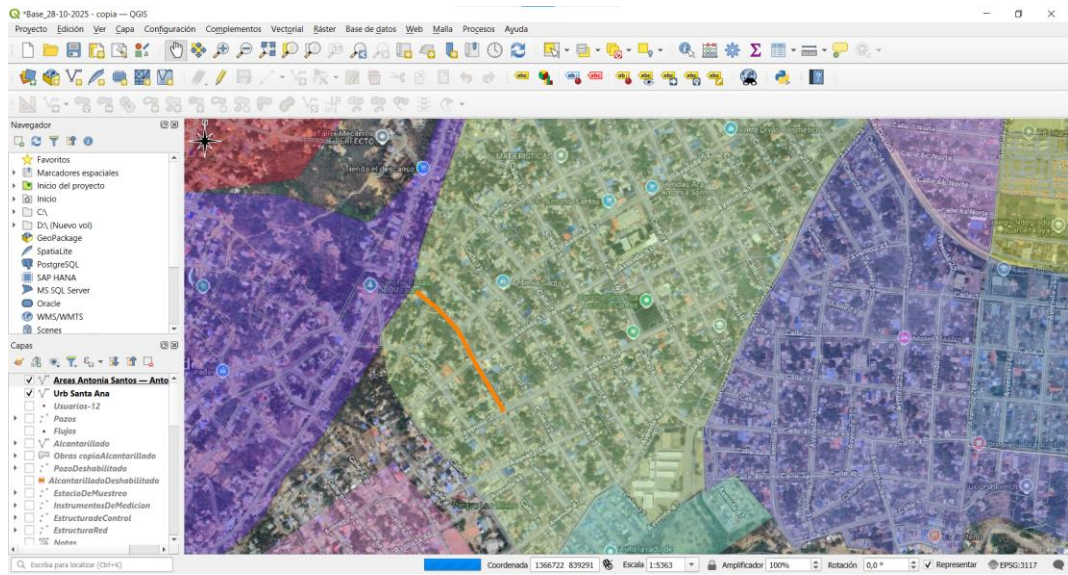
Ubicación de la zona de diseño en la urbanización Santa Ana.



Nota. Localización cartográfica de la zona de diseño objeto del proyecto, donde se observa la distribución de los polígonos definidos para la posterior identificación de las áreas aferentes al sistema de alcantarillado sanitario, elaborada en el sistema de información geográfica Google Earth a partir de la base de datos institucional de Aguas Kpital Cúcuta S.A. E.S.P (Google, 2025)

Figura 21.

Visualización de la Zona de Diseño en Qgis.



Nota. Visualización en QGIS de la zona de diseño modelada, obtenida a partir de la base de datos del SIG de Aguas Kpital Cúcuta S.A. E.S.P., en la que se representa el trazado de la red y se verifica la ubicación de usuarios, tuberías y demás elementos espaciales que intervienen en el diseño del sistema de saneamiento básico(QGIS Development Team, 2024).

Figura 22.

Cuadro resumen del diseño de Alcantarillado Sanitario.

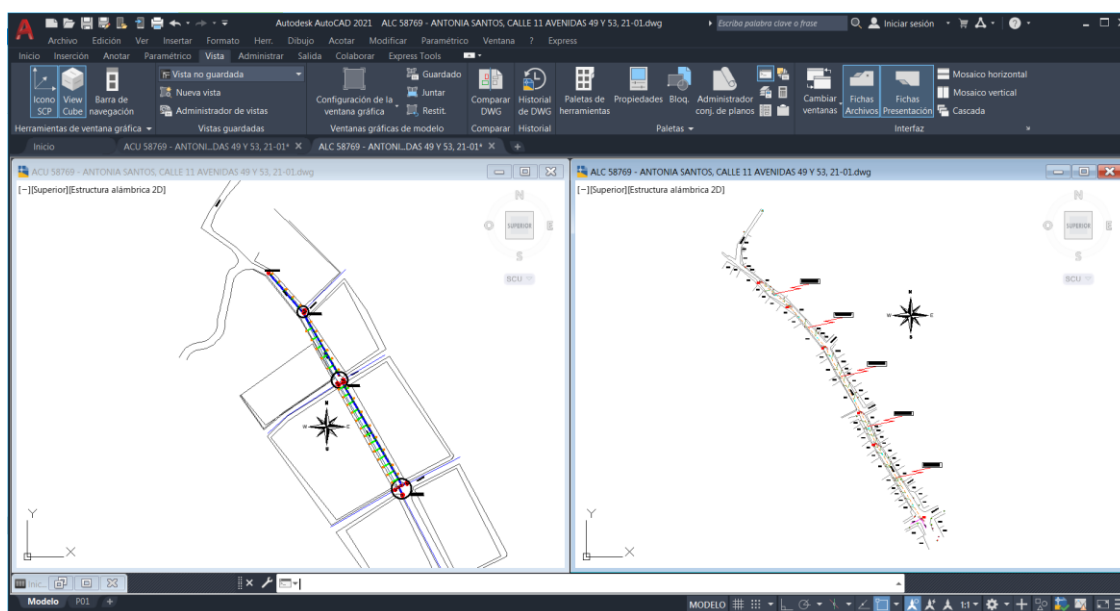
AGUAS KPITAL CÚCUTA S.A. E.S.P.														AGUAS KPITAL CÚCUTA S.A. E.S.P.													
DISEÑO RED ALCANTARILLADO SANITARIO														DISEÑO RED ALCANTARILLADO SANITARIO													
CUADRO N° 7														CUADRO N° 8													
COLECTOR ALCANTARILLADO SANITARIO														COLECTOR ALCANTARILLADO SANITARIO													
PROYECTO:		58769 ANTONIA SANTOS, CALLE 11 AVENIDAS 49 Y 53, 21-01												PROYECTO:		58769 ANTONIA SANTOS, CALLE 11 AVENIDAS 49 Y 53, 21-01											
UBICACIÓN:		Calle 11 entre Avenidas 43 y 53, Barrio Antonia Santos												UBICACIÓN:		Calle 11 entre Avenidas 43 y 53, Barrio Antonia Santos											
DISEÑO:		ING. OSCAR EDUARDO ZAMBRANO CORZO												DISEÑO:		ING. OSCAR EDUARDO ZAMBRANO CORZO											
TRAMO		AREA	DIAMETRO	LONGITUD	PENDIENTE	MATERIAL	SECCIÓN	COTA FONDO		COTA CLAVE		COTA TERRENO		N°	POZO	ANCHO	H POZO DIS	HPOZO TOTAL	COTA	H TOTAL	POZO TIPO	MATERIAL	TIPO TAPA				
DE	A	m ²	mm	m	%			m	m	m	m	m	m			m	m	m	TERRENO FONDO	m							
PP1	PP2	0,28	0,172	37,00	21,55%	PVC	CIRCULAR	320,704	312,730	320,876	312,902	323,204	314,930	1	PP1	1,2	2,50	2,50	323,204	320,704	2,70	POZO TIPO II	MAMPOSTERIA	CONCRETO R.			
PP2	PP3	0,48	0,172	52,86	7,57%	PVC	CIRCULAR	312,430	308,426	312,602	308,598	314,930	309,876	2	PP2	1,2	2,50	2,50	314,930	312,430	2,70	POZO TIPO II	MAMPOSTERIA	CONCRETO R.			
PP3	PP4	0,48	0,172	72,17	15,68%	PVC	CIRCULAR	307,876	296,561	308,048	296,733	309,876	297,961	3	PP3	1,2	2,00	2,00	309,876	307,876	2,20	POZO TIPO II	MAMPOSTERIA	CONCRETO R.			
PP4	PP5	0,48	0,172	34,06	11,78%	PVC	CIRCULAR	296,161	292,148	296,333	292,320	297,961	293,798	4	PP4	1,2	1,80	1,80	297,961	296,161	2,00	POZO TIPO I	MAMPOSTERIA	CONCRETO R.			
PP5	PE6	0,82	0,172	84,95	5,75%	PVC	CIRCULAR	291,998	287,114	292,170	287,286	293,798	288,564	5	PP5	1,2	1,80	1,80	293,798	291,998	2,00	POZO TIPO I	MAMPOSTERIA	CONCRETO R.			

Nota. Cuadro resumen del diseño del colector de alcantarillado sanitario de la zona de estudio, en el que se presentan los resultados del proceso de dimensionamiento (áreas tributarias, caudales,

diámetros, pendientes y cotas de los pozos), calculados mediante el cuadro de diseño implementado por Aguas Kpital Cúcuta S.A. E.S.P. en una hoja de cálculo de Microsoft Excel (Microsoft Corporation, 2021).

Figura 23.

Modelado en AutoCAD de la Red de Acueducto y Alcantarillado en Antonia Santos.



Nota. Plano generado en AutoCAD que muestra el modelado de la red de acueducto y alcantarillado sanitario en el barrio Antonia Santos, específicamente en la Calle 11 entre Avenidas 43 y 53, donde se plantea la reposición de la red de acueducto en tubería PVC Ø3" y de la red de alcantarillado en tubería PVC Ø8", incluyendo las acometidas domiciliarias y los accesorios requeridos para garantizar la adecuada conexión de los usuarios (Autodesk AutoCAD, 2021).

Como complemento a la revisión gráfica y numérica del trazado, se efectuó una verificación general de los valores de cotas, áreas de intervención y presiones incluidos en los cuadros de diseño suministrados por el equipo de diseño. Esta comprobación buscó confirmar la

coherencia entre los datos hidráulicos y la información representada en los planos y modelos, descartando inconsistencias que pudieran afectar la lectura o interpretación del sistema. Si bien estos valores corresponden al diseño elaborado por el personal especializado, la revisión realizada durante la práctica aportó a garantizar que la documentación entregada mantuviera uniformidad técnica y se integrara adecuadamente con los demás elementos del proyecto.

Objetivo 3.

“Colaborar en la elaboración de planos técnicos para sistemas de acueducto y alcantarillado sanitario mediante herramientas CAD, asegurando el cumplimiento de las especificaciones técnicas y normativas internas de la empresa.”

A través de la revisión de planos existentes y la asesoría del equipo de diseño se identificó la estructura gráfica y los criterios técnicos que deben aplicarse en la elaboración de planos para redes de acueducto y alcantarillado. La documentación interna mantiene un formato estandarizado que incluye identificación del plano, código interno, contenido representado, número de hoja, escala utilizada, localización del tramo y responsables del diseño y revisión. Este formato unifica la presentación de la información y facilita su lectura entre las diferentes dependencias de la empresa.

Los planos emplean una simbología definida que diferencia tuberías existentes y proyectadas, materiales utilizados (PVC, AC, Gres, GRP), nomenclatura de pozos, válvulas, acometidas y accesorios, así como la dirección del flujo y los niveles topográficos asociados a rasantes, claves y fondos. Esta simbología se organiza mediante capas dentro de AutoCAD, asignando colores, grosores y jerarquías específicas para mantener claridad visual y asegurar una interpretación precisa del estado y configuración de la red.

Las plantas generales se elaboran comúnmente en escalas 1:600, 1:500 para acueducto y 1:500, 1:300 para alcantarillado o en la escala que se ajuste, lo que permite representar el trazado completo de la red, las longitudes, diámetros, elementos hidráulicos y cotas relevantes del terreno. Para detalles específicos, como la instalación de accesorios, se emplean escalas 1:100; mientras que, en intervenciones de espacio público, en roturas, reposiciones o ajustes de zanja se utilizan escalas entre 1:200 y 1:250, que permiten describir con precisión los límites del área intervenida y el tipo de superficie afectada.

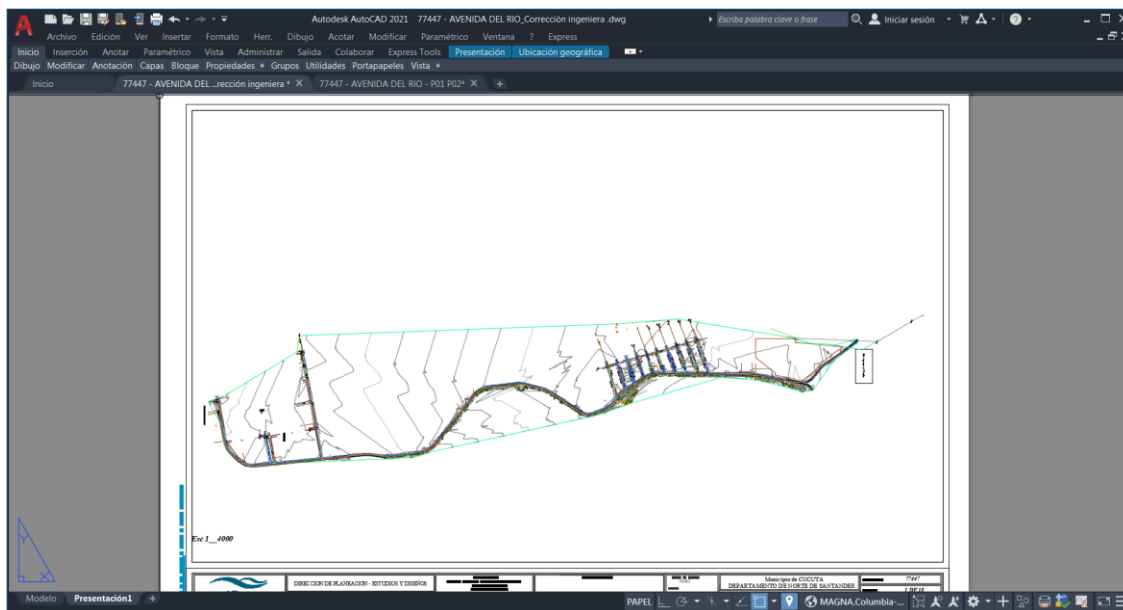
Los detalles constructivos incluidos en los planos complementan esta información al presentar dimensiones, espesores de concreto, materiales de base y subbase, condiciones de apoyo de tubería, pendientes internas y acabados necesarios para garantizar la estabilidad y durabilidad del sistema. En la misma línea, la documentación de roturas y reposiciones delimita el área de excavación, identifica el tipo de andén o pavimento, señala profundidades estimadas y especifica los materiales a reponer junto con las conexiones domiciliarias afectadas. Esta información permite planificar adecuadamente las actividades y coordinar su ejecución en campo.

Reposición De Tubería De Alcantarillado En La Avenida Del Río

Esta obra adelantada en la Avenida Río Desde Clínica Duarte Hasta El Anillo Vial; Conexión Calle 4N Av Libertadores a Av Río, para la reposición tubería de Alcantarillado D=24", D=33" y D=39". Se elaboró la planimetría referente a roturas.

Figura 24.

Plano correspondiente al Diseño de la Red de tubería de alcantarillado en la Avenida del Río.



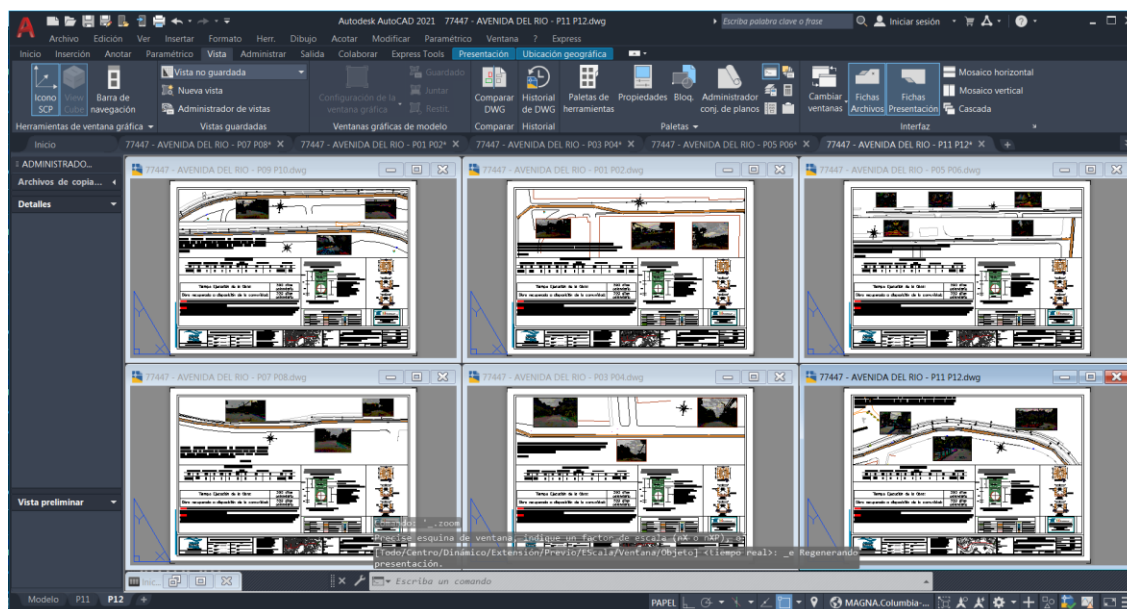
Nota. Plano generado en AutoCAD que representa el diseño de la red de alcantarillado sanitario en la Avenida del Río, elaborado a partir del levantamiento topográfico desarrollado por el equipo de campo y del trazado definido por el profesional encargado del diseño, utilizado como base para el cálculo de áreas de intervención y la programación de las actividades constructivas (Autodesk AutoCAD, 2021).

Una vez definida el área de estudio y verificada su georreferenciación, se procedió a identificar el tipo de material existente en la vía con el fin de representarlo gráficamente y establecer las condiciones del trazado. Esta caracterización permitió calcular las áreas de intervención del espacio público asociadas a la reposición de la red sanitaria. Para este proyecto se elaboraron dieciocho presentaciones que cubrieron la totalidad del tramo a intervenir, en las cuales se detallaron los tipos de corte, las características de los materiales y las consideraciones constructivas de cada segmento la Figura 22 ilustra parte del proceso de producción planimétrica

en AutoCAD. A partir de esta información se efectuaron los cálculos de área y se generaron los documentos técnicos requeridos por la Oficina de Planeación como soporte del proceso de revisión y aprobación.

Figura 25.

Planos correspondientes a la representación gráfica de las roturas.



Nota. Conjunto de planos elaborados en AutoCAD en los que se representa de manera gráfica la localización de las roturas requeridas para la reposición de las redes, identificando zonas de corte, anchos de zanja, tipos de andén y pavimento, así como los tramos de tubería afectados; estas presentaciones sirvieron como insumo para el cálculo de áreas en hojas de cálculo de Microsoft Excel y para la planificación detallada de la intervención del espacio público (Autodesk AutoCAD, 2021).

De acuerdo con el modelamiento, se realizó el cálculo de áreas utilizando la herramienta computacional de Excel (Figura 26.), y con base en estos resultados se definió el plan de manejo vial y la descripción técnica correspondiente al proyecto.

Figura 26.

Cuadro resumen del cálculo de áreas zona intervenida de acuerdo al tipo de material.

MEMORIA PARA AYUDA EN EL CÁLCULO DE ÁREAS INTERVENCIÓN DE ESPACIO PÚBLICO					
INDICE DE OCUPACIÓN		LONGITUD (ML)	ANCHO (ML)	CANTIDAD (UND)	ÁREA (M2)
1.	ZONAS DURAS				
1,1	VÍA EN PAVIMENTO FLEXIBLE	784,09	1,35		1058,52
1,2	VÍA EN PAVIMENTO FLEXIBLE	2637,18	1,5		3955,78
1,6	VÍA EN PAVIMENTO RÍGIDO	408,03	1,05		428,44
SUBTOTAL					5442,73
2	ZONAS VERDES				
2,1	ANDEN EN TIERRA	288,31	1,50		432,47
SUBTOTAL					432,47
ÁREA TOTAL A INTERVENIR (M2)					5875,20

Nota. Cuadro resumen elaborado en Microsoft Excel en el que se consolidan las áreas de intervención del espacio público, discriminadas por tipo de material (pavimento flexible, andenes en concreto, andenes en tableta, andenes en tierra, entre otros), a partir de las longitudes y anchos obtenidos de los planos de roturas, con el fin de estimar los volúmenes de reposición y los costos asociados a cada frente de obra (Microsoft Corporation, 2021).

Reposición De Red Matriz De Acueducto Barrios Carlos Ramírez París Y Atalaya

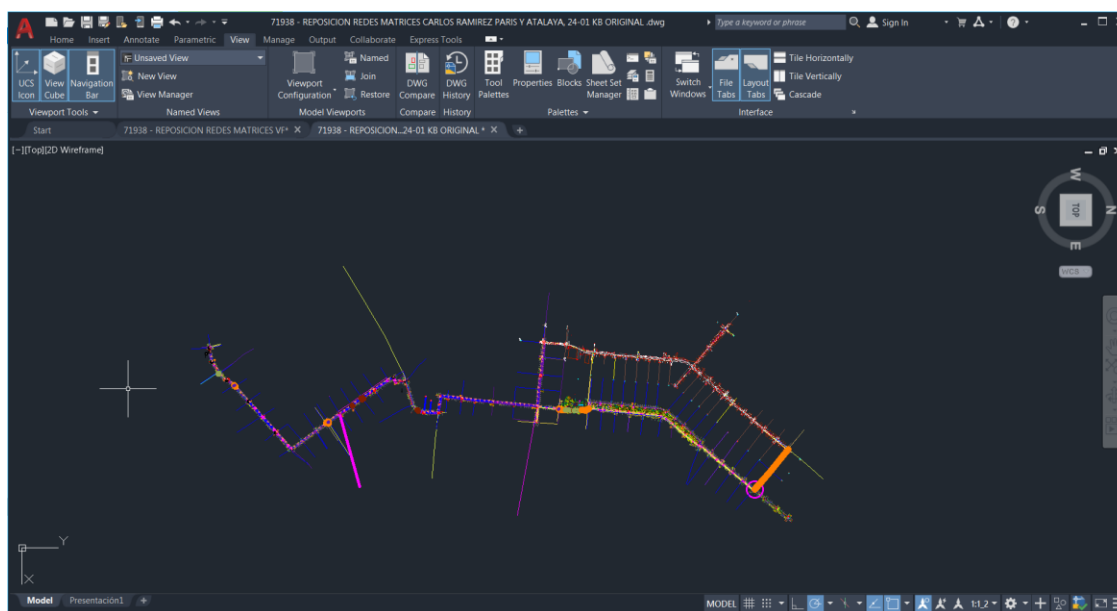
Este proyecto comprendió la reposición de de la red de acueducto en tubería PVC de Ø 3", Ø4", Ø12", Ø16", Ø20" Ø24" en los barrios Doña Nidia, Carlos Ramírez Paris, 7 de agosto, Palmeras, Atalaya I Etapa, Comuneros y Motilones.

El proyecto buscó Reducir las pérdidas técnicas generadas por los constantes daños en las acometidas instaladas de manera irregular y garantizar el correcto funcionamiento hidráulico en las redes. Las zonas intervenidas se distribuyen en varios sectores de la ciudad y comprenden tramos localizados en los barrios Doña Nidia, Carlos Ramírez París, 7 de Agosto, Palmeras, Atalaya I Etapa, Comuneros, Motilones y Claret. Entre los corredores atendidos se incluyen la

Calle 5 Sur entre las Avenidas 9 y 8B; la Calle 1 Sur entre las Avenidas 8B y 8, así como entre las Avenidas 8 y 3; la Avenida 3 desde la Calle 1 Sur hasta la Calle 0 y desde la Calle 0 hasta la Calle 8ª; la Calle 8ª entre las Avenidas 3 y 2; y varios tramos de las Avenidas 22ª y 23 en el barrio Palmeras. También se intervinieron la isleta central de la glorieta Claret, el paso por la Autopista Atalaya (en modalidad sin zanja), la Avenida 24 entre la Autopista Atalaya y la Calle 1, la Avenida 1 entre las Calles 1 y 6, la Calle 6 entre las Avenidas 1 y 3, y la intersección de la Calle 6N con la Avenida 26 en el barrio Claret.

Figura 27.

Plano referente a la ubicación de las redes matrices de acueducto en Barrio Carlos Ramírez París y Atalaya



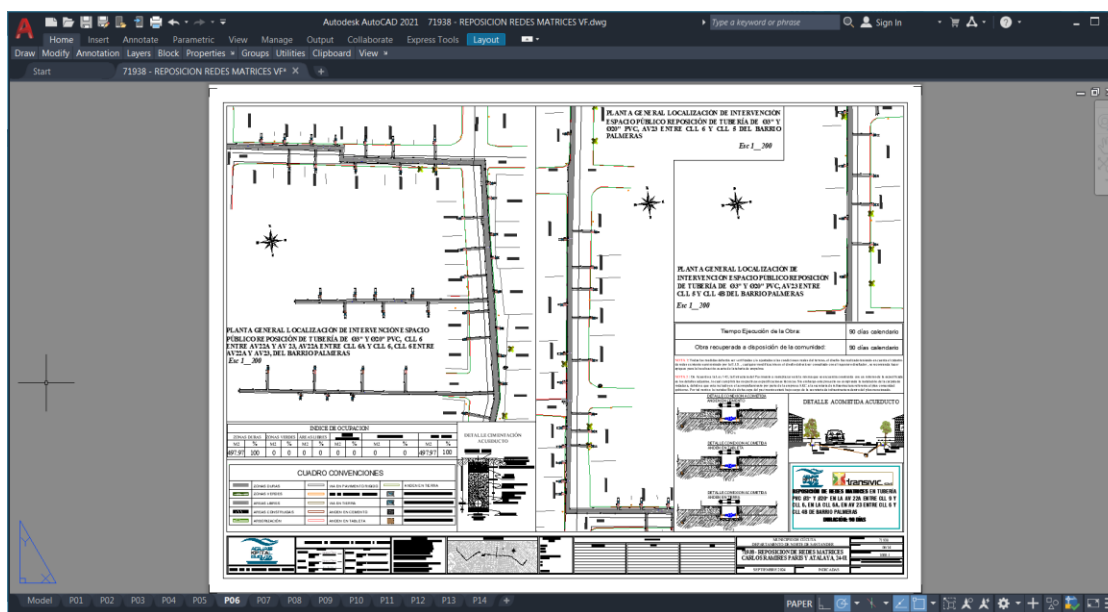
Nota. Plano generado en AutoCAD que muestra la ubicación de las redes matrices de acueducto en los barrios Carlos Ramírez París y Atalaya, donde se representan los diámetros de tubería mediante capas diferenciadas y se señalan los accesorios principales (válvulas, codos, tees y

uniones), constituyendo la base planimétrica para el cálculo de cantidades de obra y la coordinación de las actividades de construcción (Autodesk AutoCAD, 2021).

A partir del plano observado en la Figura 27., se desarrollaron las diferentes presentaciones asociadas al diseño de roturas necesarias para la intervención. Este proceso incluyó la identificación del trazado de la red existente, la delimitación de las áreas de excavación y la representación gráfica de los elementos constructivos asociados a cada punto de intervención. Con base en esta información se definieron los anchos de zanja, las características del andén o calzada a reponer y los elementos urbanos afectados, lo que permitió generar planos detallados y coherentes con las condiciones reales del corredor intervenido.

Figura 28.

Representación gráfica del trazado para roturas.



Nota. Representación gráfica en AutoCAD del trazado de las roturas necesarias para la reposición de las redes, en la que se delimitan los tramos de andén y calzada a intervenir,

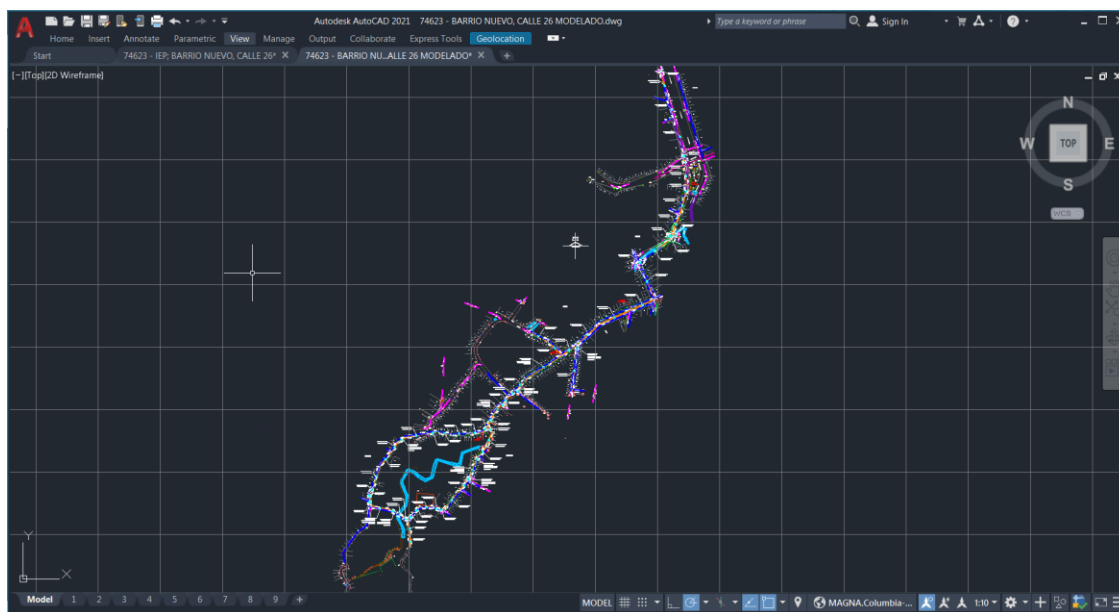
indicando la posición de las zanjas y el alcance de la demolición, permite estimar las áreas de intervención del espacio público y apoyar la programación de obra (Autodesk AutoCAD, 2021).

Reposición De Red Matriz De Acueducto Y Alcantarillado Barrio Nuevo

Se diseñó la reposición de la red de acueducto en tubería PVC RDE 21 Ø3" y la renovación de la red de alcantarillado sanitario en tubería en PVC DE Ø8", Ø10", Ø14" y Ø16", abarcando la Avenida 22 Con Canal Bogotá Y Avenida 20ª; Calle 25 Entre Avenidas 20ª Y 24; Avenida 24 Entre Calles 25 Y 26; Calle 26 Entre Avenidas 24 Y 30; Calle 25 Con Avenida 30; Calle 22 Con Calle 26; Avenida 26 Con Calle 26, De Barrio Nuevo.

Figura 29.

Modelado en AutoCAD trazado de la red de Acueducto y alcantarillad.



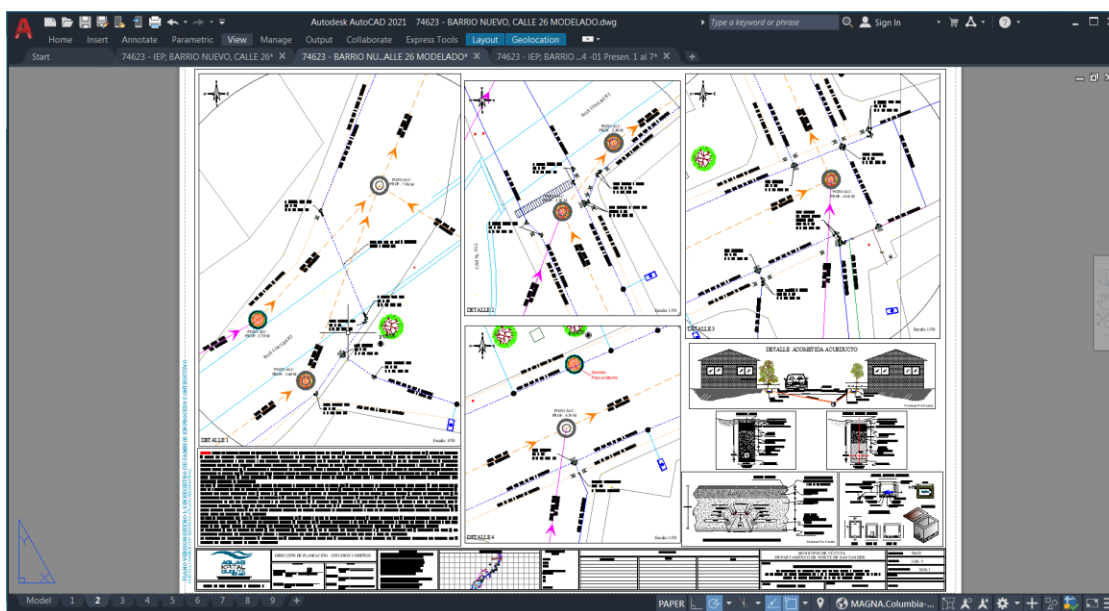
Nota. Plano de modelado en AutoCAD en el que se representa de manera conjunta el trazado de la red de acueducto y del alcantarillado sanitario en el sector intervenido, diferenciando mediante capas los diámetros, materiales y tipos de tubería, y evidenciando la relación espacial entre ambas redes para garantizar su compatibilidad hidráulica y constructiva (Autodesk, s. f.)

En el plano expuesto anteriormente en la Figura 29., se observa la ubicación del trazado correspondiente al diseño de acueducto y alcantarillado en el Barrio Nuevo, a partir de este se desglosaron los diferentes planos de detalle, referente a instalación de accesorios, trazado de acometidas y disposición del espacio intervenido para roturas.

La ubicación de accesorios, está a cargo del profesional dotado de la experiencia requerida para desarrollar los diseños. Sin embargo, se realiza verificación en cuanto a detalles de rótulo, estilos texto y leyendas asociadas al accesorio.

Figura 30.

Plano de Detalles para la instalación de accesorios.

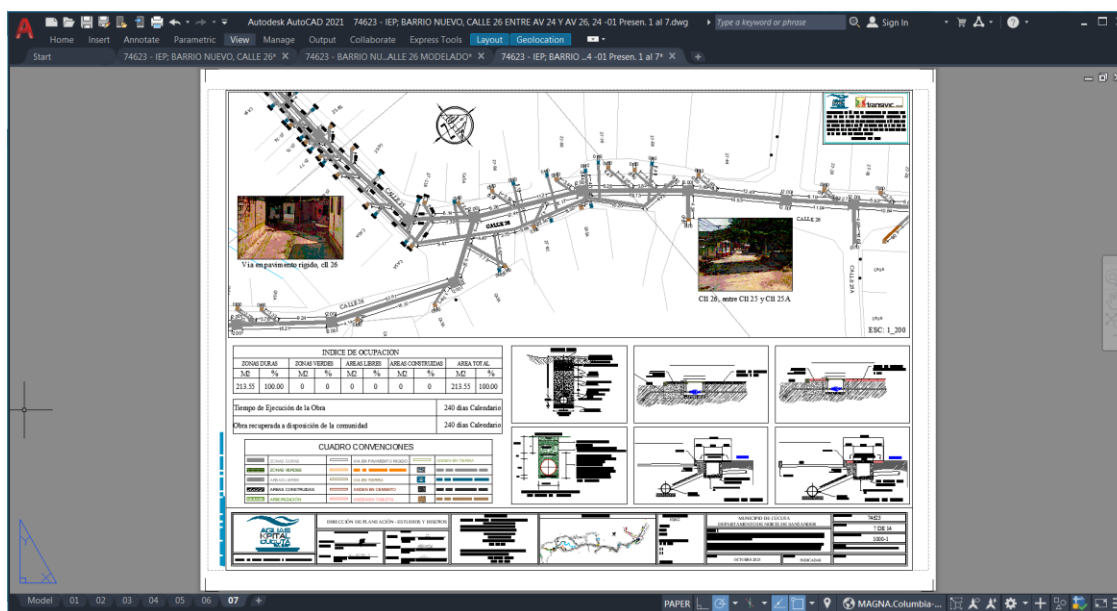


Nota. Plano de detalles generales elaborado en AutoCAD para la reposición de las redes de acueducto y alcantarillado en el Barrio Nuevo, en el cual se especifican la geometría, ubicación y configuración de los accesorios (cajas de válvulas, tees, reducciones, uniones y demás elementos especiales), siguiendo las recomendaciones técnicas de los fabricantes y los criterios de diseño de la empresa prestadora del servicio (Autodesk AutoCAD, 2021).

En el dibujo de AutoCAD, se ubican los diferentes accesorios de acuerdo con las necesidades de diseño y siguiendo las especificaciones técnicas Figura 30.. Es importante recalcar, que la representación gráfica exacta y la descripción precisa del elemento a instalar, permite que durante la puesta en marcha del proyecto se pueda desarrollar de forma eficiente y sin contratiempos.

Figura 31.

Plano de Roturas de reposición de tubería de acueducto y alcantarillado en Barrio Nuevo



Nota. Plano de roturas generado en AutoCAD para la reposición de las tuberías de acueducto y alcantarillado en el Barrio Nuevo, donde se delimitan las áreas de corte sobre andenes y calzadas, se indican los anchos y longitudes de zanja y se identifican los tipos de pavimento a demoler y reponer, constituyendo un insumo clave para el cálculo de áreas y la planificación de los frentes de trabajo (Autodesk AutoCAD, 2021).

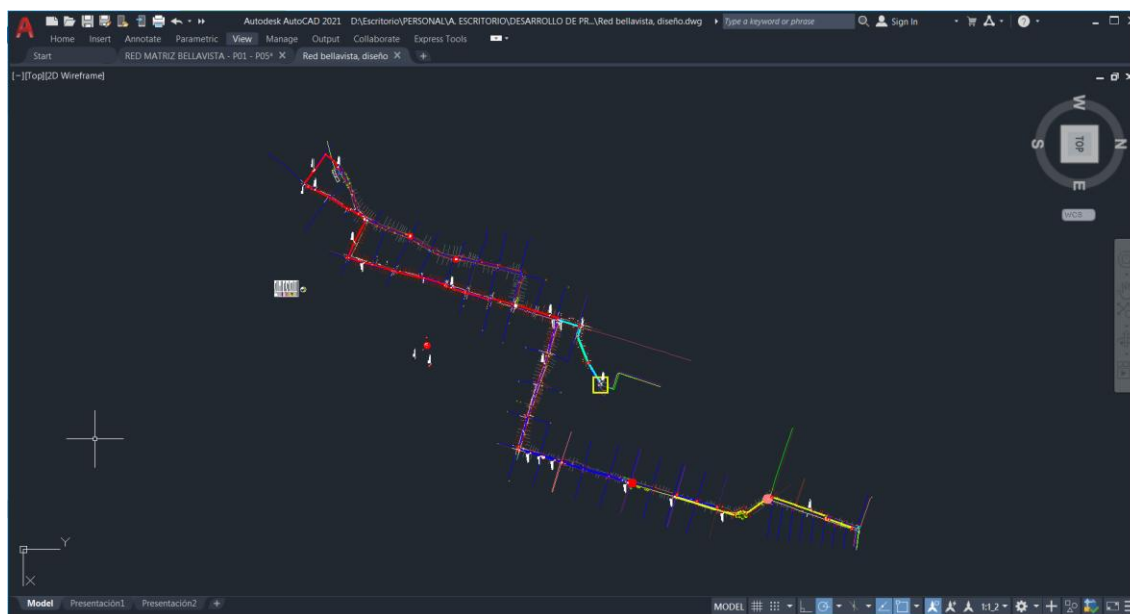
Reposición De Red Matriz Barrio Bellavista

El proyecto comprende la reposición de la red de acueducto en tubería PVC de Ø3", Ø6", Ø8" Y Ø12" GRP de Ø12", Ø16", Ø20" y Ø24", redes matrices San Mateo, Bella Vista, Aguas Calientes, La Libertad, Torcoroma.

Con el fin de optimizar el funcionamiento de la red y reducir el porcentaje de conexiones fraudulentas y el consumo no contabilizado.

Figura 32.

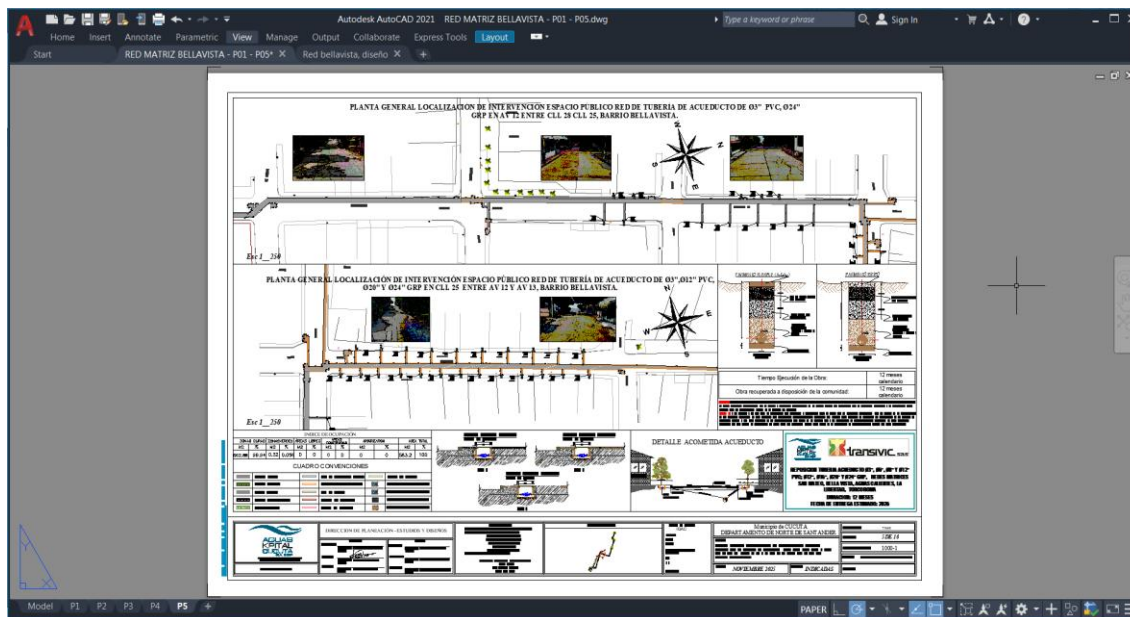
Plano en AutoCAD red de tubería de acueducto Barrio Bellavista.



Nota. Plano generado en AutoCAD que representa la red de tuberías de acueducto del barrio Bellavista, en el que se ubican las tuberías matrices, las acometidas domiciliarias y las roturas requeridas para la instalación y reposición de la infraestructura, estas permiten visualizar la distribución del sistema y apoyar el cálculo de áreas de intervención y conexiones a ejecutar (Autodesk AutoCAD, 2021).

Figura 33.

Plano de roturas Acometidas de acueducto Barrio Bellavista



Nota. Plano de roturas elaborado en AutoCAD para las acometidas de acueducto del barrio Bellavista, donde se marcan los puntos de intervención sobre andenes y calzadas para la instalación de las conexiones domiciliarias, la apertura de zanjas y el empalme con la red matriz, sirviendo como soporte gráfico para el cálculo de áreas y la programación de las actividades constructivas (Autodesk AutoCAD, 2021).

Se elaboró el modelado en AutoCAD ubicando de manera precisa cada uno de los tramos a intervenir e identificando las diferentes zonas incluidas en el proyecto. Durante este proceso se siguió un procedimiento cuidadoso para evitar la pérdida de detalles, especialmente aquellos relacionados con la instalación de accesorios y la configuración específica de cada elemento de la red.

Reposición De Red Matriz De Acueducto Y Alcantarillado Urbanización Santa Ana

Se dibujó el trazado de las acometidas correspondientes a la instalación de la red de acueducto en tubería PVC RDE 21 Ø3", estas acometidas se hacen para un diámetro Ø½" a 90° de la tubería principal y el trazado de las domiciliarias para alcantarillado sanitario en tubería PVC Ø8", estas se hacen en tubería con diámetro de Ø6", el proyecto se diseñó para la Calle 11 entre Avenidas 43 y 53, Barrio Antonia Santos.

Figura 34.

Plano en AutoCAD referente al trazado de la red de acueducto en la Urbanización Santa Ana

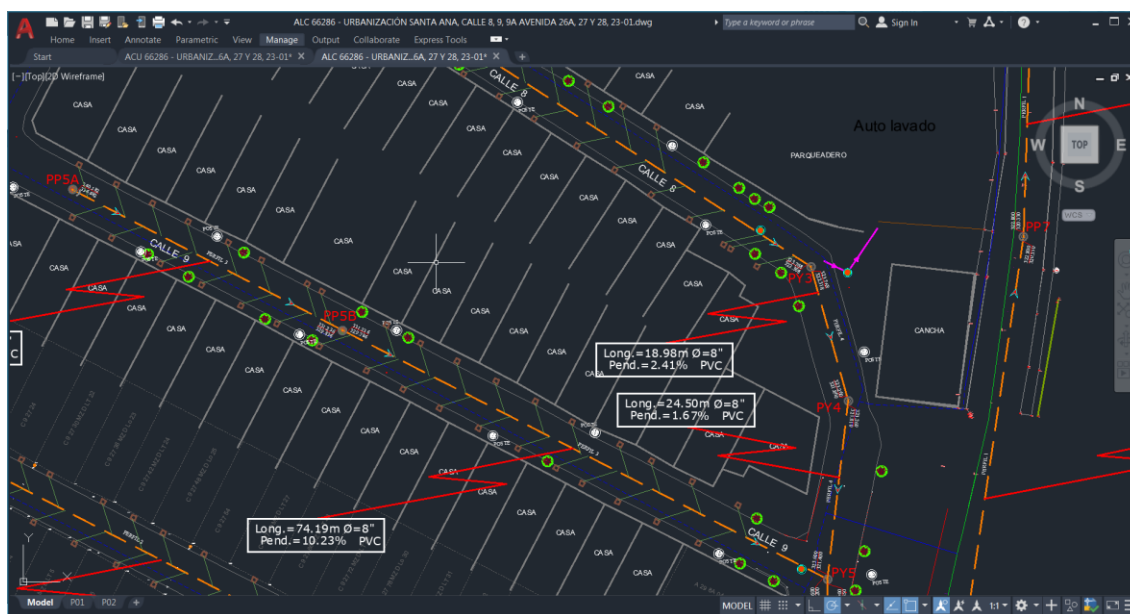


Nota. Plano en AutoCAD del trazado de la red de acueducto en la urbanización Santa Ana, en el que se representan las tuberías matrices, las acometidas domiciliarias dispuestas a 90° respecto a la red principal de suministro y los accesorios asociados, definidos a partir de la información de usuarios y predios contenida en la base de datos geográfica gestionada en QGIS (Autodesk, s. f.)

Las domiciliarias se ubican de acuerdo con a la cantidad de usuarios identificada en la base de datos en QGIS.

Figura 35.

Plano en AutoCAD referente al trazado de la red de alcantarillado en la Urbanización Santa Ana.



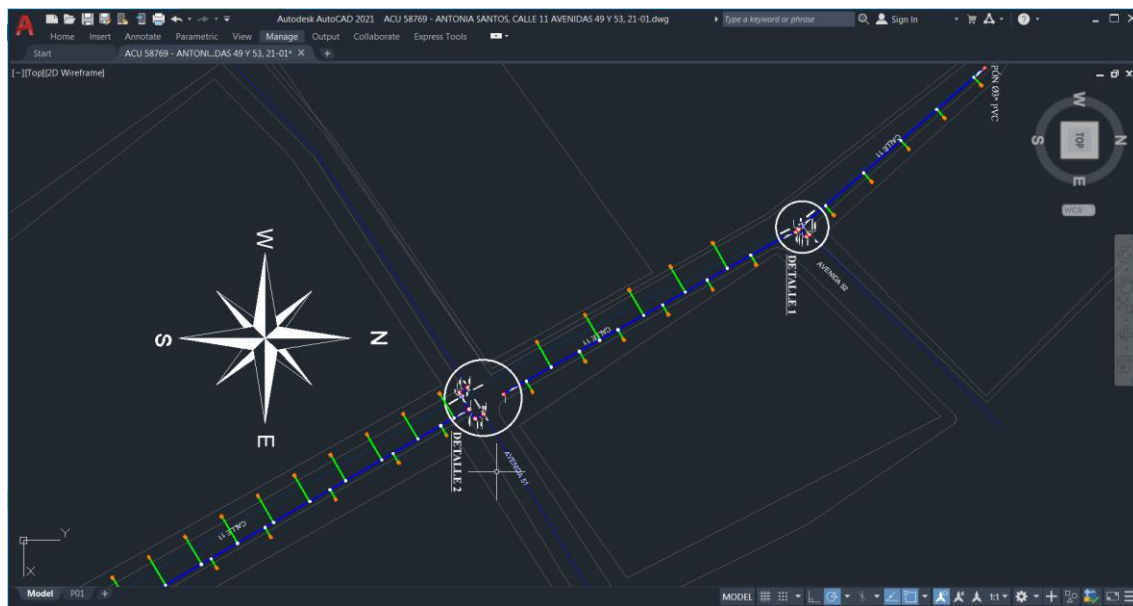
Nota. Plano en AutoCAD del trazado de la red de alcantarillado en la urbanización Santa Ana, en el que se representan las tuberías matrices y las acometidas domiciliarias, ubicadas según el número de usuarios y dispuestas a 45° respecto a la tubería principal para favorecer la incorporación del flujo y reducir pérdidas de energía, de acuerdo con los criterios hidráulicos del diseño (Autodesk AutoCAD, 2021).

Reposición De Red Matriz De Acueducto Y Alcantarillado Antonia Santos

En este proceso se diseñó la representación gráfica de la reposición de la red de acueducto en tubería PVC RDE 21 Ø3" y la renovación de la red de alcantarillado sanitario en tubería PVC Ø8", en Calle 11 entre Avenidas 43 y 53, Barrio Antonia Santos.

Figura 36.

Modelado en AutoCAD de las acometidas y los accesorios.



Nota. Plano generado en AutoCAD que muestra el modelado de las acometidas y la ubicación de los accesorios asociados a la reposición de la red matriz de acueducto y alcantarillado en el barrio Antonia Santos, especificando los tipos de accesorios, sus condiciones hidráulicas y los puntos donde se deben instalar tapones sobre las redes existentes (Autodesk AutoCAD, 2021).

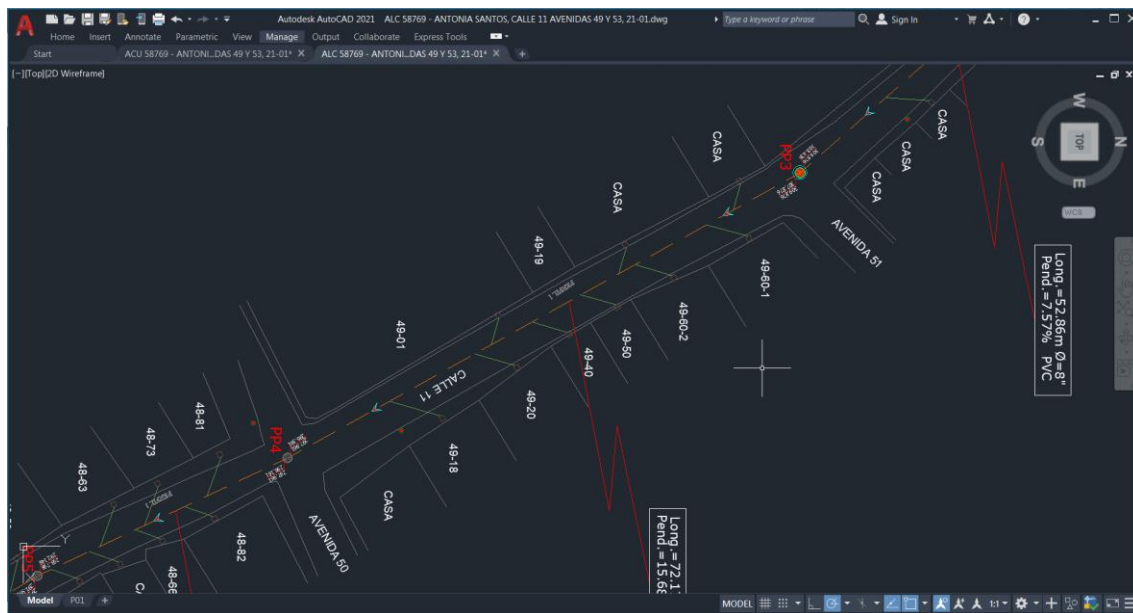
Se realizaron los modelos en AutoCAD correspondientes al trazado de la red, instalación de domiciliarias y acometidas junto con los detalles de sus accesorios respectivos.

Posteriormente se desarrollaron los planos de detalle para la adecuada visualización de la instalación de accesorios de acuerdo con el diseño.

A continuación, se evidencia el plano respectivo con la ubicación de cotas y las características de los pozos a implementar de acuerdo con las necesidades de diseño.

Figura 37.

Modelado en AutoCAD de las domiciliarias.

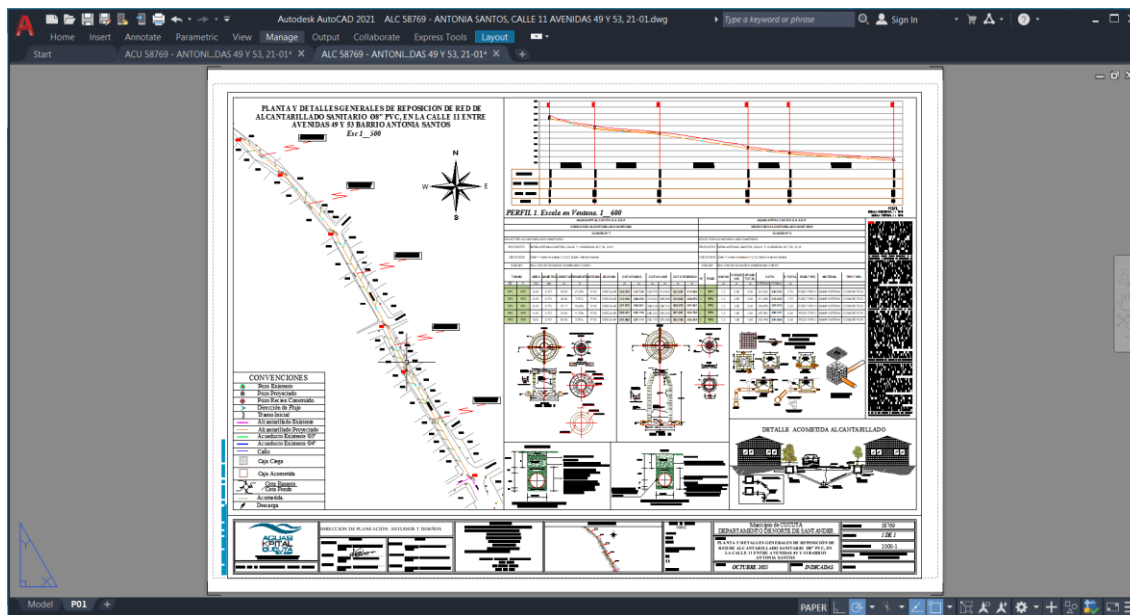


Nota. Modelado en AutoCAD de la red de alcantarillado sanitario y de las domiciliarias asociadas al proyecto de reposición en el barrio Antonia Santos, donde se representan las cotas, la ubicación de las acometidas y los accesorios, y se apoya la elaboración de planos de detalle para la instalación en campo, a partir de la biblioteca de bloques técnicos suministrada por Aguas Kpital Cúcuta S.A. E.S.P. (Autodesk AutoCAD, 2021).

Los detalles presentados en la Figura 38, fueron proporcionados por el equipo técnico de aguas Kpital, mismo que dispone de una biblioteca de elementos de detalle o bloques para la elaboración de planos.

Figura 38.

Plano de detalle referentes a la instalación de Alcantarillado Sanitario.



Nota. Plano de detalles constructivos elaborado en AutoCAD para la instalación de la red de alcantarillado sanitario, en el que se representan las secciones típicas, las conexiones domiciliarias y los elementos especiales requeridos, sirviendo como guía gráfica para la ejecución en obra conforme a los criterios de diseño de Aguas Kpital Cúcuta S.A. E.S.P. (Autodesk AutoCAD, 2021).

Objetivo 4.

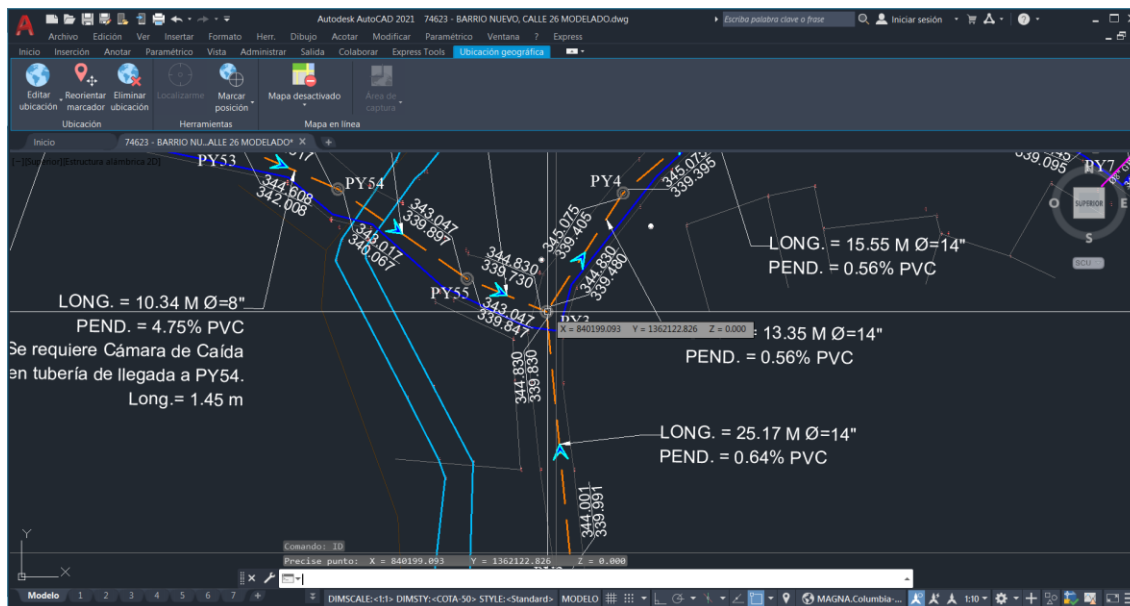
“Simular las redes de acueducto y alcantarillado sanitario mediante la implementación de softwares especializados, con el fin verificar su diseño, realizando análisis según parámetros normativos.”

Reposición De Red Matriz De Acueducto Y Alcantarillado Barrio Nuevo

Se desarrolló la simulación de acuerdo al cuadro de diseño de alcantarillado sanitario de la empresa AguasKpital en el software EPA SWMM, teniendo en cuenta las cotas rasantes y

Figura 40.

Revisión de coordenadas en los pozos de inspección.

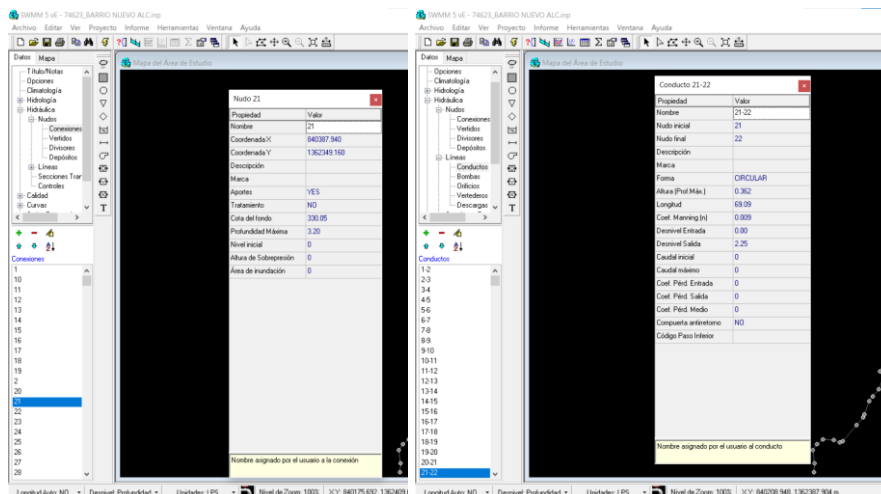


Nota. Verificación de las coordenadas y parámetros geométricos de los pozos de inspección del Barrio Nuevo, mediante revisión en AutoCAD, con el fin de asegurar la coherencia entre el cuadro de diseño, las cotas fondo, las longitudes, las pendientes y los diámetros antes de ejecutar la simulación en EPA SWMM (Autodesk, s. f.)

Se adelantaron configuraciones en nodos y tramos del colector. Este proceso incluyó la verificación de cotas fondo, longitudes, pendientes y diámetros, asegurando la coherencia entre el cuadro de diseño y la geometría representada en el modelo. Con esta revisión previa, la simulación se ejecutó exitosamente.

Figura 41.

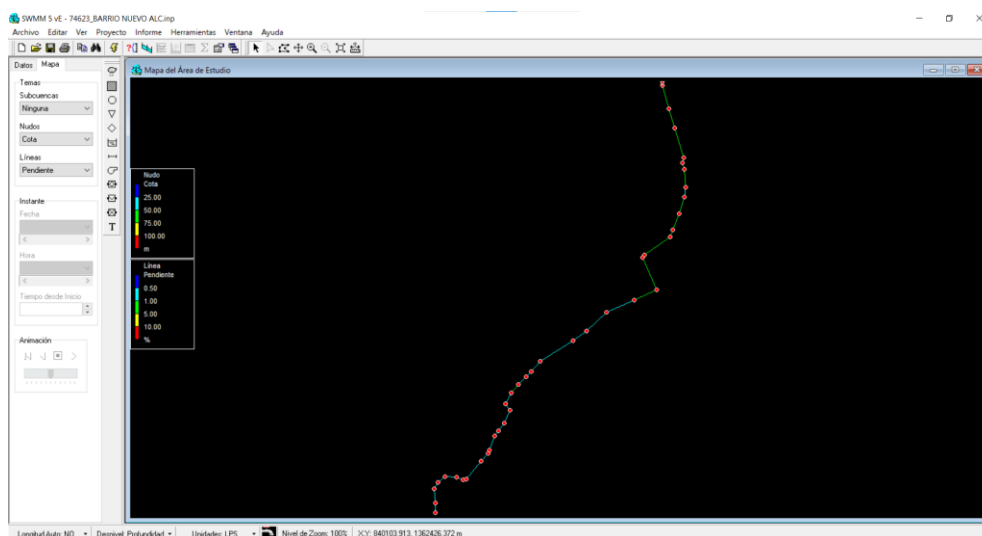
Verificación de cotas y parámetros hidráulicos



Nota. Verificación de las cotas y de los parámetros hidráulicos del colector principal en EPA SWMM, realizada con el propósito de ajustar caudales, diámetros y niveles de los pozos conforme a los criterios del cuadro de diseño y a los lineamientos normativos de la red de alcantarillado sanitario ((U.S. Environmental Protection Agency, 2014)

Figura 42.

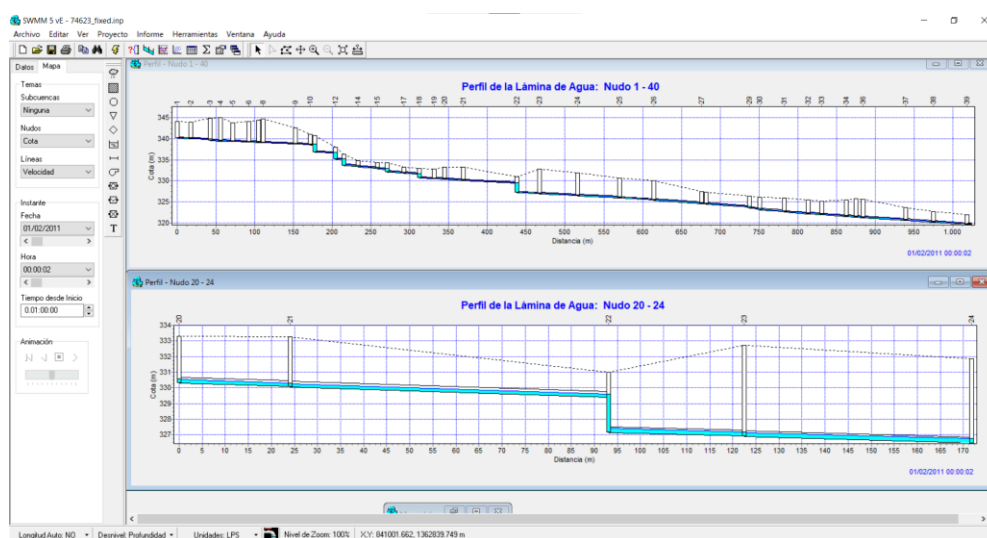
Simulación de la Red de alcantarillado en EPA SWMM.



Nota. Vista de la simulación de la red de alcantarillado sanitario del Barrio Nuevo en EPA SWMM, donde se representa el trazado del colector principal y se afinan detalles relativos a las características hidráulicas y dimensionales de la tubería y de los pozos (U.S. Environmental Protection Agency, 2014)

Figura 43.

Perfiles de la lámina de agua obtenidos en la simulación.



Nota. Perfiles hidráulicos de la lámina de agua obtenidos en la simulación de la red de alcantarillado sanitario del Barrio Nuevo en EPA SWMM, con énfasis en la revisión del tramo 20–24 para comprobar que no se presentan rebosamientos ni condiciones de sobrecarga en los pozos de inspección, validando así el comportamiento hidráulico de la red bajo el caudal de diseño (U.S. Environmental Protection Agency, 2014).

A partir del perfil hidráulico generado en EPA SWMM se evaluó el comportamiento de la lámina de agua en los tramos modelados, con el fin de identificar posibles puntos de insuficiencia o sobrecarga. Estos resultados indican que el tramo opera de manera estable bajo el caudal simulado y que no se presenta rebose en los pozos diseñados.

Reposición De Red Matriz De Acueducto Y Alcantarillado Urbanización Santa Ana

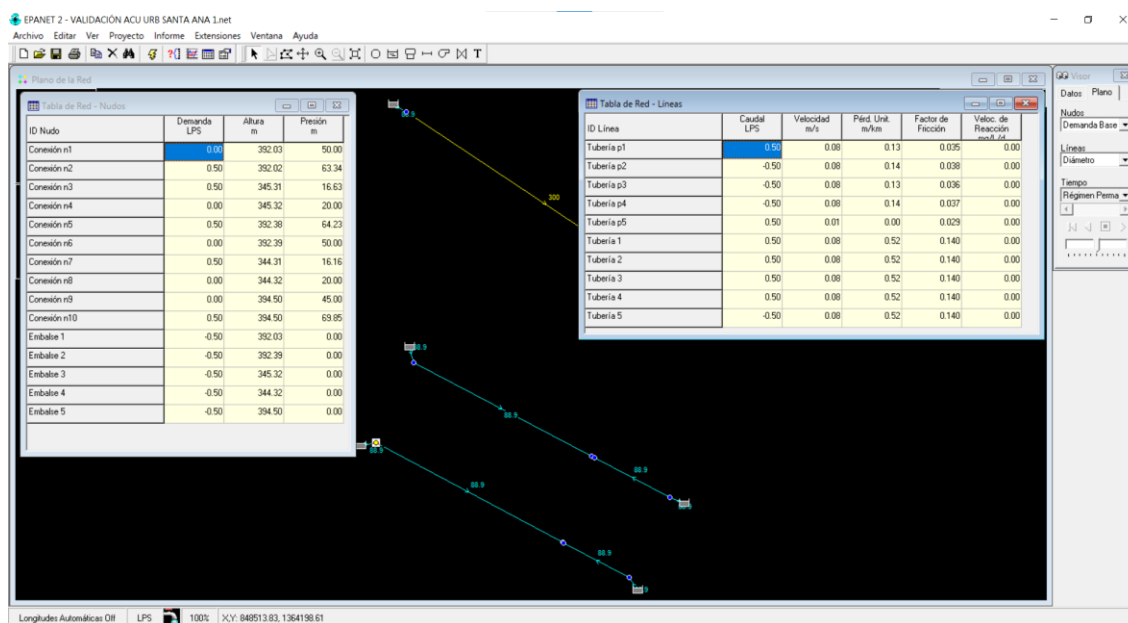
A partir del plano exportado desde AutoCAD (ver Figura 34) y procesado en EpaCAD, se construyó el modelo hidráulico en EPANET, configurando los nodos, líneas de conducción y los puntos de vertimiento según la información suministrada por el área técnica.

Simulación en EPANET

Para este proyecto la demanda base corresponde es de 0.5 lps y la presión de los embalses de 70 mca; la simulación fue desarrollada exitosamente, obteniendo valores de presión, caudal y velocidad de la red como se puede evidenciar en la Figura 44.

Figura 44.

Simulación de la red de Acueducto en la urbanización Santa Ana.



Nota. Resultados de la simulación hidráulica de la red de acueducto de la urbanización Santa Ana en EPANET, donde se representa el trazado del sistema y se visualizan los valores de caudal, presión y velocidad en los distintos tramos, de acuerdo con la demanda base de 0,5 l/s y una presión de embalses de 70 mca (U.S. Environmental Protection Agency, 2000)

Simulacion en EPA SWMM

Se desarrolló la simulación de acuerdo al cuadro de diseño de alcantarillado sanitario de la empresa AguasKpital (Figura 45) en el software EPA SWMM, teniendo en cuenta las cotas rasantes y cotas fondo en los pozos, rugosidad del material que corresponde a 0.0015 para tubería de PVC, diámetro de Ø8", con el fin de verificar la eficiencia de la red, mediante la obtención del perfil de la lámina de agua como se muestra en la Figura 48.

Figura 45.

Cuadro de diseño Alcantarillado Urbanización Santa Ana.

Nota. Cuadro de diseño del sistema de alcantarillado sanitario de la Urbanización Santa Ana, elaborado por el equipo de diseño de Aguas Kpital Cúcuta S. A. E. S. P. en una hoja de cálculo de Microsoft Excel, donde se sintetizan cotas fondo, longitudes, diámetros, rugosidades y caudales de diseño que sirven de insumo para la modelación hidráulica del colector principal (Microsoft Corporation, 2021).

Tabla 4.

Pozos designados para la simulación en EPA SWMM

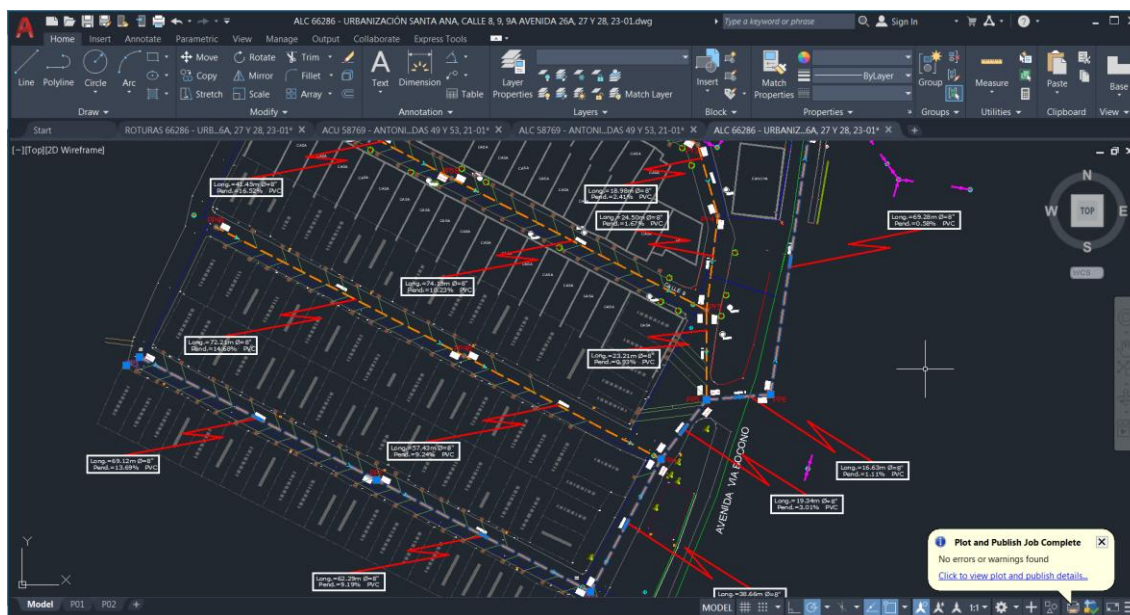
Nodo INP	Diseño
14	PP4A
15	PP4B
16	PY5
17	PP3
18	PP6
19	PP8
20	PP9
21	RECEPTOR

Nota. Los pozos que se seleccionaron corresponden al colector principal que atenderá la descarga de los usuarios.

Con base en la identificación de estos pozos, se organizó la información requerida para el modelado hidráulico, facilitando la verificación de cotas y el cálculo de los aportes que confluyen a cada nodo. Los caudales fueron asignados directamente en los nodos seleccionados, posterior a la revisión de los aportes provenientes de los tramos aguas arriba. Figura 47. ilustra este proceso, donde se representan los ajustes de caudal aplicados en el modelo, garantizando que los valores ingresados correspondieran con el cuadro de diseño y con la estructura del colector.

Figura 46.

En el modelado de AutoCAD se ubicó el colector para y se modeló en EPA SWMM.



Nota. Vista en planta del modelo geométrico del colector principal de la Urbanización Santa Ana, elaborado en AutoCAD y preparado para su exportación hacia EPA SWMM, tramos seleccionados para el análisis hidráulico del sistema de alcantarillado sanitario (Autodesk AutoCAD, 2021).

Tabla 5.

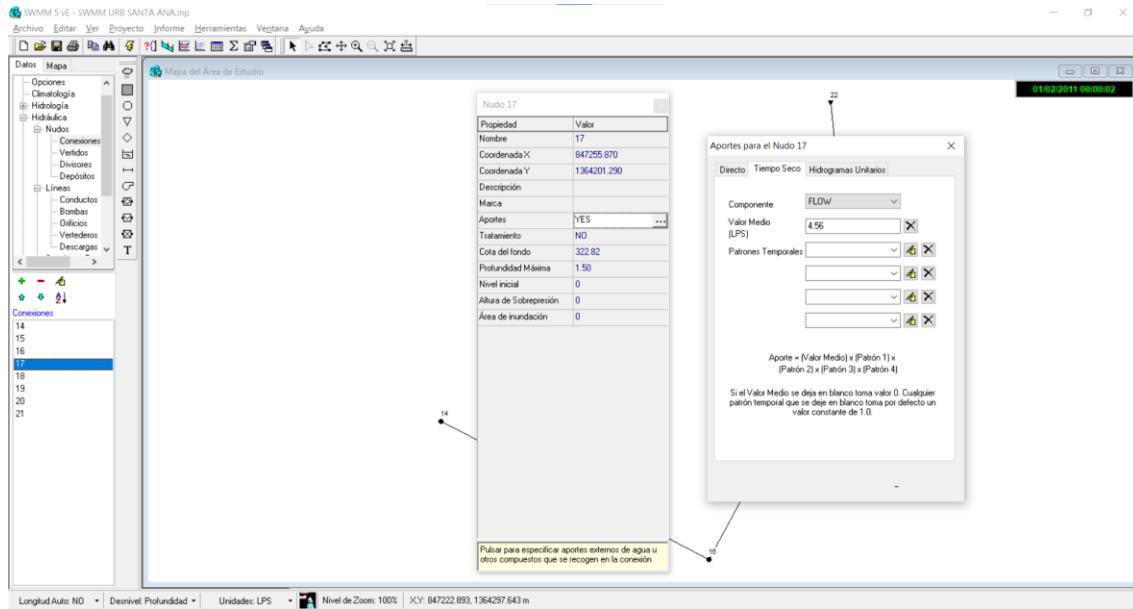
Datos recopilados para revisión en EPA SWMM

Pozo	Nodo en SWMM	Cota fondo (m)	Tramo	Diámetro (m)	Longitud (m)	Caudal (L/s)
PP4A	14	339.15	PP1– PP4	0.182	72.21	1.50
PP4B	15	329.64	PP4B – PP4	0.182	57.43	1.58
PY5	16	323.87	PP5B – PY5	0.182	74.19	4.65
PP3	17	322.82	PP3 – PP4	0.182	38.66	3.64
PP6	18	321.03	PP5 – PP6	0.182	16.63	8.02
PP8	19	320.75	PP7 – PP8	0.182	33.07	9.03
PP9	20	320.33	PP8 – PP9	0.182	47.40	9.03
RECEPTOR	22	319.52	PE10 – RECEPT.	0.182	101.51	32.43

Nota. Se identificaron los diferentes caudales correspondientes a los tramos de interés, en la simulación, dentro de los nodos se ubicó el caudal aportado por los demás tramos

Figura 47.

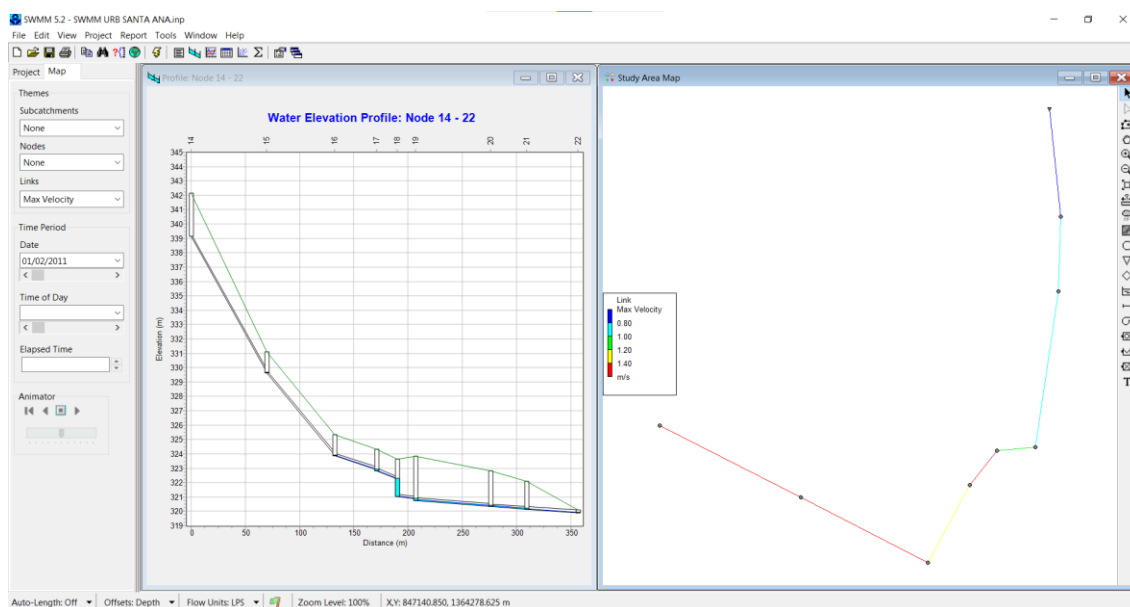
Ajustes de caudal de acuerdo con el aporte de los tramos.



Nota. Captura de pantalla de la interfaz del modelo de alcantarillado de la Urbanización Santa Ana en EPA SWMM, donde se muestran los caudales asignados en los nodos del colector principal, ajustados de acuerdo con los aportes de los tramos aguas arriba como etapa previa a la simulación hidráulica (U.S. Environmental Protection Agency, 2014).

Figura 48.

Simulación de la red de alcantarillado en la urbanización Santa Ana.



Nota. Perfil hidráulico del colector principal de la Urbanización Santa Ana obtenido en EPA SWMM, en el que se observa la lámina de agua a lo largo de los pozos de inspección y se verifica que el nivel no supera la cota de clave ni genera condiciones de rebosamiento en la red (U.S. Environmental Protection Agency, 2014).

Finalmente, en la Figura 48. se muestra el perfil obtenido tras la simulación, donde se evidencia que la lámina de agua se mantiene por debajo de la cota de clave y no se presentan condiciones de rebosamiento en ninguno de los pozos analizados. Este resultado ratifica la capacidad hidráulica del trazado diseñado y la coherencia entre los parámetros del cuadro de diseño y el comportamiento hidráulico simulado.

Reposición De Red Matriz De Acueducto Y Alcantarillado Antonia Santos

Se utilizó la información general del proyecto correspondiente al sector Antonia Santos. Este tramo, ubicado en la Calle 11 entre Avenidas 49 y 53, contempla la reposición de 268,96 m

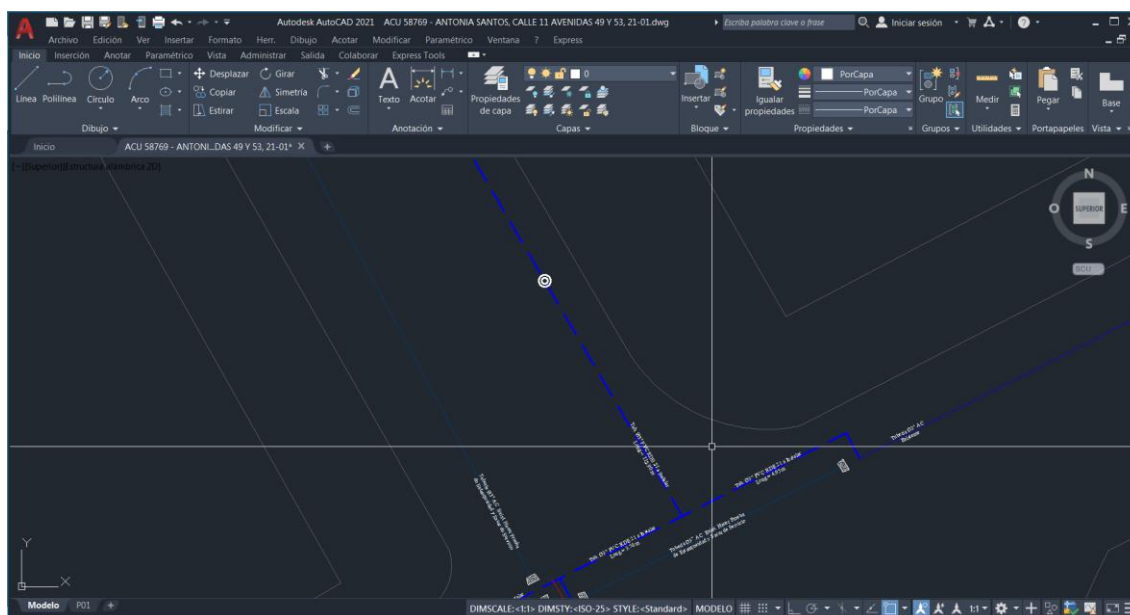
de tubería de acueducto en 3" y 281,04 m de alcantarillado en 8", además de 37 acometidas domiciliarias y 5 pozos asociados a la red sanitaria existente. La infraestructura actual se encontraba en estado regular, por lo que la modelación hidráulica permitió validar el comportamiento de las nuevas redes proyectadas y verificar que los parámetros de presión, velocidad y perfil hidráulico cumplieran los criterios establecidos por la normativa vigente.

Simulación en EPANET

El modelo del sistema de acueducto fue generado inicialmente por el equipo técnico mediante la exportación del plano en formato .dxf hacia EpaCAD y posteriormente hacia EPANET (Figura 52.).

Figura 49.

Se replicó la tubería de acueducto en una capa específica para exportar en .dxf



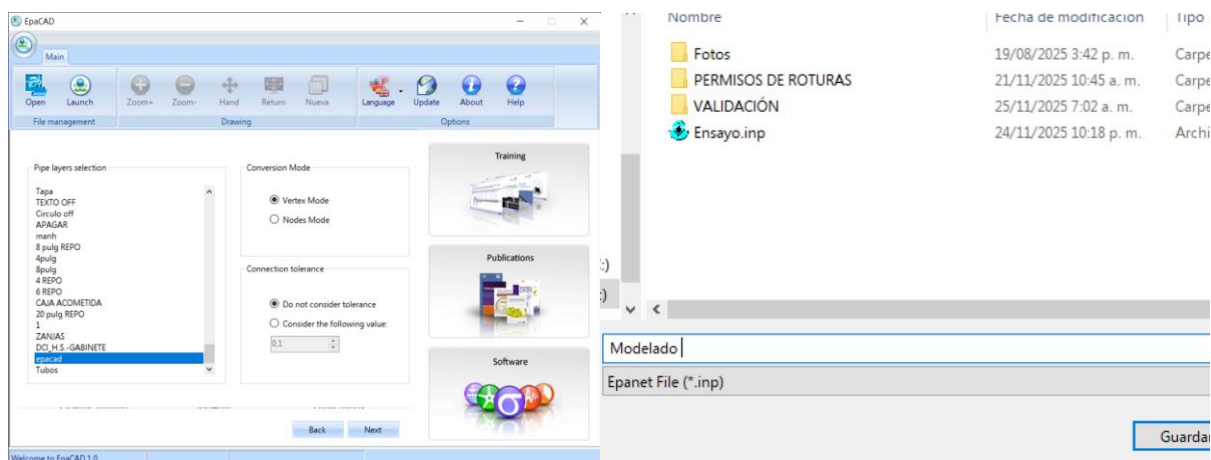
Nota. Modelo en planta de la red matriz de acueducto del sector Antonia Santos, dibujado en una capa específica de AutoCAD para generar el archivo en formato .dxf que se utilizará

posteriormente en EpaCAD y EPANET para la construcción del modelo hidráulico (Autodesk AutoCAD, 2021).

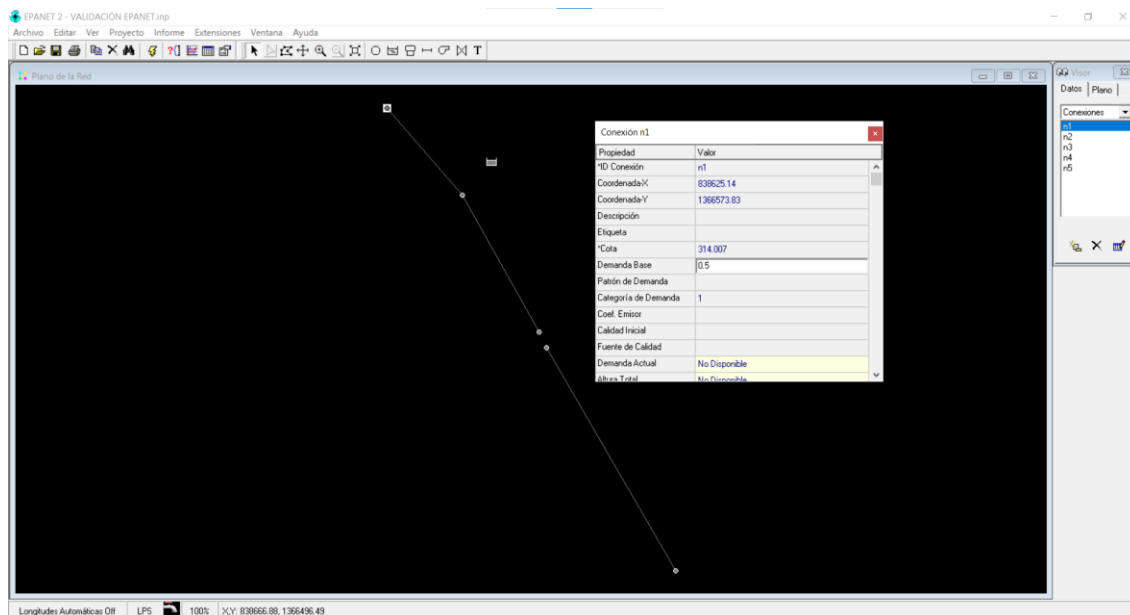
Para exportar el archivo a EpaCAD, se elaboró un trazado en AutoCAD utilizando polilíneas que replican con precisión la ubicación de los puntos originales, conservando sus mismas coordenadas. Posteriormente, estas polilíneas se organizaron en una única capa y se exportaron en formato .dxf para su correcta importación en EpaCAD.

Figura 50.

Implementación de EpaCAD para exportar el archivo a .inp

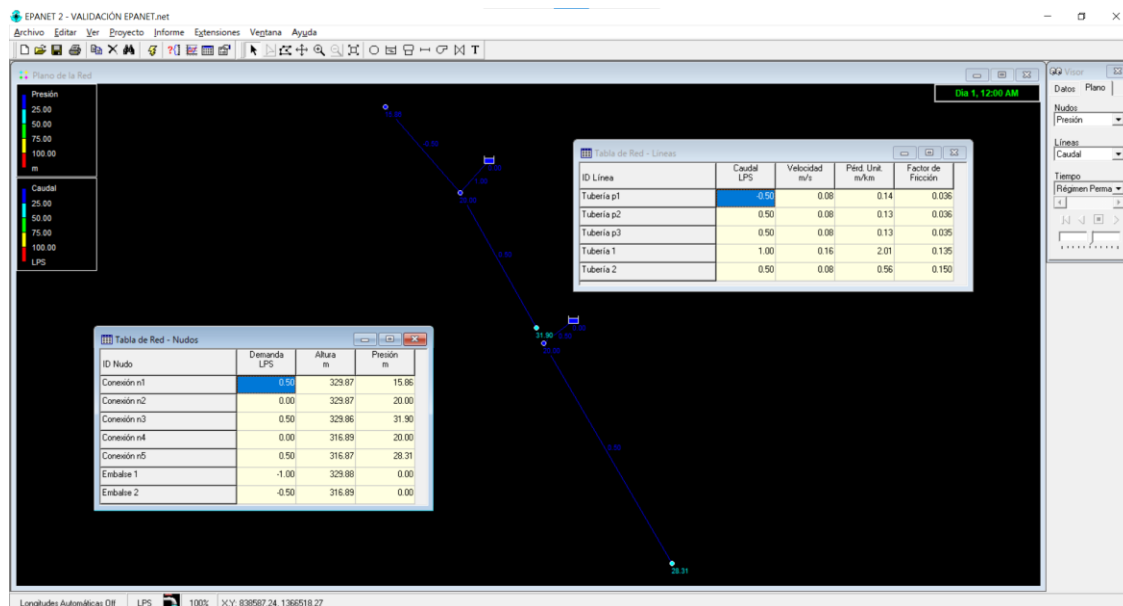


Nota. Captura de pantalla de EpaCAD durante el proceso de exportación del trazado de la red de acueducto de Antonia Santos a un archivo de entrada .inp, que se emplea para generar automáticamente el modelo de simulación en EPANET (EpaCAD, s. f.)

Figura 51.*Configuración de condiciones de flujo*

Nota. Vista del modelo de la red de acueducto del sector Antonia Santos en EPANET, donde se observan las configuraciones de flujo, las presiones de diseño y las conexiones adicionales incorporadas para completar el esquema hidráulico antes del análisis definitivo (U.S. Environmental Protection Agency, 2000).

En este proyecto participé en la verificación de datos, el ajuste puntual de parámetros y la ejecución de las simulaciones, asegurando la coherencia entre la información de diseño y el comportamiento observado en los modelos hidráulicos. Esta revisión permitió identificar y reportar oportunamente cualquier diferencia entre los planos, las cotas del cuadro de diseño y los resultados obtenidos en las simulaciones de EPANET. Demanda base de 0.5 lps, y presión de 30 mca.

Figura 52.*Simulación de la red de Acueducto en Antonia Santos*

Nota. Resultados de la simulación hidráulica de la red de acueducto del barrio Antonia Santos en EPANET, en los que se presenta de forma conjunta el trazado de la red y los valores de caudal, velocidad y presión asociados a cada tramo y nodo del modelo, lo que permite verificar el cumplimiento de los criterios de diseño establecidos (U.S. Environmental Protection Agency, 2000)

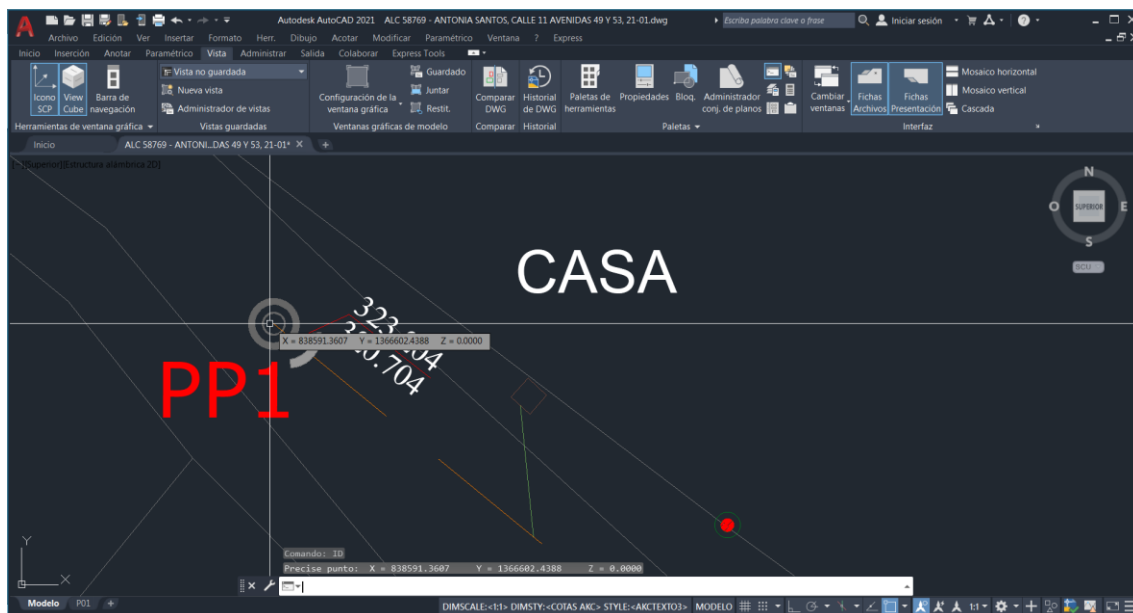
Los resultados de la simulación en EPANET mostraron caudales entre 0.50 y 1.00 L/s y velocidades que oscilaron entre 0.08 y 0.16 m/s en los tramos evaluados. En este caso, las pérdidas unitarias se mantuvieron por debajo de 2.10 m/km, lo que confirma que el sistema opera de manera estable y que el comportamiento hidráulico es coherente con las características del material y las condiciones proyectadas.

Simulación en EPA SWMM

Se desarrolló el proceso de simulación en EPA SWMM, el cual consistió en ubicar los pozos en sus coordenadas exactas, identificarlas y ubicarlas en el excel de epm, se ubicaron los caudales, diámetros, áreas y cotas en el excel proveniente del cuadro de diseño y se exportó a .inp.

Figura 53.

Identificación de coordenadas de los pozos de inspección



Nota. Las coordenadas permitieron ubicar los pozos de manera exacta en los ejes X y Y, facilitando su posterior incorporación en el archivo Excel para la construcción del modelo hidráulico (Autodesk AutoCAD, 2021).

Figura 54.

Datos de diseño en el Excel de EPM

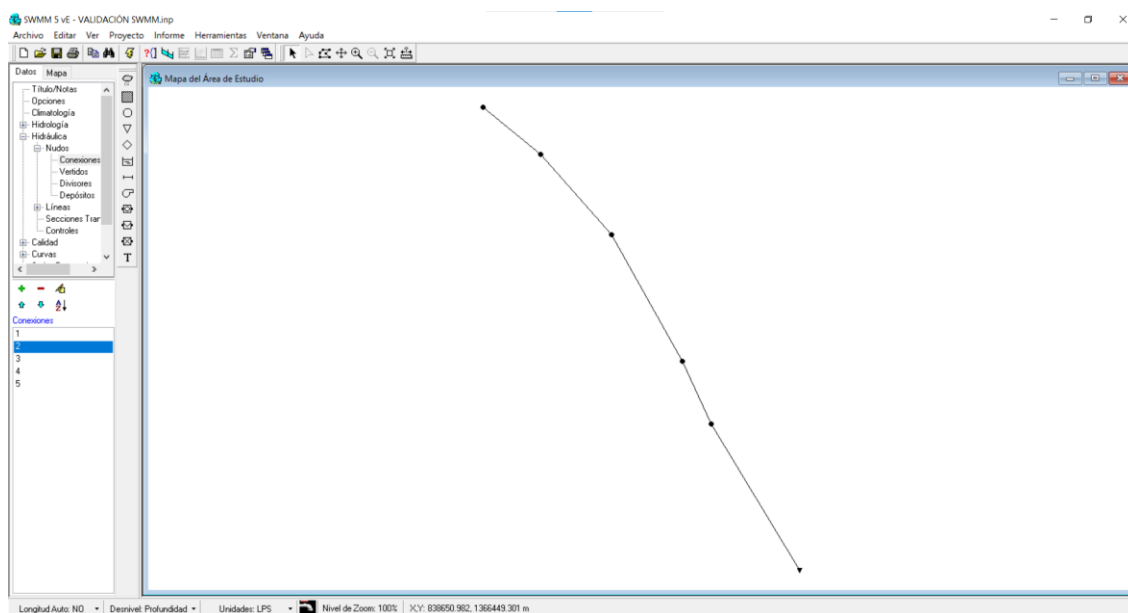
<

Nota. Registro de datos correspondientes a áreas de aporte, coordenadas, cotas, caudales y diámetros asociados a cada pozo, organizado en una hoja de cálculo de Microsoft Excel, lo que facilita su ubicación exacta y su posterior utilización en la construcción del archivo de diseño y del modelo hidráulico (Microsoft Corporation, 2021).

Una vez consolidados los datos, el modelo fue exportado a formato .inp, lo que permitió realizar una revisión detallada de los nodos y tramos del colector. Este proceso incluyó la verificación de cotas fondo, longitudes, pendientes y diámetros, asegurando la coherencia entre el cuadro de diseño y la geometría representada en el modelo. Con esta revisión previa, la simulación se ejecutó correctamente.

Figura 55.

Modelo exportado desde macro de EPM



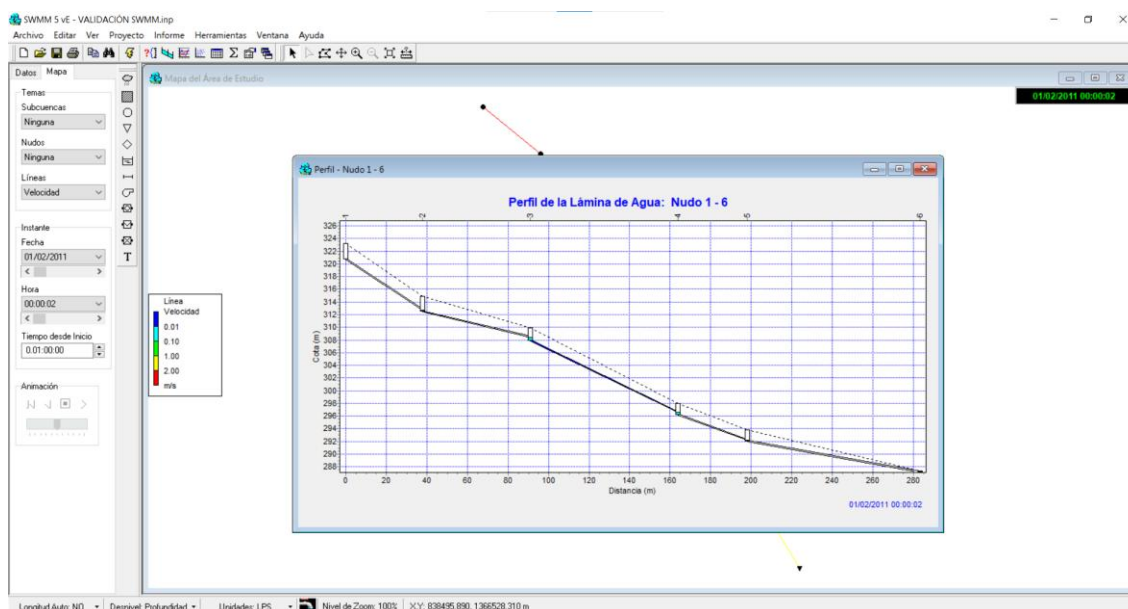
Nota. Modelo de la red de alcantarillado del sector Antonia Santos exportado mediante la macro de EPM en Microsoft Excel e importado a EPA SWMM, en el que se visualiza el trazado completo del colector y se integran los valores de diseño suministrados por Aguas Kpital Cúcuta S. A. E. S. P. para su análisis hidráulico (U.S. Environmental Protection Agency, 2014).

Posteriormente se corrió la simulación hidráulica, obteniendo el perfil del trazado mostrado en la Figura 56. El objetivo principal fue comprobar que la lámina de agua se mantuviera dentro de los límites operativos del sistema, sin producir rebosamientos ni sobrepresiones en los pozos.

Finalmente se obtuvo el perfil que observamos en la Figura 56., donde se evidenció que no había rebose y el nivel del agua estaba en la cota correspondiente

Figura 56.

Simulación de la red de alcantarillado en Antonia Santos.



Nota. Perfil hidráulico del colector de alcantarillado sanitario en el sector Antonia Santos, generado mediante la simulación en EPA SWMM y empleado para verificar que la lámina de agua se mantenga por debajo de la cota de clave, evitando condiciones de rebosamiento en los pozos de inspección. (U.S. Environmental Protection Agency, 2014)

Finalmente, el perfil obtenido evidenció que el colector mantiene un comportamiento hidráulico estable. La lámina de agua permanece en todo momento por debajo de la cota de clave, lo que descarta riesgos de rebosamiento. La pendiente del tramo asegura un flujo gravitacional uniforme, y las variaciones puntuales en los pozos intermedios corresponden a efectos locales propios de las pérdidas de energía, sin afectar la operación general. No se identificaron zonas de retención ni tramos con contraflujo, y el gradiente hidráulico se mantuvo por encima del nivel de agua simulado, lo que confirma que la red opera dentro de las condiciones técnicas de diseño establecidas para un sistema sanitario por gravedad.

Objetivo 5.

“Modelar tridimensionalmente la estructura tipo pozo de inspección más crítica de los diseños realizados, con la finalidad de evaluar el comportamiento hidráulico de las caídas dentro de ella.”

El análisis tridimensional del pozo crítico se realizó mediante un modelo CFD construido en OpenFOAM, con el propósito de evaluar el comportamiento bifásico del flujo y analizar los efectos hidráulicos generados por la diferencia de niveles entre la tubería de entrada y la de salida.

La modelación CFD en OpenFOAM permitió analizar el comportamiento hidráulico en diferentes configuraciones de pozos de inspección, variando caudales, alturas de caída y número de aportes. A partir de estas simulaciones se identificaron patrones de acumulación de flujo, desarrollo de turbulencia, zonas de impacto y potenciales focos de desgaste estructural, lo que aporta criterios adicionales al diseño tradicional basado únicamente en perfiles longitudinales.

Pozo PP2: Barrio Antonia Santos (caída sin diferencia de niveles marcada)

Descripción del caso

Tabla 6.

Parámetros de entrada PP2.

Parámetro	Valor
Identificación del pozo	PP2 – Barrio Antonia Santos
Altura del pozo	1,6 m
Diámetro tubería de entrada	8" PVC
Diámetro tubería de salida	8" PVC
Caudal de diseño	1,5 L/s
Diferencia de niveles entrada–salida	Prácticamente nula
Condición de alineación	Flujo casi alineado entre entrada y salida
Número de aportes	1

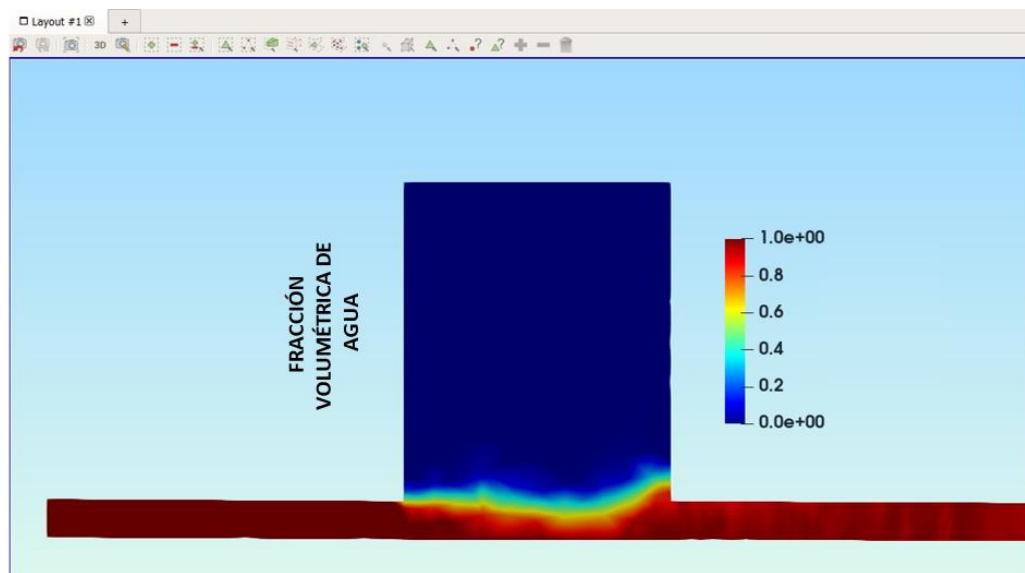
Nota. Los datos se tomaron a partir de la información provista por los diseños.

Comportamiento del flujo

En el campo de fracción volumétrica se observa que el flujo se concentra en la base del pozo, ocupando la zona inferior sin generar rebose hacia la clave de la estructura. Esta acumulación en el fondo indica una condición propensa a la sedimentación si la pendiente de la tubería de salida no se mantiene dentro de los valores de diseño.

Figura 57.

Flujo Volumétrico en el pozo PP2 - Antonia Santos

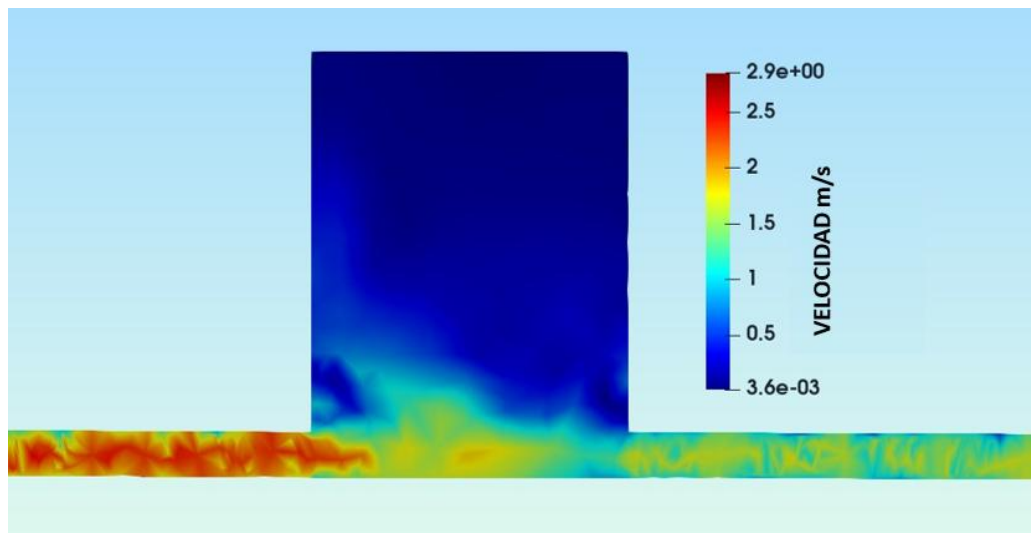


Nota. Distribución de la fase agua en el interior del pozo PP2 obtenida mediante simulación CFD bifásica con el solver interFoam de OpenFOAM; se aprecia acumulación del flujo en el fondo y descarga controlada hacia la tubería de salida, condicionada por la pendiente de 7,57 % (OpenFOAM Foundation, 2025).

En el análisis de velocidades, el flujo que llega por la tubería entrante alcanza valores cercanos a 2,5 m/s y sufre una disminución brusca al ingresar al pozo, para luego recuperar velocidad en el conducto de salida. Esta pérdida y recuperación de energía se refleja en un patrón de vórtice relativamente suave, con rotación interna, pero sin recirculaciones de gran escala.

Figura 58.

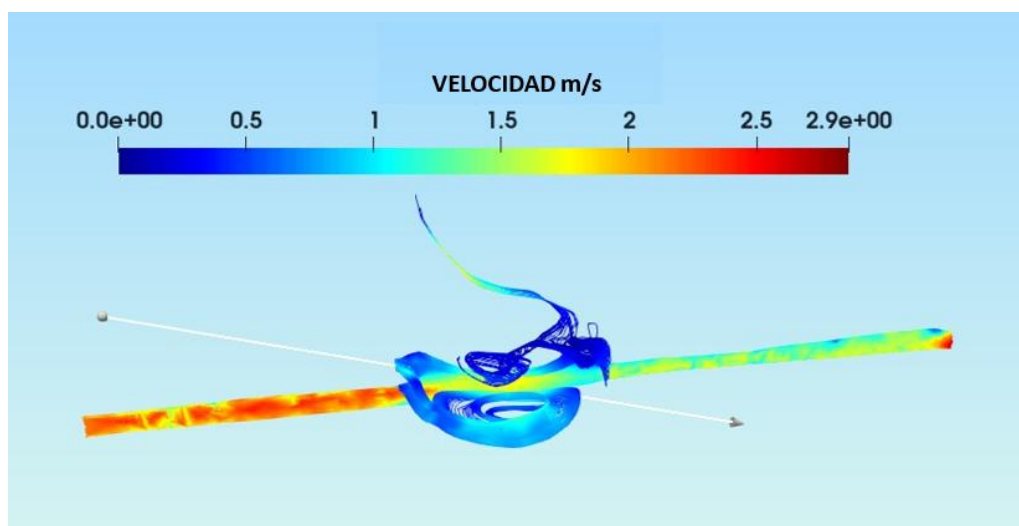
Campo de velocidad en el pozo PP2 - Antonia Santos



Nota. Campo de velocidades en el pozo PP2 calculado mediante simulación CFD con interFoam en OpenFOAM; se observa la reducción de la velocidad al ingreso al pozo y la posterior aceleración del flujo hacia la tubería de salida (OpenFOAM Foundation, 2025).

Figura 59.

Líneas de corriente del campo de velocidades.



Nota. Visualización del flujo obtenida a partir de la simulación CFD con *interFoam*. Las líneas de corriente (streamlines) están coloreadas según la magnitud de la velocidad (m/s), evidenciando el desarrollo del chorro que ingresa por la tubería afluente, la rotación interna dentro del pozo y la posterior conducción hacia la tubería de salida (OpenFOAM Foundation, 2025).

Pozo PP4 – Antonia Santos (caída moderada de 0,40 m)

Descripción del caso

Figura 60.

Parámetros de entrada PP4.

Parámetro	Valor
Identificación del pozo	PP4 – Barrio Antonia Santos
Altura del pozo	2,0 m
Diámetro tubería de entrada	8" PVC
Diámetro tubería de salida	8" PVC
Caudal de diseño	1,58 L/s
Diferencia de niveles entrada–salida	≈ 0,40 m
Número de aportes	1

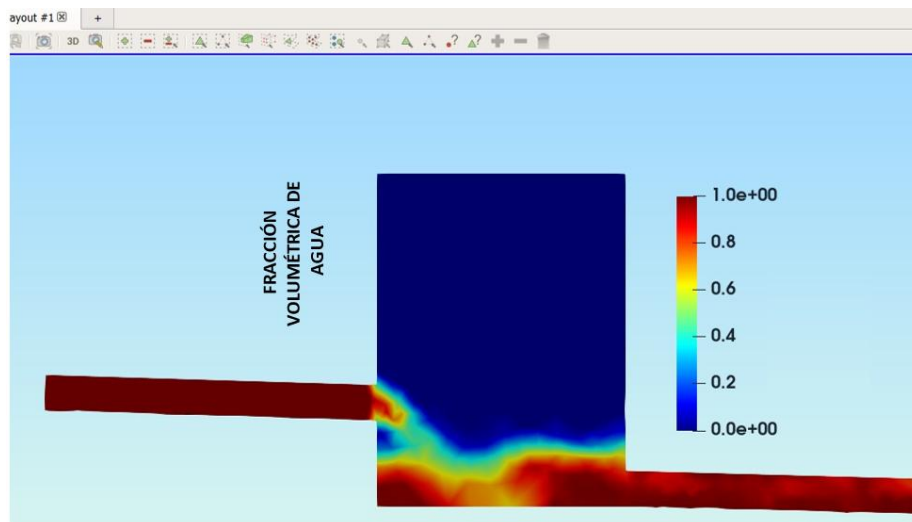
Nota. Los datos se tomaron a partir de la información provista por los diseños.

Comportamiento del flujo

En el campo de fracción volumétrica se observa un flujo que entra, impacta y rota dentro del pozo, pero sin generar acumulaciones permanentes en el fondo. La lámina de agua se organiza en una trayectoria remansada, lo que permite una descarga continua hacia la tubería de salida y reduce el riesgo de estancamiento.

Figura 61.

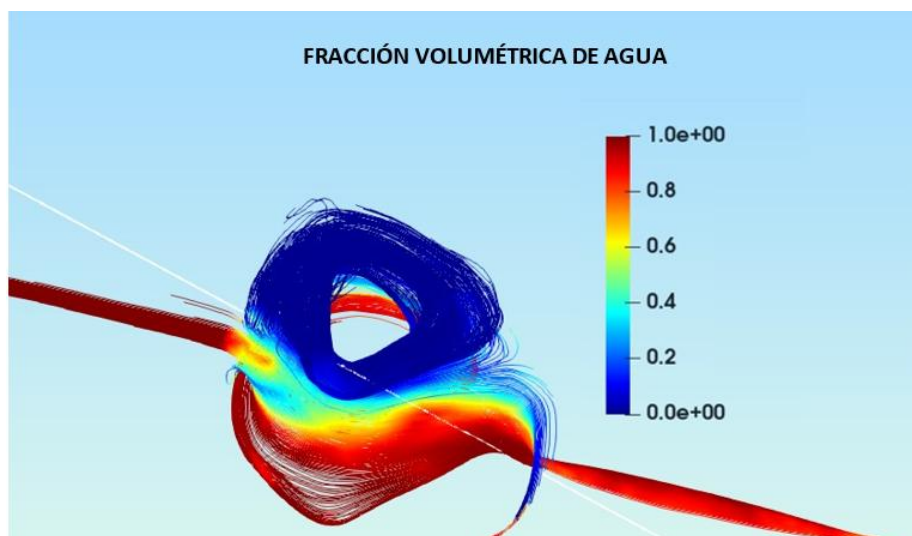
Flujo volumétrico en el pozo PP4 - Antonia Santos.



Nota. Comportamiento del flujo con caída de 0,40 m; se aprecia rotación interna del agua sin formación de zonas muertas en el fondo del pozo. (OpenFOAM Foundation, 2025)

Figura 62.

Líneas de corriente del flujo volumétrico.



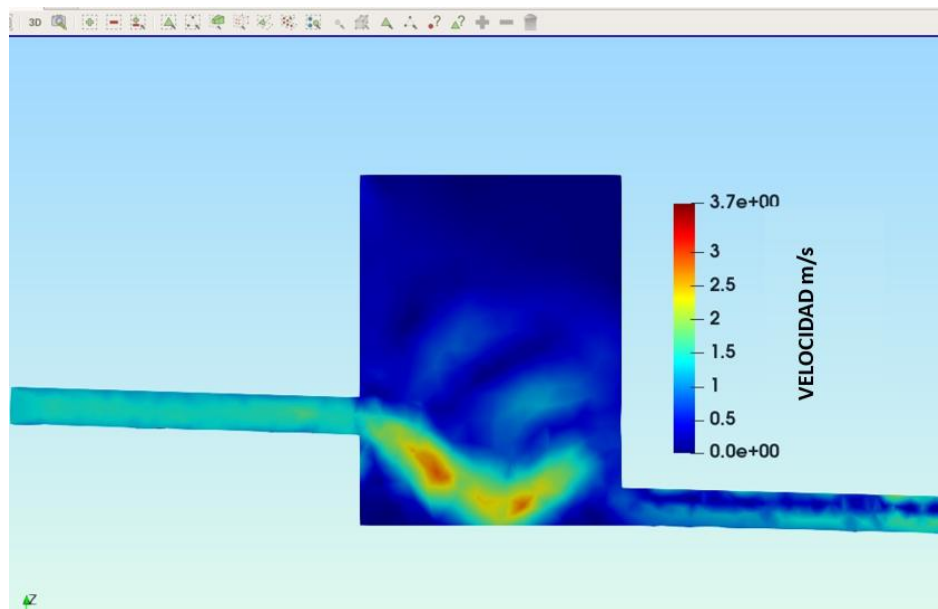
Nota. Visualización del flujo volumétrico en el pozo PP4 obtenida a partir de la simulación CFD con interFoam en OpenFOAM; las líneas de corriente (streamlines) están coloreadas según la

magnitud de la velocidad (m/s), lo que permite identificar el desarrollo del chorro entrante, la rotación interna dentro del pozo y su conducción hacia la tubería de salida (OpenFOAM Foundation, 2025).

En cuanto a velocidades, el agua entra con valores cercanos a 1,4 m/s, desarrolla un chorro interno y luego disminuye levemente su magnitud al mezclarse con el volumen almacenado en la base. El impacto genera una “mancha” localizada de alta velocidad y turbulencia, pero sin comprometer la estabilidad global del pozo.

Figura 63.

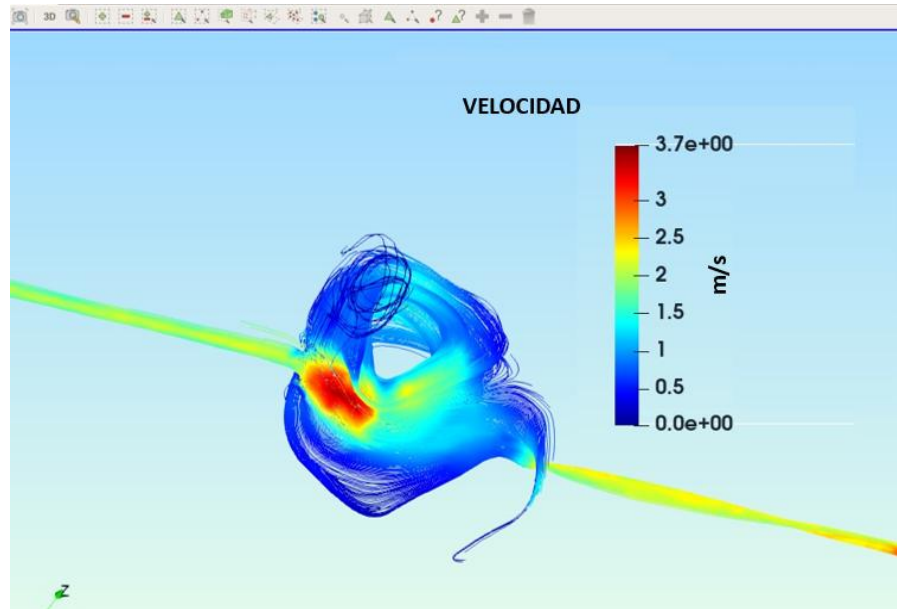
Campo de velocidades en el pozo PP4 - Antonia Santos.



Nota. Campo de velocidades U en el pozo PP4 obtenido mediante simulación CFD en OpenFOAM; se evidencia una zona de impacto localizada entre el chorro entrante y la lámina de agua existente, donde la disipación de energía se concentra en el fondo del pozo sin provocar rebose (OpenFOAM Foundation, 2025).

Figura 64.

Líneas de corriente del campo de velocidades.

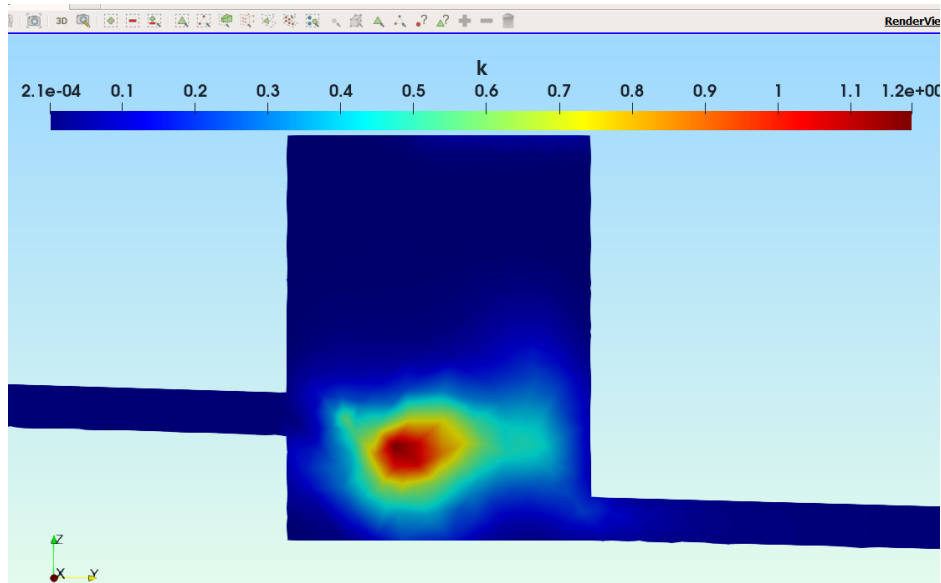


Nota. Visualización del flujo obtenida a partir de la simulación CFD con *interFoam*. Las líneas de corriente (streamlines) están coloreadas según la magnitud de la velocidad (m/s), evidenciando el desarrollo del chorro que ingresa por la tubería afluente, la rotación interna dentro del pozo y la posterior conducción hacia la tubería de salida (OpenFOAM Foundation, 2025).

La distribución de la energía cinética turbulenta k , localiza en el punto de impacto del chorro sobre la solera y próximo a la tubería que aporta el flujo, mientras que el resto del dominio presenta niveles bajos de turbulencia.

Figura 65.

Distribución de la energía cinética turbulenta.



Nota. Mapa de energía cinética turbulenta k obtenido con el modelo $k-\omega$ SST evidencia una región localizada de alta energía cinética turbulenta en la zona de impacto del flujo sobre el fondo del pozo, donde se concentra la disipación de energía (OpenFOAM Foundation, 2025).

Pozo PY2 – Urbanización Santa Ana (caída crítica > 1,0 m)

Descripción del caso

Tabla 7.

Parámetros de entrada PY2.

Parámetro	Valor
Identificación del pozo	PY2 – Urbanización Santa Ana
Altura del pozo	2,0 m
Diámetro tubería de entrada	8" PVC
Diámetro tubería de salida	8" PVC
Caudal de diseño	3,64 L/s
Diferencia de cota entrada–fondo	$\approx 1,10$ m
Número de aportes	1

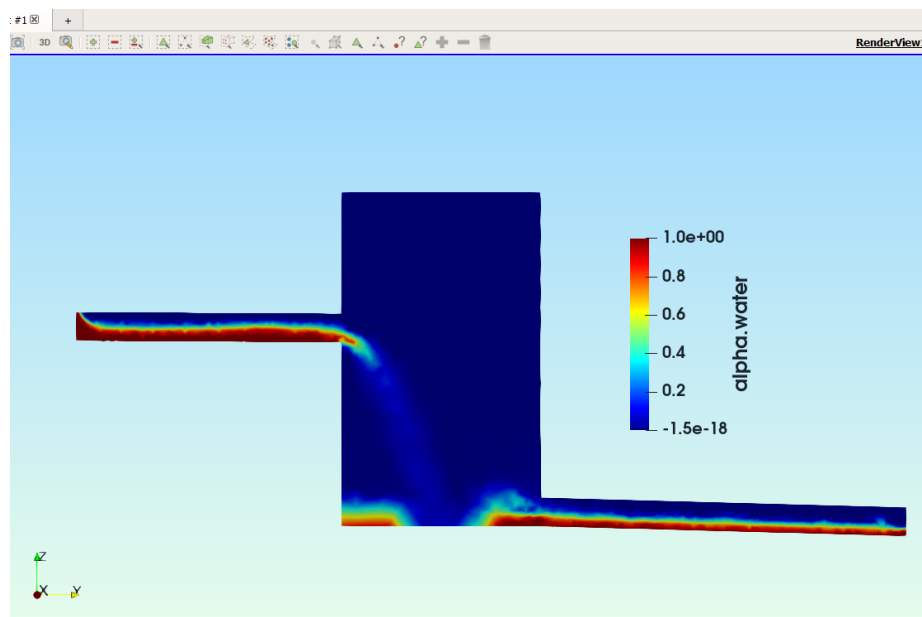
Nota. Los datos se tomaron a partir de la información provista por los diseños.

Comportamiento del flujo

El perfil longitudinal y el campo de fracción volumétrica muestran que el chorro impacta directamente sobre la base del pozo, sin colchón hidráulico previo. No se observa acumulación significativa de agua en el fondo, pero el flujo golpea de forma concentrada la base, lo que, a largo plazo, se traduce en condiciones más severas de desgaste estructural.

Figura 66.

Flujo volumétrico en el pozo PY2 - Urbanización Santa Ana.

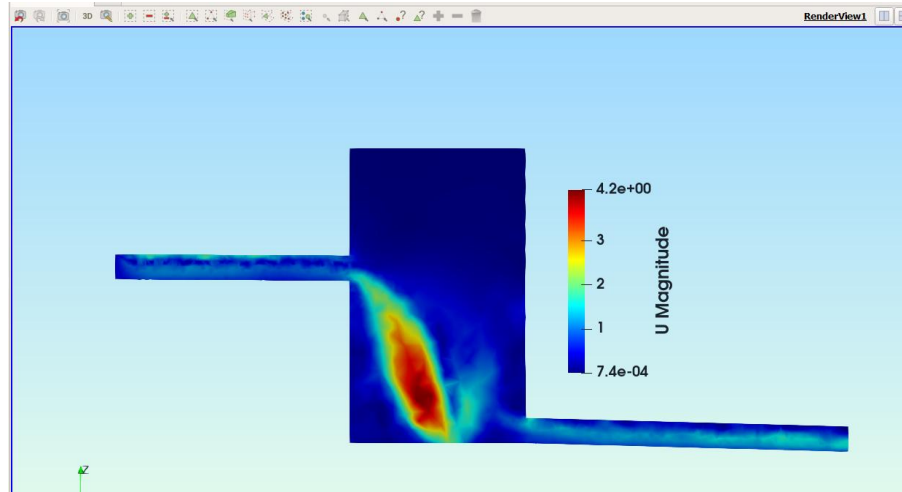


Nota. Distribución volumétrica de la fase agua en el pozo PY2 de la urbanización Santa Ana obtenida mediante un modelo bifásico VOF en OpenFOAM; el chorro proveniente de la tubería de entrada impacta directamente la base del pozo sin amortiguamiento previo, lo que indica un potencial aumento de erosión y deterioro de la base (OpenFOAM Foundation, 2025).

En la visualización de velocidades se aprecia que la caída permite desarrollar velocidades relativamente altas a lo largo de la trayectoria del chorro, que luego se distribuyen hacia la tubería de salida.

Figura 67.

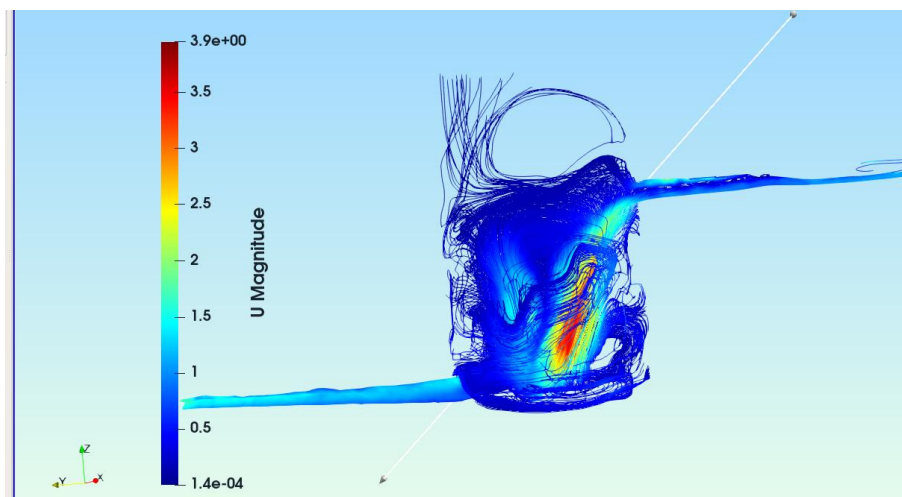
Campo de velocidades y turbulencia en el pozo PY2 – Urbanización Santa Ana.



Nota. La caída de 1,10 m genera un chorro de alta velocidad que se disipa principalmente en la zona inferior del pozo, se observan velocidades cercanas a los 4.2 m/s incrementando las sollicitaciones sobre la base y las paredes cercanas (OpenFOAM Foundation, 2025).

Figura 68.

Líneas de corriente del campo de velocidades.



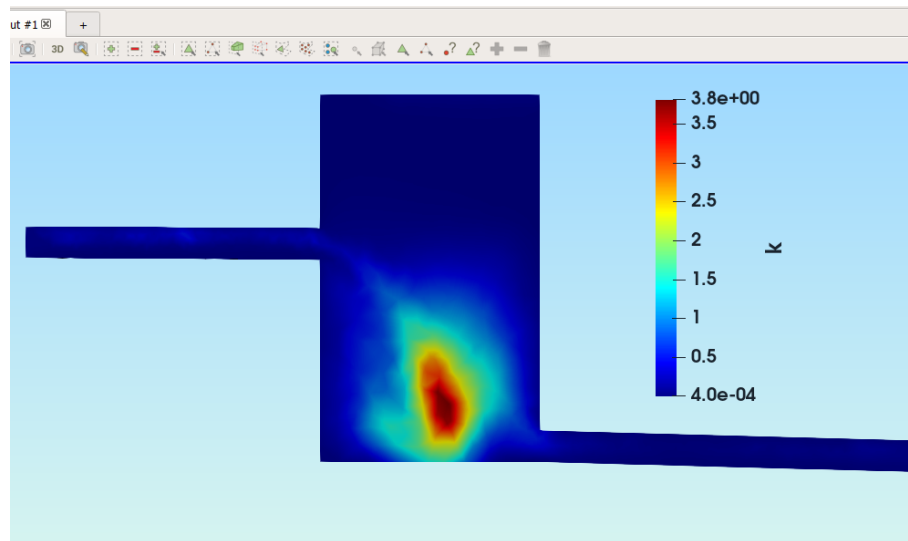
Nota. Visualización del flujo obtenida a partir de la simulación CFD con *interFoam*. Las líneas

de corriente (streamlines) están coloreadas según la magnitud de la velocidad (m/s), evidenciando el desarrollo del chorro que ingresa, la rotación interna dentro del pozo y la posterior conducción hacia la tubería de salida. (OpenFOAM Foundation, 2025).

En cuanto a distribución de la energía cinética turbulenta k , observó un núcleo de valores elevados alargado y definido a lo largo de la trayectoria del chorro descendente. La zona roja indica el núcleo principal de turbulencia que se desarrolla desde la caída hasta el impacto en la solera, mientras que el resto del dominio mantiene niveles bajos de k .

Figura 69.

Distribución de la energía cinética turbulenta k a lo largo del chorro descendente en el pozo de inspección.



Nota. El campo de k calculado con el modelo $k-\omega$ SST muestra un núcleo concentrado de energía cinética turbulenta que se extiende desde la caída hasta el fondo del pozo, donde se produce la disipación principal de energía; fuera de esta región, la turbulencia es significativamente menor, lo que confirma que la base actúa como zona crítica de impacto (OpenFOAM Foundation, 2025).

Pozo PP5 – Urbanización Santa Ana (Caída crítica y con dos aportes)

Descripción del caso

Tabla 8.

Parámetros de entrada PP5

Parámetro	Valor
Identificación del pozo	PP5 – Urbanización Santa Ana
Altura del pozo	No especificada explícitamente
Diámetro tubería aporte 1	8" PVC
Diámetro tubería aporte 2	8" PVC
Diámetro tubería de salida	8" PVC
Caudal aporte 1	8,2 L/s
Caudal aporte 2	4.65 L/s
Altura de caída aporte 1	≈ 1,10 m
Altura de caída aporte 2	≈ 0,20 m
Número total de aportes	2

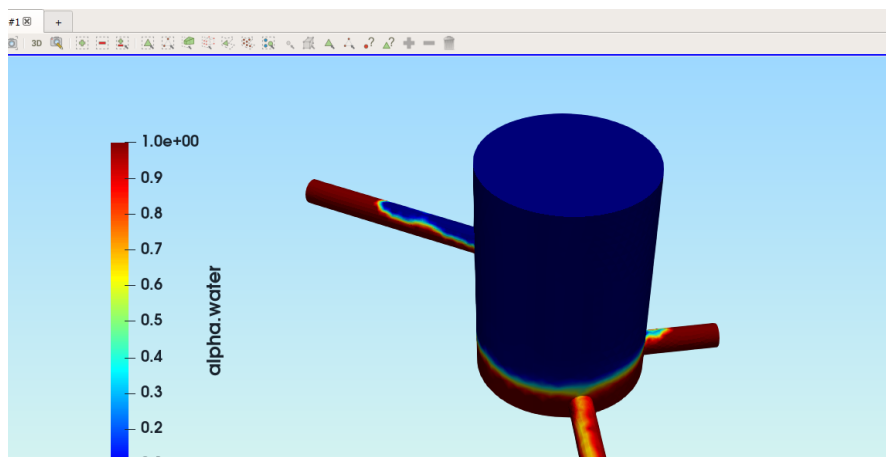
Nota. Condiciones y características del pozo de inspección.

Comportamiento del flujo

Los campos de fracción volumétrica muestran que el aporte de menor caída actúa como un “colchón” hidráulico en la base del pozo, amortiguando parcialmente el impacto del chorro proveniente de la caída mayor. Esta condición asemeja el funcionamiento de una cámara de caída, donde una porción del caudal se distribuye a la base para disipar energía.

Figura 70.

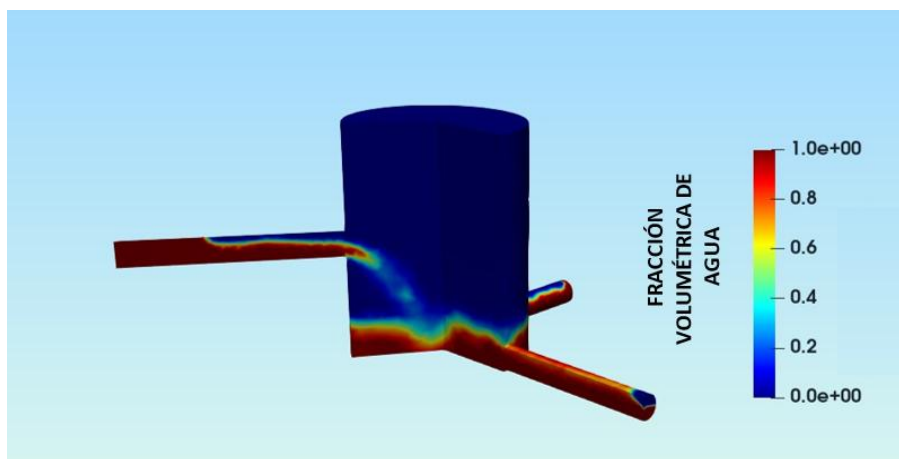
Distribución tridimensional de la fracción volumétrica de agua en el pozo de inspección.



Nota. Visualización de la fase agua y aire en el modelo bifásico VOF; los valores de α_{water} cercanos a 1 se concentran en la base del pozo y en las tuberías, indicando las zonas ocupadas por el flujo, mientras que la parte superior del cilindro corresponde principalmente a la fase aire (OpenFOAM Foundation, 2025).

Figura 71.

Distribución volumétrica del flujo en el pozo PP5 – Urbanización Santa Ana aporte con caída crítica.

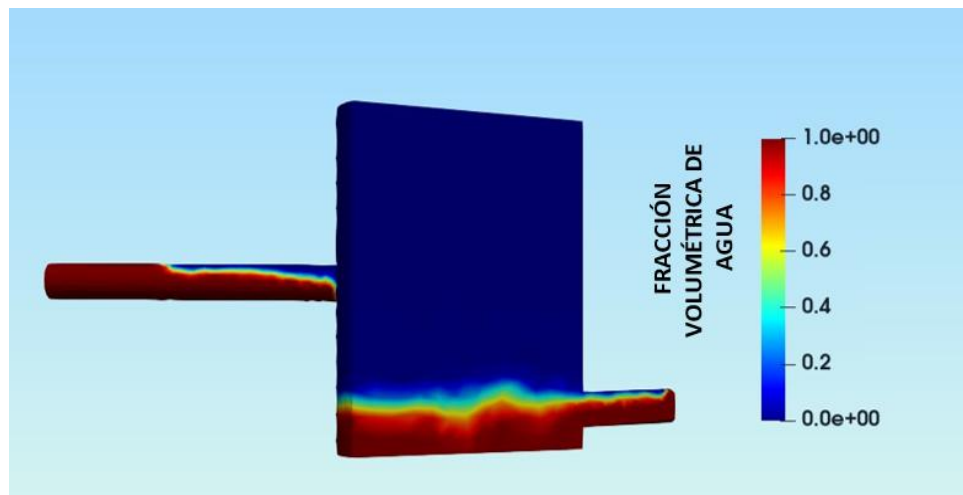


Nota. Distribución volumétrica del flujo en el pozo PP5 de la urbanización Santa Ana, donde el primer aporte, con caída crítica, interactúa con el segundo aporte, de caída aproximada de 0,20

m; la simulación CFD en OpenFOAM permite analizar cómo esta interacción modifica la disipación de energía en la base del pozo (OpenFOAM Foundation, 2023).

Figura 72.

Distribución volumétrica del flujo en el pozo PP5 – Urbanización Santa Ana aporte con caída de 0.2 m.



Nota. Distribución volumétrica del flujo en el pozo PP5 para el aporte con caída de 0,20 m, donde se aprecia la interacción entre los dos chorros y el comportamiento caótico del flujo bifásico, así como el efecto de impacto sobre el fondo del pozo, obtenido mediante simulación CFD en OpenFOAM (OpenFOAM Foundation, 2025).

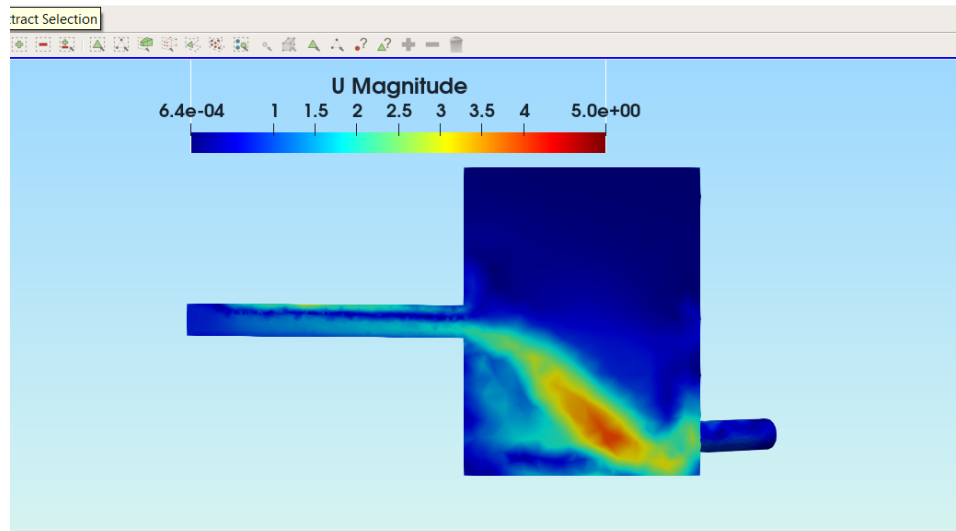
En el campo de velocidades se observa que, a medida que el chorro con mayor altura ingresa, la velocidad se incrementa de forma importante, pero disminuye al alcanzar el volumen acumulado en el fondo. La energía cinética se distribuye en el centro de la estructura, generando turbulencia intensa pero concentrada, con menor incidencia directa sobre las paredes superiores.

En la Figura 73 se muestra un corte longitudinal del pozo de inspección donde se representa la magnitud de la velocidad U . El flujo ingresa por la tubería de la izquierda con un campo relativamente uniforme y, al entrar al pozo, se forma un chorro que desciende y se desvía

hacia la tubería de salida ubicada a la derecha. El núcleo del chorro presenta las mayores velocidades (colores amarillos-rojo, cercanos a 4–5 m/s), mientras que en las demás zonas del pozo se observan zonas de baja velocidad, asociadas a recirculaciones y disipación de energía.

Figura 73.

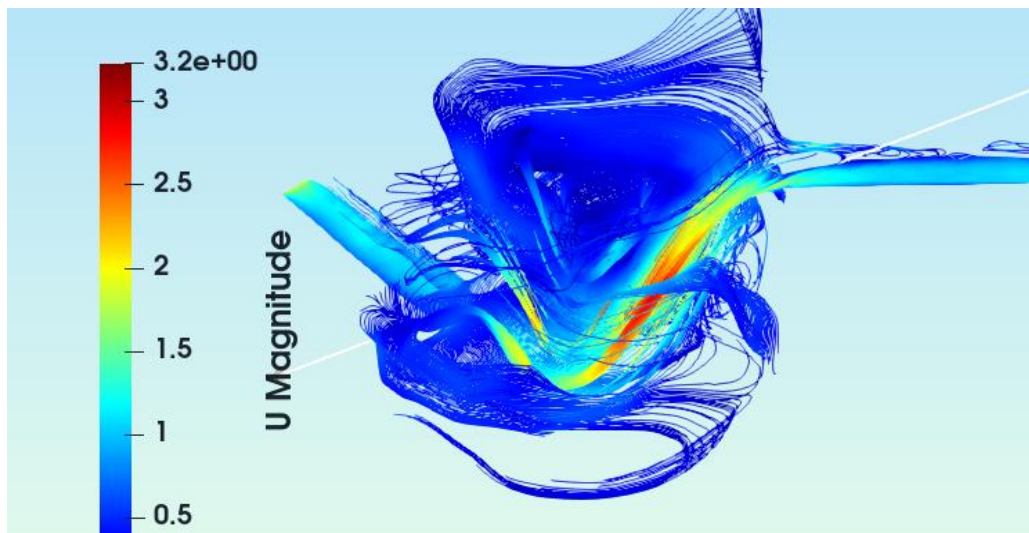
Campo de velocidades y energía en el pozo PP5 – Urbanización Santa Ana.



Nota. Campo de magnitud de velocidad U en el pozo de inspección PP5 de la urbanización Santa Ana, obtenido mediante simulación CFD con el solver interFoam de OpenFOAM, donde se identifica alta velocidad de flujo asociada a los chorros de entrada y su disipación hacia la tubería de salida (OpenFOAM Foundation, 2025).

Figura 74.

Líneas de corriente del campo de velocidades en el pozo de inspección crítico.



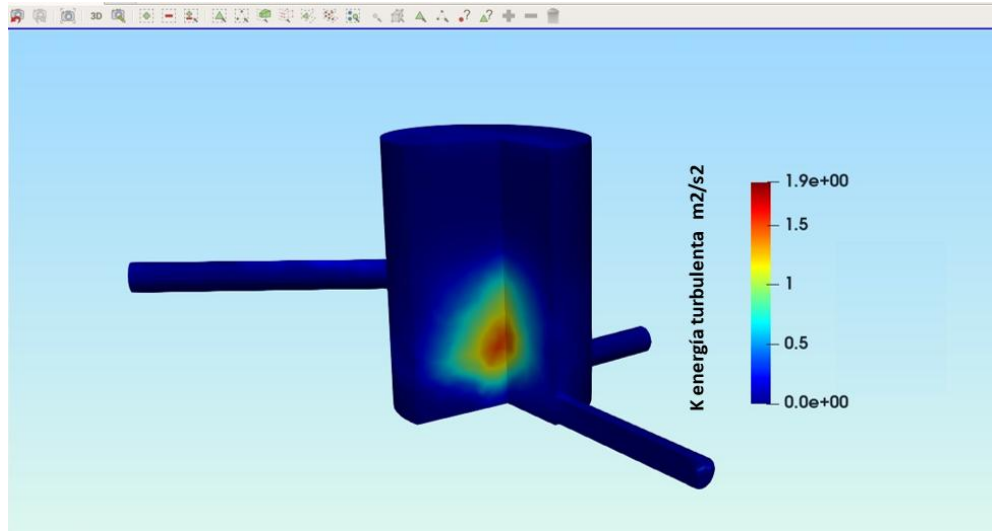
Nota. Representación tridimensional de las líneas de corriente del campo de velocidades U en el pozo PP5, coloreadas según la magnitud de la velocidad; se evidencia el desarrollo del chorro entrante, la formación de remolinos internos y la posterior conducción del flujo hacia la tubería de salida, lo que indica una intensa mezcla y disipación de energía en el interior del pozo (OpenFOAM Foundation, 2025).

La turbulencia se concentra en el interior del pozo; el volumen generado por el segundo aporte ayuda a disipar energía, aunque no puede garantizarse que este colchón hidráulico se mantenga para todas las condiciones de operación.

En la imagen se observa el pozo de inspección, con la energía cinética turbulenta k representada sobre las superficies del pozo y las tuberías. Se identifica un núcleo bien definido de alta turbulencia en la zona de impacto del chorro sobre la solera.

Figura 75.

Distribución tridimensional de la energía cinética turbulenta k en el pozo de inspección.



Nota. Distribución tridimensional de la energía cinética turbulenta k en el pozo PP5 obtenida con el modelo $k-\omega$ SST en OpenFOAM; los valores de k se sitúan aproximadamente entre 0,1 y 1,9 m^2/s^2 y se concentran en la zona de impacto del flujo sobre el fondo del pozo y en el entorno inmediato de la tubería de salida, donde se produce la mayor disipación de energía por turbulencia (OpenFOAM Foundation, 2025)

Síntesis de resultados según la altura de caída

El análisis comparativo de los distintos escenarios permite clasificar el comportamiento hidráulico de los pozos en función de la diferencia de niveles entre entrada y fondo:

Alturas similares entre cotas de fondo.

Cuando la diferencia de niveles es pequeña, el flujo tiende a presentar velocidades bajas y turbulencia limitada. El riesgo principal se asocia a posibles represamientos si las pendientes de salida no son suficientes para evacuar el caudal.

Caídas intermedias alrededor de 0,40 m.

Se observa un cambio notable en el comportamiento del flujo: se reduce la acumulación en el fondo, se genera un patrón de rotación interna y la energía se disipa sin comprometer la base del pozo. Las velocidades aumentan, pero dentro de un rango manejable desde el punto de vista hidráulico.

Caídas mayores a 0,75 m sin cámara de caída.

En estos casos, la simulación evidencia chorros que impactan directamente la base del pozo, con zonas de alta velocidad y turbulencia localizada. La normativa colombiana para sistemas de alcantarillado establece que, cuando la diferencia de niveles supera 0,75 m, deben preverse sistemas de disipación de energía o cámaras de caída, con el fin de evitar daños estructurales por erosión y esfuerzos concentrados.

Pozos con caídas críticas y más de un aporte.

Cuando se combinan caudales con diferentes alturas de caída, el aporte de menor nivel puede funcionar como disipador hidráulico, reduciendo la velocidad efectiva del chorro principal. Sin embargo, esta condición no es permanente ni garantizada para todas las situaciones de operación, por lo que sigue siendo indispensable la inclusión de estructuras de caída diseñadas con estos fines.

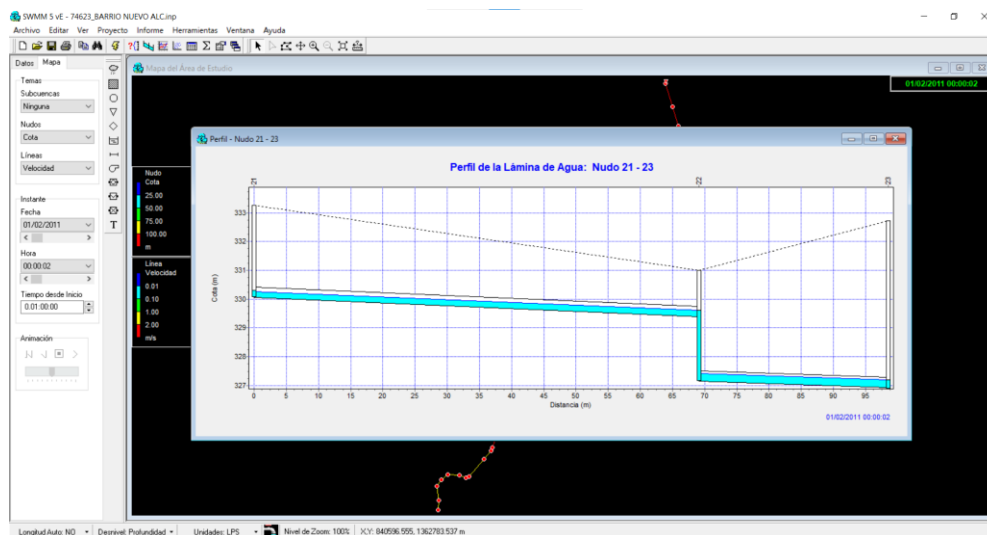
Selección del pozo de inspección más crítico.

Considerando el desarrollo del objetivo, se seleccionó uno de los pozos más críticos de los diseños realizados con el fin de explicar su funcionamiento en las condiciones más críticas. A continuación, se detallan los diferentes resultados que se obtuvieron durante el desarrollo de este modelo.

Antes de Desarrollar la simulación CFD se realizó la revisión de los cuadros de diseño de los proyectos trabajados para identificar el pozo con mayor diferencia de niveles. Este análisis permitió seleccionar el pozo P-22 del proyecto “Reposición De Red Matriz De Acueducto Y Alcantarillado Barrio Nuevo” el cual presenta una tubería de entrada de 14 pulgadas y una caída de 2.25 m. En la Figura 76 se observan las dimensiones de la caída.

Figura 76.

Perfil Lámina de agua en pozo crítico.

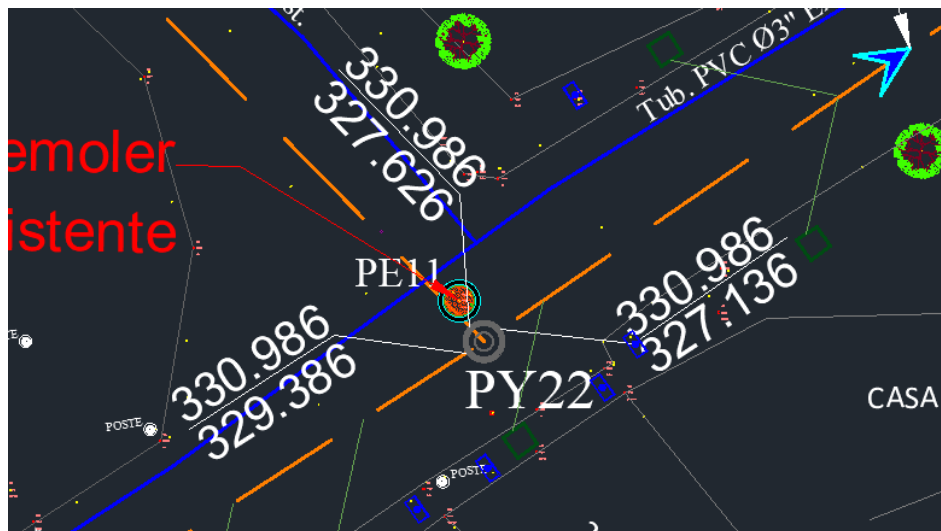


Nota. Perfil de la lámina de agua en el colector asociado al pozo crítico P22 del proyecto Barrio Nuevo, obtenido mediante la simulación hidráulica en EPA SWMM 5.1 para los nudos aledaños al pozo, utilizada para identificar la condición más desfavorable del sistema (U.S. Environmental Protection Agency, 2014).

La verificación en EPA SWMM confirmó su condición crítica, ya que el perfil hidráulico mostró una lámina de agua elevada. Estos resultados justificaron su selección como estructura representativa para el modelado tridimensional y el análisis del comportamiento del flujo en ausencia de cámara de caída.

Figura 77.

Pozo PY22, Ubicación en el plano de AutoCAD



Nota. Representación en AutoCAD del pozo P22 en el plano de planta de la red de alcantarillado del proyecto Barrio Nuevo, donde se aprecian las cotas de rasante, clave y fondo, así como la identificación de los tramos afluentes y efluentes (Autodesk AutoCAD, 2021).

Tabla 9.

Parámetros geométricos e hidráulicos del pozo crítico P-22.

Parámetro	Valor	Unidad
Diámetro interno del pozo	1.20	m
Diámetro tubería de entrada interno (14")	0.31	m
Diámetro tubería de entrada (10")	0.216	in
Diámetro tubería de salida (16")	0.34	in
Caudal de entrada 14"	144.10	L/s
Velocidad de entrada (Darcy–Weisbach)	2.445	m/s
Caudal de entrada 10"	36	L/s
Vo (Darcy–Weisbach)	2.65	m/s
Cota fondo – Pozo PY21	330.049	m.s.n.m.
Cota fondo – Pozo P22	329.386	m.s.n.m.
Cota clave – Pozo PY21	330.359	m.s.n.m.
Cota clave – Pozo P22	329.696	m.s.n.m.
Cota rasante – Pozo PY21	333.249	m.s.n.m.
Cota rasante – Pozo P22	330.986	m.s.n.m.
Caída de PY21-PY22	2.25	m

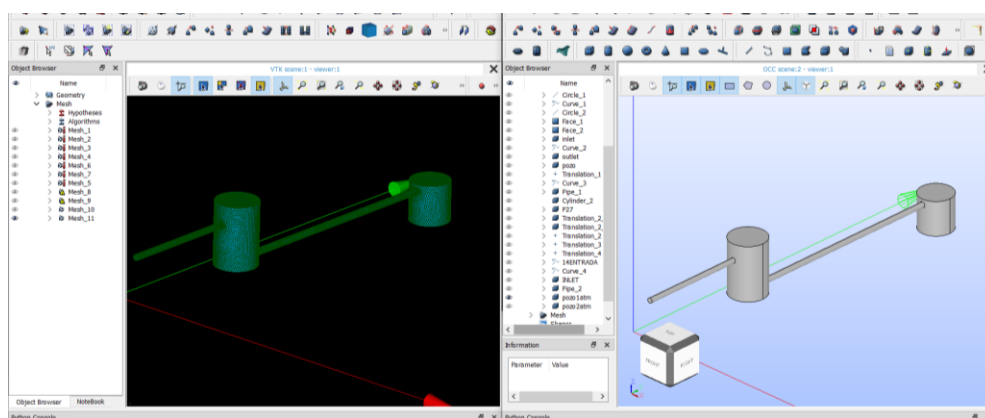
Parámetro	Valor	Unidad
HTotal Pozo	3.85	m

Nota. Dimensiones y especificaciones técnicas para el desarrollo del modelado.

Se Modeló y posteriormente generó la malla de esta geometría y se exportó en formato .unv para ser procesada dentro de OpenFOAM mediante el comando ideasUnvToFoam, para así obtener la malla base.

Figura 78.

Modelado del pozo de inspección y Malla generada mediante el programa de modelado tridimensional de salome.

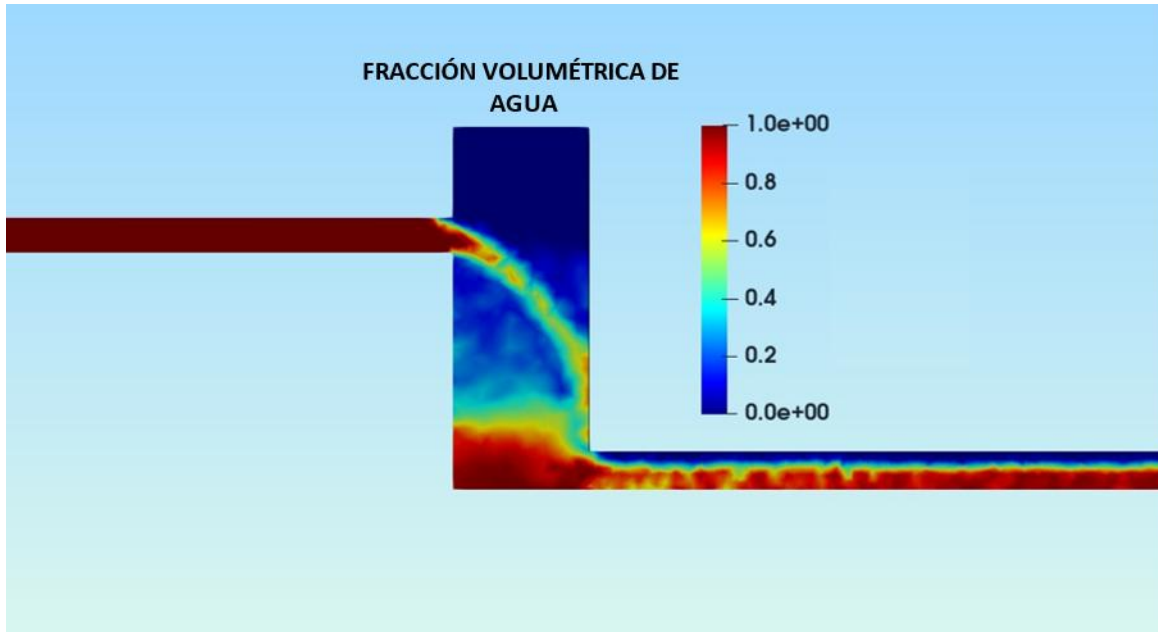


Nota. Geometría del pozo de inspección crítico P22 modelada en SALOME y malla generada para su posterior exportación en formato .unv (SALOME Platform, 2025)

Se procedió a ejecutar la simulación bajo la condición más crítica identificada para el pozo simulado, condiciones del flujo sin la instalación de la cámara de caída esperando observar la condición más crítica y operando con un caudal de diseño de 144 L/s, lo que permitió analizar el flujo en un escenario de máxima exigencia. Esta configuración posibilitó evaluar la distribución de velocidades, la altura de la lámina de agua y la interacción del flujo con las

Figura 81.

Visualización volumétrica de Alpha.water



Nota. Visualización volumétrica del campo de fracción volumétrica alpha.water para el pozo crítico P22, donde se aprecia el chorro libre y la distribución de la fase agua dentro de la estructura, obtenida a partir de la simulación CFD en OpenFOAM y post procesada en ParaView (OpenFOAM Foundation, 2025).

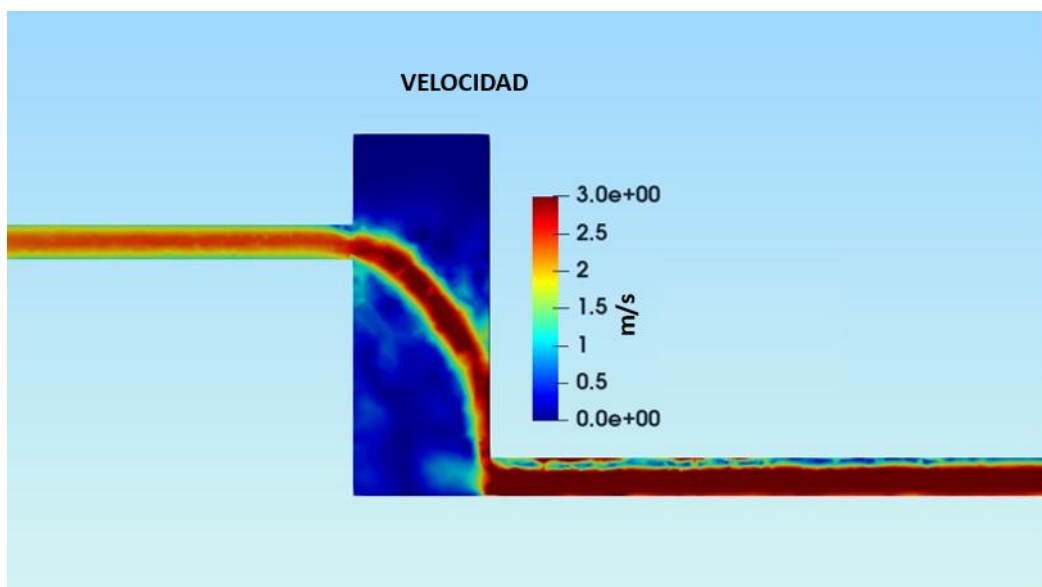
La simulación demuestra que el flujo no se redistribuye de manera uniforme hacia la tubería de salida. La turbulencia generada provoca desviaciones del flujo principal y alteración en el volumen efectivo que se dirige al conducto receptor, lo que puede comprometer la eficiencia hidráulica y la estabilidad operativa del tramo aguas abajo. Asimismo, el impacto repetitivo sobre la pared del pozo constituye un riesgo para su integridad estructural a largo plazo.

Campo de velocidades U Magnitude

La Figura 82 presenta la magnitud de las velocidades dentro del pozo. El chorro ingresa con velocidades elevadas en la zona de impacto, generando aceleraciones, variaciones de velocidad abruptos hacia el conducto de salida.

Figura 82.

Campo de velocidades U en el pozo de inspección.



Nota. Campo de magnitud de velocidad U en el pozo de inspección P22, donde se identifican las zonas de mayor velocidad asociadas al chorro de entrada y al flujo hacia la tubería de salida, visualizado en ParaView a partir de los resultados de la simulación CFD en OpenFOAM (OpenFOAM Foundation, 2025).

Campo de presión p_rgh

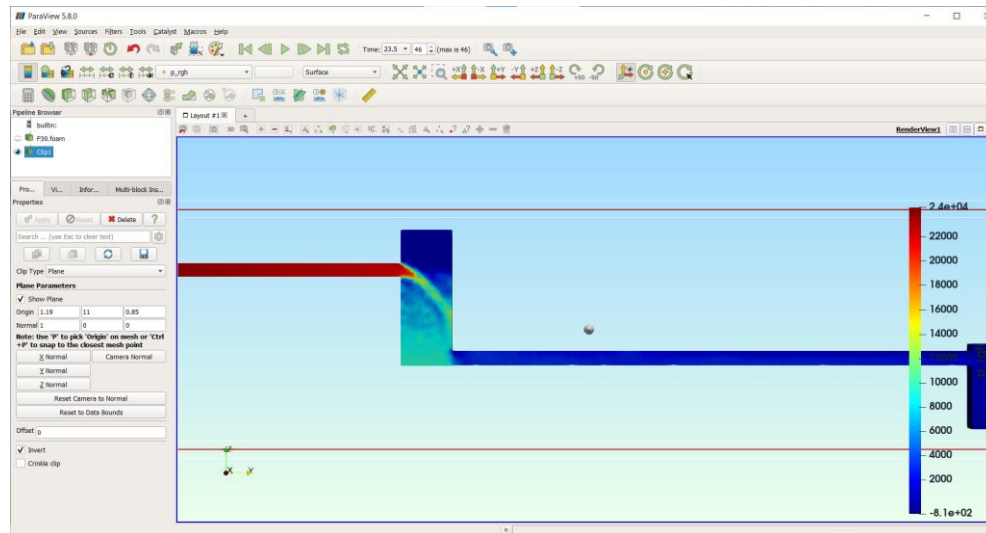
La simulación permitió identificar turbulencias altas, caracterizado por fluctuaciones rápidas de velocidad, mezcla caótica entre agua y aire. Este comportamiento, asociado a la ausencia de cámara de caída, genera varios efectos adversos sobre la estructura.

En la Figura 83 se aprecia el campo de presión hidrostática modificada. Los colores cálidos representan zonas donde el chorro impacta con mayor fuerza, y donde se está generando sobrepresiones y acumulación de energía en la base del pozo.

En primer lugar, el impacto directo del chorro contra la pared interna induce cargas significativas, las cuales pueden originar erosión localizada, desgaste acelerado, fisuración y deterioro prematuro del pozo. En segundo lugar, la presencia de gradientes bruscos de presión favorece la aparición de vibración hidráulica, fenómenos que comprometen la estabilidad estructural y reducen la vida útil de la instalación.

Figura 83.

Distribución del campo de presión hidrostática modificada (p_{rgh}) en el pozo de inspección.



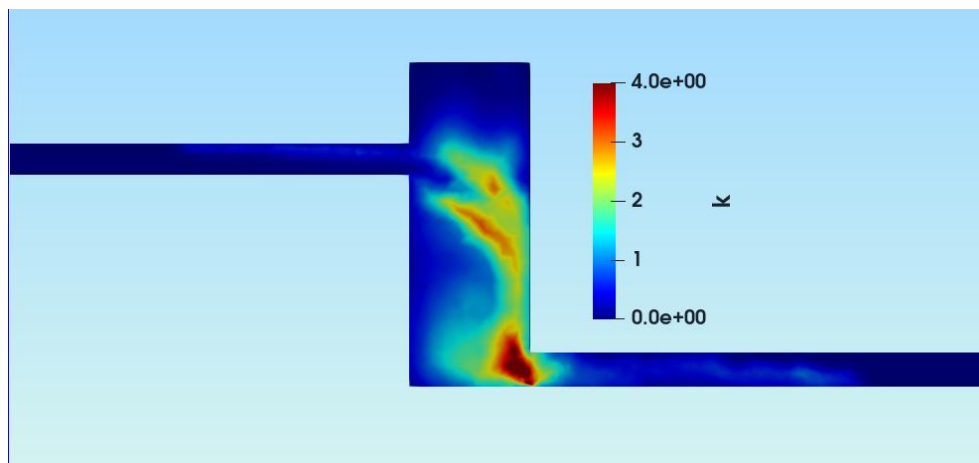
Nota. Distribución del campo de presión hidrostática modificada p_{rgh} en el pozo crítico P22, donde los valores máximos se concentran en la zona de impacto del chorro sobre la pared y en la base del pozo, visualizada en ParaView a partir de la simulación CFD realizada con OpenFOAM (OpenFOAM Foundation, 2025).

Cabe resaltar que la diferencia de niveles superior alcanza los 2.25 m lo cual excede ampliamente el límite de 0.75 m establecido por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2017) para la obligatoriedad de implementar una cámara de caída. De acuerdo con la simulación CFD, esta estructura adicional no solo es un requisito normativo, sino una condición técnica indispensable para garantizar la disipación adecuada de energía, disminuir la turbulencia y proteger la integridad del pozo.

Distribución tridimensional de la energía cinética turbulenta k en el pozo de inspección.

Figura 84.

Distribución de energía cinética turbulenta



Nota. Distribución tridimensional de la energía cinética turbulenta k en el pozo P22 obtenida con el modelo $k-\omega$ SST en OpenFOAM; los valores de k se sitúan aproximadamente entre 1 y 3.5 m^2/s^2 y se concentran en la zona de impacto del flujo sobre el fondo del pozo y en el entorno inmediato de la tubería de salida, donde se produce la mayor disipación de energía por turbulencia (OpenFOAM Foundation, 2025)

Los resultados obtenidos mediante el modelado tridimensional demuestran que el pozo, en ausencia de una cámara de caída, opera bajo condiciones hidráulicamente inestables y

estructuralmente desfavorables. La magnitud del chorro, la intensidad de la turbulencia, la distribución no uniforme del flujo evidencia la necesidad de incorporar un elemento disipador de energía para asegurar el funcionamiento adecuado de la estructura.

Aportes Ingenieriles En La Empresa Durante La Práctica Empresarial

Tal como se evidenció en el desarrollo de los objetivos planteados, durante la práctica empresarial se consolidó, en primer lugar, un aporte de carácter normativo y documental. La revisión sistemática del RAS 2017, la Resolución 0330 de 2017, la Resolución 0799 de 2021 y demás disposiciones aplicables, articulada con los criterios internos de Aguas Kpital Cúcuta S.A. E.S.P., permitió verificar que la empresa incorpora estos lineamientos en el desarrollo de sus diseños. Esto se refleja en el cuadro de diseños, donde se registran de forma explícita los parámetros normativos considerados en cada proyecto.

Figura 85.

Ficha técnica de aguas kpital, referente a los parámetros normativos que implementa la empresa.

Ficha técnica de aguas kpital		Calle 11 entre Avenidas 43 y 53, Barrio Antonia Santos	
2.1.1	Factor de mayoración a QM1	Q2 a QM1	1,5
2.1.2	Período de diseño red distribución (años)	Red matriz	25
2.2	Acueducto: Caudal de diseño, Presión de servicio, diámetros, localización tuberías		
2.2.1	Capacidad fuente superficial	QMD	0,5
2.2.2	Aducción, desamador, conducción, PTAP, Tanque	QMD	0,5
2.2.3	Red de distribución	QMD	0,5
2.2.4	Sistema contrahacido	QMD	0,5
2.2.5	Número hidrantes en uso simultáneo	unid en uso simultáneo	2
2.2.6	Presiones mínima en red de distribución	mca	15
2.2.7	Presiones máxima en red de distribución	mca	50
2.2.8	Diámetros mínimos red distribución	mm	75
2.2.9	Diámetros mínimos Hidrantes	mm	100
2.2.10	Disposición máxima entre hidrantes	metros de separación	300
2.2.11	Profundidad instalación tuberías (m)	metros	0,6
2.2.12	Distancia redes acueducto con parámetros	metros	0,3
2.2.13	Distancia redes acueducto con otras redes de servicios	metros	0,3
2.2.14	Macromedidores		
2.2.15	Medición		
2.3	Estaciones de Bombeo		
2.3.1	Caudal diseño Estación bombeo (l/s/seg)	QMD	Para 24 horas

Nota. Fragmento de la ficha técnica del cuadro de diseño, implementado en aguas capital donde

se observan algunos de los parámetros normativos aplicados en el diseño como lineamientos en cuanto a presión, caudales y velocidades. implementado por Aguas Kpital Cúcuta S.A. E.S.P. en una hoja de cálculo de Microsoft Excel (Microsoft Corporation, 2021).

En el ámbito del diseño y análisis de redes, el aporte se materializó en el apoyo técnico directo a proyectos como la “Reposición de red matriz de acueducto y alcantarillado Barrio Nuevo”, “Reposición de red matriz de acueducto y alcantarillado Carlos Ramírez París y Atalaya”, “Reposición de red matriz de acueducto y alcantarillado Antonia Santos”, entre otros. A partir de la integración de información en QGIS, planos en AutoCAD, imágenes satelitales y bases de datos de usuarios, se efectuó una revisión detallada de trazados, cotas y diámetros, identificando desalineaciones, errores de ubicación de pozos, conexiones no registradas y posibles interferencias con redes existentes. Estas observaciones se discutieron con el equipo de estudios y diseños y se tradujeron en ajustes sobre los planos y cuadros de diseño, mejorando la coherencia geométrica e hidráulica de los proyectos y reduciendo el riesgo de inconsistencias durante la ejecución en campo.

Un tercer estuvo asociado a la documentación gráfica y a la definición de áreas de intervención. Se revisaron y ajustaron planos de planta, detalles constructivos y roturas, verificando la correcta aplicación de la simbología corporativa, la consistencia entre capas y la adecuada representación de materiales y diámetros en las redes de acueducto y alcantarillado. Asimismo, se elaboraron y corrigieron roturas para distintos frentes de obra, precisando los anchos de andén, tipos de pavimento, longitudes de intervención y diferencias entre acometidas y domiciliarias. Este trabajo contribuyó a que la información remitida a las áreas de construcción y contratistas fuera más clara y uniforme, facilitando la interpretación de los diseños y la planificación de las actividades de reposición de espacio público.

Finalmente, en el campo de la modelación y la evaluación hidráulica, la práctica aportó al fortalecimiento del uso de herramientas de simulación en la empresa. Se apoyó la verificación de modelos en EPANET y EPA SWMM, contrastando parámetros de diseño con los resultados numéricos, identificando tramos críticos y validando perfiles hidráulicos en función de los criterios normativos. Complementariamente, se desarrolló el modelado tridimensional y la simulación CFD de pozos de inspección mediante SALOME y OpenFOAM, integrando datos reales de proyectos como Barrio Nuevo, Antonia Santos y la urbanización Santa Ana. Este ejercicio permitió obtener campos de velocidad, presión y energía cinética turbulenta que respaldan, con evidencia numérica, la necesidad de cámaras de caída en ciertos pozos y ofrecen a la empresa una herramienta adicional para justificar decisiones de diseño en estructuras hidráulicas complejas.

Conclusiones

La revisión de la normativa colombiana vigente (RAS 2017, Resolución 0330 de 2017) permitió establecer un marco claro de parámetros hidráulicos mínimos para el diseño de redes de acueducto y alcantarillado sanitario, constituyéndose en la base técnica para evaluar los proyectos desarrollados en Aguas Kpital.

El contraste entre la normativa y la práctica cotidiana evidenció que, aunque la mayoría de los diseños se ajustan a los requisitos básicos, existen tramos y estructuras que operan al límite de las exigencias de velocidad, pendiente y pérdidas de carga, lo que demuestra que la interpretación crítica de la norma es necesaria para identificar puntos de riesgo futuro.

El desarrollo de diseños de reposición y ampliación de redes permitió ajustar diámetros, pendientes, longitudes y cotas de implantación a las condiciones reales de campo, permitiendo prevenir problemas como tramos en contrapendiente, profundidades insuficientes y cruces conflictivos con otras infraestructuras.

La comparación entre alternativas preliminares y soluciones ajustadas mostró que pequeñas modificaciones en trazados y niveles producen cambios significativos en el comportamiento hidráulico, disminuyendo riesgos de rebose y mejorando la distribución de caudales, por lo que el diseño no puede limitarse a reemplazar por igual la tubería existente.

La participación en la elaboración y edición de planos con herramientas CAD permitió representar los resultados de cálculo en información gráfica clara y verificable, confirmando que la calidad del dibujo (simbología, rotulado y cuadros de diseño) incide directamente en la interpretación por parte de interventoría, construcción y demás áreas de la empresa.

El trabajo sobre planos existentes evidenció inconsistencias recurrentes entre el modelo hidráulico, el sistema de información geográfica y los archivos CAD, de modo que la depuración gráfica confirmó que los planos deben concebirse como parte integrada del modelo y no como productos aislados que se actualizan de manera independiente.

Las simulaciones realizadas en EPANET y EPA SWMM permitieron verificar presiones, caudales, velocidades y perfiles de lámina de agua en distintos escenarios de operación, identificando tramos con velocidades por debajo de lo recomendado, pérdidas de carga excesivas y caídas de presión que no eran evidentes a simple vista.

El uso sistemático de modelos numéricos demostró que la simulación es una herramienta eficaz para anticipar problemas operativos antes de la ejecución de las obras, especialmente en perfiles con caídas pronunciadas y pendientes insuficientes, donde se generan condiciones críticas de rebose, sedimentación o subutilización de la capacidad hidráulica.

El modelo tridimensional del pozo de inspección crítico y la simulación CFD en OpenFOAM mostraron que la diferencia de niveles del orden de 2,25 m genera un chorro de alta energía que impacta directamente el módulo base, produciendo zonas de fuerte turbulencia y elevadas tasas de disipación de energía, en concordancia con las advertencias del RAS 2017 para caídas superiores a 0,75 m.

El análisis de los campos de velocidad, fracción volumétrica y energía cinética turbulenta evidenció que, aunque el flujo se evacúa hacia la tubería de salida, la distribución de energía dentro del pozo es muy irregular, con zonas de impacto concentrado y gradientes bruscos de velocidad que implican riesgo de erosión de la base del pozo, desgaste prematuro de la estructura y posibles dificultades de operación a mediano plazo si no se modifica el diseño.

Recomendaciones

Profundizar de manera periódica en las actualizaciones del RAS, de las resoluciones sectoriales y de las normas técnicas aplicables, elaborando resúmenes comparativos que destaquen los cambios relevantes para el diseño de redes de acueducto y alcantarillado.

Incorporar en los proyectos una matriz de verificación normativa explícita, en la cual se consignen para cada tramo las velocidades, pendientes, diámetros y relaciones de caudal exigidas por la regulación vigente, de modo que el cumplimiento deje de ser implícito y pase a formar parte de la documentación técnica.

Contrastar los diseños preliminares con información de campo reciente y con las bases de datos de catastro de redes antes de fijar diámetros y trazados definitivos, con el fin de evitar que las soluciones se soporten en información desactualizada y reducir el riesgo de interferencias no previstas.

Evaluar alternativas de diseño adicionales en los tramos identificados como críticos (baja pendiente, longitudes extensas o variaciones topográficas importantes), considerando cambios de alineamiento, incorporación de pozos intermedios o variaciones de diámetro, y documentar comparativamente estas opciones en las memorias de cálculo.

Establecer un protocolo interno de revisión de planos que incluya verificación cruzada entre CAD, SIG y modelos hidráulicos, de manera que no se aprueben dibujos sin comprobar coherencia en diámetros, cotas de fondo, numeración de pozos y longitudes.

Mantener plantillas estándar de planos con capas, simbología, rótulos y cuadros de diseño unificados para todos los proyectos, a fin de agilizar la elaboración, mejorar la lectura por parte

de contratistas e interventores y facilitar el seguimiento de modificaciones a lo largo del proceso de diseño.

Consolidar los modelos hidráulicos de EPANET y EPA SWMM como herramientas vivas de la empresa, actualizándolos cada vez que se ejecuten obras de reposición o expansión, de modo que sirvan como soporte permanente para la planificación y operación de los sistemas.

Documentar de forma específica los tramos en los que las simulaciones evidencien velocidades bajas, perfiles cercanos al nivel de la tapa o caudales que superan las capacidades de diseño, proponiendo medidas correctivas como cambios de pendiente o diámetro, incorporación de cámaras de caída o mejora de la ventilación de las redes.

Implementar en el pozo analizado, y en otras estructuras con diferencias de nivel superiores a 0,75 m, soluciones formales de disipación de energía, tales como cámaras de caída, elementos de impacto controlado o rediseños geométricos que reduzcan la concentración de esfuerzos sobre la solera y las paredes.

Incorporar la modelación CFD como herramienta de apoyo para la revisión de estructuras singulares pozos con caídas pronunciadas, uniones múltiples o cambios bruscos de dirección en aquellos proyectos donde la experiencia o la normativa indiquen un riesgo hidráulico elevado, sin pretender aplicarla de forma indiscriminada a todas las obras.

Sistematizar en un protocolo interno las lecciones aprendidas del caso crítico simulado en OpenFOAM, incluyendo criterios de mallado, selección de condiciones de frontera, configuración del modelo de turbulencia y criterios de interpretación de resultados, con el propósito de que futuros estudios numéricos en la empresa partan de una base metodológica clara y eviten repetir la misma curva de aprendizaje.

Referencias

- Aguas Kpital Cúcuta S. A. E. S. P. (2022, 16 de agosto). Obras de gran impacto Aguas Kpital Cúcuta S.A. ESP. <https://akc.com.co/web/2022/08/16/feria-faro-2022/>
- Aguas Kpital Cúcuta S. A. E. S. P. (s. f.). Políticas y objetivos organizacionales. Recuperado el 25 de mayo de 2025, de <https://akc.com.co/web/politicas/>
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2021). Resolución 799 de 2021. <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=119747>
- Aldana, M. J. (2017). Integral network management: A case study of Bogotá and the Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá, EAB ESP. *Procedia Engineering*, 186, 654–665. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.282> ScienceDirect+1
- Amorós Núñez, M., & Sánchez Cruz, Y. (2012). Gestión de acueducto y alcantarillado mediante sistemas de información geográfica. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 33(3), 44–57.
- AQUALEP. (s. f.). Planta de tratamiento de agua potable (PTAP). Recuperado el 25 de mayo de 2025, de <https://www.aqualep.com/planta-de-tratamiento-de-agua-potable-ptap/>
- Arboleda, U. A. S., Ospina, C. F. A., & Álvarez, J. A. G. (2017). Los acueductos como medio para potencializar el desarrollo en las comunidades rurales en Colombia.
- Área Metropolitana de Cúcuta – Asoareas. (s. f.). Área Metropolitana de Cúcuta. Recuperado el 25 de mayo de 2025, de <https://asoareas.com.co/alianzas-estrategicas/area-metropolitana-de-cucuta/>
- Asamblea Nacional Constituyente. (1991). Constitución Política de Colombia. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=4125>

- Bayón Barrachina, A. (2018). Numerical analysis of air–water flows in hydraulic structures using computational fluid dynamics (CFD) [Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València]. RiuNet. <https://riunet.upv.es/handle/10251/90440> Riunet+1
- Bayón, A., & López-Jiménez, P. A. (2015). Numerical analysis of hydraulic jumps using OpenFOAM. *Journal of Hydroinformatics*, 17(4), 662–678. <https://doi.org/10.2166/hydro.2015.041>
- Bayón, A., Valero, D., García-Bartual, R., & López-Jiménez, P. A. (2016). Performance assessment of OpenFOAM and FLOW-3D in the numerical modeling of a hydraulic jump. *Environmental Modelling & Software*, 80, 322–335. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.03.013>
- Carrillo-Acosta, N., Santos-Rocha, A. C., Arenas Bautista, M. C., & Otalora Low, M. (2024). Unveiling the nexus of scientific production, water resource management, and global water challenges. *Earth Sciences Research Journal*, 28(4), 379–386. <https://doi.org/10.15446/esrj.v28n4.114415>
- Castro Sánchez, C. J., Hernández Sánchez, V. D., & Moreno Vanegas, A. J. (2021). Optimización de la red de distribución de agua potable del municipio de Villeta – Cundinamarca [Trabajo de grado, Universidad Piloto de Colombia]. <https://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/10750/Trabajo%20de%20Grado.pdf>
- Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico. (s. f.). Componentes del sistema de acueducto. Recuperado el 25 de mayo de 2025, de <https://www.cra.gov.co/atencion-servicios-ciudadania/glosario/componentes-del-sistema-acueducto>

- Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico. (s. f.). Sistema de acueducto. Recuperado el 25 de mayo de 2025, de <https://www.cra.gov.co/atencion-servicios-ciudadania/glosario/sistema-acueducto>
- Conagua. (s. f.). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro13.pdf>
- Congreso de la República de Colombia. (1994). Ley 142 de 1994, por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=2752>
- Cúcuta – Área Metropolitana de Cúcuta. (s. f.). Información general del municipio de Cúcuta. Recuperado el 25 de mayo de 2025, de <https://amc.gov.co/amc/cucuta/>
- Damarnegara, S., Wardoyo, W., Perkins, R., & Vincens, E. (2020). Computational fluid dynamics (CFD) simulation on the hydraulics of a spillway. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 437, 012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/437/1/012007>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (s. f.). Proyecciones de población. Recuperado el 25 de mayo de 2025, de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>
- Díaz Rua, A. E. (2021). Análisis del comportamiento hidráulico del flujo en una rápida escalonada comparando los resultados de un modelo físico con un modelo numérico en OpenFOAM [Trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia]. <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/8c4e38b0-3d06-4cea-b694-7fa8e360834a/content>

- EDF, & OpenCascade. (2023). SALOME Platform: User documentation (Versión 9.9).
<https://www.salome-platform.org>
- Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Quito. (2009). Manual de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario.
- EPACAD. (s. f.). Epacad: Software para diseño de redes de alcantarillado [Software]. ITA. Recuperado el 26 de noviembre de 2025, de <https://www.epacad.com/caracteristicas-es.php>
- Euyoqui Aréchiga, F. J., Suástegui Macías, J. A., Bonilla, D., Ramírez, A. A., Sánchez, A. P., & Magaña Almaguer, H. D. (2024). Evaluation of energy efficiency actions in Mexican aqueducts with an approach on their performance over time: Case study Northwest Mexico aqueduct. *Heliyon*, 10(24), e40594.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40594>
- Ferziger, J. H., & Perić, M. (2002). Computational methods for fluid dynamics (3rd ed.). Springer.
- Greenshields, C. J. (2022). OpenFOAM v10 user guide. CFD Direct.
- Hirt, C. W., & Nichols, B. D. (1981). Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries. *Journal of Computational Physics*, 39(1), 201–225.
- ICONTEC. (2013). NTC 1500: Instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones.
- Jiménez Rivera, D. T. (2021). Guía de diseño y construcción de alcantarillados.
<http://hdl.handle.net/11634/37751>
- Lesli. (2024, 1 de julio). OpenFlows Water: Software de modelado hidráulico. Bentley Systems.
<https://es-la.bentley.com/software/openflows-water/>

- Lopes, P. M. B. (2013). Free-surface flow interface and air-entrainment modelling using OpenFOAM [Tesis de maestría, Universidade de Coimbra]. Estudo Geral.
<https://estudogeral.sib.uc.pt/handle/10316/24534> estudogeral.uc.pt+1
- Lopes, P. M. B. (2017). Free-surface flow interface and air-entrainment modelling in hydraulic structures [Tesis doctoral, Universidade de Coimbra]. Estudo Geral.
- López Cualla, R. A. (1995). Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Loucks, D. P., & van Beek, E. (2017). Water resources planning and management: An overview. En D. P. Loucks & E. van Beek (Eds.), Water resource systems planning and management: An introduction to methods, models, and applications (pp. 1–49). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-44234-1_1
- Microsoft Corporation. (2021). Microsoft Office [Computer software]. Microsoft Corporation.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Decreto 3930 de 2010, por el cual se reglamenta el uso del recurso hídrico y se dictan otras disposiciones.
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=40620>
- Ministerio de la Protección Social. (2007). Decreto 1575 de 2007, por el cual se establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano.
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=30007>
- Ministerio de la Protección Social. (2007). Resolución 2115 de 2007, por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.
<https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-2115-2007>

- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). Resolución 330 de 2017, por la cual se adopta el Reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico (RAS). <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=71542>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2022). Resolución 548 de 2022, por la cual se modifica el Reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico (RAS). <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=126927>
- Morán, M. (s. f.). Agua y saneamiento. Objetivos de Desarrollo Sostenible, Naciones Unidas. Recuperado el 25 de mayo de 2025, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- Morillo Rosero, H. (2020). Diseño de cámara de caída en sistemas de alcantarillado basado en materiales plásticos mediante una modelación física [Trabajo de grado, Universidad de los Andes]. Pavco Wavin. <https://pavcowavin.com.co/disenio-de-camara-de-caida-en-sistemas-de-alcantarillado-basado-en-materiales-plasticos-mediante-una-modelacion-fisica> pavcowavin.com.co
- Moukalled, F., Mangani, L., & Darwish, M. (2016). The finite volume method in computational fluid dynamics: An advanced introduction with OpenFOAM® and Matlab®. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-16874-6>
- Mulligan, K. B., & Ahlfeld, D. P. (2016). Model reduction for combined surface water/groundwater management formulations. *Environmental Modelling & Software*, 81, 102–110. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.03.013>
- Nelson, S. I. (2016, 31 de marzo). WaterCAD, el software para obras hidráulicas. EADIC. <https://eadic.com/blog/entrada/watercad-el-software-para-obras-hidraulicas/>

- Nitin. (2024, 1 de julio). OpenFlows Sewer: Software de modelado hidráulico. Bentley Systems.
<https://es-la.bentley.com/software/openflows-sewer/>
- Notepad++. (s. f.). *Notepad++* [software]. <https://notepad-plus-plus.org>
- Núñez Navarro, Y. A. N. (2021). Análisis de la eficiencia en la prestación de los servicios públicos domiciliarios [Trabajo de grado].
https://repositorioinstitucional.ufpso.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.14167/4610/Trabajo_de_grado.pdf
- OpenFOAM Foundation. (2023). OpenFOAM user guide (Versión 10). <https://openfoam.org>
- Pancha Parada, T. J. P., & Laguado Ortega, E. A. L. (2019). Diagnóstico y propuesta para el manejo de las aguas residuales del área urbana del municipio de El Zulia, Norte de Santander [Trabajo de grado].
<https://repositorio.ufps.edu.co/bitstream/handle/ufps/5506/2110031%20%202110028.pdf>
- Pavco Wavin. (s. f.). Tuberías para la distribución de agua potable. Recuperado el 25 de mayo de 2025, de <https://pavcowavin.com.co/blog/como-deben-ser-tuberias-para-distribucion-agua>
- Pérez Rojas, J. A. (2017). Modelación hidráulica del diseño de alcantarillado de la vereda Sierra de la Cañada, municipio de Tello-Huila, mediante la herramienta informática EPA SWMM 5.0 [Trabajo de grado, Universidad Cooperativa de Colombia].
<https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/6ab149fc-f830-4c97-9fe6-a6ed5d87cb8b/content>
- Perez, N. A. P. (2020). Diseño académico de la red de alcantarillado sanitario del asentamiento humano Colinas del Tunal, en la ciudad de Cúcuta.

- QGIS. (s. f.). ¿Qué es QGIS y qué ventajas ofrece? CEUPE. Recuperado el 25 de mayo de 2025, de <https://www.ceupe.com/blog/qgis.html>
- Ramírez, C. (s. f.). Acueducto y alcantarillado: Guía técnica. Universidad Católica de Colombia.
- Ramos-Salgado, C., Muñuzuri, J., Aparicio-Ruiz, P., & Onieva, L. (2021). A decision support system to design water supply and sewer pipes replacement intervention programs. *Reliability Engineering & System Safety*, 216, 107967. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.107967>
- Rentería, D. M., Ramos, M. Á. C., Rodríguez, A. M. S., Rentería, D. M., Ramos, M. Á. C., & Rodríguez, A. M. S. (2020). Modelación de los impactos de los escenarios de cambio climático en la cuenca del río Pamplonita en Norte de Santander. *Revista EIA*, 17(33), 182–193. <https://doi.org/10.24050/reia.v17i33.1265>
- Rojas, L. M. A. (2017). Simulación a través del software libre EPANET versión 2.0 de la red de distribución de agua potable en la vereda Alejandría, municipio Garzón-Huila.
- SAGUAPAC. (s. f.). Servicios de alcantarillado sanitario. Recuperado el 25 de mayo de 2025, de <https://www.saguapac.com.bo/servicios-alcantarillado-sanitario-saguapac/>
- SALOME Platform. (2025). SALOME platform: The open-source platform for numerical simulation. <https://www.salome-platform.org/>
- Sánchez Tapiero, D. I. (2017). Diseño implementado con herramientas tecnológicas de las redes de acueducto y alcantarillado sanitario del asentamiento José Bernal, municipio de Cúcuta, Norte de Santander [Trabajo de grado]. http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/3075/1/Sanchez_2017_TG.pdf

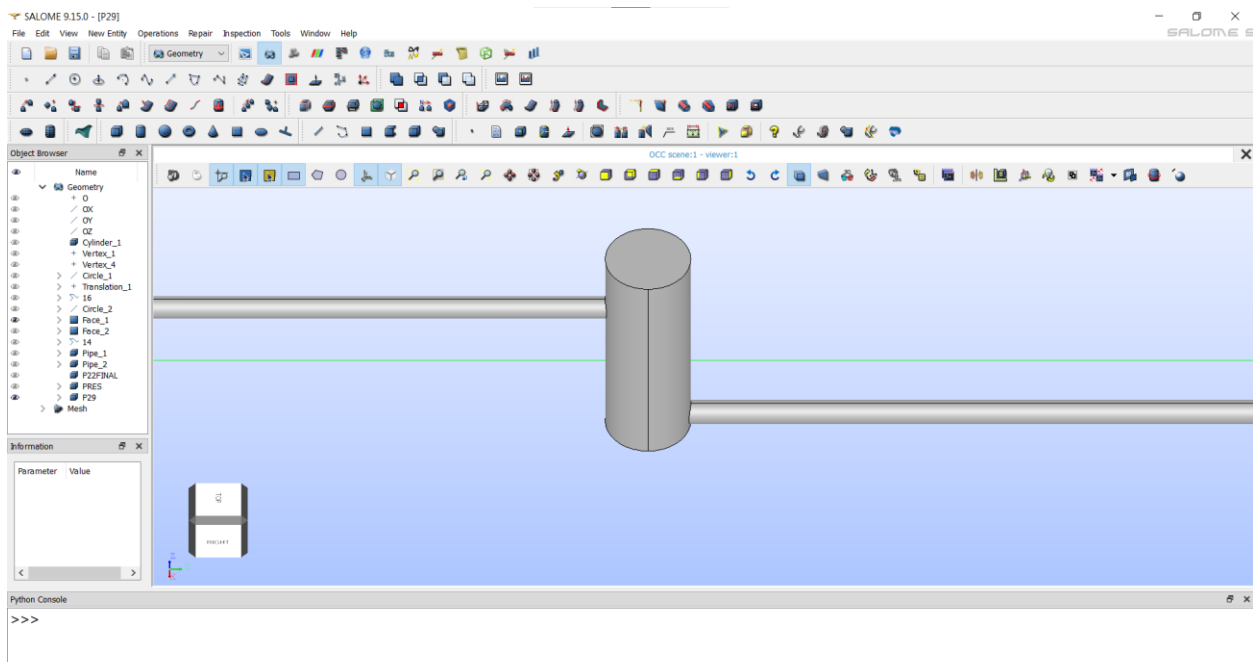
- Tovar Romero, E. L., Valero Fandiño, J. A., & Cepeda Ariza, L. (2021). Methodology for the selection of trenchless sewer rehabilitation technologies in Bogotá, Colombia. *Tecnura*, 25(68), 105–124. <https://doi.org/10.14483/22487638.15570>
- Tsuchida, T., Irvine, J. L., Tang, S., Nishikawa, J., Lum, L., & Kim, A. S. (2018). Sewer chamber design under critical conditions using computational fluid dynamics (CFD). *Desalination and Water Treatment*, 108, 1–14. <https://doi.org/10.5004/dwt.2018.22019> ScienceDirect+1
- U.S. Environmental Protection Agency. (2000). EPANET 2.0 [software]. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/water-research/epanet>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2014). Storm Water Management Model (SWMM 5.1) [software]. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>
- US EPA, Office of Research and Development. (2014a, 21 de mayo). Storm Water Management Model (SWMM). <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>
- US EPA, Office of Research and Development. (2014b, 24 de junio). EPANET. <https://www.epa.gov/water-research/epanet>
- Voodoo, S. (s. f.). Cámara de Comercio de Cúcuta – Datos geográficos. Cámara de Comercio de Cúcuta. Recuperado el 25 de mayo de 2025, de <https://sitioanterior.cccucuta.org.co/secciones-51-s/datosgeograficos.htm>

Apéndices

Anexo A. Modelado tridimensional del Pozo de inspección en Salomé

Figura 86.

Pozo de inspección modelado en salome



Anexo B. Principales Códigos de la configuración de entorno en el CFD

Alpha.wather

```
/*-----*- C++ -*-----*\
```

```
=====
\\  / F ield      | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
\\  / O peration  | Website: https://openfoam.org
\\  / A nd        | Version: dev
\\  M anipulation |
```

OpenFOAM for Windows 20.09 (v1)

Built by CFD Support, www.cfdsupport.com (based on Symscape).

```

\*-----*/
FoamFile

{
    version    2.0;
    format     binary;
    class      volScalarField;
    location   "0";
    object     alpha.water;
}
// *****

dimensions    [0 0 0 0 0 0];

internalField uniform ;

boundaryField

{
inlet
    {
        type      fixedValue;
        value      uniform 1;
    }
outlet
    {
        type      zeroGradient;
    }
pvc
    {
        type      zeroGradient;
    }
concreto
    {
        type      zeroGradient;
    }

```

```

    }
atmosphere

```

```

    {
        type      inletOutlet;
        inletValue  uniform 0;
        value      uniform 0;
    }
}

```

```
//
```

```
***** //
```

U (Condiciones del flujo de entrada)

```
/*----- C++ -----*/
```

```

=====
\\ / F ield      | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
\\ / O peration  | Website: https://openfoam.org
\\ / A nd        | Version: dev
\\ V M anipulation |

```

```
/*-----*/
```

```
FoamFile
```

```

{
    version 2.0;
    format  ascii;
    class   volVectorField;
    object  U;
}

```

```
// ***** //
```

```
dimensions [0 1 -1 0 0 0 0];
```

```
internalField uniform (0 0 0);
```

```
boundaryField
```

```

{
/*inlet

```

```

{
    type      flowRateInletVelocity;

```

volumetricFlowRate constant 0.144;//para modelar caudal m3s

*/

inlet

```
{
    type      fixedValue;
    value      uniform (0 2.46 0);
}
```

concreto

```
{
    type      noSlip;
```

}

pvc

```
{
    //type      fixedValue;
    //value      uniform (0 0 0);
    type      noSlip;
}
```

atmosphere

```
{
    type      pressureInletOutletVelocity;
    value      uniform (0 0 0);
}
```

outlet

```
{
    //type      inletOutlet;
    //inletValue      uniform (0 0 0);
    //value      $internalField;
    type      pressureInletOutletVelocity;//ajuste para reverso
    value      uniform (0 0 0);
}
}
```

```
//
***** //
```

Nut (condicioines de Rugosidad)

```
/*-----*- C++ -*-----*\
```

```

=====
\\ / F ield      | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
\\ / O peration  | Website: https://openfoam.org
\\ / A nd        | Version: dev
\\ \ M anipulation |
\*-----*/

```

```
FoamFile
```

```
{
  version 2.0;
  format  ascii;
  class   volScalarField;
  location "0";
  object  nut;
}
```

```
// ***** //
```

```
dimensions [0 2 -1 0 0 0 0];
```

```
internalField uniform 0;
```

```
boundaryField
```

```
{
concreto
```

```

{
  type      nutkRoughWallFunction;
  Ks        uniform 0.005; // rugosidad de concreto
  Cs        uniform 0.5; // rugosidad intermedia
  value      uniform 1.14e-6; // viscosidad cinemática
}

```

```
pvc
```

```

{
  type      nutkRoughWallFunction;

```

```

        Ks      uniform 0.0015;// rugosidad paredes pvc
        Cs      uniform 0.3; //rugosidad intermedia
        value   uniform 1.14e-6;
    }

    “.*”
    {
        type     calculated;
        value     uniform 0;
    }
}

//
***** //
ControlDict

/*----- C++ -----*\

=====
\\ / F ield      | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
\\ / O peration  | Website: https://openfoam.org
\\ / A nd        | Version: dev
\\  M anipulation |

\*-----*/
FoamFile
{
    version     2.0;
    format      ascii;
    class       dictionary;
    location    “system”;
    object      controlDict;
}
// ***** //

application    interFoam;

startFrom      startTime;

startTime      0;

stopAt         endTime;

endTime        90;

```

```

deltaT      0.005;

writeControl adjustableRunTime;

writeInterval 0.5;//1

purgeWrite  0;

writeFormat  binary;

writePrecision 6;

writeCompression off;

timeFormat   general;

timePrecision 6;

runTimeModifiable no;//yes;//no

adjustTimeStep no;//yes;//no

maxCo        3;//
maxAlphaCo    3;//
maxDeltaT     0.03;

// ***** //
```