



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**“Comportamiento Hidráulico en una red de distribución de agua potable con herramientas computacionales en la comunidad de APV El Bosque Provincia de Urubamba – Cusco, 2021”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**  
**Ingeniero Civil**

**AUTOR:**

Álvarez Serrano, Jorge Luis (ORCID: 0000-0002-4011-7698)

**ASESOR:**

Dr. Vargas Chacaltana. Luis Alberto (ORCID: 0000-0002-4136-7189)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño de Obras Hidráulicas y Saneamiento

**Cusco - Perú**

**2021**

## DEDICATORIA

Dedico ésta tesis a Dios, a mis Padres que me inculcaron Principios y valores, entre ellos: el de servicio y respeto a la persona, Asimismo, a mis Hermanos muy especial por su incondicional apoyo, mi asesor ingeniero Luis Alberto que gracias a sus conocimientos han podido cultivar en este humilde servidor las bases para lograr ser un buen profesional, a todos ustedes por siempre mi corazón y agradecimiento, que nuestro Padre Celestial les Bendiga y les colme de Bendiciones.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecer a esta casa de estudios, por su profesionalismo y experiencia en el campo de la investigación, hicieron que cada día me esforzara y pueda concluir la tan anhelada meta de ser profesional, por lo que agradezco a la UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO, y estoy seguro que mis metas darán frutos en el futuro y por ende me debo esforzar cada día para ser mejor en el campo en el cual me desempeñaré sin olvidar el respeto que engrandece a la persona.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	iv
ÍNDICE DE TABLAS .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	11
II. MARCO TEÓRICO .....	16
III. METODOLOGÍA .....	37
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	37
3.2. Variables y operacionalización.....	38
3.3. Población y muestra.....	38
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	39
3.5. Procedimientos.....	39
3.6. Métodos de análisis de datos.....	43
3.7. Aspectos éticos .....	43
IV. RESULTADOS .....	44
4.1. Criterios y parámetros de diseño .....	44
4.1.1. Población atendida.....	44
4.1.2. Tasa de crecimiento poblacional .....	47
4.1.3. Periodo de diseño .....	48
4.1.4. Población futura .....	48
4.1.5. Dotación .....	48

4.1.6. Caudal de diseño .....	49
4.1.7. Elementos de la red de distribución .....	49
4.2. Modelado hidráulico en herramientas computacionales .....	50
4.2.1. Consideraciones generales.....	50
4.2.2. Modelado en Watercad .....	51
4.2.3. Modelado en Epanet .....	67
4.2.4. Modelado en QGis – QWater .....	72
4.2.5. Resumen de resultados .....	80
4.3. Comparación de resultados de las herramientas computacionales .....	87
V. DISCUSIÓN .....	96
VI. CONCLUSIONES.....	99
VII. RECOMENDACIONES .....	101
REFERENCIAS .....	102
ANEXOS.....	108
Anexo 1. Matriz de consistencia.....	108
Anexo 2. Matriz de operacionalización.....	109
Anexo 3. Porcentaje de Muestras de Antecedentes .....	110
Anexo 4. INSTRUMENTOS VALIDADOS .....	111
Anexo 5. Procedimiento .....	123
Anexo 6. Cálculo de la población de estudio.....	124
Anexo 7. Cálculo del caudal promedio.....	125
Anexo 8. Distribución de caudal en nodos de la red de distribución .....	126
Anexo 9. Panel Fotográfico .....	127

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación de la población .....	44
Tabla 2. Resultados del censo poblacional.....	47
Tabla 3. Periodos de diseño para infraestructura sanitaria.....	48
Tabla 4. Caudal de diseño .....	49
Tabla 5. Resultados de nodos en Watercad. ....	80
Tabla 6. Resultados de tuberías en Watercad.....	81
Tabla 7. Resultado de nodos en Epanet.....	82
Tabla 8. Resultados de tuberías en Epanet.....	83
Tabla 9. Resultados de nodos en QGis. ....	84
Tabla 10. Resultados de tuberías en QGis. ....	85
Tabla 11. Nivel de coincidencia en resultados de velocidad.....	87
Tabla 12. Nivel de coincidencia en resultados de caudal. ....	90
Tabla 13. Nivel de coincidencia en los resultados de presión en nodos .....	93
Tabla 14. Nivel de coincidencia de caudal en el reservorio .....	95
Tabla 15. Resumen de variaciones promedio.....	95
Tabla 16. Resumen de variaciones individuales.....	95

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de una red de distribución de agua potable.....	22
Figura 2. Interfaz gráfica de Epanet.....	30
Figura 3. Interfaz gráfica de Watercad.....	32
Figura 4. Interfaz gráfica de QGis.....	34
Figura 5. Ubicación de Urubamba .....	35
Figura 6. Ubicación del sector Capillania A.P.V. El Bosque .....	36
Figura 7. Procedimiento de investigación .....	40
Figura 8. Ubicación geográfica de la zona de estudio .....	44
Figura 9. Área donde se ubica la captación actual de la red. ....	46
Figura 10. Tubería de distribución del sistema actual con fuga de agua ....	46
Figura 11. Configuración de la red de distribución.....	50
Figura 12. Configuración de unidades en Watercad.....	52
Figura 13. Condiciones de dibujo en Watercad .....	53
Figura 14. Propiedades de cálculo en Watercad .....	54
Figura 15. Esquema de la red de distribución.....	55
Figura 16. Exportación de datos entre Autocad y Watercad.....	56
Figura 17. Red importada en Watercad.....	56
Figura 18. Reporte de tuberías y nodos en Watercad. ....	57
Figura 19. Importación de mapa de curvas de nivel en watercad.....	58
Figura 20. Resultado de elevaciones de nodos en Watercad.....	59
Figura 21. Configuración del reservorio en Watercad.....	60
Figura 22. Vista del reservorio en Watercad.....	60
Figura 23. Configuración de tuberías en Watercad. ....	61
Figura 24. Distribución de caudal por longitud equivalente en Watercad. ..	62
Figura 25. Diseño optimizado con herramienta Darwing Desigmer. ....	63
Figura 26. Datos de diámetro de tuberías ingresados .....	63
Figura 27. Datos exportados en Watercad. ....	64
Figura 28. Resultado de la red de distribución en Watercad. ....	65
Figura 29. Resultados de nodos en programa Watercad.....	66

Figura 30. Resultados de tuberías en programa Watercad. ....	67
Figura 31. Exportar datos de Watercad a Epanet.....	68
Figura 32. Importar red de Watercad en Epanet.....	68
Figura 33. Opciones de configuración en Epanet. ....	69
Figura 34. Nodos de la red de distribución en Epanet .....	69
Figura 35. Datos de la tubería en Epanet. ....	70
Figura 36. Red de distribución en Epanet.....	71
Figura 37. Resultados de tuberías en Epanet.....	72
Figura 38. Resultados de los nodos en Epanet. Fuente: Epanet.....	72
Figura 39. Exportar datos desde Watercad a Qgis .....	73
Figura 40. Red de distribución importada en Qgis.....	73
Figura 41. Instalar complemento QWATER.....	74
Figura 42. Configuración del modelo en QWater.....	75
Figura 43. Datos del reservorio en QGis.....	76
Figura 44. Configuración de nodos en QGis.....	76
Figura 45. Configuración de la tubería en QGis.....	77
Figura 46. Red de distribución en software QGis. ....	78
Figura 47. Resultados del reservorio en QGis. ....	78
Figura 48. Resultado de los nodos en QGis. ....	79
Figura 49. Resultado de la tubería en QGis.....	79
Figura 50. Relación de resultados de Velocidad.....	90
Figura 51. Relación de resultados de Caudal. ....	92
Figura 52. Relación de resultados de Presión. ....	95

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como propósito evaluar el comportamiento hidráulico de una red de distribución de agua potable con herramientas computacionales, para la comunidad de APV El Bosque Provincia de Urubamba; la investigación fue de tipo aplicada con un enfoque cuantitativo no experimental, que utilizó la observación directa como principal técnica de recolección de datos, de lo cual salió a relucir que la red de distribución presenta tuberías y nudos que no satisfacen los requerimientos hidráulicos de la población. A partir del diagnóstico, se procedió a plantear una nueva red para abastecer una población de 169 viviendas, con una proyección a futuro de 20 años, y cuyos elementos de diseño se procesaron con las herramientas computacionales EPANET, WaterCAD y QGIS, de donde se obtuvieron los parámetros de velocidad, caudal, y presión. Al comparar los resultados, se obtuvo que el porcentaje de variación fue menor al 1% en todos los casos, habiendo mayor coincidencia entre WaterCAD y QGIS, con 0.12% de variación, mientras que entre Epanet y QGIS se obtuvo la mayor variación de resultados, con 0.20%. Como conclusión, se encontró que dichos índices de variación no son significativos dentro del diseño hidráulico de la red de distribución, la cual en todos los casos arrojó resultados que no comprometieron su funcionalidad, lo cual demuestra la confiabilidad de los mismos.

**Palabras claves:** Diseño óptimo, hidráulica, velocidades, presión, red de distribución, agua potable, WaterCAD, Epanet, QGIS.

## ABSTRACT

The present work aims to evaluate the hydraulic behavior of a water distribution network with computational tools, for the community of APV El Bosque Province of Urubamba; The research was applied with a non-experimental quantitative approach, which used direct observation as the main data collection technique, from which it emerged that the distribution network has pipes and nodes that do not satisfy the hydraulic requirements of the population. From this diagnosis, a new network was proposed to supply a population of 169 homes, with a future projection of 20 years, and whose design elements were processed with the EPANET, WaterCAD and QGis computational tools, from which were obtained speed, flow, and pressure parameters. When comparing the results, it was obtained that the percentage of variation was less than 1% in all cases, with a greater coincidence between WaterCAD and QGis, with 0.12% variation, while between Epanet and QGis was the highest variation of results, with 0.20%. In conclusion, it was found that these variation indices are not significant within the hydraulic design of the distribution network, which in all cases yielded results that did not compromise its functionality, showing that the results are very close and valid among themselves.

**Keywords:** Optimal design, hydraulics, speeds, pressure, water distribution network, drinking water, WaterCAD, Epanet, QGis.

## I. INTRODUCCIÓN

Los adelantos en los sistemas que proveen el abastecimiento de agua, el saneamiento y de la administración de los recursos hídricos, pueden contribuir al desarrollo económico de los países e influir en buena medida a la reducción de la pobreza. En contraste, los servicios de abastecimiento de agua inexistentes, deficientes o mal gestionados exponen la salud de la población; pues una gestión inapropiada de las aguas residuales urbanas, industriales y agrícolas conlleva a que el agua consumida por cientos de millones de personas sea peligrosamente contaminada (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2019).

A propósito, la OMS (2017) indica que al menos 3 de cada 10 personas a nivel mundial no tienen acceso a agua potable, esto incrementa el riesgo de contraer enfermedades que afectan la salud de la población, en especial la salud de los niños pequeños. En consecuencia, alrededor de 361 000 niños menores de 5 años mueren anualmente a causa de la diarrea. En este aspecto, los países pertenecientes al continente africano presentan importantes problemas de abastecimiento de agua, causados tanto por el desgaste de algunos cuerpos de agua, la contaminación y la deforestación ambiental (Coulibaly & Santacruz, 2019), como por la escasez de recursos, que impide el desarrollo de la infraestructura adecuada para la distribución de agua potable por todo el territorio (Jaramillo, 2019).

Por otro lado, en los países de América Latina se cuenta con una relativa abundancia en relación a los recursos hídricos, debido a que posee el 33% del capital hídrico del mundo. Sin embargo, existen problemas de escases de agua que afectan a millones de personas, a pesar de la abundancia del recurso natural y de las importantes inversiones de infraestructura (Ballesteros, Arroyo, & Mejía, 2015). Además, en América Latina y El Caribe los países han avanzado a una mayor urbanización, por lo que la población rural no va a desaparecer; por el contrario, se considera que para el año 2030 habrá algunos países con más del 30% de esta. La tendencia general indica que el acceso a los servicios de agua no ha sido atendido de forma uniforme en este tipo de comunidades; por tanto, se hace necesario garantizar la durabilidad de la infraestructura en estas zonas, por

lo que es importante salvaguardar los mecanismos de supervisión del proceso constructivo, la calidad de los materiales y la operatividad de los servicios (Mejía, Castillo, & Vera, 2018).

En cuanto al Perú, se puede decir que este es uno de los países más ricos en agua, contando con el 1.89% de las reservas de agua dulce presentes a escala global, comprendido por tres vertientes dentro de su superficie, con al menos 2 billones de metros cúbicos de agua anualmente (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2021), encontrándose sólo en la Región de Cusco, dos fuentes hidrográficas naturales que comprenden el tramo II del río Urubamba con 181.04 Km de recorrido, y el tramo I del río Yavero con 221.26 Km (Autoridad Local del Agua [ALA], 2017). Pese a ello, el 66% de la población solo tiene acceso al 2.2% de agua (ANA, 2021). Tales son los casos de los centros poblados rurales, quienes constituyen el 20.7% de la población censada del país, que según cifras del Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017), el 63.2% se encuentran en escasez de agua potable (Gávila, 2019).

En algunos casos, las poblaciones no cuentan con el desarrollo de un proyecto de red de abastecimiento adecuado y eficiente; como es el caso del sector Capillania, A.P.V. El Bosque, en la comunidad de Palccaraqui, el cual cuenta desde hace más de 10 años, con un sistema de distribución de agua rudimentario, construido de forma artesanal por parte de los pobladores del sector, partiendo de la necesidad de suministrar agua a las viviendas, sin haber tomado las medidas necesarias para dotar al sistema con los tratamientos adecuados, infraestructura y otras consideraciones relevantes. En consecuencia, en su recorrido el sistema sufre pérdidas del vital líquido por roturas y fisuras en las tuberías desgastadas, esto aunado al crecimiento que ha tenido la población y al desarrollo de la agricultura como principal actividad económica, provoca que no se pueda cubrir plenamente el caudal requerido por parte de los habitantes.

En este sentido, se considera que un sistema de distribución de agua rural ofrece el servicio a cada vivienda por medio de conexiones domiciliarias, y un sistema de distribución debe ser diseñado para suministrar agua con la calidad y la cantidad fijadas por las normas de diseño de Obras de Saneamiento del

Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). Estas condiciones se pueden garantizar mediante el análisis y predicción del comportamiento hidráulico de la red de distribución de agua potable, basado principalmente en parámetros como lo son el diámetro de tubería, la velocidad del agua, la presión y las pérdidas de presión del fluido, que pueden ser comparados con los valores recomendados por las normas técnicas. De esta manera, un modelado hidráulico proporciona una herramienta eficaz en cuanto a la calibración hidráulica (comprobación), referida a la comparación de los resultados de un modelo con observaciones de campo o condiciones reales de operación (Elsheikh, Saleh, Rashuam, & El-Samadoni, 2018). Dada la complejidad del entorno de tuberías, accesorios y elementos de regulación necesarios para garantizar el transporte del caudal de agua requerido, se utilizan, actualmente, herramientas de soporte para el modelo de simulación hidráulica (Pérez, Roldán, Moeno, & García, 2018), entre las que se pueden mencionar EPANET, WaterCAD, WatDIS, comúnmente usadas en el diseño y análisis hidráulico de redes de agua potable (Vera, 2018).

En virtud de ello, la presente investigación se enfoca en evaluar el comportamiento hidráulico mediante herramientas computacionales, en redes de agua potable que permita un diseño adecuado en sintonía con la normativa y las condiciones de la comunidad de Palccaraqui. Por esta razón, se formula el siguiente **problema general**: ¿Cuál es el comportamiento Hidráulico en la red de distribución de agua potable con herramientas computacionales en la comunidad de A. P. V El Bosque, Provincia de Urubamba – Cusco 2021?. Para ello, se plantean responder los siguientes **problemas específicos**: ¿Cuáles son los criterios y parámetros de diseño que intervienen en el comportamiento hidráulico de la red de abastecimiento de agua potable de la comunidad de A.P.V El bosque, Provincia de Urubamba-Cusco 2021? b) ¿Cuál es el modelo hidráulico de la red de abastecimiento de agua potable obtenido con las herramientas EPANET, WaterCAD y QGis de la comunidad de A.P.V El Bosque, Provincia de Urubamba – Cusco 2021? c) ¿Cuáles son las diferencias y similitudes del comportamiento hidráulico obtenido a través de EPANET, WaterCAD y QGis, de la red de

abastecimiento de agua potable de la comunidad de A.P.V El Bosque, Provincia de Urubamba – Cusco 2021?

Con base en ello, la presente investigación adquiere **una justificación práctica**, ya que nace de la necesidad que presenta la comunidad de A.P.V El Bosque en disponer de una red de agua potable segura y eficiente para todos sus habitantes, aspirando a mejorar la calidad de vida de la población contribuyendo con la salud, el desarrollo económico y educativo de los pobladores.

Por otro lado, la investigación **adquiere importancia teórica** debido a que servirá de antecedente para futuros trabajos relacionados al diseño y evaluación hidráulica de redes de agua potable de centros poblados, especialmente rurales; que además tomen en cuenta los lineamientos de la normativa sanitaria. De esta manera, aportar los resultados para otras regiones del país que presenten situación similar en pro de la mejora en sus calidades de vida.

Así mismo, la investigación **se justifica dentro del contexto metodológico**, ya que es efectuada bajo la normativa nacional de obras de saneamiento del Perú, metodología del análisis hidráulico, y los procesos del método científico que comienzan con la recolección de datos; esto con el fin de garantizar el cumplimiento de los parámetros establecidos, asegurando un comportamiento óptimo del sistema de abastecimiento de agua.

Por último, la investigación posee una **justificación tecnológica**, pues en ella se realiza el diseño de ingeniería mediante métodos el uso de herramientas computacionales que procesan la información técnica y proveen una predicción del comportamiento hidráulico de las redes de abastecimiento de agua potable, de tal manera que constituye una guía del uso de este tipo de herramientas para el desarrollo de otros proyectos de índole similar.

Para ello, se plantea el siguiente **objetivo general**: Evaluar el comportamiento hidráulico en la red de distribución de agua potable con herramientas computacionales en la comunidad de A.P.V El Bosque, Provincia de Urubamba – Cusco 2021. Para lograr esto, se formulan los siguientes **objetivos específicos**: a) Determinar los criterios y parámetros de diseño que intervienen en el comportamiento hidráulico de la red de abastecimiento de agua potable de la

comunidad de A.P.V El Bosque, Provincia de Urubamba – Cusco 2021. b) Diseñar el modelo hidráulico de la red de abastecimiento de agua potable con las herramientas EPANET, WaterCAD y QGis de la comunidad de A.P.V El Bosque, Provincia de Urubamba – Cusco 2021. c) Comparar los resultados del modelo hidráulico obtenido a través de EPANET, WaterCAD y QGis de la comunidad de A.P.V El Bosque, Provincia de Urubamba – Cusco 2021.

## II. MARCO TEÓRICO

Para el desarrollo de la presente investigación, fueron consultadas diversas investigaciones, así como bases teóricas necesarias para una adecuada contextualización del tema. De esta manera, como **antecedentes internacionales** tenemos a **Bravo (2017)**, desarrolló una **modelación hidráulica de la red de distribución de agua potable de la parroquia El Retiro, cantón Machala, provincia El Oro**”, cuyo **objetivo** fue evaluar el estado actual de la red de distribución de agua potable de la parroquia y proponer las soluciones apropiadas, para **la metodología** se realizaron entrevistas a los empleados de la administración del gobierno parroquial y a los habitantes de la comunidad, también se tomaron datos en el reservorio para conocer el volumen y caudal consumido por la población. De igual manera, se tomaron las medidas, con manómetros, en diez puntos seleccionados para conocer la presión actual del sistema. Como **resultado** se obtuvo la modelación hidráulica de la red de abastecimiento de agua potable utilizando el programa EPANET, el cual **concluyó** que el sistema es irregular, debido a la baja presión en los nodos alejados, para lo que se recomienda la construcción de un tanque de almacenamiento.

**Pérez (2017)** elaboró un trabajo de nombre **“Modelación del sistema de abasto de agua potable Santa Marta-Varadero empleando el software EPANET 2.0vE”** con el objetivo de realizar el modelamiento hidráulico de la red de distribución para el abastecimiento de agua potable de Santa Marta-Varadero por medio del software EPANET 2.0vE. La **metodología** empleada consideró las condiciones actuales del sistema para la obtención de resultados rápidos y eficaces. Como **resultado** se obtuvo que los sobreconsumos pueden oscilar un 7 y 20% por encima de la demanda base, con lo que se mantienen estables los niveles del tanque, asegurando un servicio constante. En **conclusión**, se comprobó que el modelamiento de la red de distribución de agua potable por medio del programa EPANET 2.0vE arroja resultados confiables con respecto a las comparaciones y análisis realizados.

**Mena (2016)** elaboró un **diseño de la red de distribución de agua potable de la parroquia El Rosario del cantón San Pedro de Pelileo, provincia de**

**Tungurahua**” en el que se llevó a cabo una investigación de campo con **el objetivo** de realizar el diagnóstico del estado actual del agua consumida por los habitantes de la parroquia. **La metodología** estuvo enfocada en el diseño una red de distribución a gravedad teniendo en cuenta el tamaño de la población actual, el caudal, la dotación y la topografía del sector. Como **Resultado** se obtuvo el modelo hidráulico a través del software EPANET, el cual genera resultados confiables, y se **concluyó** siguiendo los parámetros establecidos en las normas del INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización) y las normativas para el medio ambiente contenidas en el Texto Unificado para la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente.

En el ámbito **nacional**, tenemos a **Morante (2019)** realizó un **rediseño del sistema de abastecimiento de agua potable en la localidad de Sónдор, Huancabamba**, con el **objetivo** principal de rediseñar la red de distribución utilizada para el abastecimiento de agua potable en la localidad de Sónдор, Huancabamba, ya que la red de distribución actual tiene más de 30 años de antigüedad. **La metodología** se realizó por medio de una revisión bibliográfica y de la recopilación de datos sociales, poblacionales, técnicos y topográficos. Como **resultado** se obtuvo el diseño de los elementos hidráulicos utilizando el **programa WaterGems V8i**, considerando un periodo de diseño para la red de distribución de 20 años, a través del cual se llegó a **concluir** con los valores de velocidad, presión y caudal que cumplen con los lineamientos exigidos por la normativa vigente y que garantizan la dotación del vital líquido a la localidad de Sónдор.

**Carhuapoma y Chahuayo (2019)**, efectuó un **diseño del sistema de abastecimiento de agua potable en La Rinconada de Pamplona Alta, aplicando EPANET y algoritmos genéticos para la localización de válvulas reductoras de presión**” con el **objetivo** de elaborar una propuesta de diseño para la red de distribución de agua potable de la región en estudio. **La metodología** usada estuvo basada en una simulación y calculo hidráulico del sistema de distribución por medio de la aplicación del **programa EPANET**, y del Algoritmo Genético Multiobjetivo, como **resultado** se obtuvo una propuesta de diseño formada por un reservorio RAP-1 que proporciona el abastecimiento de cuatro

zonas de presión y un segundo reservorio RRP-3 destinado a abastecer otras tres zonas de presión. Como **conclusión** se obtuvo que con el Algoritmo Genético Multiobjetivo se pueden definir los caudales de demanda, lo que aporta mejoras en el proceso de diseño por medio del programa EPANET.

**Vera (2018)** elaboró una **evaluación del comportamiento hidráulico de redes de distribución de agua potable, mediante métodos computacionales convencionales en el Distrito de Chupaca**, con el **objetivo** de realizar una evaluación de la velocidad y la presión en las conexiones del sistema de abastecimiento de agua potable del Distrito de Chupaca. En cuanto a la **metodología**, se llevó a cabo un tipo de investigación aplicada-explicativa, utilizando el método de investigación científica y un diseño de investigación no experimental transversal, para el cumplimiento de los objetivos se utilizaron tres elementos computacionales, el WaterCAD, el EPANET y el WatDis. A través de esto se obtuvo como **resultado** que la actual red de distribución no cumple con los requerimientos exigidos por la normativa, provocando un mal funcionamiento del sistema en general. En **conclusión**, se tiene que los tres programas computacionales resultan útiles en el análisis del comportamiento hidráulico, las variaciones porcentuales entre los resultados generados por cada programa son muy próximos y se consideran validos entre sí.

Como **antecedentes en idioma extranjero** se tiene a **Venkata y Sudheer (2018)**, desarrollaron un trabajo de nombre **“Validation and Examination of Existing Water Distribution Network for Continuous Supply of Water Using EPANET”**, que tuvo como **objetivo** la evaluación de una red de distribución de agua existente con suministro continuo, usando la herramienta EPANET, como **metodología** se realizó un estudio detallado por medio de las herramientas EPANET, WaterGEMS y AutoCAD diseñando un suministro continuo de agua, como **resultado** se proponen dos reservorios con capacidad de 2.7m3 cada uno, en **conclusión** se dedujo que el diámetro de las tuberías existentes debe ser revisado cuidadosamente.

**Anisha, Kumar, Ashok y Suvarna (2016)** realizaron un trabajo titulado **“Analysis and Design of Water Distribution Network Using EPANET for**

**Chirala Municipality in Prakasam District of Andhra Pradesh”** con el **objetivo** de analizar y desarrollar una red de distribución de agua potable usando el software EPANET para el Municipio de Chirala. Para la **metodología** se tomó en cuenta la población proyectada para el final del periodo de diseño obteniendo la información de los registros de censos pasados. Como **resultado** se obtuvo que la red de distribución actual no es adecuada para cubrir las demandas futuras, en **conclusión**, se debe construir un nuevo depósito que, unido con el diseño de red en las ubicaciones propuestas, tenga la capacidad para cubrir las futuras demandas.

**Venkata, Sudheer y Rajasekhar (2015)** elaboraron un trabajo de investigación de título **“Network analysis of water distribution system in rural areas using EPANET”** con el **objetivo** de analizar redes de distribución de agua potable en zonas rurales mediante el uso de la herramienta EPANET, la **metodología** usada consistió en la recolección de imágenes satelitales de Google para generar el mapa base mediante el uso de la Herramienta AutoCAD que luego sería exportado a la Herramienta EPANET, como **resultado** se obtuvo que la presión residual en cada nodo es de 7.00m y que el diámetro interno asumido de 63.50mm es adecuado para resistir la presión total de toda la red. En **conclusión**, se puede decir que por medio del uso de la herramienta EPANET se pueden llevar a cabo análisis de sistemas de distribución de agua potable en un determinado periodo de tiempo, incluso si el tipo de red es muy complejo.

Como **antecedentes de artículos científicos** tenemos a **Seyoum y Tanyimboh (2017)** publicaron un artículo llamado **“Integration of Hydraulic and Water Quality Modelling in Distribution Networks: EPANET-PMX”** con el **objetivo** de proponer un modelo de análisis de red integrado utilizando EPANET-PMX, el cual aborda las debilidades que se presentan en este software en cuanto a elementos excluidos, como las bombas, los dispositivos de control y tanques, llevando así a la generación de resultados engañosos. La **metodología** consistió en analizar tres modelos de redes de distribución de agua, y medir los índices de calidad del agua relacionados a su edad, contenido de cloro residual, y la presencia de otras sustancias inducidas por reacciones químicas secundarias. Como

**resultado** plantearon un método de análisis capaz de realizar simulaciones dinámicas y en estado estacionario, y que se puede aplicar en redes con diferentes combinaciones de reacciones químicas y cinéticas. Como **conclusión** tuvieron que los modelos de redes de distribución de agua basados en la demanda proveen resultados poco realistas bajo condiciones de baja presión en el sistema, lo cual puede llevar a tomar decisiones incorrectas en cuanto al diseño y operación de la red.

**Rasooli y Kang (2016)** elaboraron un artículo llamado “**Designing of Hydraulically Balanced Water Distribution Network Based on GIS and EPANET**” en el cual tenían el **objetivo** de diseñar y equilibrar una red de distribución de agua usando la metodología del Sistema de Información Geográfica (SIG) y el software EPANET, la **metodología** planteada fue por medio del SIG, con lo cual se esqueletizó la red de distribución de agua de una porción de la ciudad de Kabul mediante el uso de Network Analyst. Para equilibrar hidráulicamente la red de agua potable se analizaron los caudales del agua realizando un proceso de iteraciones para obtener la suma algebraica de la pérdida de carga a través de cada nodo. Como **resultado** obtuvieron un flujo de trabajo que permite compatibilizar el uso de los sistemas de información geográfica y el diseño hidráulico de redes de distribución de manera óptima, fomentando su uso por ingenieros diseñadores. En **conclusión**, acordaron que el método presentado representa una herramienta capaz de facilitar el trabajo de diseño de las redes de distribución de grandes ciudades ayudándose de las ventajas tecnológicas de los sistemas GIS y de herramientas computarizadas como EPANET.

**Sonaje y Joshi (2015)** realizaron una publicación llamada “**A review of modeling and application of water distribution networks (WDN) softwares**” en el que su **objetivo** fue presentar una revisión de varios software. disponibles para el diseño de redes de distribución de agua utilizando modelos matemáticos computarizados, entre los que se incluyen software de dominio como EPANET, Branch y LOOP, y también software comerciales como Aquis, H2O map, KYPipe, WaterCAD, WaterGEMS, entre otros. La **metodología** se llevó a cabo mediante una revisión exhaustiva de las características de cada programa comparando los

tipos de análisis que llevan a cabo, los métodos de diseño, las interfaces gráficas, entre otros. Como **resultado** encontró que los distintos software difieren entre sí por los algoritmos de diseño empleados, eficiencias de modelado, compatibilidad con otros sistemas informáticos y sistemas de entrada, de tal manera que la **conclusión** a la que se llegó fue que al elección de cualquier programa a la hora de realizar el diseño de una red de distribución dependerá en mucho de los datos disponibles para inicial el modelo, así como del enfoque general del proyecto y las características particulares de los elementos a incluir en el modelo.

En este contexto, el agua es considerada como el epicentro del desarrollo sostenible, siendo esencial para el progreso socioeconómico de la población, la producción de energía y alimentos, el desarrollo de los ecosistemas y la supervivencia de la especie humana (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2021). En este sentido, en el diseño de sistemas de distribución de agua potable se debe considerar que estos están conformados por un conjunto de obras civiles, que incluyen la instalación de tuberías y accesorios, cuyo objetivo es el de suministrar agua potable a una población determinada, trasladándola desde el lugar de la captación por medio de líneas de conducción hasta una planta de potabilización, para luego ser almacenada en un reservorio y finalmente ser distribuida a través de las líneas de distribución (Instituto Nacional de Agua Potable y Alcantarillado [INAPA], 2018).

La red de distribución de agua potable es el conjunto conformado por tuberías, accesorios y las infraestructuras necesarias para el traslado del agua desde el reservorio donde se encuentra almacenada hasta las conexiones domiciliarias. A lo largo de esta red se pueden diversos elementos, entre los que se encuentran las válvulas de control, que permiten la interrupción del flujo al momento de realizar labores de mantenimiento. Así como las cámaras reductoras de presión, en caso de que el terreno presente desniveles muy pronunciados y válvulas de purga. En la figura 2 se puede observar un esquema de una red de distribución (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [Vivienda], 2018).

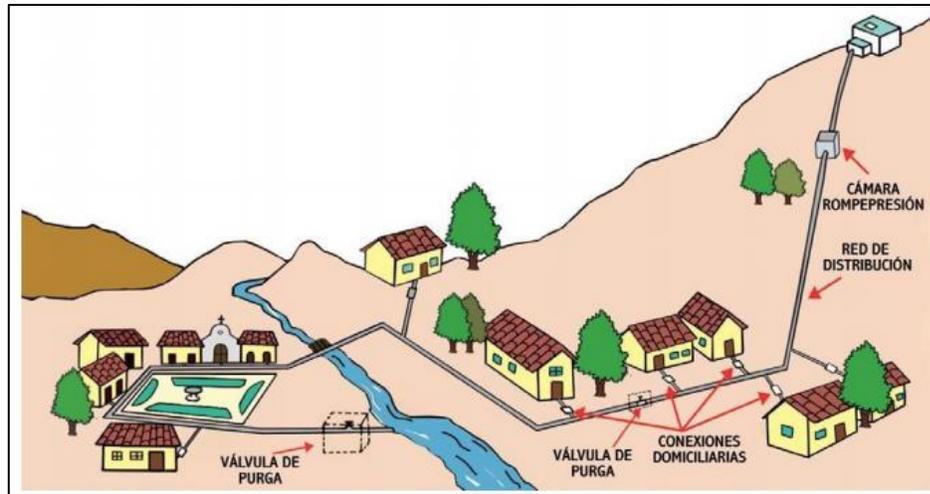


Figura 1. Esquema de una red de distribución de agua potable.  
Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2018).

La protección y el mantenimiento de los sistemas de distribución de agua es fundamental para garantizar un agua potable de alta calidad. Los sistemas de distribución, que consisten en tuberías, bombas, válvulas, tanques de almacenamiento, depósitos, medidores, accesorios y otros accesorios hidráulicos, llevan agua potable desde una planta de tratamiento centralizada o suministros de pozo a los grifos de los consumidores. Como tales, los sistemas de distribución representan la gran mayoría de la infraestructura física para el suministro de agua y, por lo tanto, constituyen el principal desafío de gestión desde el punto de vista operativo y de salud pública (Vivienda, 2018).

Se pueden mencionar dos tipos de redes de distribución:

- Redes ramificadas, las cuales se componen básicamente de una tubería principal y algunas ramificaciones que pueden terminar en puntos ciegos o en pequeñas mallas, estas son usadas generalmente en caminos o veredas. Hidráulicamente, en este tipo de red es posible determinar los caudales de circulación de agua a partir de los gastos suscritos a la longitud entre diferentes nodos, a partir del número de conexiones domiciliarias y de la dotación estimada (Vivienda, 2018).
- Redes malladas, son aquellas que están conformadas por una serie de

tuberías en las que el agua circula en circuitos cerrados, este tipo de red genera un servicio más eficiente en cuanto a presión y caudal se refiere. A diferencia de las redes abiertas o ramificadas, en este caso la distribución de caudal depende de la configuración particular de la red de tuberías, necesitándose métodos de análisis matemático para su determinación. El método utilizado comúnmente es el de Hardy – Cross, un método iterativo que se basa en la ley de continuidad de masa en los nudos, y la ley de conservación de energía en circuitos. En su aplicación, es común utilizar a su lado el método de Hazen – Willians para el cálculo de las pérdidas de energía por fricción (EPPM, 2018).

La elección de un tipo de red respecto a otro suele obedecer a la configuración de la población a servir, puesto que la implantación de las tuberías se realiza a lo largo de las vías de acceso vial. Por su parte, si se trata de un proyecto de urbanismo, la selección pasa por el análisis económico de factibilidad, donde la configuración abierta es la que ofrece mayor economía que una red mallada. Sin embargo, este tipo de redes tiene desventajas para garantizar la continuidad del servicio, dado que, de suscitarse una falla en un punto determinado de la red, va a afectar a los tramos subsiguientes irremediablemente. En zonas urbanas, es común el diseño de redes de distribución mediante configuración mallada. (Vivienda, 2018).

Para cumplir la condición de redundancia es necesario contemplar todos los posibles escenarios de fallo, por lo que en la formulación del problema es necesario incluir todas y cada una de las configuraciones que resulten de posibles roturas de tubería en la red. Cuando el número de tuberías en la red resulta mayor de 10 o 15 esta forma de proceder resulta complicada sin ayuda de software especializado, por lo que varios autores han definido restricciones adicionales en el problema de diseño que representen, de modo indirecto, el mantenimiento de la condición de redundancia sin necesidad de recurrir a la descripción exhaustiva de todos los casos posibles. Algunas posibilidades son:

- Evitar la eliminación de tuberías en el proceso de dimensionado. Para ello es posible establecer restricciones sobre el valor mínimo de alguna variable

hidráulica de la tubería, como pueda ser imponer un diámetro mínimo de tubería, un valor mínimo de caudal circulante, etc.

- Establecer que cada nudo de consumo deba estar conectado por medio de al menos dos tuberías. Exigir un mayor número de conexiones podría llevar a un mallado excesivo e innecesario.
- Otra opción es ampliar el criterio anterior, de modo que se establezca un número mínimo de conexiones por sector. De este modo, cualquier zona de la red está alimentada por un mínimo de dos tuberías, con lo que se asegura la redundancia total

Normalmente se utilizan redes ramificadas en casos donde el perjuicio derivado de una interrupción temporal en el servicio no es considerable, como pueden ser las redes de riego o industrial. En el caso del abastecimiento en ciudades la configuración más adecuada es la mallada.

Para una distribución eficiente, se requiere que el agua llegue al uso final con el flujo requerido y con la presión necesaria en el sistema de tuberías. Hay tres tipos principales de distribución que el sistema puede adoptar en pueblos y ciudades:

- Distribución alimentada por gravedad: se utiliza cuando el nivel del suelo de la fuente o almacenamiento de agua está lo suficientemente elevado en comparación al núcleo que abastece, donde el flujo de la tubería de distribución sucede debido a la gravedad, y no se requiere bombeo. Tal sistema es altamente confiable y económico.
- Sistema de bombeo: en tal sistema, el agua se suministra mediante bombeo continuo. El agua tratada es directamente bombeada a la red de distribución con presión constante. El suministro puede verse afectado durante un corte de energía o por una avería de las bombas. Tal sistema funciona solo en condiciones donde hay energía continua, una fuente de agua confiable y donde el sistema de almacenamiento intermedio no puede ser instalado.
- Combinación doble: en tal sistema, se utilizan tanto sistemas de bombeo

por gravedad como el sistema de bombeo. Tales sistemas se utilizan frecuentemente donde hay importantes variaciones en la topografía dentro de los límites del área a abastecer.

En cuanto a realizar el diseño hidráulico de una red de distribución de agua potable, se considera que el transporte de un fluido de un lugar a otro se permite a través de una tubería. El nodo es el punto o sección transversal de la tubería donde se extrae el fluido o donde este se conecta con otra tubería. En estudios de redes de tubería, se considera que una tubería es un conducto cerrado de determinada longitud. Cada una de las secciones transversales de sus extremos está asociada a un nodo.

Se deben de considerar ciertos parámetros que favorezcan el funcionamiento óptimo de la estructura proyectada, entre estos se pueden mencionar:

- La población de diseño, la cual se debe determinar tomando en cuenta los datos del último censo y la tasa de crecimiento poblacional.
- El periodo de diseño, que se considera en base a la vida útil de las estructuras y equipos.
- El crecimiento poblacional, que permite la estimación del número de usuarios finales durante todo el periodo de vida útil del sistema.
- La dotación de agua, en función de las características de la población atendida, pudiendo diferenciar entre régimen rural, urbano e industrial.
- Las variaciones de consumo diario de la localidad, las cuales obedecen a criterios de uso simultaneo del servicio, para lo cual es necesario garantizar el suministro en base a condiciones hidráulicas eficientes de caudal, velocidad, y presión.

Los indicadores de velocidad, presión, caudal, e incluso los diámetros de tuberías a utilizar se corresponden con lineamientos normados en los documentos técnicos de diseño. En el Perú, el reglamento nacional de edificaciones, por medio de la norma técnica 0.50 Redes de distribución de agua para consumo humano brinda las consideraciones pertinentes:

- La población de diseño debe ser determinada para el periodo de diseño

asumido según las normativas y documentos técnicos relacionados, considerando la tasa de crecimiento anual dada por el organismo regulador.

- El diámetro ( $\phi$ ) mínimo a utilizar en las tuberías, cuando se trate de las tuberías principales, será de 75 mm. Para la conexión predial, el diámetro mínimo debe ser de 12.50 mm.
- La velocidad máxima del fluido dentro de la tubería deberá ser menor de 3 m/s para evitar el desgaste interno de la tubería por fricción. Solo en casos excepcionales y debidamente justificados la velocidad del fluido puede llegar a ser de 5 m/s.
- En cuanto a la presión del agua, esta no debe elevarse a más de 50 m en cualquier punto de la red, y tampoco debe de ser menor a 10m en el horario de máxima demanda.
- El caudal de diseño, este debe ser capaz de cubrir el gasto máximo horario en todo su recorrido. Por lo que se puede calcular usando la ecuación 1.

$$Q_{unit} = \frac{Q_{mh}}{N^{\circ}viviendas} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Se considera que las velocidades de circulación del agua dentro de una tubería deben ser limitadas por razones técnicas. La aparición de ruidos, significa una gran erosión interior puede ser generados por los valores muy altos de velocidad; a su vez las velocidades bajas posibilitan el transporte de gran cantidad de materias, por los procesos de potabilización y depuración, sedimentaciones en el interior de las tuberías, que conllevarían consecuencias negativas.

Por su parte, cuando se tiene que diseñar una línea de conducción por medio de tuberías no hay una única solución. Puede haber muchos diámetros que logren cumplir los requerimientos hidráulicos que requiere el diseño de redes; de todos los posibles diámetros, se tiene que identificar uno que se puede considerar como el diámetro más conveniente y que en costo resulte el menor posible tanto en ejecución, operación y materiales. Para tal fin, se tiene que tener en cuenta: los

diámetros más usados del mercado, el precio de tuberías y accesorios, así como los coeficientes de rugosidad de los anteriores, el precio de transporte, condiciones crediticias y/o de tasas bancarias.

Por otra parte, la norma técnica OS.100 establece las siguientes consideraciones básicas de diseño:

- Dotación de agua, para conexiones domiciliarias de al menos 180 L/hab/día en localidades con un clima frío, y de 220 L/hab/día si se trata de una región con clima cálido.
- Variaciones de consumo, si no es posible obtener datos estadísticos acerca del coeficiente de variación de consumo, se podrán considerar los siguientes valores: 1.3 para el cálculo del máximo anual de la demanda diaria y de 1.8 a 2.5 para del cálculo del máximo anual de la demanda horaria.

Asimismo, EEPM (2018) define la pérdida de carga como la reducción de la presión provocada por la circulación del fluido a través de la tubería. Esta se puede calcular mediante la ecuación 2, también conocida como ecuación de Hazen - Willians.

$$hf = 10.672 * \frac{L}{D^{4.871}} \left( \frac{Q}{C} \right)^{1.852} \quad \text{(Ecuación 2)}$$

Donde:

- hf: pérdida de carga (m)
- L: longitud de la tubería (m)
- D: diámetro interno del tubo (m)
- Q: caudal de circulación (m<sup>3</sup>/s)
- C: coeficiente de Hazen – Willians para el material de la tubería

Por su parte, el caudal de diseño se obtiene a partir del consumo promedio de la población, a partir de la expresión de la ecuación 5, la cual depende de la dotación de consumo y el número de habitantes.

$$Q_p = \frac{\text{Dotacion} * \text{Poblacion}}{86400} \quad (\text{Ecuación 3})$$

En cuanto al diseño de un modelo hidráulico por medio de herramientas computacionales, actualmente existe una gran variedad de softwares disponibles para el modelado de redes de distribución, estos pueden ser gratuitos o comerciales. Su utilización en la elaboración de diseños hidráulico se ha extendido debido al grado de complejidad creciente que presentan los desarrollos sanitarios actuales, donde las poblaciones son cada vez más grandes, requiriendo redes extensas cuyo calculo manual se hace engorroso y poco preciso, considerando que muchos de estos cálculos requieren del uso de iteraciones constantes hasta obtener resultados óptimos (Tzatchkov et al., 2014). Para su uso, se debe proveer, principalmente, de los siguientes datos de entrada:

- Diámetro de las tuberías
- Longitud
- Coeficiente de perdida de carga
- Elevación de los nodos
- Demanda de agua
- Tanques (nivel de agua)
- Bombas (curvas gasto-carga, nivel de succión y perdida de carga menor)

En cuanto a la resolución matemática de las variables para obtener los resultados antes mencionados, son utilizados una serie de métodos teóricos que permiten hacer aproximaciones, las cuales usualmente están compuestas por:

- Metodologías de Equilibrio Simultáneo de las Variables, como los Métodos del Nudo y Circuito Simultáneos.
- Métodos numéricos basados en la teoría iterativa de Gauss-Seidel y Jacobi, y el más recurrente es el famoso Método de Cross.

Entre las principales herramientas computacionales se pueden mencionar EPANET, un software desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de

Estados Unidos que ha servido como base de múltiples investigaciones que mejoran nuestro conocimiento del movimiento y destino del agua potable y sus constituyentes en una red de aguas. Se desarrolló como una herramienta para comprender el movimiento y el destino de los componentes del agua potable dentro de los sistemas de distribución y se puede utilizar para muchos tipos diferentes de aplicaciones en el análisis de sistemas de distribución. En la actualidad, los ingenieros y consultores utilizan Epanet para diseñar y dimensionar nueva infraestructura de agua, modernizar la infraestructura antigua existente, optimizar las operaciones de tanques y bombas, reducir el uso de energía, investigar problemas de calidad del agua y prepararse para emergencias. También se puede utilizar para modelar amenazas de contaminación y evaluar la resistencia a amenazas a la seguridad o desastres naturales.

Epanet puede ser utilizado para el análisis de cualquier fluido no compresible con flujo a presión, per su uso principal ha sido para diseñar todo tipo de red de forma eficaz, poseyendo una amplia variedad de ventajas, entre las cuales se puede mencionar la simulación en periodos prolongados, el análisis de la calidad de agua, cálculos de cloro para desinfección, entre otros. La primera versión de EPANET fue lanzada en 1993 (Sonaje & Joshi, 2015).

El Epanet utiliza como método numérico de cálculo el método de Gauss – Jordan, y como complemento, en la base hidráulica se encuentran las fórmulas de HazenWilliams, de Darcy-Weisbach y de Chezy-Manning.

La interfaz de usuario (Figura 2) proporciona un editor de red visual que simplifica el proceso de construcción de modelos de redes de tuberías y la edición de sus propiedades y datos. Se utilizan varias herramientas de visualización y presentación de informes de datos para ayudar a interpretar los resultados de un análisis de red, incluidos mapas de red codificados por colores, tablas de datos, uso de energía, reacción, calibración, gráficos de series de tiempo y diagramas de perfil y contorno.

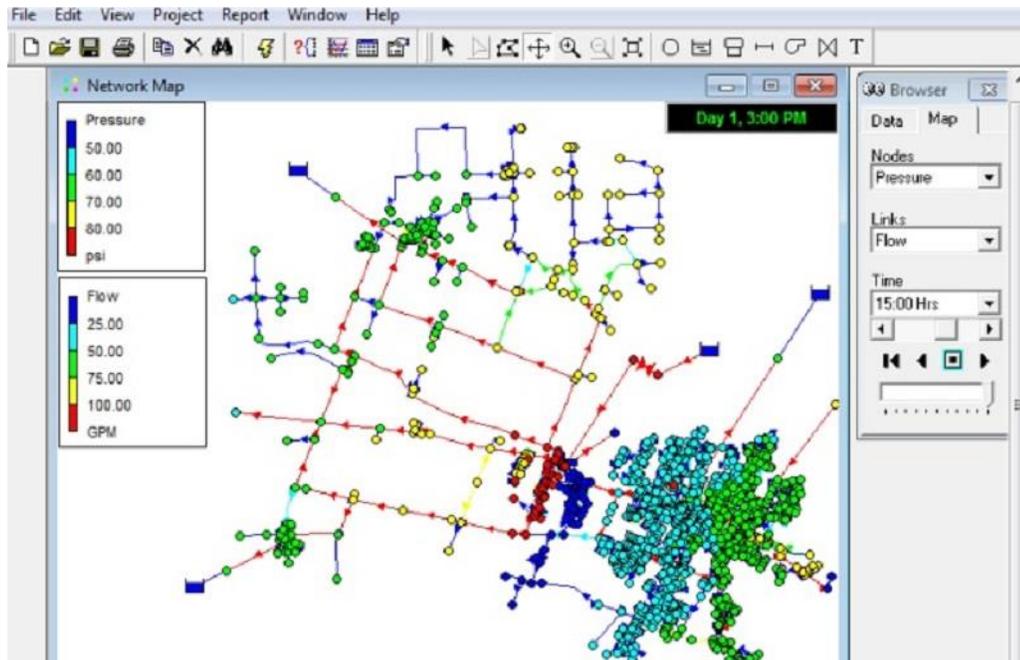


Figura 2. Interfaz gráfica de Epanet.  
Fuente: Epanet.

El modelado hidráulico preciso y con todas las funciones es un requisito previo para realizar un modelado eficaz de la calidad del agua. EPANET contiene un motor de análisis hidráulico de última generación que incluye las siguientes capacidades:

- Capacidad para utilizar demandas dependientes de la presión en análisis hidráulicos.
- Operación del sistema basada en controles simples de nivel o temporizador de tanque y en controles complejos basados en reglas.
- No hay límite en el tamaño de la red que se puede analizar.
- Calcula la pérdida de carga por fricción utilizando las fórmulas de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach o Chezy-Manning.
- Incluye pérdidas de carga menores por curvas, accesorios, etc.
- Modela bombas de velocidad constante o variable.
- Calcula la energía y el costo de bombeo.
- Modela varios tipos de válvulas, incluidas las de cierre, verificación, regulación de presión y control de flujo.
- Permite que los tanques de almacenamiento tengan cualquier forma (es

decir, el diámetro puede variar con la altura).

- Considera múltiples categorías de demanda en los nodos, cada una con su propio patrón de variación en el tiempo.
- Modela el flujo dependiente de la presión que emana de los emisores (rociadores).
- Proporciona resultados sólidos para la convergencia hidráulica y las condiciones de flujo bajo o nulo.

Por otro lado, WaterCAD es un software de modelamiento hidráulico que cuenta con una gran variedad de funcionalidades, entre las que se incluyen los avances de gráficos, la creación de perfiles, flexibilidad en el archivo, entre otros. Permite la simulación hidráulica de un modelo computacional representado en este caso por elementos tipo: Línea (tramos de tuberías), Punto (Nodos de Consumo, Tanques, Reservorios, Hidrantes) e Híbridos (Bombas, Válvulas de Control, Regulación, etc.), cuyo algoritmo de cálculo se basa en el método del Gradiente Hidráulico, determinando de tal manera las presiones en diversos puntos del sistema, así como los caudales, velocidades, pérdidas en las líneas que conforman la red hidráulica. También está diseñado para tener una administración de datos eficiente con la cooperación de AutoCAD y GIS. Entre las ventajas que ofrece WaterCAD por encima de los otros softwares se pueden mencionar la construcción de modelos con módulos geoespaciales (Figura 3), el modelado de la calidad del agua, un análisis de flujo de incendios, entre otros. De esta manera se puede decir que la herramienta WaterCAD es versátil y fácil de usar (Sonaje & Joshi, 2015).



idoneidad de las válvulas de aislamiento. Evalúa la capacidad de aislar partes del sistema y atender a los clientes utilizando diferentes ubicaciones de válvulas. WaterCAD genera automáticamente segmentos de red una vez que se suministran los datos de la válvula de aislamiento.

- Diseñar sistemas de distribución de agua: Utiliza los resultados del modelo hidráulico para ayudar a optimizar el diseño de sistemas complejos de distribución de agua y utiliza funciones de gestión de escenarios integradas para realizar un seguimiento de las alternativas de diseño.
- Desarrollar planes de lavado: permite optimizar los programas de lavado de las tuberías con múltiples eventos de lavado convencionales y unidireccionales en una sola ejecución. Aumente la velocidad en la red para eliminar los sólidos y el agua estancada, siendo el indicador principal del éxito del lavado la velocidad máxima alcanzada en cualquier tubería durante la operación de lavado.
- Identificar la pérdida de agua: Aprovecha los datos de flujo y presión para encontrar ubicaciones para la detección detallada de fugas. Permite estudiar la cantidad en la que se puede reducir las fugas al reducir la presión y ver el impacto en el servicio al cliente.
- Gestionar el uso de energía: permite modelar bombas con precisión utilizando modelos hidráulicos, incluidas combinaciones de bombas complejas y bombas de velocidad variable, para comprender el impacto que tienen las diferentes estrategias operativas de bombas en el uso de energía.

En tanto que el QGIS es una aplicación profesional de GIS que está construida sobre Software Libre y de Código Abierto. es un Sistema de Información Geográfica (GIS) de Código Abierto licenciado bajo GNU - General Public License. Es un proyecto oficial de Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). Corre sobre Linux, Unix, Mac OSX, Windows y Android y soporta numerosos formatos y funcionalidades de datos vector, datos ráster y bases de datos. QGIS proporciona una creciente gama de capacidades a través de sus funciones básicas y

complementos. Puede visualizar, gestionar, editar y analizar datos, y diseñar mapas imprimibles.

Por su parte, QWater es un complemento basado en GHydraulics Plugin de Steffen Macke para QGis (Figura 4). QWater contiene una función para calcular diámetros económicos basados en diámetros dados y máxima pérdida de carga por fricción. Las funciones son accesibles desde el menú del complemento Qgis y las barras de herramientas.

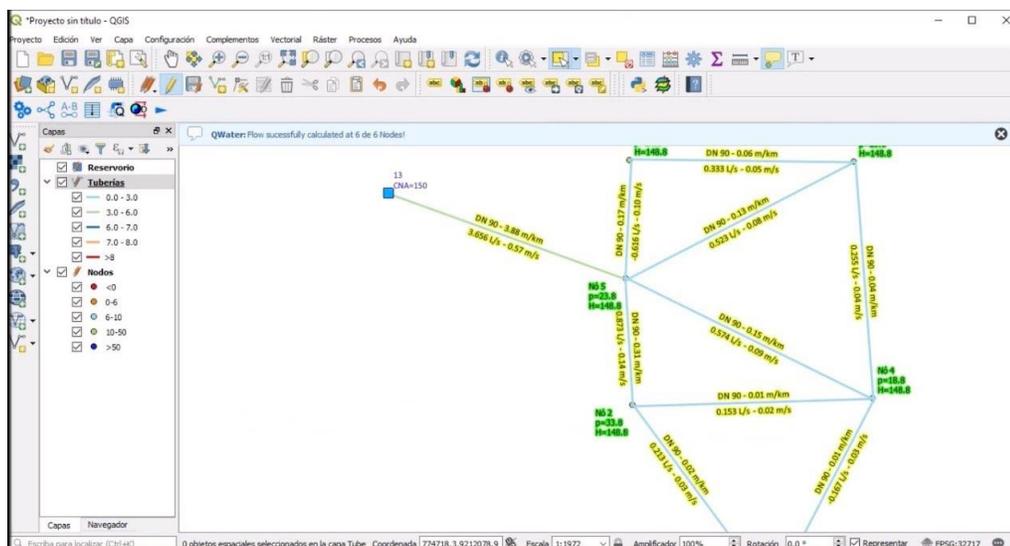


Figura 4. Interfaz gráfica de QGis  
Fuente: QGis.

WatDIS, esta aplicación fue diseñada para el modelado de redes hidráulicas, posee una interfaz gráfica que permite dibujar la red sin la necesidad de utilizar otras herramientas. También permite el modelamiento de diversos componentes hidráulicos, partiendo de los más básicos como tuberías, depósitos y nodos de consumo, y siguiendo con elementos más sofisticados, como lo son las bombas, estaciones de bombeo y diferentes tipos de válvulas (WatDIS, 2021).

Estos softwares presentan ciertas diferencias entre sí en diversos aspectos, incluyendo la funcionalidad y compatibilidad con diferentes sistemas, por lo general los softwares de tipo comercial ofrecen una gran variedad de funciones y características con las que los softwares de dominio público no cuentan. La elección del software a utilizar en el proceso de diseño y modelado de una red de

distribución depende principalmente de la cantidad de datos disponibles del proyecto, el tiempo de entrega, los recursos financieros, la compatibilidad y el alcance del proyecto (Sonaje & Joshi, 2015).

En cuanto al sitio de investigación, el distrito de Urubamba está ubicado al Este de la provincia de Urubamba en el departamento de Cusco, sus coordenadas geográficas son 13°17'50.05"S y 72°7'46.62"O, con una altitud promedio de 2902 msnm. En la figura 2 se puede apreciar la ubicación de la provincia de Urubamba y en la figura 3, se puede observar la ubicación del sector Capillania A.P.V. El Bosque.

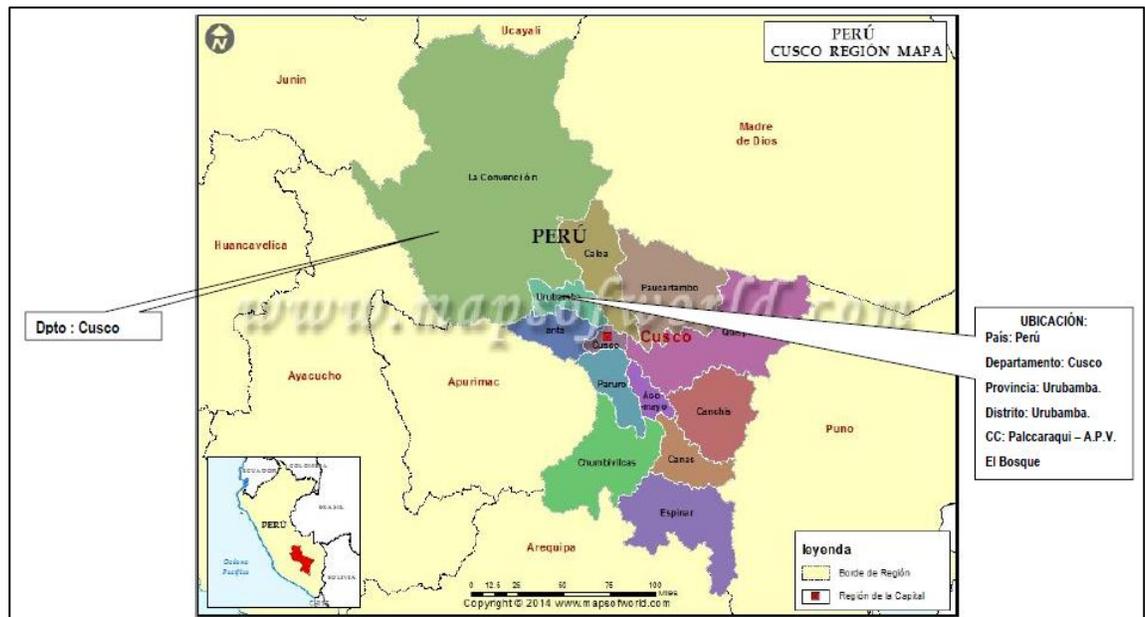


Figura 5. Ubicación de Urubamba  
Fuente: mapsofworld (2021)

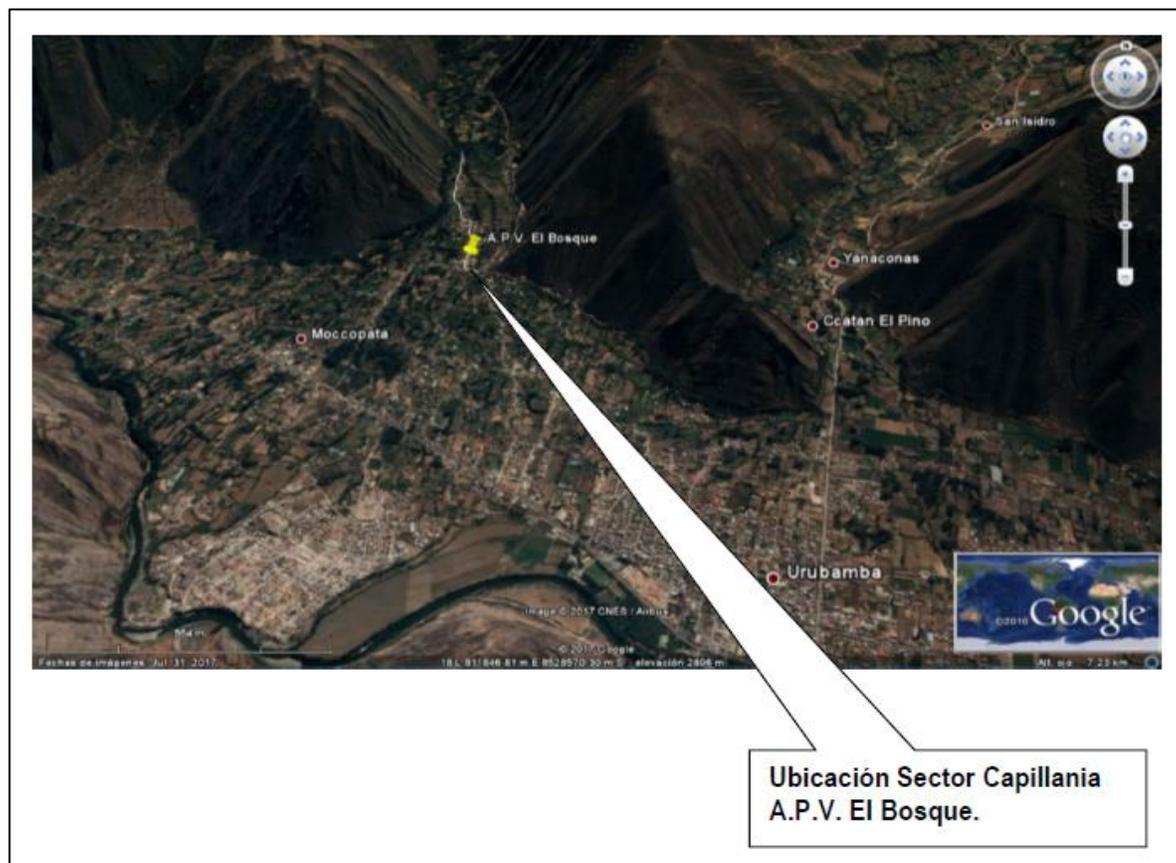


Figura 6. Ubicación del sector Capillania A.P.V. El Bosque  
Fuente: Google Earth (2021).

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

##### **Enfoque de la investigación**

Aplicó el enfoque cuantitativo ya que se usan los datos recolectados para la comprobación de las hipótesis formuladas, o para la recolección de evidencias respecto al tema de investigación (Hernández, et al., 2014). De esta manera, la investigación está orientada a suministrar soluciones a la problemática planteada, respecto al abastecimiento de agua inadecuado y deficiente del sector Capillania, A.P.V. El Bosque, en la comunidad de Palccaraqui mediante el uso de herramientas computacionales; partiendo de la medición numérica y el análisis estadístico.

##### **Nivel de la investigación**

La investigación posee un nivel explicativo, ya que se encuentra basada en el establecimiento de relaciones de causa y efecto, lo que conduce a determinar la causa de los fenómenos estudiados (Hernández et al., 2014). En el presente caso de estudio, el fenómeno referido es el comportamiento hidráulico de la red de distribución de agua potable de la población en estudiada, mediante los parámetros hidráulicos de presión, velocidad y caudal principalmente.

##### **Tipo de investigación**

La presente investigación fue de tipo aplicada, por lo cual se encarga del estudio y la investigación de problemas específicos en situaciones específicas; este tipo de investigación está enfocada a su aplicación y no a la formación de teorías (Tamayo, 2003).

##### **Diseño de la investigación**

La presente investigación tiene un diseño no experimental de tipo transeccional. En este tipo de diseño, las variables independientes carecen de manipulación intencional, no poseen grupo de control ni experimental; se enfocan

en el análisis y estudio de los hechos y fenómenos de la realidad luego de su ocurrencia (Carrasco S. , 2017).

### **3.2. Variables y operacionalización**

#### **Variables**

Las variables que constituyen el presente trabajo de investigación se presentan a continuación:

- Variable independiente: Herramientas computacionales.
- Variable dependiente: Comportamiento hidráulico de redes de distribución de agua potable.

#### **Operacionalización**

La matriz de operacionalización se muestra en el anexo 1.

### **3.3. Población y muestra**

#### **Población**

La población se encuentra representada por el sector Capillania, ubicada en la comunidad de Palccaraqui, distrito de Urubamba, provincia de Urubamba, Cuzco, Perú.

#### **Muestra**

En la presente investigación se presenta como muestra a la población que comprende el A.P.V. El Bosque, conformada actualmente por 739 habitantes, distribuidas en 169 viviendas. Así mismo, se tomó en cuenta la tasa de crecimiento estimada de acuerdo a los censos de los años 1993 y 2007, obteniendo un valor de  $r = 1.89\%$ . Esta población es proyectada para un periodo de diseño de 20 años (Anexo 4), de acuerdo a la ecuación 3.

$$P = P_0 \times \left(1 + \frac{r * t}{100}\right) \quad \text{(Ecuación 4)}$$

Donde;

P: población futura (al año 2040)

P<sub>0</sub>: población actual (al año 2020)

$r$ : tasa de crecimiento anual (1.89%)

$t$ : periodo de diseño en años (20 años)

- Población futura: 1018 habitantes.
- Criterios de inclusión: viviendas que comprenden el sector Capillania, A.P.V. El Bosque, comunidad de Palccaraqui.
- Criterios de exclusión: viviendas que pertenecen a un sector diferente al sector Capillania, A.P.V. El Bosque.

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **Técnicas**

La técnica empleada principalmente fue la observación directa, la cual se define como un método que consiste en el registro sistemático, válido y confiable de una conducta o situación por medio de un sistema de categorías y subcategorías (Hernández, et al., 2014).

#### **Instrumentos**

Los instrumentos de recolección de datos son aquellos formatos en los cuales se puede llevar un registro de los datos de forma organizada, ofreciendo una perspectiva clara y objetiva de los hechos (Tamayo, 2003). De esta manera, se empleó la ficha técnica como instrumento de recolección de datos; además de planos de ubicación, entre otros.

### **3.5. Procedimientos**

El desarrollo de la presente investigación está basado en el paquete de actividades mostrado en la figura 7, las cuales obedecen al siguiente esquema:

- Diagnóstico del sistema de distribución de agua potable
- Cálculo de la demanda de agua
- Modelamiento hidráulico
- Diseño del sistema de agua potable
- Conclusiones y recomendaciones

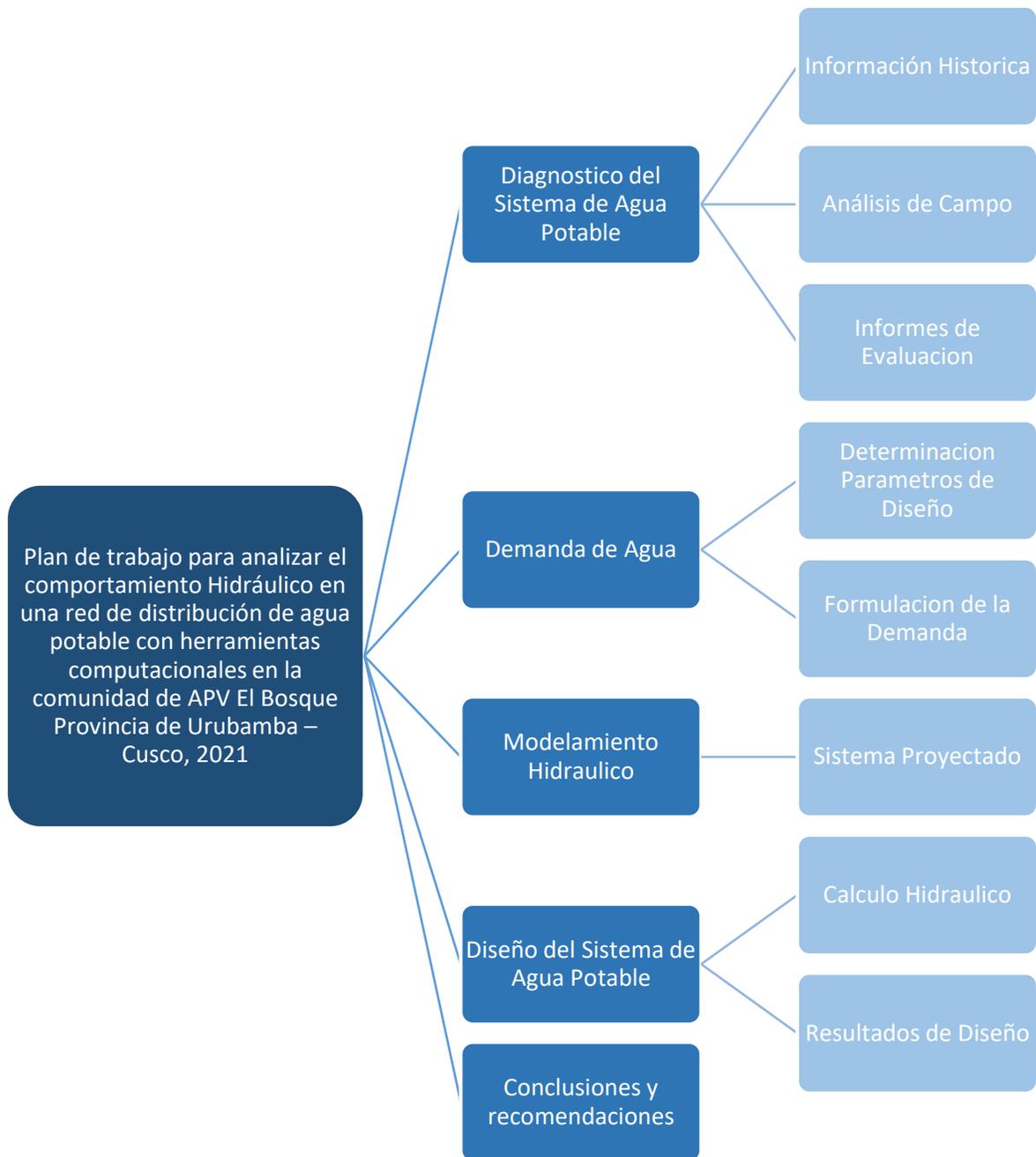


Figura 7. Procedimiento de investigación  
Fuente: elaboración propia

## **Etapas de la investigación**

Para la elaboración de la presente investigación, las actividades se dividieron en las siguientes etapas:

### **Etapas pre - campo**

Durante esta etapa de la investigación se recabo información sobre el área de estudio, su ubicación y características, así como también el número de personas a ser beneficiarias del presente proyecto. Se determinó el periodo de diseño de la red proyectada, y se recabo información de los censos poblacionales realizados en años anteriores, los cuales arrojaron una tasa de crecimiento poblacional de 1.89%. Igualmente, se hizo una recopilación de información de diagnóstico de las condiciones del sistema de agua potable de la región de estudio, tales como planos de catastro, memorias descriptivas de reservorios, planos de sectorización y áreas de influencia por reservorios existentes, y los horarios de abastecimiento.

### **Etapas de campo**

Una vez determinada la muestra de estudio, se procedió a realizar una visita de campo para contemplar la situación actual de la población, por medio de la cual se obtiene el diagnóstico de la problemática existente, y la identificación de las condiciones actuales de la red de distribución de agua potable del sector Capillania, A.P.V. El Bosque.

### **Etapas finales**

Después de recolectada la información de campo, se procedió a determinar los parámetros de diseño de la red de distribución:

- **Proyección de la población futura.** Se tomó en cuenta la tasa de crecimiento estimada de acuerdo a los censos de los años 1993 y 2007, una tasa de crecimiento de 1.89 %, y se realizó una proyección a 20 años con el método de crecimiento aritmético.
- **Determinación de la dotación de agua, caudal promedio y caudal máximo horario.** Se determinó el consumo de agua de la población a partir de los criterios establecidos en el Reglamento Nacional de Edificaciones, Capítulo II.3 Obras de Saneamiento, Norma OS.050

“Redes de distribución de agua para consumo humano”, y la Norma OS.100 “Consideraciones básicas de diseño de infraestructura sanitaria”, y la “Norma técnica de diseño: opciones tecnológicas para sistemas de saneamiento en el ámbito rural”.

- **Establecimiento de la red de distribución de la zona beneficiada.** A partir de los planos de ubicación de la zona de estudio, se estableció la red de tuberías de distribución, utilizando como referencia las calles que recorren sector Capillania, A.P.V. El Bosque.
- **Obtención de datos topográficos de los nodos y reservorio.** A través del plano de curvas de nivel, se obtuvieron las cotas de elevación de los nodos de la red de distribución, así como del reservorio empleado para el análisis de la red.
- **Modelado en herramientas computacionales.** Se realizó la construcción del modelo matemático que representa la red de distribución a estudiar a partir de los planos obtenidos, seguido de la introducción de los datos de diseño establecidos en las etapas anteriores. Se configuró el software de acuerdo al sistema de unidades a utilizar, características de los materiales, diámetros, y métodos matemáticos a utilizar en los cálculos. Se escogió el método de Hazen – William para determinar las pérdidas de carga en el sistema, y se especificó el coeficiente de fricción a utilizar. Posteriormente, el modelo obtenido fue exportado a los otros programas a utilizar, de manera de preservar la exactitud al replicar las mismas condiciones de estudio en todas las herramientas computacionales utilizadas.
- **Obtención de resultados de diseño.** Finalizado el proceso de modelado de la información, se corrieron los análisis en cada uno de los programas, obteniendo valores de diámetros de tubería, caudal, velocidades de flujo y presión disponible en cada uno de los nodos de la red de distribución. Los resultados obtenidos en las diferentes herramientas computacionales fueron organizados en tablas para su posterior comparación.

- **Conclusiones de los resultados obtenidos.** Se identificaron las diferencias entre los resultados arrojados por cada uno de los programas en relación a la velocidad del agua, caudales, y presiones y diámetros de tubería. Finalmente, se presentaron los resultados con los que se pudo establecer las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

### **3.6. Métodos de análisis de datos**

El procesamiento de los datos se llevó a cabo utilizando la herramienta AutoCAD para la elaboración de los planos de esqueletización de redes de agua potable necesarios para llevar a cabo el proceso de simulación. Para el modelamiento de las redes de agua potable, se utilizaron los softwares EPANET, WaterCAD y QGIS, de los cuales se obtuvieron valores de velocidad, caudal, presión y pérdida de carga. Finalmente, se utilizó Ms Excel para el procesamiento de datos, elaboración de tablas y figuras relacionadas con la investigación.

### **3.7. Aspectos éticos**

La presente investigación fue ejecutada bajo la adecuada referencia de los autores que sirvieron de sustento, de igual manera se respetaron los datos de las personas que participaron en las evaluaciones de campo, así como también cumpliendo los lineamientos establecidos por las normas referentes al tema, como lo son, el Reglamento Nacional de Edificaciones, la norma técnica OS.050 y la Norma técnica “opciones tecnológicas para sistemas de saneamiento en el ámbito rural”.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Criterios y parámetros de diseño

#### 4.1.1. Población atendida

El distrito de Urubamba se encuentra ubicado en la parte Este de la provincia de Urubamba, departamento de Cusco (Figura 8), teniendo como coordenadas geográficas 13°17'50.05"S de Latitud Sur y 72° 7'46.62"O de Longitud Oeste con referencia al meridiano de Greenwich. La tabla 1 muestra un resumen de los datos de ubicación de la zona de estudio.

Tabla 1. Ubicación de la población

Departamento	Provincia	Distrito	Comunidad	Sector
Cusco	Urubamba	Urubamba	Palccaraqui	Capillania A.P.V. El Bosque

Fuente: elaboración propia

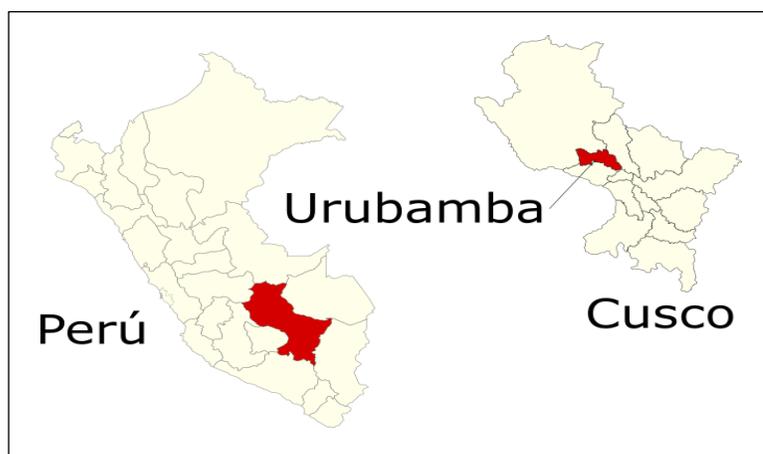


Figura 8. Ubicación geográfica de la zona de estudio  
Fuente: elaboración propia.

#### Vías de acceso

De acuerdo al Inventario Vial Georreferenciado (MTC, 2018), la red vial de la provincia de Urubamba es de 276 km, representando aproximadamente el 2.28% de la red vial del departamento de Cusco (12.082 km). Se accede al sector mediante el camino no pavimentado Urubamba - Ahanmarca, que va por la zona

norte de la ciudad. Actualmente la población se concentra en las márgenes de la vía no pavimentada que accede al sector de Capillania, A.P.V. El Bosque comunidad de Palccaraqui pero es dispersa en los alrededores del río y sus caminos vehiculares y peatonales no son pavimentados.

### **Clima**

Durante el año, el distrito soporta diversos cambios atmosféricos, como las lluvias entre los meses de noviembre a marzo con precipitaciones excesivas, granizadas y torrenciales, ocurriendo las de mayor intensidad durante el mes de diciembre. Por su parte, las heladas más fuertes se presentan desde el mes de abril a septiembre. En ocasiones los días son cálidos, debido a la insolación diurna, la transparencia y la sequedad de la atmósfera (Ministerio del Ambiente, 2021).

### **Topografía**

La topografía que presenta el Sector de Capillania, A.P.V. El Bosque, se encuentra en la margen derecha del río Pumahuanca, cercano a la ladera oeste que limita la subcuenca de Pumahuanca. La ubicación de las casas se encuentra a lo largo de esta subcuenca.

### **Población beneficiaria**

Según el registro del padrón de socios de la A.P.V. El Bosque, la población beneficiaria está compuesta actualmente por 739 habitantes.

### **Situación actual del sistema**

La antigüedad de las redes de sistema de agua es mayor a 5 años, habiéndose construido de forma poco técnica por los mismos usuarios debido a la necesidad de contar con este sistema. Esta red improvisada consistió en una captación directa de las aguas del río directamente (Figura 9), mediante una tubería de 110mm (Figura 10), el cual es conducido hacia la red de distribución directamente, y que no pasa por un proceso de cloración.



Figura 9. Área donde se ubica la captación actual de la red.  
Fuente: Elaboración propia.

Dicha intervención no es satisfactoria, por lo que los pobladores a lo largo del tiempo han ido dando mantenimiento a la red; sin embargo, las condiciones generales del sistema son precarias e inadecuados para la población, cuyo crecimiento en los últimos años se ha elevado.



Figura 10. Tubería de distribución del sistema actual con fuga de agua  
Fuente: Elaboración propia.

Aunado a lo anterior, no cuentan con los servicios de saneamientos básicos adecuados para la eliminación de excretas y aguas servidas debido a que existe una red colectora pero los beneficiarios no cuentan con conexión a dicho servicio, donde una parte de la población hacen sus necesidades al aire libre, producto a ello en su mayoría sufren de diferentes enfermedades gastrointestinales parasitarias y afecciones dérmicas, especialmente los niños, ocasionándoles mayores gastos en los tratamientos en salud.

#### 4.1.2. Tasa de crecimiento poblacional

Para el cálculo de la tasa de crecimiento se utilizó la media aritmética (ecuación 4), a partir de los censos de población de los años 1993 y 2007, los cuales se muestran en la tabla 2.

$$r = \left( \frac{P_f}{P_i} \right)^{1/n} - 1 \quad \text{(Ecuación 5)}$$

Donde:

- r: tasa de crecimiento
- Pf: población final
- Pa: población inicial
- n: número de años del intervalo

Tabla 2. Resultados del censo poblacional		
Resultados del censo nacional por distrito:		
Urubamba		
Año	1993	2007
Población	13,692	17,787

Fuente: adaptado de INEI (2017)

A partir de lo anterior, se obtuvo una tasa de crecimiento de 1.89%.

#### 4.1.3. Periodo de diseño

El periodo de diseño se define como el lapso de tiempo durante el cual se debe garantizar el funcionamiento de una estructura. En relación a ello, a tabla 3 muestra los periodos característicos para obras hidráulicas.

Tabla 3. Periodos de diseño para infraestructura sanitaria

<b>Estructura</b>	<b>Periodo de diseño</b>
Fuente de abastecimiento	20 años
Obra de captación	20 años
Pozos	20 años
Planta de tratamiento de agua para consumo humano	20 años
Reservorio	20 años
Líneas de conducción y distribución	20 años
Estación de bombeo	20 años
Equipos de bombeo	10 años
Unidad básica de saneamiento (arrastre hidráulico)	10 años
Unidad básica de saneamiento (hoyo seco ventilado)	5 años

Fuente: Norma técnica de diseño: opciones tecnológicas para sistemas de saneamiento en el ámbito rural (2018).

Para el presente proyecto, que está enfocado en la red de distribución de agua, se tomó un periodo de diseño de 20 años como se puede ver en la tabla 3.

#### 4.1.4. Población futura

En función de la población actual, la tasa de crecimiento poblacional y el periodo de diseño, se realizó una proyección aritmética de la población a 20 años, como se muestra en el Anexo 4. La población resultante fue de 1018 habitantes.

#### 4.1.5. Dotación

Se refiere a la cantidad de agua que requiere una persona en un lapso de un día para llevar a cabo sus funciones básicas. En relación a ello, se utilizó una dotación de 150 L/hab/día, según los lineamientos de la Norma OS.100 “Consideraciones básicas de diseño de infraestructura Sanitaria”, tomando en cuenta que en la localidad no existen edificaciones de uso comercial ni industrial.

#### 4.1.6. Caudal de diseño

Según el reglamento nacional de edificaciones, el caudal de diseño para los sistemas de distribución de agua potable será el caudal máximo horario, el cual es el resultado de amplificar el gasto promedio por un factor “k”, que para poblaciones rurales toma el valor de  $k=2$ . El cálculo se muestra en el anexo 5, mientras que la tabla 4 muestra el resumen de los resultados.

Tabla 4. Caudal de diseño

<b>Caudal de diseño</b>	
Población de diseño	1018 hab
Dotación	150 L/hab/día
Caudal máximo horario (Qmh)	2.65 L/s

Fuente: elaboración propia

#### 4.1.7. Elementos de la red de distribución

El presente proyecto se enfoca en el análisis de la red de distribución de agua potable con el objetivo de satisfacer las necesidades de la comunidad del A.P.V. El Bosque. En este sentido, el diseño hidráulico se enfoca en la obtención de los diámetros de tuberías que conforman dicha red de distribución, la cual parte de un reservorio de agua ubicado en una cota suficiente para garantizar las presiones mínimas establecidas en las normas pertinentes. En este mismo orden de ideas, también se verifica que el diseño propuesto debe cumplir con los lineamientos normativos de diámetros mínimos de tubería y las velocidades de flujo del agua. El trazado de la red de tuberías se muestra en la figura 11, el cual se realizó a lo largo de las calles de la comunidad, con lo que se obtuvo una red de configuración mixta, existiendo porciones de redes cerradas, así como también redes ramales abiertas.

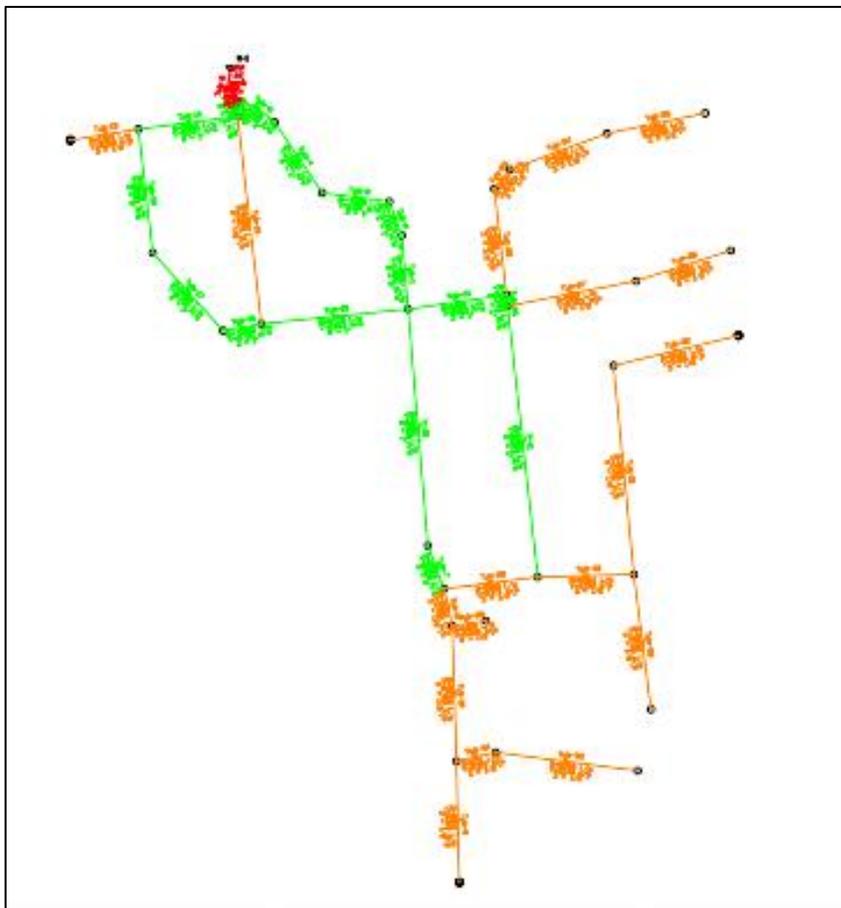


Figura 11. Configuración de la red de distribución.  
Fuente: elaboración propia.

## 4.2. Modelado hidráulico en herramientas computacionales

### 4.2.1. Consideraciones generales

Para garantizar la fiabilidad entre los diferentes modelos analizados, se ha partido de un mismo plano digital de la red de distribución, así como del mapa de curvas de nivel de la zona de estudio, los cuales fueron importados adecuadamente en cada uno de los programas utilizados. De esta manera, las consideraciones de diseño establecidas se resumen en:

- Importar los datos de ubicación de la red de tuberías desde el archivo de plano digital en AutoCAD al software de modelado hidráulico.
- Las cotas de los nodos se obtuvieron al importar el archivo con las curvas de nivel de la zona.

- El reservorio se ubicó en la parte norte del proyecto, lo cual proporciona una altura suficiente para realizar la distribución del agua por gravedad.
- Dentro de las herramientas computacionales utilizadas, se estableció que los cálculos de las pérdidas de presión por fricción sean realizados por el método de Hazen – Williams, con un coeficiente de 150, característico de las tuberías de PVC.
- El gasto de caudal en cada nodo se obtuvo de aplicar el método de la longitud equivalente (Anexo 6), el cual reparte el caudal máximo horario en proporción a la longitud de la tubería que alimenta dicho nodo.
- El diámetro mínimo utilizado en la red de distribución corresponde a una tubería de 3/4".
- La presión mínima en cada nodo de la red no debe ser menor de 5 m.c.a., ni mayor a 60 m.c.a.
- La velocidad máxima del fluido se establece en 3 m/s, y en ningún caso debe ser menor de 0.30 m/s.

#### **4.2.2. Modelado en Watercad**

##### **Configuración del modelo**

Se ingresa al programa mediante el icono de acceso directo y se procede a dar clic sobre la opción *Create New Project*, donde luego se configurará las unidades y el sistema a trabajar (Figura 12).

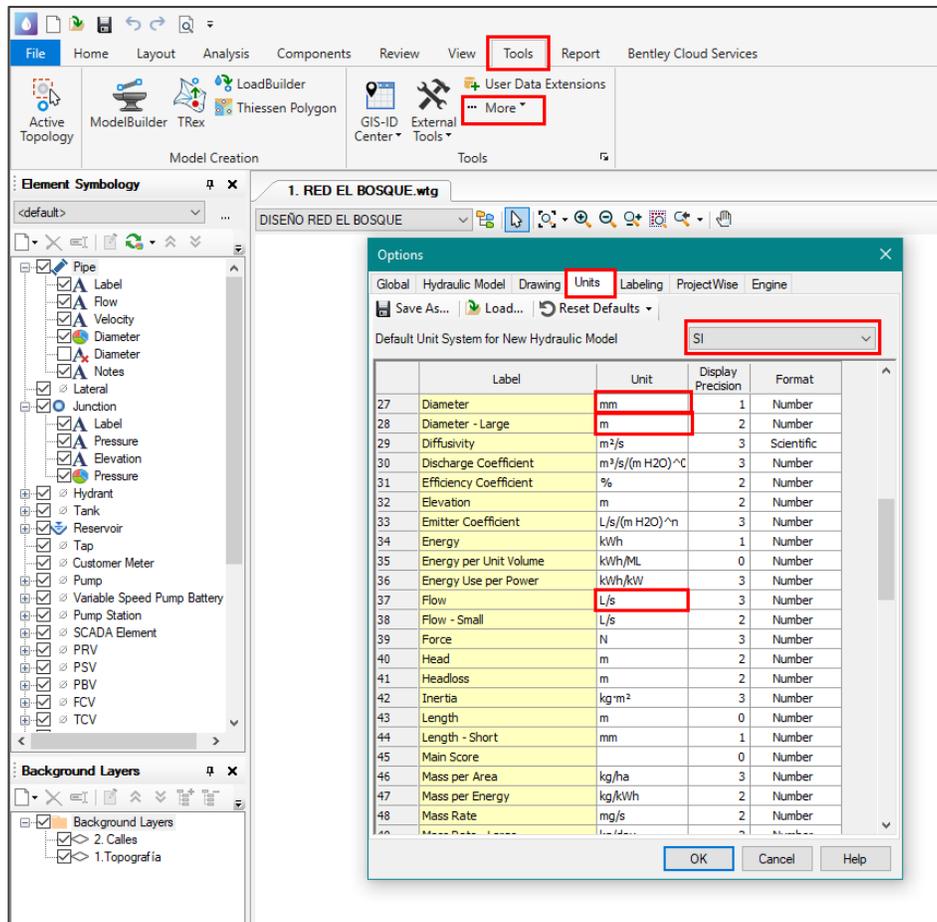


Figura 12. Configuración de unidades en Watercad  
Fuente: Watercad.

### Condiciones de dibujo

Sin cerrar esta ventana *Options*, nos dirigimos a la pestaña *Drawing* (Figura 13), en esta se definirán los campos referentes al dibujo de la red que son: La escala de dibujo, tamaño de anotación y opciones de texto.

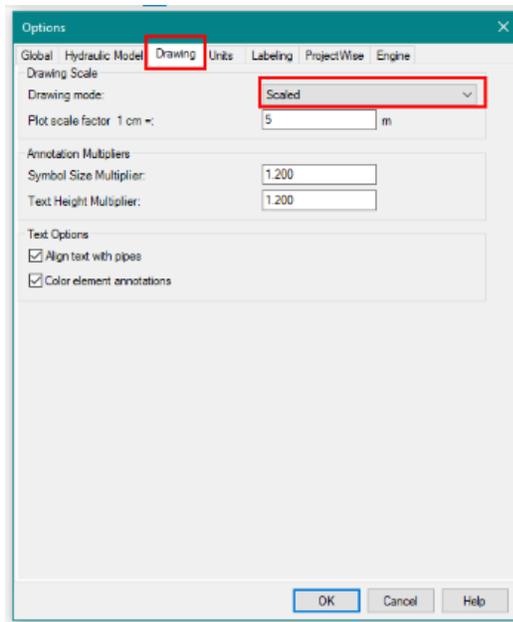


Figura 13. Condiciones de dibujo en Watercad  
Fuente: Watercad

### **Definición de las propiedades de cálculo**

Las propiedades de cálculo, se definirán mediante el menú *Analysis* dentro de la cual se selecciona la opción *Options* (Figura 14). Dentro de esta ventana se pueden apreciar 2 carpetas con las denominaciones *Transient Solver* y *Steady State/EPS Solver* y en el interior de cada una de las carpetas aparece una calculadora. En este caso se trabajará con la carpeta denominada *Steady State/EPS Solver* y con la calculadora en su interior, permitiendo establecer los parámetros de pérdida de carga y fluido a modelar.

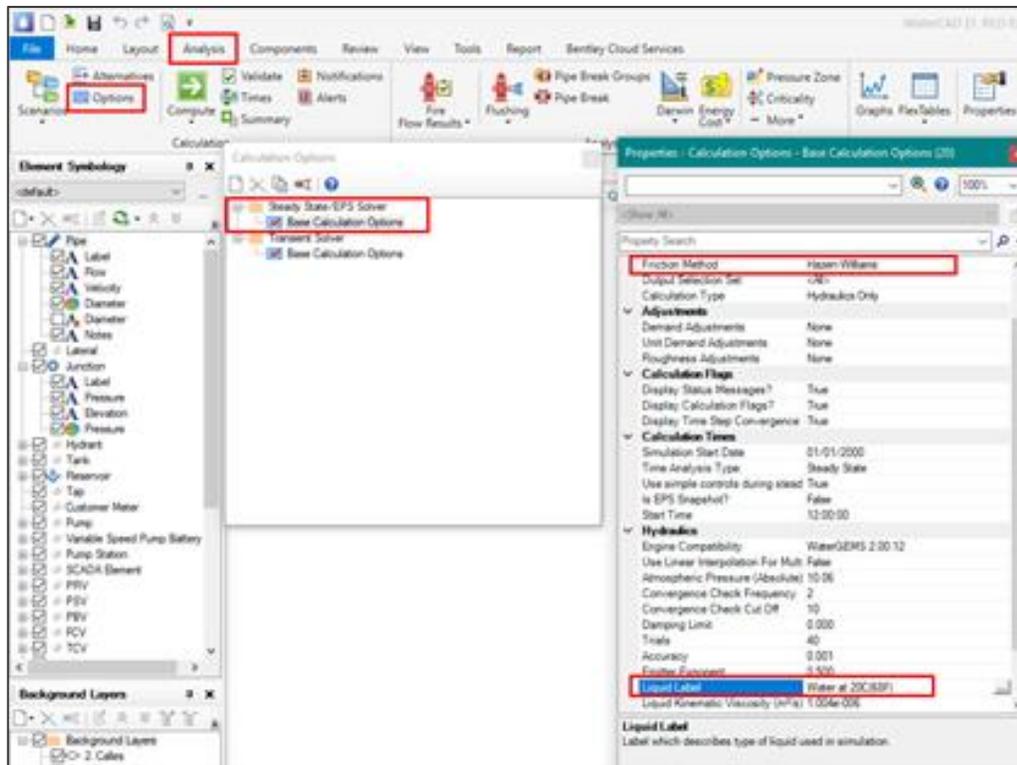


Figura 14. Propiedades de cálculo en Watercad  
Fuente: Watercad

### Definición de topografía y configuración de Red

Después de haber realizado los pasos anteriores, se tiene todo listo para empezar a convertir los planos y trabajar en la modelación de la red. Como se había mencionado, a través del levantamiento topográfico se obtiene las cotas, pendientes y también las dimensiones y se ha expresado en el software Autocad (Figura 15).

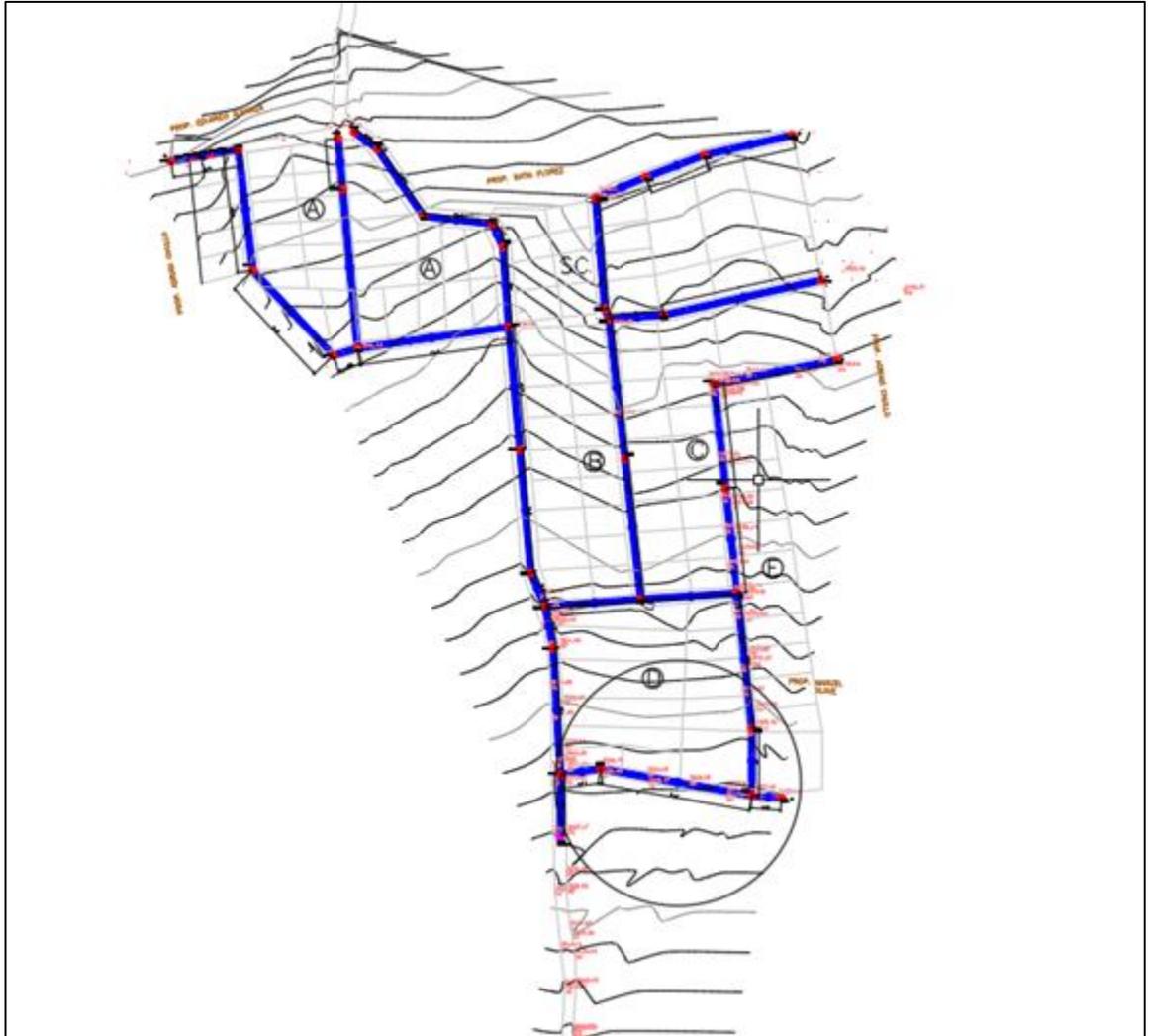


Figura 15. Esquema de la red de distribución  
Fuente: Autocad.

### **Exportación de Red de AutoCAD a WaterCAD**

Para transformar estos planos, utilizaremos un procedimiento denominado *ModelBuilder* que se encuentra ubicado dentro del menú *Tools*. Se accede a la ventana denominada *ModelBuilder* y dentro de ella se crea un nuevo modelo mediante la ventana denominada *ModelBuilder Wizard*. En la ventana, se encuentra una lista desplegable, en el cual seleccionaremos Data Source Type, ya que nosotros vamos a importar los datos a partir de un archivo de este origen (Figura 16). La Figura 17 muestra el resultado obtenido en el software Watercad.

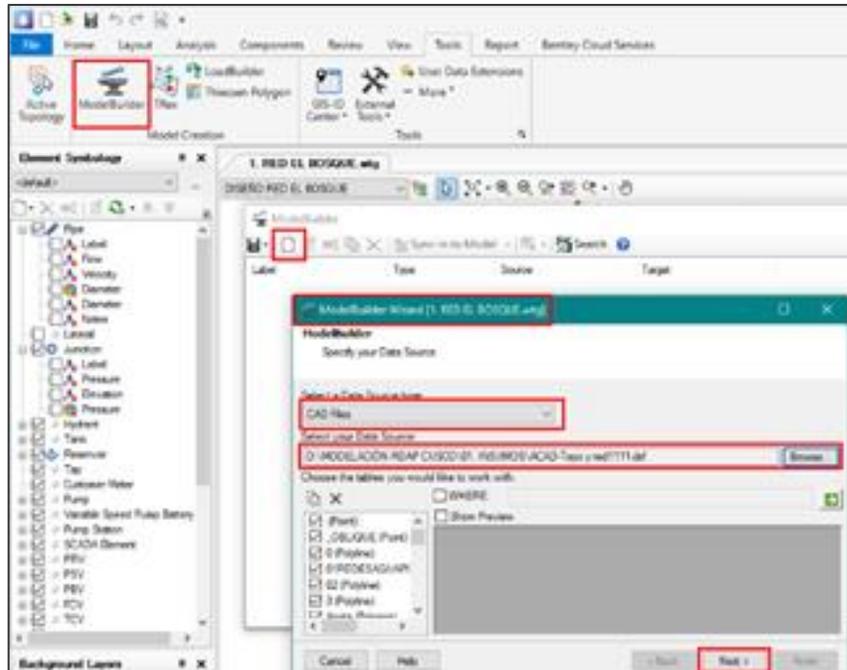


Figura 16. Exportación de datos entre Autocad y Watercad  
Fuente: Watercad.

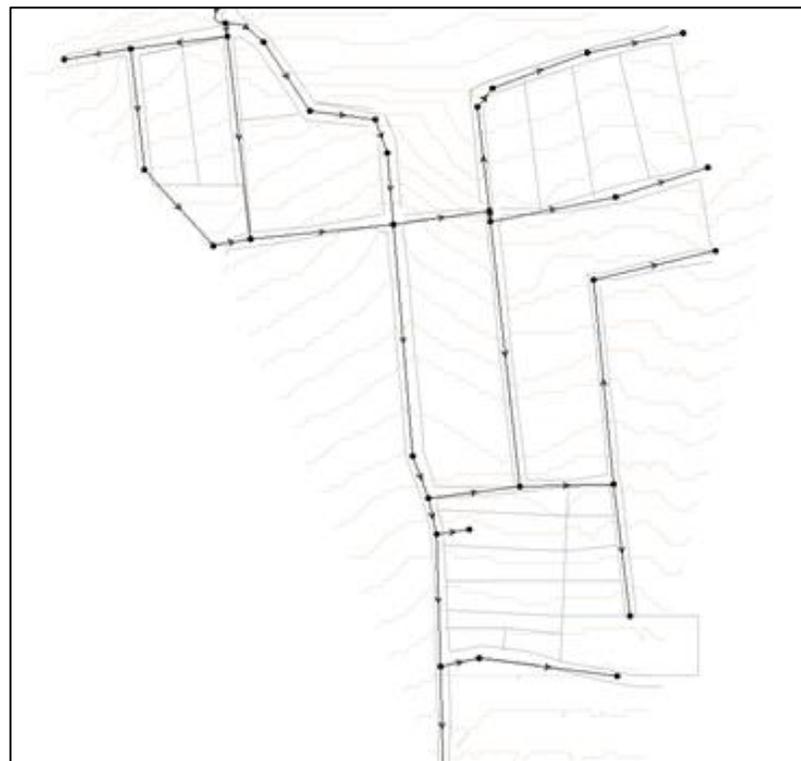


Figura 17. Red importada en Watercad.  
Fuente: Watercad.

Seguidamente al proceso de modelado, se modificará la denominación o nomenclatura de las tuberías, para ello ingresamos al menú *Report*, y a la opción *Flex Tables* (Figura 18), y editaremos tanto los datos de nodos y tuberías.

	Label	Start Node	Stop Node	Length (Scaled) (ft)	Diameter (mm)	Hazen-Williams C
45:	Tub-1	3-7	3-8	27	33.0	150.0
47:	Tub-2	3-8	3-9	13	33.0	150.0
49:	Tub-3	3-9	3-10	24	33.0	150.0
51:	Tub-4	3-10	3-11	31	33.0	150.0
55:	Tub-5	3-11	3-13	36	33.0	150.0
58:	Tub-6	R-1	3-13	36	36.4	150.0
80:	Tub-7	3-24	3-23	17	33.0	150.0
91:	Tub-8	3-23	3-29	14	21.0	150.0
104:	Tub-9	3-30	3-35	44	21.0	150.0
111:	Tub-12	3-29	3-30	49	21.0	150.0
32:	Tub-13	3-2	3-1	25	21.0	150.0
34:	Tub-14	3-3	3-2	36	33.0	150.0
36:	Tub-15	3-3	3-4	75	21.0	150.0
38:	Tub-16	3-4	3-5	14	33.0	150.0
40:	Tub-17	3-6	3-5	38	33.0	150.0
41:	Tub-18	3-2	3-6	45	33.0	150.0
43:	Tub-19	3-4	3-7	53	33.0	150.0
56:	Tub-20	3-13	3-3	5	33.0	150.0
60:	Tub-21	3-7	3-14	36	33.0	150.0
62:	Tub-22	3-14	3-15	38	21.0	150.0
64:	Tub-23	3-15	3-16	9	21.0	150.0
64:	Tub-24	3-16	3-17	37	21.0	150.0
68:	Tub-25	3-17	3-18	36	21.0	150.0
70:	Tub-26	3-14	3-19	4	33.0	150.0
72:	Tub-27	3-19	3-20	47	21.0	150.0
74:	Tub-28	3-20	3-21	36	21.0	150.0
78:	Tub-29	3-23	3-22	34	21.0	150.0
83:	Tub-30	3-22	3-25	35	21.0	150.0
85:	Tub-31	3-25	3-26	75	21.0	150.0
87:	Tub-32	3-26	3-27	46	21.0	150.0
89:	Tub-33	3-25	3-28	49	21.0	150.0
95:	Tub-34	3-30	3-31	15	21.0	150.0
97:	Tub-35	3-31	3-32	51	21.0	150.0
113:	Tub-38	3-29	3-36	12	21.0	150.0
258:	Tub-39	3-19	3-22	98	33.0	150.0
259:	Tub-40	3-7	3-24	85	33.0	150.0

Figura 18. Reporte de tuberías y nodos en Watercad.

Fuente: Watercad.

### Topografía en el modelo

A diferencia de otros softwares, el Watercad presenta una manera de identificar las cotas de cada nudo por medio de un procedimiento de interpolación que implica la transformación de un archivo que contenga la información de las curvas de nivel y con la extensión “dxf”. Una vez obtenido la capa de fondo con curvas de nivel, asignaremos la cota para cada conexión, para ello ingresamos al menú *Tools* y seleccionamos la herramienta *TRex*, el cual tiene como objetivo

asignar las alturas en m.s.n.m. de las conexiones o nudos, una vez iniciado en *TRex*, abrimos la ventana *TRex Wizard* (Figura 16), en el primer indicativo se tiene que identificar cual es la tipología de documento digital a utilizar como base de datos; siendo en el caso propio, un archivo de formato CAD, por lo que se escoge *DXF Contours*. Continuando en el indicativo *File*, seleccionamos el archivo que contiene la data que vamos a utilizar, que para este proyecto tiene la denominación *Topografía*, en el campo *Select Elevation file*, escogemos *elevation*; para los campos que solicitan unidades, considerar metros para ambos, también seleccionamos a un 50% de transparencia, la configuración debe quedar como la figura (Figura 19) y hacemos clic en *Next* y finalmente le modelo con las cotas asignadas (Figura 20).

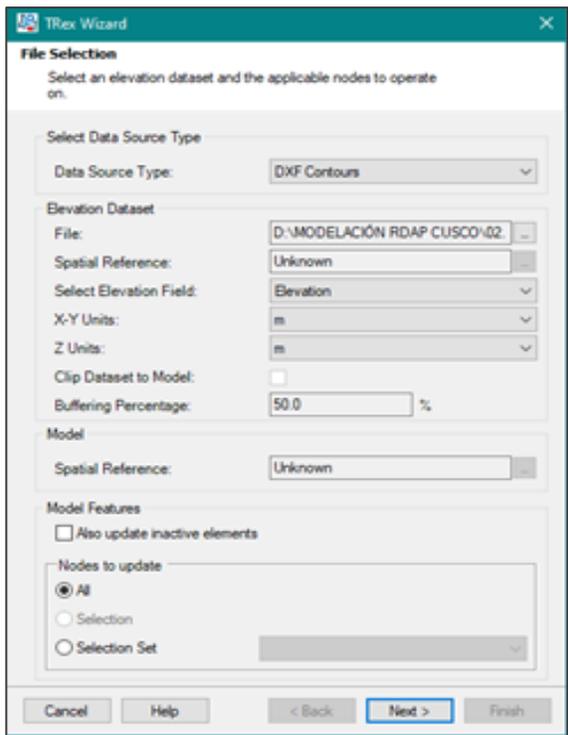


Figura 19. Importación de mapa de curvas de nivel en watercad.  
Fuente: Watercad.

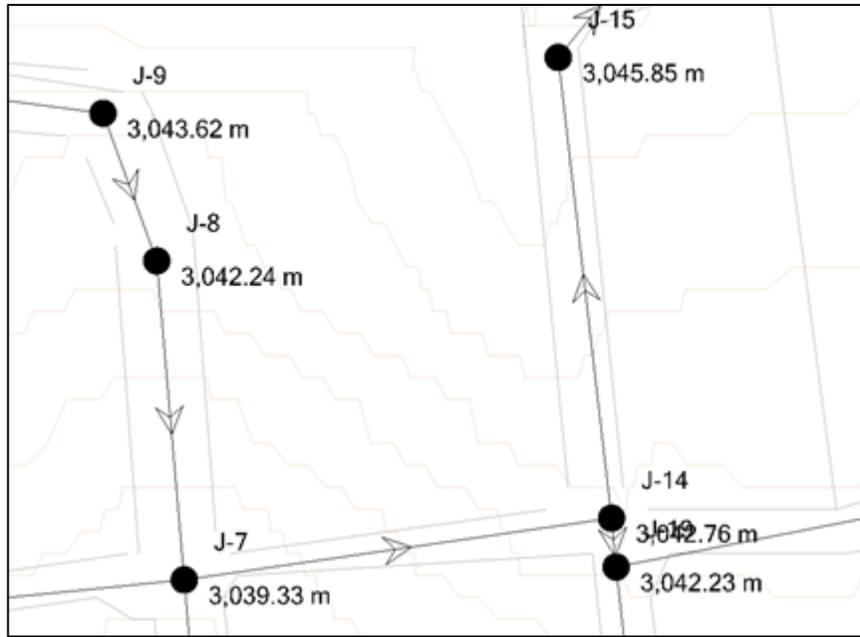


Figura 20. Resultado de elevaciones de nodos en Watercad.  
Fuerte: Watercad.

### Configuración de Reservorio

Ya que se tienen las conexiones o nodos totalmente acotados, entonces ahora procederemos a asignar la presión de empalme; y la configuración del reservorio. Ingresamos al *wokspace* del software, proseguimos con el clic derecho y de la lista de opciones escogemos reservorio, empalmamos a la red como manda los planos de topografía. Posteriormente configuramos el reservorio en propiedades, la propiedad a definir es la elevación, por lo que identificamos el indicativo denominado *Elevation* (Figuras 21 y 22).

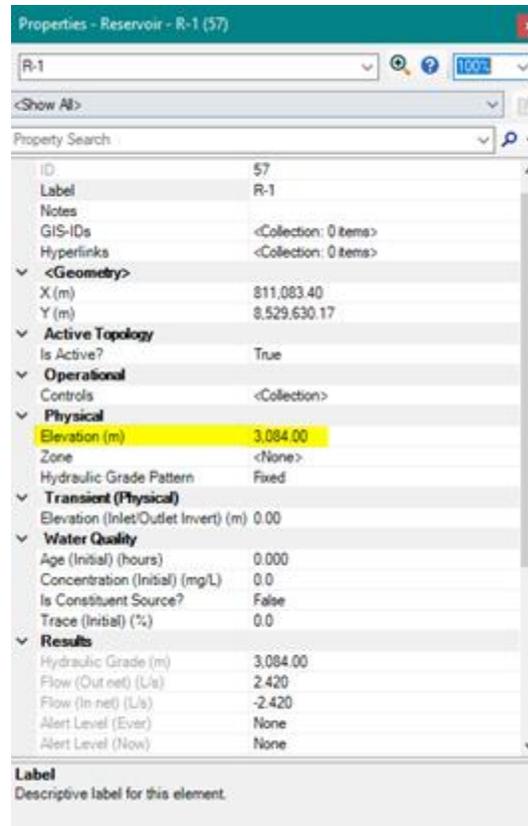


Figura 21. Configuración del reservorio en Watercad.  
Fuente: Watercad.

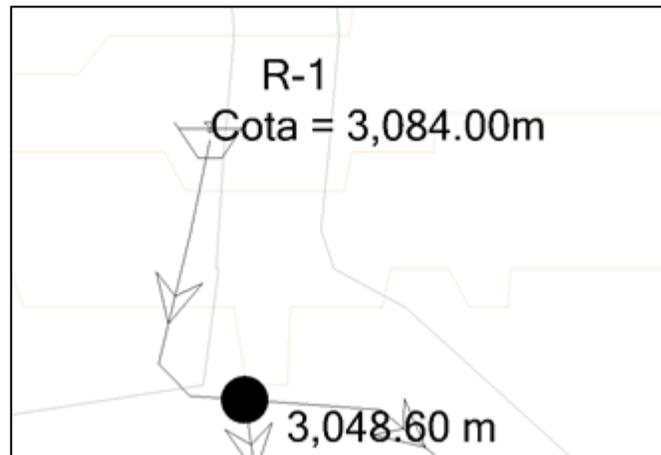


Figura 22. Vista del reservorio en Watercad.  
Fuente: Watercad.

## Configuración de tuberías

Procederemos a configurar las propiedades de las tuberías. Para nuestro caso, la propiedad que se debe modificar es la longitud, ya que el diámetro y los materiales fueron definidos anteriormente. Entonces en *Pipe properties*, buscamos el indicativo como pregunta que indica si el usuario definirá la longitud de la tubería, al que responderemos seleccionando *False*, (Figura 23).



Figura 23. Configuración de tuberías en Watercad.  
Fuente: Watercad.

## Configuración de nodos

Ingresaremos las demandas de cada nodo o conexión (Figura 24). Esta data permitirá trabajar con el caudal unitario, para efectuar la distribución de la carga en cada nodo, en función de la longitud de tubería que conduce a cada nodo. La distribución resultante se muestra en el Anexo 5. Una vez ingresado todos los datos se deberá verificar el tipo de tubería y las características de la misma (Agua a 20°C y con su coeficiente de acuerdo al método de cálculo en éste caso se ha elegido el método de HW con un coeficiente de rugosidad de 150).

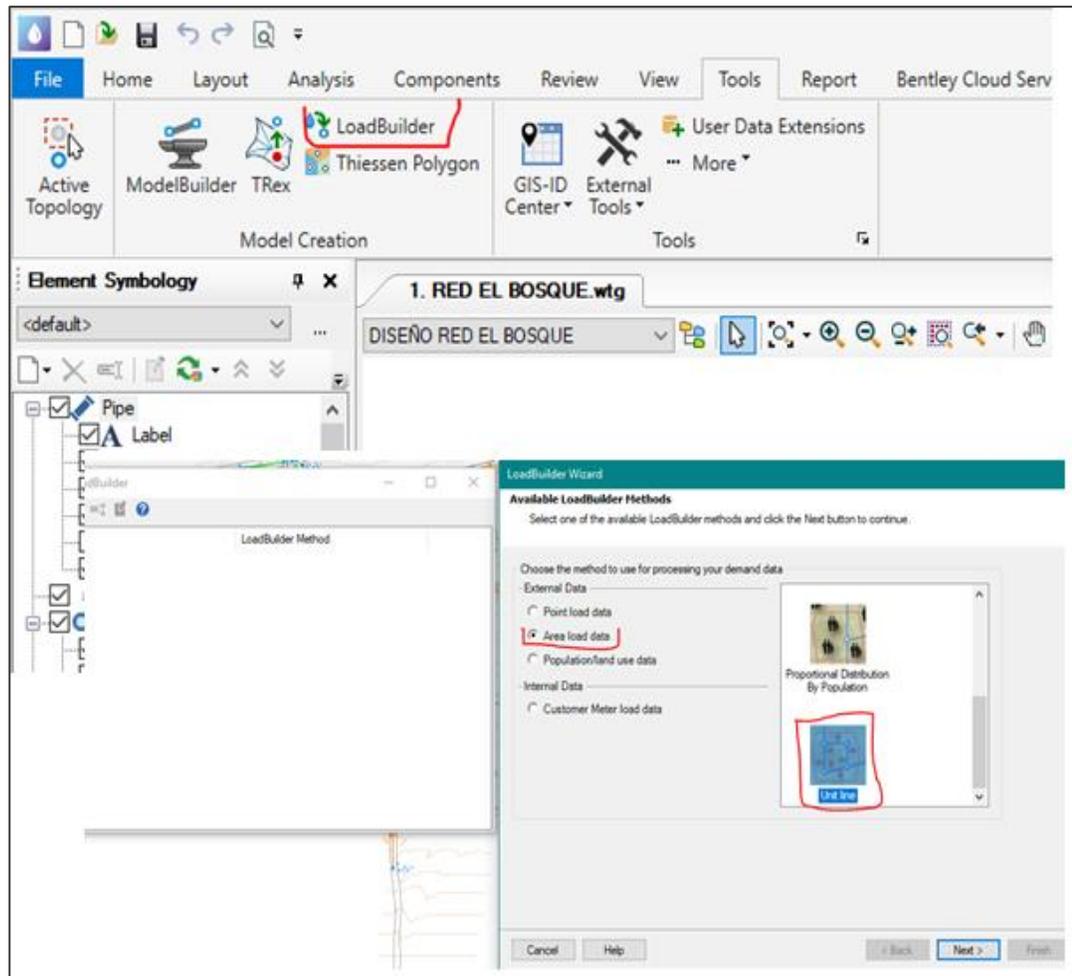


Figura 24. Distribución de caudal por longitud equivalente en Watercad.  
Fuente: Watercad.

### Diseño optimizado

También se hizo una corrida con el método de diseño optimizado con condiciones de acuerdo a la norma y diámetros reales sacados de información de tuberías PAVCO, sin embargo, al diseño optimizado, al final manualmente se tiene que reconsiderar algunos diámetros de acuerdo al criterio del diseñador (Figuras 25 y 26).

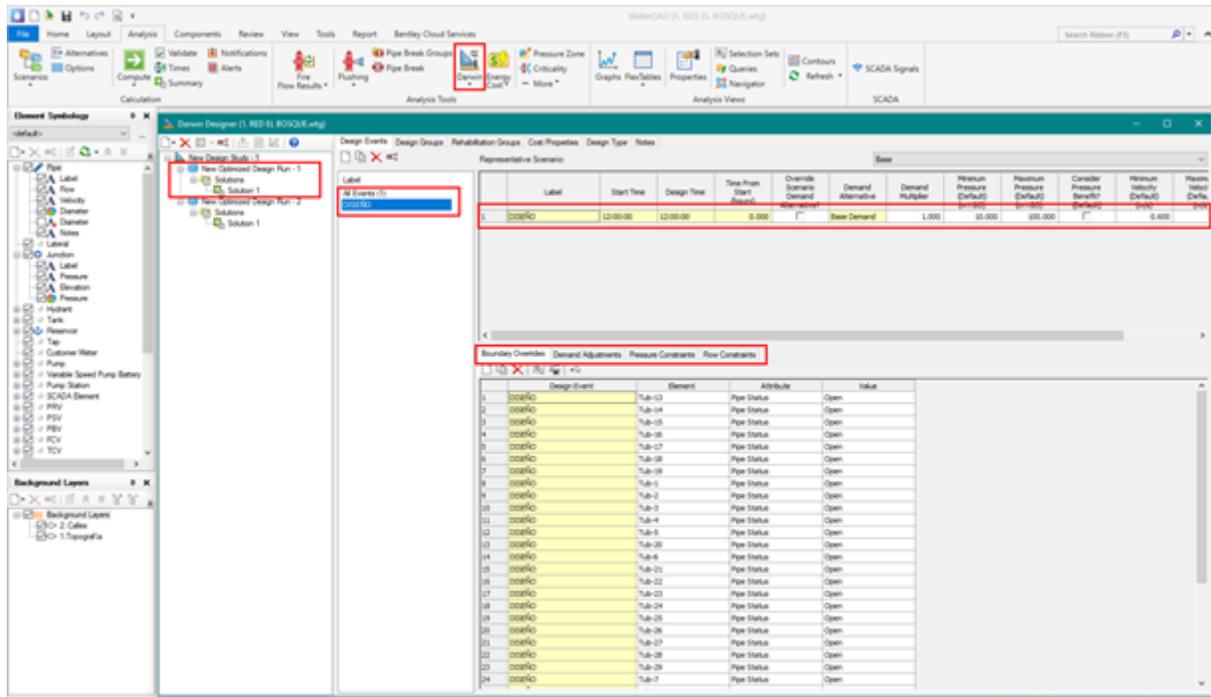


Figura 25. Diseño optimizado con herramienta Darwing Designer.  
Fuente: Watercad

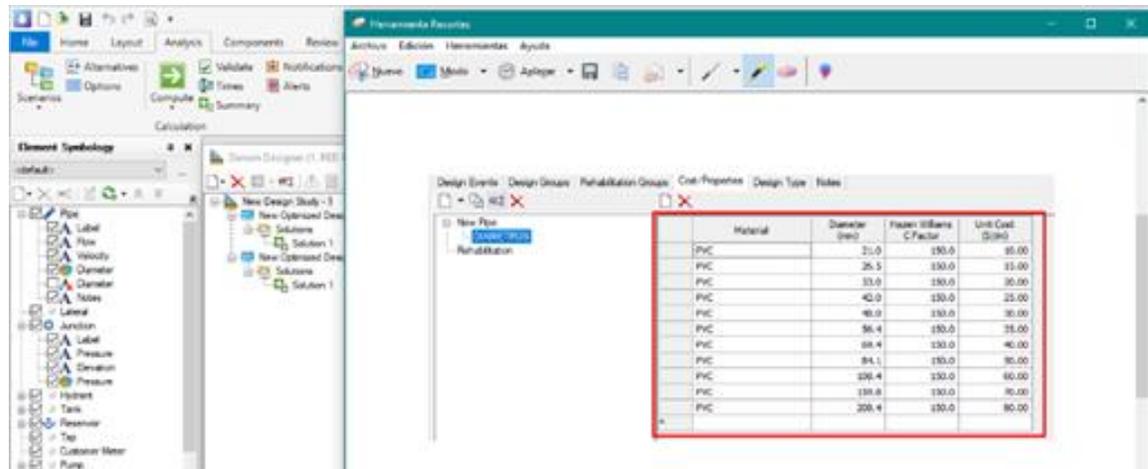


Figura 26. Datos de diámetro de tuberías ingresados  
Fuente: Waterdad.

Una vez corrido el escenario se exporta para poder visualizarlo en Water CAD (Figura 27).

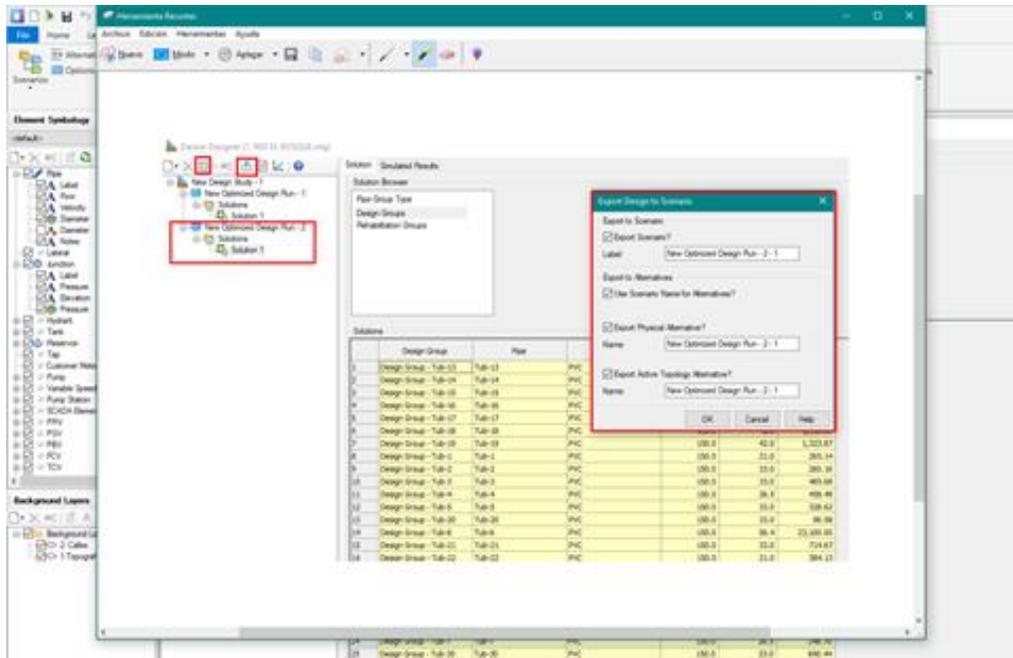


Figura 27. Datos exportados en Watercad.  
Fuente: Watercad.

### Revisión y modificación manual de resultados

Luego se revisan los resultados y si el diseñador considera que se deben modificar algunos diámetros siempre cumpliendo con la norma y debidamente fundamentado, se hace la corrida nuevamente obteniendo los resultados finales del diseño. La figura 28 muestra las tuberías de la red de distribución, los nodos, y los diámetros establecidos por el programa Watercad.

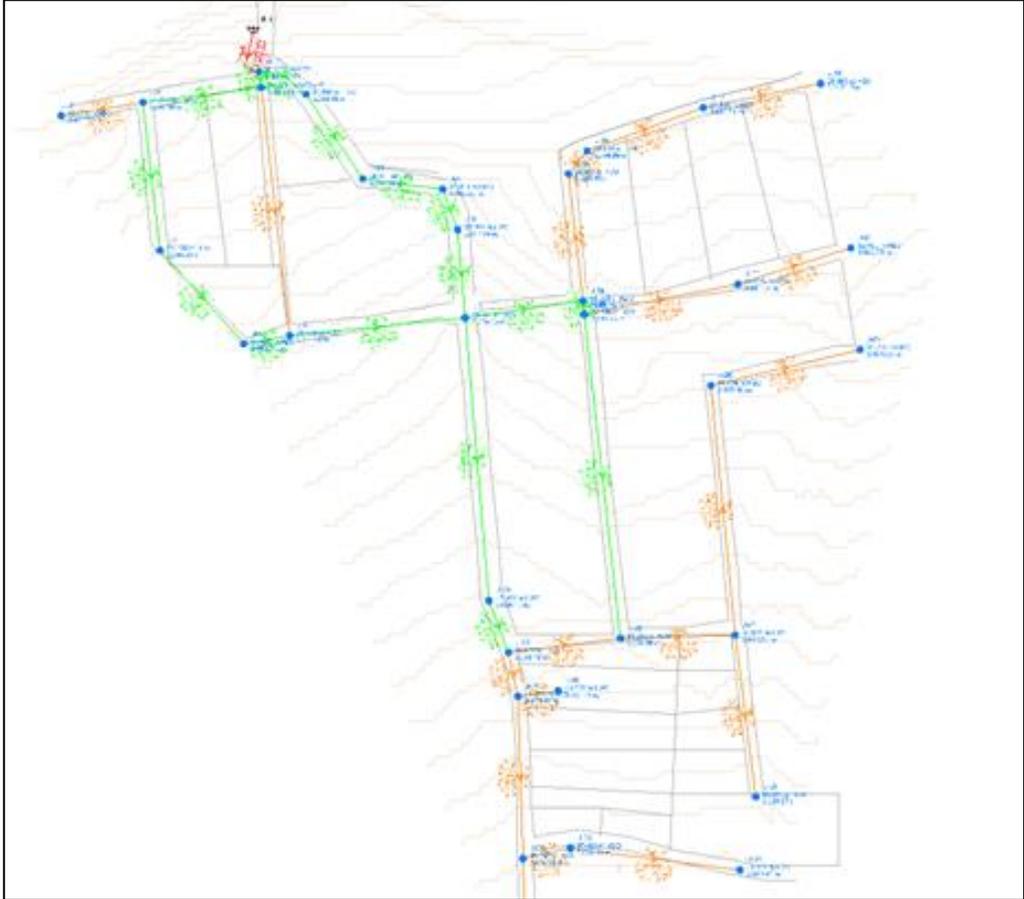


Figura 28. Resultado de la red de distribución en Watercad.  
Fuente: Watercad.

## Resultados obtenidos en Watercad

A continuación, se muestran de manera tabulada los resultados ofrecidos por la simulación de la red en el programa Watercad, por nodos (Figura 29), y por tuberías (Figura 30).

<b>FlexTable: Junction Table</b>						
Label	Elevation (m)	Demand (L/s)	Pressure (m H2O)	Hydraulic Grade (m)	X (m)	Y (m)
J-1	3,050.00	0.023	32.098	3,082.16	811,025.69	8,529,604.38
J-2	3,047.86	0.099	34.246	3,082.17	811,050.19	8,529,608.37
J-3	3,047.61	0.109	35.705	3,083.39	811,085.77	8,529,612.92
J-4	3,041.46	0.134	38.474	3,080.01	811,094.30	8,529,538.37
J-5	3,041.76	0.049	38.426	3,080.26	811,080.55	8,529,535.90
J-6	3,044.64	0.078	36.328	3,081.04	811,055.30	8,529,563.93
J-7	3,039.33	0.118	39.111	3,078.52	811,146.98	8,529,543.67
J-8	3,042.24	0.037	37.269	3,079.59	811,144.71	8,529,570.09
J-9	3,043.62	0.035	36.461	3,080.15	811,140.26	8,529,582.31
J-10	3,044.96	0.052	36.241	3,081.27	811,116.18	8,529,585.46
J-11	3,048.08	0.044	34.680	3,082.83	811,099.14	8,529,610.84
J-13	3,048.60	0.050	35.060	3,083.73	811,085.07	8,529,617.70
J-14	3,042.76	0.074	34.350	3,077.18	811,182.35	8,529,548.78
J-15	3,045.85	0.045	30.531	3,076.44	811,177.94	8,529,586.94
J-16	3,046.00	0.044	30.274	3,076.34	811,183.51	8,529,593.81
J-17	3,046.21	0.069	29.841	3,076.11	811,218.43	8,529,606.83
J-18	3,047.12	0.034	28.903	3,076.08	811,253.69	8,529,614.09
J-19	3,042.23	0.059	34.799	3,077.10	811,182.73	8,529,544.73
J-20	3,042.09	0.078	34.605	3,076.76	811,228.82	8,529,553.77
J-21	3,043.71	0.034	32.962	3,076.74	811,262.82	8,529,564.71
J-22	3,034.00	0.239	41.935	3,076.02	811,193.56	8,529,447.36
J-23	3,032.72	0.060	43.519	3,076.33	811,159.89	8,529,443.09
J-24	3,034.10	0.167	42.369	3,076.56	811,154.09	8,529,458.62
J-25	3,033.27	0.150	40.587	3,073.94	811,228.07	8,529,448.24
J-26	3,039.38	0.115	33.474	3,072.92	811,220.75	8,529,523.38
J-27	3,041.06	0.044	31.732	3,072.86	811,265.61	8,529,534.09
J-28	3,029.27	0.046	44.515	3,073.87	811,234.18	8,529,399.75
J-29	3,031.48	0.070	44.030	3,075.60	811,162.83	8,529,429.83
J-30	3,028.28	0.101	45.657	3,074.03	811,164.34	8,529,381.17
J-31	3,028.41	0.062	45.423	3,073.93	811,178.57	8,529,384.25
J-32	3,028.00	0.048	45.758	3,073.85	811,229.45	8,529,377.69
J-35	3,025.26	0.041	48.623	3,073.98	811,165.39	8,529,337.51
J-36	3,031.78	0.012	43.729	3,075.59	811,174.91	8,529,431.56

Figura 29. Resultados de nodos en programa Watercad.

Fuente: Watercad.

FlexTable: Pipe Table											
Label	Start Node	Stop Node	Length (Scaled) (m)	Diameter (mm)	Hazen-Williams C	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Pressure (Stop) (m H2O)	Pressure (Start) (m H2O)	Notes	Material
Tub-1	J-7	J-8	27	33.0	150.0	-0.937	1.095	37.269	39.111	1"	PVC
Tub-2	J-8	J-9	13	33.0	150.0	-0.974	1.139	36.461	37.269	1"	PVC
Tub-3	J-9	J-10	24	33.0	150.0	-1.009	1.180	36.241	36.461	1"	PVC
Tub-4	J-10	J-11	31	33.0	150.0	-1.061	1.241	34.680	36.241	1"	PVC
Tub-5	J-11	J-13	16	33.0	150.0	-1.105	1.292	35.060	34.680	1"	PVC
Tub-6	R-1	J-13	16	56.4	150.0	2.420	0.969	35.060	0.000	2"	PVC
Tub-7	J-24	J-23	17	33.0	150.0	0.523	0.612	43.519	42.369	1"	PVC
Tub-8	J-23	J-29	14	21.0	150.0	0.334	0.965	44.030	43.519	1/2"	PVC
Tub-9	J-30	J-35	44	21.0	150.0	0.041	0.119	48.623	45.657	1/2"	PVC
Tub-12	J-29	J-30	49	21.0	150.0	0.253	0.729	45.657	44.030	1/2"	PVC
Tub-13	J-2	J-1	25	21.0	150.0	0.023	0.068	32.098	34.246	1/2"	PVC
Tub-14	J-3	J-2	36	33.0	150.0	0.853	0.997	34.246	35.705	1"	PVC
Tub-15	J-3	J-4	75	21.0	150.0	0.303	0.874	38.474	35.705	1/2"	PVC
Tub-16	J-4	J-5	14	33.0	150.0	-0.603	0.705	38.426	38.474	1"	PVC
Tub-17	J-6	J-5	38	33.0	150.0	0.652	0.762	38.426	36.328	1"	PVC
Tub-18	J-2	J-6	45	33.0	150.0	0.730	0.853	36.328	34.246	1"	PVC
Tub-19	J-4	J-7	53	33.0	150.0	0.772	0.903	39.111	38.474	1"	PVC
Tub-20	J-13	J-3	5	33.0	150.0	1.265	1.479	35.705	35.060	1"	PVC
Tub-21	J-7	J-14	36	33.0	150.0	0.900	1.053	34.350	39.111	1"	PVC
Tub-22	J-14	J-15	38	21.0	150.0	0.191	0.552	30.531	34.350	1/2"	PVC
Tub-23	J-15	J-16	9	21.0	150.0	0.147	0.423	30.274	30.531	1/2"	PVC
Tub-24	J-16	J-17	37	21.0	150.0	0.103	0.298	29.841	30.274	1/2"	PVC
Tub-25	J-17	J-18	36	21.0	150.0	0.034	0.098	28.903	29.841	1/2"	PVC
Tub-26	J-14	J-19	4	33.0	150.0	0.635	0.743	34.799	34.350	1"	PVC
Tub-27	J-19	J-20	47	21.0	150.0	0.112	0.323	34.605	34.799	1/2"	PVC
Tub-28	J-20	J-21	36	21.0	150.0	0.034	0.097	32.962	34.605	1/2"	PVC
Tub-29	J-23	J-22	34	21.0	150.0	0.128	0.371	41.935	43.519	1/2"	PVC
Tub-30	J-22	J-25	35	21.0	150.0	0.354	1.023	40.587	41.935	1/2"	PVC
Tub-31	J-25	J-26	75	21.0	150.0	0.158	0.457	33.474	40.587	1/2"	PVC
Tub-32	J-26	J-27	46	21.0	150.0	0.044	0.126	31.732	33.474	1/2"	PVC
Tub-33	J-25	J-28	49	21.0	150.0	0.046	0.133	44.515	40.587	1/2"	PVC
Tub-34	J-30	J-31	15	21.0	150.0	0.111	0.319	45.423	45.657	1/2"	PVC
Tub-35	J-31	J-32	51	21.0	150.0	0.048	0.140	45.758	45.423	1/2"	PVC
Tub-38	J-29	J-36	12	21.0	150.0	0.012	0.033	43.729	44.030	1/2"	PVC
Tub-39	J-19	J-22	98	33.0	150.0	0.465	0.543	41.935	34.799	1"	PVC
Tub-40	J-7	J-24	85	33.0	150.0	0.691	0.808	42.369	39.111	1"	PVC

Figura 30. Resultados de tuberías en programa Watercad.  
Fuente: Watercad.

#### 4.2.3. Modelado en Epanet

##### Exportar Red

La red ya trabajada en WaterCAD se exportó a formato de Epanet para asegurar que dicha red comparta las mismas características trabajadas previamente, como se muestra en la figura 31, luego se procede a abrir el archivo, desde la opción Abrir, indicar la ruta de archivo exportado (Figura 32).

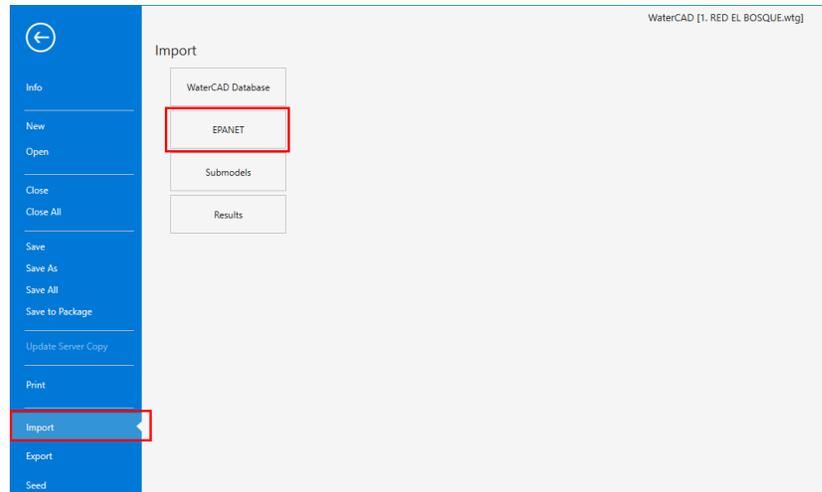


Figura 31. Exportar datos de Watercad a Epanet  
Fuente: Watercad

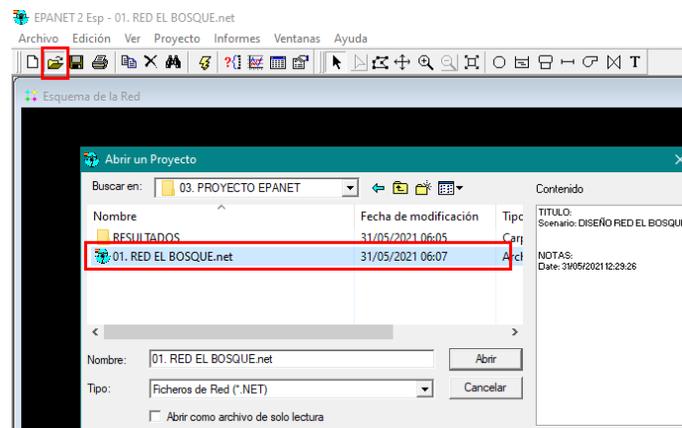


Figura 32. Importar red de Watercad en Epanet  
Fuente: Epanet

### Configuración del modelo

Se procede a revisar las configuraciones del programa, yendo a la opción *Proyecto* y hacer click en *Opciones de Cálculo*. Se configura las unidades del caudal en litros por segundo, y se especifica el cálculo de pérdidas por fricción mediante el método de Hazen – Williams. (Figura 33).

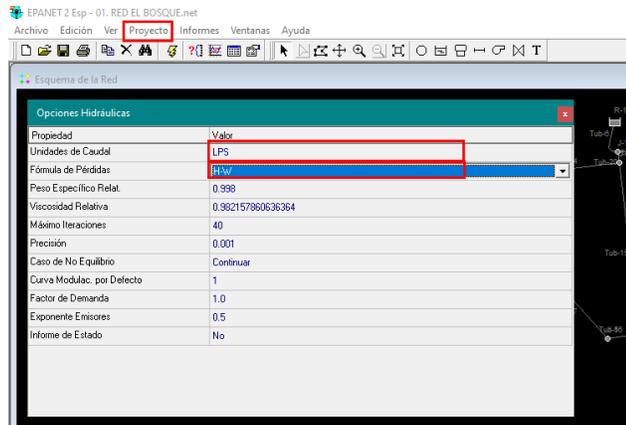


Figura 33. Opciones de configuración en Epanet.  
Fuente: Epanet.

### Revisión de tablas de datos de nodos, tuberías y reservorio.

Respecto a los nodos se tiene que revisar que los datos de demanda y altitud coincidan con la del proyecto inicial, para ello vamos a la opción de *Tablas* y luego elegimos *Nodos de la Red* (Figura 34). Esta opción también mostrará los datos de reservorio. La Figura 35 muestra los datos de las tuberías.

ID Nudo	Cota m	Demanda Base LPS	Calidad Inicial
Nudo J-4	3041.45849609375	0.133946307419475	0
Nudo J-5	3041.75537109375	0.0487707549611813	0
Nudo J-6	3044.63549804688	0.0777954896585719	0
Nudo J-7	3039.32582773438	0.118010387042988	0
Nudo J-8	3042.24194335938	0.0372897924106822	0
Nudo J-9	3043.61572265625	0.0351855630906695	0
Nudo J-10	3044.96020507813	0.0517522388038529	0
Nudo J-11	3048.078125	0.0443431185095347	0
Nudo J-13	3048.59790039063	0.0499045877088768	0
Nudo J-14	3042.75854492188	0.0737934486402586	0
Nudo J-15	3045.84619140625	0.0445935520246091	0
Nudo J-16	3046	0.0435106127449141	0
Nudo J-17	3046.205078125	0.0691333743980466	0
Nudo J-18	3047.11743164063	0.0339724384859767	0
Nudo J-19	3042.22802734375	0.0589843623837282	0
Nudo J-20	3042.0888671875	0.078020337712802	0
Nudo J-21	3043.7080078125	0.033899614513502	0
Nudo J-22	3034	0.238656610206936	0
Nudo J-23	3032.72387695313	0.0604767659114942	0
Nudo J-24	3034.1044921875	0.167389146905869	0
Nudo J-25	3033.27124023437	0.149910833388398	0
Nudo J-26	3039.37646484375	0.114741527348756	0
Nudo J-27	3041.06494140625	0.0435158866081448	0
Nudo J-28	3029.267578125	0.0461128443718027	0
Nudo J-29	3031.47778320313	0.0702652407839853	0
Nudo J-30	3028.28002929688	0.10087484043232	0
Nudo J-31	3028.41284179688	0.0621479110456819	0
Nudo J-32	3028	0.0484073165382105	0
Nudo J-35	3025.25927734375	0.0411974874195606	0
Nudo J-36	3031.77758789063	0.0115139236349356	0
Embalse R-1	3084	Sin Valor	0

Figura 34. Nodos de la red de distribución en Epanet  
Fuente: Epanet.

ID Línea	Longitud m	Diámetro mm	Rugosidad	Coef. Medio	Coef. Pared	Caudal LPS
Tubería Tub-13	24.8162102216125	21	150	0	0	Sin Valor
Tubería Tub-14	35.8715135806423	33	150	0	0	Sin Valor
Tubería Tub-15	75.0385463904039	21	150	0	0	Sin Valor
Tubería Tub-16	13.9701659990651	33	150	0	0	Sin Valor
Tubería Tub-17	37.7197754658568	33	150	0	0	Sin Valor
Tubería Tub-18	44.732183907895	33	150	0	0	Sin Valor
Tubería Tub-19	52.9549868697681	33	150	0	0	Sin Valor
Tubería Tub-1	26.5140003632128	33	150	0	0	Sin Valor
Tubería Tub-2	13.007824855752	33	150	0	0	Sin Valor
Tubería Tub-3	24.2838218378484	33	150	0	0	Sin Valor
Tubería Tub-4	30.5660609777656	33	150	0	0	Sin Valor
Tubería Tub-5	16.4312266786244	33	150	0	0	Sin Valor
Tubería Tub-20	4.82893696117004	33	150	0	0	Sin Valor
Tubería Tub-6	15.8157382166809	56.4	150	0	0	Sin Valor
Tubería Tub-21	35.7336399158389	33	150	0	0	Sin Valor
Tubería Tub-22	38.4132619978759	21	150	0	0	Sin Valor
Tubería Tub-23	8.84944893821023	21	150	0	0	Sin Valor
Tubería Tub-24	37.265503099699	21	150	0	0	Sin Valor
Tubería Tub-25	36.0058678018149	21	150	0	0	Sin Valor
Tubería Tub-26	4.06347321264364	33	150	0	0	Sin Valor
Tubería Tub-27	46.9735476914649	21	150	0	0	Sin Valor
Tubería Tub-28	35.7167138991354	21	150	0	0	Sin Valor
Tubería Tub-29	33.9352837210823	21	150	0	0	Sin Valor
Tubería Tub-7	16.5797635802508	33	150	0	0	Sin Valor
Tubería Tub-30	34.5219737814351	21	150	0	0	Sin Valor
Tubería Tub-31	75.4888714620903	21	150	0	0	Sin Valor
Tubería Tub-32	46.1205405097704	21	150	0	0	Sin Valor
Tubería Tub-33	48.8729409306196	21	150	0	0	Sin Valor
Tubería Tub-8	13.581571511336	21	150	0	0	Sin Valor
Tubería Tub-34	14.5630414446064	21	150	0	0	Sin Valor
Tubería Tub-35	51.3047493385254	21	150	0	0	Sin Valor
Tubería Tub-9	43.6633739812701	21	150	0	0	Sin Valor
Tubería Tub-12	48.6863149853762	21	150	0	0	Sin Valor
Tubería Tub-38	12.20309889541736	21	150	0	0	Sin Valor
Tubería Tub-39	97.9766847242126	33	150	0	0	Sin Valor

Figura 35. Datos de la tubería en Epanet.  
Fuente: Epanet.

### Ejecución de modelo

Una vez corroborado todos los datos de ingreso se procede a ejecutar el modelo, yendo a la opción Ejecutar. En la figura 36 se muestra como se activan las etiquetas en la opción *Ver*, luego *Opciones del sistema*.

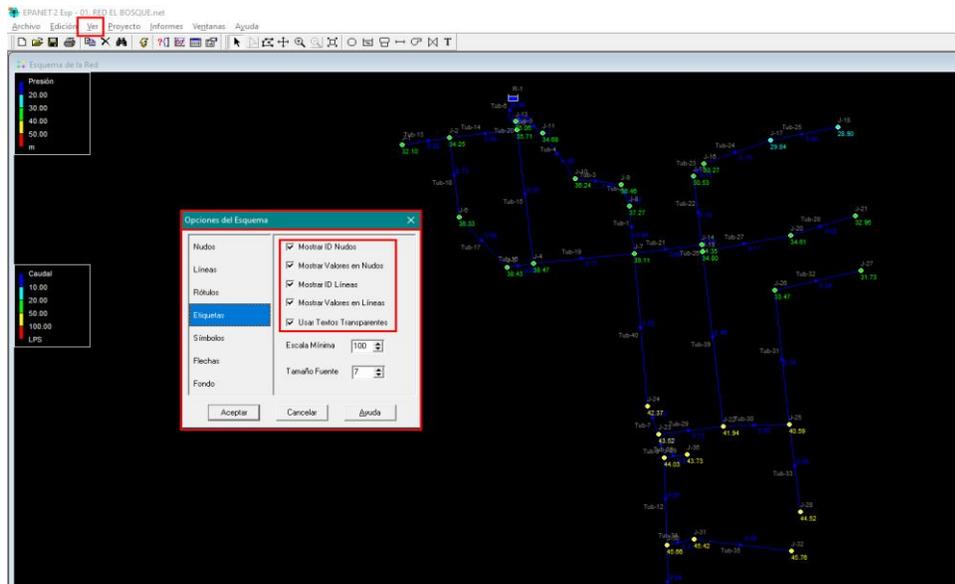


Figura 36. Red de distribución en Epanet.  
Fuente: Epanet.

### Resultados en software Epanet

En la figura 37 se puede visualizar los resultados de la simulación en Epanet respecto a la tubería, mientras que la Figura 38 muestra los resultados de los nodos.

ID Línea	Nudo Inicial	Nudo Final	Longitud m	Diámetro mm
Tub-13	J-2	J-1	24.8162102216125	21
Tub-14	J-3	J-2	35.8715135806423	33
Tub-15	J-3	J-4	75.0385483904039	21
Tub-16	J-4	J-5	13.9701659990651	33
Tub-17	J-6	J-5	37.7197754658568	33
Tub-18	J-2	J-6	44.732183907895	33
Tub-19	J-4	J-7	52.9549888697881	33
Tub-1	J-7	J-8	26.5140003632128	33
Tub-2	J-8	J-9	13.0077824855752	33
Tub-3	J-9	J-10	24.2838218378484	33
Tub-4	J-10	J-11	30.5660609777658	33
Tub-5	J-11	J-13	16.4312266786244	33
Tub-20	J-13	J-3	4.82893696117004	33
Tub-6	R-1	J-13	15.8157382166809	56.4
Tub-21	J-7	J-14	35.7338399158389	33
Tub-22	J-14	J-15	38.4132616978759	21
Tub-23	J-15	J-16	8.84644893821023	21
Tub-24	J-16	J-17	37.265503099699	21
Tub-25	J-17	J-18	36.0058678018149	21
Tub-26	J-14	J-19	4.06347321264364	33
Tub-27	J-19	J-20	46.9735476914649	21
Tub-28	J-20	J-21	35.7167138991354	21
Tub-29	J-23	J-22	33.9352837210823	21
Tub-7	J-24	J-23	16.5797835802508	33
Tub-30	J-22	J-25	34.5219737814351	21
Tub-31	J-25	J-26	75.4888714620603	21
Tub-32	J-26	J-27	46.1205405097704	21
Tub-33	J-25	J-28	48.8729409306196	21
Tub-8	J-23	J-29	13.581571511336	21
Tub-34	J-30	J-31	14.5630414446064	21
Tub-35	J-31	J-32	51.3047493385254	21
Tub-9	J-30	J-35	43.6633739812701	21
Tub-12	J-29	J-30	48.6863148853762	21
Tub-38	J-29	J-36	12.2030689541736	21
Tub-39	J-19	J-22	97.9766842242126	33
Tub-40	J-7	J-24	85.3489169745982	33

Figura 37. Resultados de tuberías en Epanet.  
Fuente: Epanet.

ID Nudo	Demanda LPS	Altura m	Presión m	Calidad
J-1	0.02	3082.16	32.10	0.00
J-2	0.10	3082.17	34.25	0.00
J-3	0.11	3083.39	35.71	0.00
J-4	0.13	3080.01	38.47	0.00
J-5	0.05	3080.26	38.43	0.00
J-6	0.08	3081.04	36.33	0.00
J-7	0.12	3078.52	39.11	0.00
J-8	0.04	3079.59	37.27	0.00
J-9	0.04	3080.15	36.46	0.00
J-10	0.05	3081.27	36.24	0.00
J-11	0.04	3082.83	34.68	0.00
J-13	0.05	3083.73	35.06	0.00
J-14	0.07	3077.18	34.35	0.00
J-15	0.04	3076.44	30.53	0.00
J-16	0.04	3076.34	30.27	0.00
J-17	0.07	3076.11	29.84	0.00
J-18	0.03	3076.08	28.90	0.00
J-19	0.06	3077.10	34.80	0.00
J-20	0.08	3076.76	34.61	0.00
J-21	0.03	3076.74	32.96	0.00
J-22	0.24	3076.02	41.94	0.00
J-23	0.06	3076.33	43.52	0.00
J-24	0.17	3076.56	42.37	0.00
J-25	0.15	3073.94	40.59	0.00
J-26	0.11	3072.92	33.47	0.00
J-27	0.04	3072.86	31.73	0.00
J-28	0.05	3073.87	44.52	0.00
J-29	0.07	3075.60	44.03	0.00
J-30	0.10	3074.03	45.66	0.00
J-31	0.06	3073.93	45.42	0.00
J-32	0.05	3073.85	45.76	0.00
J-35	0.04	3073.98	48.62	0.00
J-36	0.01	3075.60	43.73	0.00
R-1	-2.42	3084.00	0.00	0.00

Figura 38. Resultados de los nodos en Epanet.  
Fuente: Epanet

#### 4.2.4. Modelado en QGis – QWater

##### Exportar Red

La red ya trabajada en WaterCAD, se exportó al mismo a formato Shp (Shaperfile), para asegurar que dicha red pase con las mismas características trabajadas previamente, como se muestra en la Figura 39.

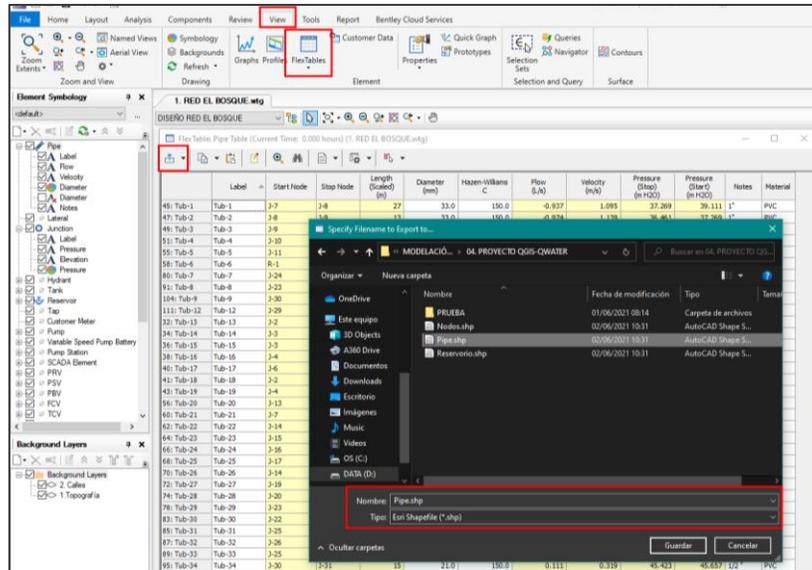


Figura 39. Exportar datos desde Watercad a Qgis  
Fuente: Watercad.

### Apertura de archivo y configuración de modelo

Abrimos los archivos con extensión SHP, ya exportados del WaterCAD a la plataforma de QGIS a la sección de Capas (Figura 40).

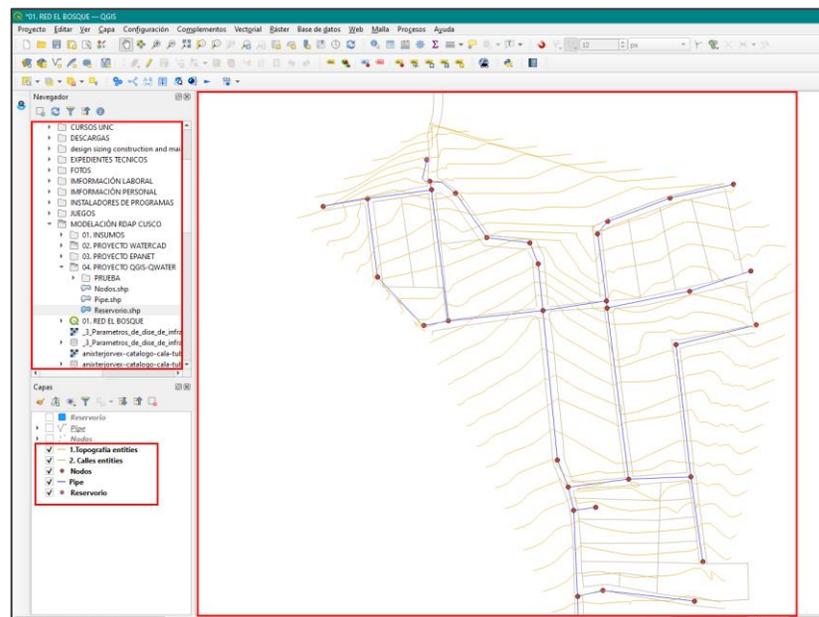


Figura 40. Red de distribución importada en Qgis.  
Fuente: QGis.

## Complemento QGis - QWater

Instalamos complemento QWATER, yendo a *Complementos*, luego *Administrar complementos* y buscamos el complemento QWATER para luego dar en la opción *Instalar complemento*, como muestra la figura 41.

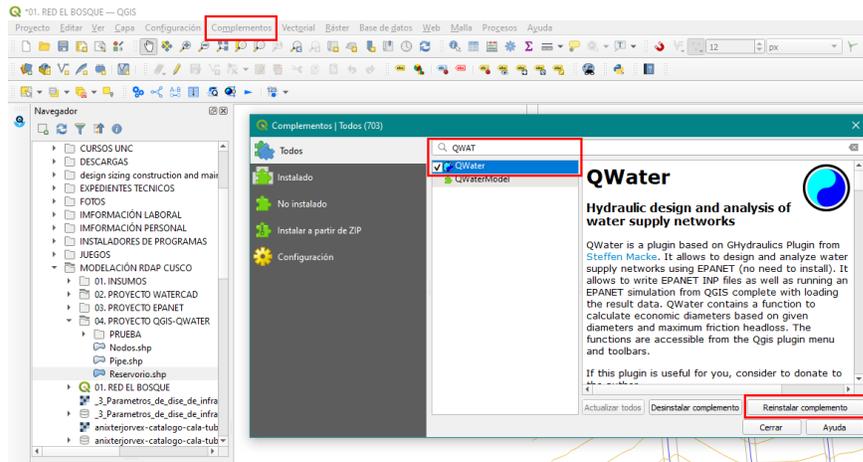


Figura 41. Instalar complemento QWATER  
Fuente: QGis.

## Configuración del modelo en QGis

Se procede a realizar las configuraciones del programa (Figura 42), yendo a la opción *QWATER Settings* y luego seleccionar las capas de *Nodos*, *Tuberías* y *Reservorio* y también elegimos el *Template* que fue creado especialmente para la metodología de HW.

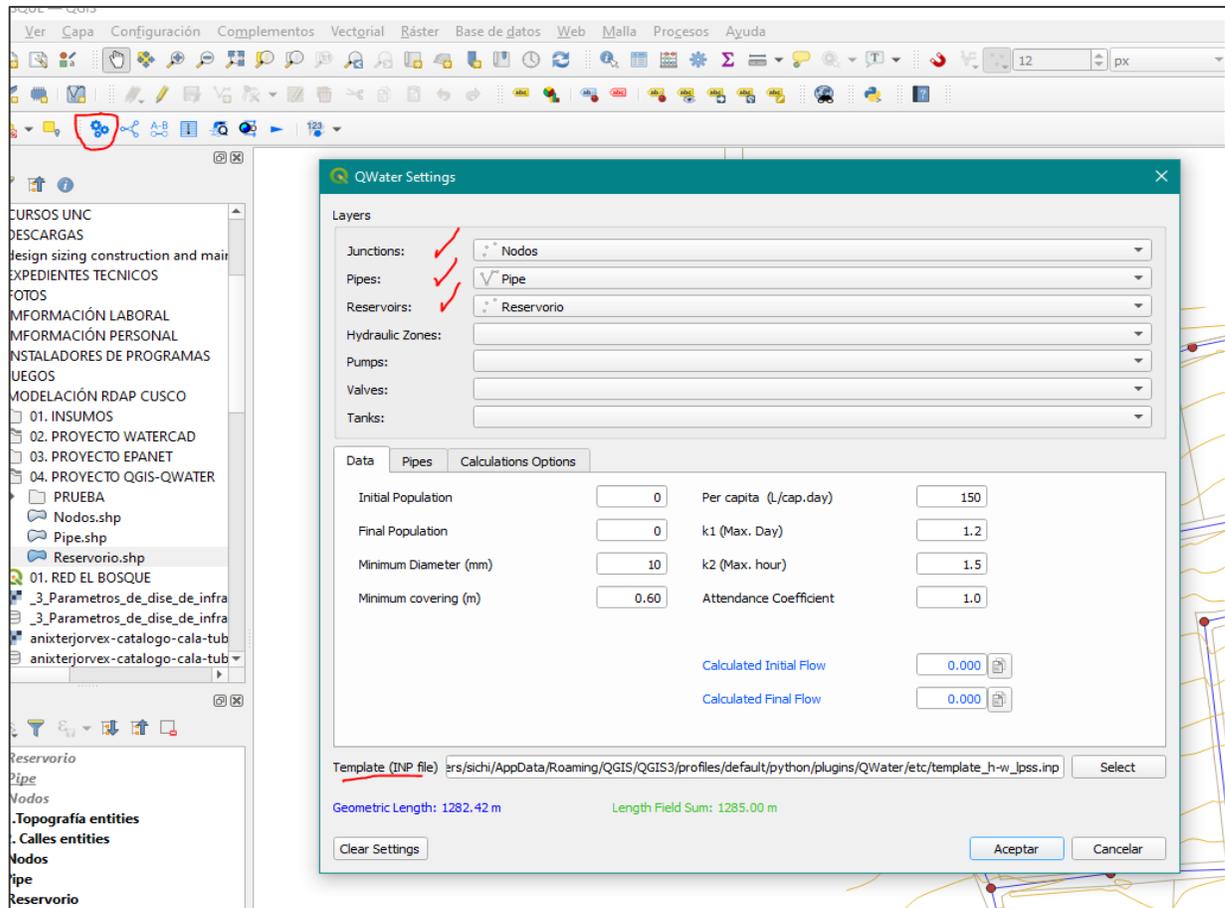


Figura 42. Configuración del modelo en QWater  
Fuente: QWater.

### Revisión de tablas de datos tanto de nodos, tuberías y reservorio

Verificamos la tabla de atributos de la capa Reservorio, donde verificamos *HEAD* que es la altura del mismo, como se muestra en la Figura 43. La Figura 44 muestra la configuración de los nodos, y la figura 45 la configuración de la tubería.

	DC_ID	HEAD	PATTERN
1	71	3084.000000000...	NULL

Figura 43. Datos del reservorio en QGIS.  
Fuente: QGIS.

	ETIQUETA	DC_ID	ELEVATION	DEMAND
1	J-1	2	3050.000000000...	0.023
2	J-2	3	3047.860000000...	0.099
3	J-3	4	3047.610000000...	0.109
4	J-4	5	3041.460000000...	0.134
5	J-5	6	3041.760000000...	0.049
6	J-6	7	3044.639999999...	0.078
7	J-7	8	3039.329999999...	0.118
8	J-8	9	3042.239999999...	0.037
9	J-9	10	3043.619999999...	0.035
10	J-10	11	3044.960000000...	0.052
11	J-11	12	3048.079999999...	0.044
12	J-13	13	3048.599999999...	0.05
13	J-14	14	3042.760000000...	0.074
14	J-15	15	3045.849999999...	0.045
15	J-16	16	3046.000000000...	0.044
16	J-17	17	3046.210000000...	0.069
17	J-18	18	3047.119999999...	0.034
18	J-19	19	3042.230000000...	0.059
19	J-20	20	3042.090000000...	0.078
20	J-21	21	3043.710000000...	0.034
21	J-22	22	3034.000000000...	0.239
22	J-23	23	3032.719999999...	0.06
23	J-24	24	3034.099999999...	0.167
24	J-25	25	3033.269999999...	0.15
25	J-26	26	3039.380000000...	0.115
26	J-27	27	3041.059999999...	0.044
27	J-28	28	3029.269999999...	0.046
28	J-29	29	3031.480000000...	0.07
29	J-30	30	3028.280000000...	0.101
30	J-31	31	3028.409999999...	0.062
31	J-32	32	3028.000000000...	0.048

Figura 44. Configuración de nodos en QGIS.  
Fuente: QGIS.

Pipe — Features Total: 36, Filtered: 36, Selected: 0

	ETIQUETA	NOTAS	DC_ID	NODE1	NODE2	LENGTH	DIAMETER	ROUGHNESS
1	Tub-21	1"	53	8	14	36.000000000000...	33.000000000000...	150.000000000000...
2	Tub-22	1/2 "	54	14	15	38.000000000000...	21.000000000000...	150.000000000000...
3	Tub-19	1"	51	5	8	53.000000000000...	33.000000000000...	150.000000000000...
4	Tub-20	1"	52	13	4	5.000000000000...	33.000000000000...	150.000000000000...
5	Tub-17	1"	49	7	6	38.000000000000...	33.000000000000...	150.000000000000...
6	Tub-18	1"	50	3	7	45.000000000000...	33.000000000000...	150.000000000000...
7	Tub-15	1/2 "	47	4	5	75.000000000000...	21.000000000000...	150.000000000000...
8	Tub-16	1"	48	5	6	14.000000000000...	33.000000000000...	150.000000000000...
9	Tub-13	1/2 "	45	3	2	25.000000000000...	21.000000000000...	150.000000000000...
10	Tub-14	1"	46	4	3	36.000000000000...	33.000000000000...	150.000000000000...
11	Tub-9	1/2 "	43	30	33	44.000000000000...	21.000000000000...	150.000000000000...
12	Tub-12	1/2 "	44	29	30	49.000000000000...	21.000000000000...	150.000000000000...
13	Tub-7	1"	41	24	23	17.000000000000...	33.000000000000...	150.000000000000...
14	Tub-8	1/2 "	42	23	29	14.000000000000...	21.000000000000...	150.000000000000...
15	Tub-5	1"	39	12	13	16.000000000000...	33.000000000000...	150.000000000000...
16	Tub-6	2"	40	71	13	16.000000000000...	56.399999999999...	150.000000000000...
17	Tub-3	1"	37	10	11	24.000000000000...	33.000000000000...	150.000000000000...
18	Tub-4	1"	38	11	12	31.000000000000...	33.000000000000...	150.000000000000...
19	Tub-1	1"	35	8	9	27.000000000000...	33.000000000000...	150.000000000000...
20	Tub-2	1"	36	9	10	13.000000000000...	33.000000000000...	150.000000000000...
21	Tub-33	1/2 "	65	25	28	49.000000000000...	21.000000000000...	150.000000000000...
22	Tub-34	1/2 "	66	30	31	15.000000000000...	21.000000000000...	150.000000000000...
23	Tub-39	1"	69	19	22	98.000000000000...	33.000000000000...	150.000000000000...
24	Tub-31	1/2 "	63	25	26	75.000000000000...	21.000000000000...	150.000000000000...
25	Tub-40	1"	70	8	24	85.000000000000...	33.000000000000...	150.000000000000...
26	Tub-32	1/2 "	64	26	27	46.000000000000...	21.000000000000...	150.000000000000...
27	Tub-35	1/2 "	67	31	32	51.000000000000...	21.000000000000...	150.000000000000...
28	Tub-29	1/2 "	61	23	22	34.000000000000...	21.000000000000...	150.000000000000...
29	Tub-38	1/2 "	68	29	34	12.000000000000...	21.000000000000...	150.000000000000...
30	Tub-30	1/2 "	62	22	25	35.000000000000...	21.000000000000...	150.000000000000...
31	Tub-37	1/2 "	60	10	20	47.000000000000...	33.000000000000...	150.000000000000...

Mostrar todos los objetos espaciales

Figura 45. Configuración de la tubería en QGis.  
Fuente: Qgis.

### Ejecución de modelo

Una vez corroborado todos los datos de ingreso se procede a ejecutar el modelo, yendo a la opción *Run*. Se activa las etiquetas en la opción *Load Default Styles* (Figura 46).

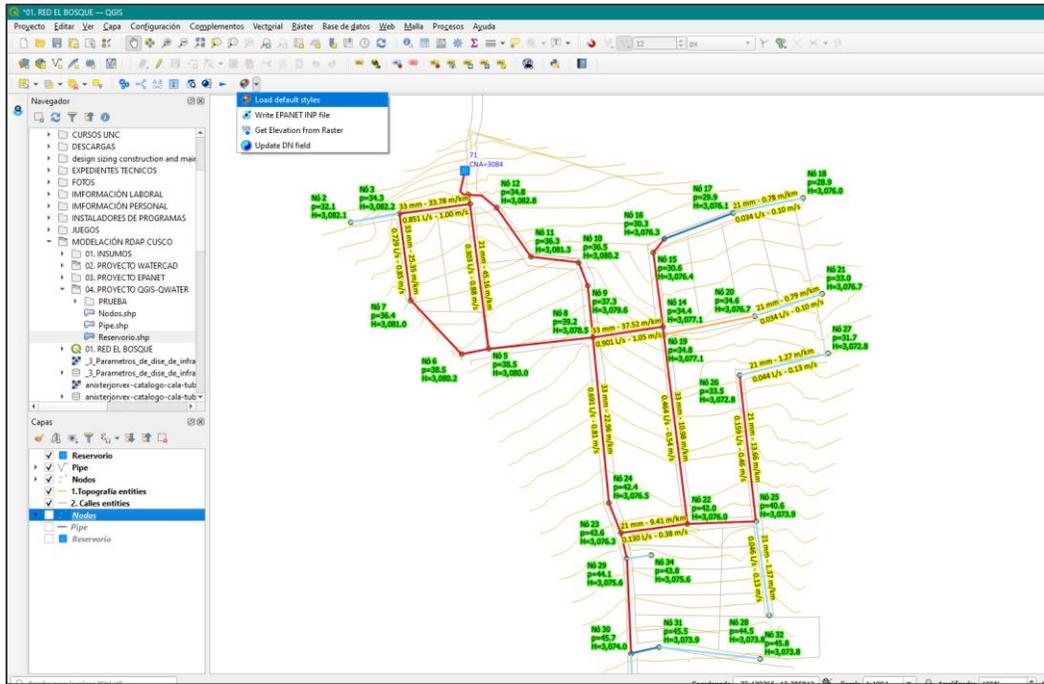


Figura 46. Red de distribución en software QGis.  
Fuente: QGis.

### Resultados de QGis

Una vez se ha ejecutado el análisis del modelo, se muestran los resultados obtenidos. La figura 47 muestra los resultados del reservorio, mientras que la figura 48 muestra los resultados de la tubería. Finalmente, la Figura 49 muestra los resultados de los nodos de la red de distribución.

	DC_ID	HEAD	PATTERN	RESULT_DEM	RESULT_PRE	RESULT_HEA	RESULT_QUA
1	71	3084.000000000...	NULL	-2.41999983787...	3.5156252125e-05	3084.000000000...	0

Figura 47. Resultados del reservorio en QGis.  
Fuente: Qgis.

Nodos — Features Totals: 33, Filtered: 33, Selected: 0

ETIQUETA	DC_ID	ELEVATION	DEMAND	PATTERN	DEMAND_PTO	RESULT_DEM	RESULT_HEA	RESULT_PRE	RESULT_QUA
1 J-1	2	3050.000000000...	0.023	NULL	NULL	0.023000000044...	3082.148681640...	32.14861297607...	0
2 J-2	3	3047.860000000...	0.099	NULL	NULL	0.0989999999463...	3082.158203125...	34.29813766479...	0
3 J-3	4	3047.610000000...	0.109	NULL	NULL	0.1089999997377...	3083.374023437...	35.76406478881...	0
4 J-4	5	3041.460000000...	0.134	NULL	NULL	0.13400000333786	3079.986816406...	38.52673721313...	0
5 J-5	6	3041.760000000...	0.049	NULL	NULL	0.04900000244379	3080.235595703...	38.47557830810...	0
6 J-6	7	3044.639999999...	0.078	NULL	NULL	0.078000001609...	3081.017333984...	36.37722015380...	0
7 J-7	8	3039.329999999...	0.118	NULL	NULL	0.117999993264...	3078.494628906...	39.16458511352...	0
8 J-8	9	3042.239999999...	0.037	NULL	NULL	0.037000000476...	3079.587890625...	37.34787750244...	0
9 J-9	10	3043.619999999...	0.035	NULL	NULL	0.035000000149...	3080.153076171...	36.53312683105...	0
10 J-10	11	3044.960000000...	0.052	NULL	NULL	0.052000001072...	3081.267333984...	36.30725479125...	0
11 J-11	12	3048.079999999...	0.044	NULL	NULL	0.043999999761...	3082.846435546...	34.76631927490...	0
12 J-13	13	3048.599999999...	0.05	NULL	NULL	0.050000000745...	3083.725097656...	35.12500000000...	0
13 J-14	14	3042.760000000...	0.074	NULL	NULL	0.0740000000953...	3077.143798828...	34.38381958007...	0
14 J-15	15	3045.849999999...	0.045	NULL	NULL	0.045000001788...	3076.407714843...	30.55771636962...	0
15 J-16	16	3046.000000000...	0.044	NULL	NULL	0.043999999761...	3076.301513671...	30.3014544406...	0
16 J-17	17	3046.210000000...	0.069	NULL	NULL	0.069000005722...	3076.075195312...	29.8523437500...	0
17 J-18	18	3047.119999999...	0.034	NULL	NULL	0.0339999998122...	3076.047363281...	28.92725563049...	0
18 J-19	19	3042.230000000...	0.059	NULL	NULL	0.0589999996632...	3077.065185546...	34.83523941040...	0
19 J-20	20	3042.090000000...	0.078	NULL	NULL	0.078000001609...	3076.729736328...	34.63978195190...	0
20 J-21	21	3043.710000000...	0.034	NULL	NULL	0.0339999998122...	3076.701416015...	32.99150466918...	0
21 J-22	22	3034.000000000...	0.239	NULL	NULL	0.238999992609...	3075.989257812...	41.98921203613...	0
22 J-23	23	3032.719999999...	0.06	NULL	NULL	0.059999998658...	3076.309082031...	43.58919143676...	0
23 J-24	24	3034.099999999...	0.167	NULL	NULL	0.166999995708...	3076.543212890...	42.44314956665...	0
24 J-25	25	3033.269999999...	0.15	NULL	NULL	0.150000005960...	3073.873535156...	40.60347366333...	0
25 J-26	26	3039.380000000...	0.115	NULL	NULL	0.115000002086...	3072.849121093...	33.46923828125...	0
26 J-27	27	3041.059999999...	0.044	NULL	NULL	0.043999999761...	3072.791015625...	31.73089599609...	0
27 J-28	28	3029.269999999...	0.046	NULL	NULL	0.046000000089...	3073.806152343...	44.53620147705...	0
28 J-29	29	3031.480000000...	0.07	NULL	NULL	0.0700000000298...	3075.55322656...	44.07314682006...	0
29 J-30	30	3028.280000000...	0.101	NULL	NULL	0.100999999606...	3073.982910156...	45.70301055908...	0
30 J-31	31	3028.409999999...	0.062	NULL	NULL	0.061999999896...	3073.879394531...	45.46942520141...	0
31 J-32	32	3028.000000000...	0.048	NULL	NULL	0.048000000417...	3073.803710937...	45.80382156372...	0
32 J-35	33	3025.260000000...	0.041	NULL	NULL	0.040999997407...	3073.934082031...	48.67419433593...	0
33 J-36	34	3031.780000000...	0.012	NULL	NULL	0.012000000104...	3075.552001953...	43.77195358276...	0

Figura 48. Resultado de los nodos en QGIS.  
Fuente: QGIS.

Pipe — Features Totals: 36, Filtered: 36, Selected: 0

ETIQUETA	NOTAS	DC_ID	NODE1	NODE2	LENGTH	DIAMETER	ROUGHNESS	MINORLOSS	STATUS	RESULT_FLO	RESULT_VEL	RESULT_HEA	RESULT_QUA	RESULT_STA	RESULT_REA
1 Tub-2	1"	36	9	10	13.0000000000...	33.0000000000...	150.0000000000...	0	OPEN	-0.975999944591522	1.140648007392...	43.48079097502...	0	3.000000000000...	150.0000000000...
2 Tub-21	1"	53	8	14	36.0000000000...	33.0000000000...	150.0000000000...	0	OPEN	0.900866107845306	1.053387999534...	37.52122497558...	0	3.000000000000...	150.0000000000...
3 Tub-1	1"	35	8	9	27.0000000000...	33.0000000000...	150.0000000000...	0	OPEN	-0.93859994414685	1.097388509353...	40.4927232803...	0	3.000000000000...	150.0000000000...
4 Tub-40	1"	70	8	24	85.0000000000...	33.0000000000...	150.0000000000...	0	OPEN	0.691033840179443	0.807940185070...	22.95805168151...	0	3.000000000000...	150.0000000000...
5 Tub-6	2"	40	71	13	16.0000000000...	56.3999999999...	150.0000000000...	0	OPEN	2.419999837875366	0.968645572662...	17.18964767456...	0	3.000000000000...	150.0000000000...
6 Tub-17	1"	49	7	6	38.0000000000...	33.0000000000...	150.0000000000...	0	OPEN	0.651101887226105	0.761252071282...	20.56961441040...	0	3.000000000000...	150.0000000000...
7 Tub-19	1"	51	5	8	53.0000000000...	33.0000000000...	150.0000000000...	0	OPEN	0.77140094032288	0.901902437210...	28.15378761291...	0	3.000000000000...	150.0000000000...
8 Tub-16	1"	48	5	6	14.0000000000...	33.0000000000...	150.0000000000...	0	OPEN	-0.602101862430573	0.703963041305...	17.74330139116...	0	3.000000000000...	150.0000000000...
9 Tub-15	1/2"	47	4	5	75.0000000000...	21.0000000000...	150.0000000000...	0	OPEN	0.30329817533499	0.87566979575...	45.1643730517...	0	3.000000000000...	150.0000000000...
10 Tub-14	1"	46	4	3	36.0000000000...	33.0000000000...	150.0000000000...	0	OPEN	0.851101934909821	0.995087921619...	33.7571487426...	0	3.000000000000...	150.0000000000...
11 Tub-35	1/2"	67	31	32	51.0000000000...	21.0000000000...	150.0000000000...	0	OPEN	0.048000000417233	1.138583153485...	1.48244882392...	0	3.000000000000...	150.0000000000...
12 Tub-9	1/2"	43	30	33	44.0000000000...	21.0000000000...	150.0000000000...	0	OPEN	0.040999997407198	1.11837305989...	1.109446048736...	0	3.000000000000...	150.0000000000...
13 Tub-34	1/2"	66	30	31	15.0000000000...	21.0000000000...	150.0000000000...	0	OPEN	0.109999999403954	0.317586362361...	6.90562486648...	0	3.000000000000...	150.0000000000...
14 Tub-18	1"	50	3	7	45.0000000000...	33.0000000000...	150.0000000000...	0	OPEN	0.729101896286011	0.852448403835...	25.35369873046...	0	3.000000000000...	150.0000000000...
15 Tub-13	1/2"	45	3	2	25.0000000000...	21.0000000000...	150.0000000000...	0	OPEN	0.023000000044703	0.066404424607...	0.38100001219...	0	3.000000000000...	150.0000000000...
16 Tub-12	1/2"	44	29	30	49.0000000000...	21.0000000000...	150.0000000000...	0	OPEN	0.252000004053116	0.72756153345108	32.04360580444...	0	3.000000000000...	150.0000000000...
17 Tub-38	1/2"	68	29	34	12.0000000000...	21.0000000000...	150.0000000000...	0	OPEN	0.012000000104308	0.034645788371...	0.09921874850...	0	3.000000000000...	150.0000000000...
18 Tub-32	1/2"	64	26	27	46.0000000000...	21.0000000000...	150.0000000000...	0	OPEN	0.043999999761581	0.12703454944...	1.268274426460...	0	3.000000000000...	150.0000000000...
19 Tub-33	1/2"	65	25	28	49.0000000000...	21.0000000000...	150.0000000000...	0	OPEN	0.046000000089407	0.132808849215...	1.372863531112...	0	3.000000000000...	150.0000000000...
20 Tub-31	1/2"	63	25	26	75.0000000000...	21.0000000000...	150.0000000000...	0	OPEN	0.158999994397163	0.499056675434...	13.65646839141...	0	3.000000000000...	150.0000000000...
21 Tub-7	1"	41	24	23	17.0000000000...	33.0000000000...	150.0000000000...	0	OPEN	0.524033844470978	0.612687766551...	13.7622419738...	0	3.000000000000...	150.0000000000...
22 Tub-8	1/2"	42	23	29	14.0000000000...	21.0000000000...	150.0000000000...	0	OPEN	0.333999991416931	0.964807725429...	54.00334930419...	0	3.000000000000...	150.0000000000...
23 Tub-29	1/2"	61	23	22	34.0000000000...	21.0000000000...	150.0000000000...	0	OPEN	0.1300338357887	0.37542706272...	9.411190032958...	0	3.000000000000...	150.0000000000...
24 Tub-30	1/2"	62	22	25	35.0000000000...	21.0000000000...	150.0000000000...	0	OPEN	0.354999998271164	1.024937868118...	60.44973373413...	0	3.000000000000...	150.0000000000...
25 Tub-28	1/2"	60	20	21	36.0000000000...	21.0000000000...	150.0000000000...	0	OPEN	0.033999998122454	0.098163068084...	0.78548175096...	0	3.000000000000...	150.0000000000...
26 Tub-39	1"	69	19	22	98.0000000000...	33.0000000000...	150.0000000000...	0	OPEN	0.463966131210327	0.54248057403...	10.97987079620...	0	3.000000000000...	150.0000000000...
27 Tub-27	1/2"	59	19	20	47.0000000000...	21.0000000000...	150.0000000000...	0	OPEN	0.112000003457069	0.323360681533...	7.13741683959...	0	3.000000000000...	150.0000000000...
28 Tub-25	1/2"	57	17	18	36.0000000000...	21.0000000000...	150.0000000000...	0	OPEN	0.033999998122454	0.098163068084...	0.777213513851...	0	3.000000000000...	150.0000000000...
29 Tub-24	1/2"	56	16	17	37.0000000000...	21.0000000000...	150.0000000000...	0	OPEN	0.103000000119209	0.29737634667...	6.1402034759...	0	3.000000000000...	150.0000000000...
30 Tub-23	1/2"	55	15	16	9.000000000000...	21.0000000000...	150.0000000000...	0	OPEN	0.146999998807971	0.42441087961...	11.80703163146...	0	3.000000000000...	150.0000000000...
31 Tub-22	1/2"	54	14	15	38.0000000000...	21.0000000000...	150.0000000000...	0	OPEN	0.19200000166893	0.55423261394...	19.3711547851...	0	3.000000000000...	150.0000000000...
32 Tub-26	1"	58	14	19	4.000000000000...	33.0000000000...	150.0000000000...	0	OPEN	0.634966135025024	0.742387175559...	19.64531326293...	0	3.000000000000...	150.0000000000...
33 Tub-20	1"	52	13	4	5.000000000000...	33.0000000000...	150.0000000000...	0	OPEN	1.263400077819824	1.47713708875...	70.18734741210...	0	3.000000000000...	150.0000000000...
34 Tub-5	1"	39	12	13	16.0000000000...	33.0000000000...	150.0000000000...	0	OPEN	-1.106599926948347	1.293810009956...	54.91757965087...	0	3.000000000000...	150.0000000000...
35 Tub-4	1"	38	11	12	31.0000000000...	33.0000000000...	150.0000000000...	0	OPEN	-1.062599989738464	1.242366313934...	50.93762598800...	0	3.000000000000...	150.0000000000...
36 Tub-3	1"	37	10	11	24.0000000000...	33.0000000000...	150.0000000000...	0	OPEN	-1.010599970817566	1.181569218635...	46.42197418212...	0	3.000000000000...	150.0000000000...

Figura 49. Resultado de la tubería en QGIS.  
Fuente: QGIS.

#### 4.2.5. Resumen de resultados

Una vez analizados los modelos en las diferentes herramientas computacionales, se obtuvieron valores de velocidad, presión, caudal y diámetro de tuberías de la red de distribución propuesta. A continuación, se muestran los datos resumidos de manera tabulada. Las tablas 5 y 6 corresponden a los resultados del programa Watercad, las tablas 7 y 8 muestran los resultados del programa Epanet, mientras que las tablas 9 y 10 señalan los resultados del programa QGis.

Tabla 5. Resultados de nodos en Watercad.

ID Nodo	Cota (m)	Demanda (L/s)	Altura (m)	Presión (m)
J-1	3,050.00	0.026	3,077.37	27.311
J-2	3,047.86	0.109	3,077.38	29.463
J-3	3,047.61	0.120	3,081.72	34.041
J-4	3,041.46	0.147	3,070.15	28.634
J-5	3,041.76	0.053	3,070.95	29.132
J-6	3,044.64	0.085	3,073.50	28.807
J-7	3,039.33	0.207	3,062.25	22.876
J-8	3,042.24	0.041	3,066.55	24.256
J-9	3,043.62	0.039	3,068.83	25.159
J-10	3,044.96	0.057	3,073.39	28.371
J-11	3,048.08	0.049	3,079.73	31.586
J-13	3,048.60	0.055	3,083.42	34.754
J-14	3,042.76	0.081	3,056.43	13.640
J-15	3,045.85	0.049	3,055.32	9.454
J-16	3,046.00	0.048	3,055.16	9.144
J-17	3,046.21	0.076	3,055.05	8.824
J-18	3,047.12	0.037	3,055.00	7.871
J-19	3,042.23	0.154	3,056.09	13.831
J-20	3,042.09	0.085	3,055.59	13.470
J-21	3,043.71	0.037	3,055.54	11.813
J-22	3,034.00	0.172	3,053.03	18.996
J-23	3,032.72	0.066	3,053.25	20.487
J-24	3,034.10	0.105	3,054.38	20.239
J-25	3,033.27	0.164	3,049.91	16.610
J-26	3,039.38	0.126	3,049.40	10.000
J-27	3,041.06	0.048	3,049.31	8.230
J-28	3,029.27	0.050	3,049.81	20.504
J-29	3,031.48	0.077	3,052.88	21.359

ID Nodo	Cota (m)	Demanda (L/s)	Altura (m)	Presión (m)
J-30	3,028.28	0.110	3,052.09	23.759
J-31	3,028.41	0.068	3,051.93	23.475
J-32	3,028.00	0.053	3,051.82	23.770
J-35	3,025.26	0.045	3,052.01	26.700
J-36	3,031.78	0.013	3,052.88	21.058

Fuente: Elaboración propia.

- La presión mínima fue de 7.87 m.
- La presión máxima obtenida fue de 34.75 m.

Tabla 6. Resultados de tuberías en Watercad.

ID	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Rugosidad	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Presión (Stop) (m H2O)	Presión (Start) (m H2O)	Notes
Tub-1	27	25.0	150.0	-0.957	1.949	24.256	22.876	1"
Tub-2	13	25.0	150.0	-0.997	2.032	25.159	24.256	1"
Tub-3	24	25.0	150.0	-1.036	2.110	28.371	25.159	1"
Tub-4	31	25.0	150.0	-1.093	2.226	31.586	28.371	1"
Tub-5	16	25.0	150.0	-1.141	2.325	34.754	31.586	1"
Tub-6	16	50.0	150.0	2.650	1.350	34.754	0.000	2"
Tub-7	17	25.0	150.0	0.600	1.222	20.487	20.239	1"
Tub-8	14	25.0	150.0	0.366	0.746	21.359	20.487	3/4 "
Tub-9	44	20.0	150.0	0.045	0.144	26.700	23.759	3/4 "
Tub-12	49	25.0	150.0	0.277	0.564	23.759	21.359	3/4 "
Tub-13	25	20.0	150.0	0.026	0.082	27.311	29.463	3/4 "
Tub-14	36	25.0	150.0	0.817	1.664	29.463	34.041	1"
Tub-15	75	20.0	150.0	0.518	1.648	28.634	34.041	3/4 "
Tub-16	14	25.0	150.0	-0.544	1.108	29.132	28.634	1"
Tub-17	38	25.0	150.0	0.597	1.216	29.132	28.807	1"
Tub-18	45	25.0	150.0	0.682	1.390	28.807	29.463	1"
Tub-19	53	25.0	150.0	0.915	1.863	22.876	28.634	1"
Tub-20	5	25.0	150.0	1.454	2.962	34.041	34.754	1"
Tub-21	36	25.0	150.0	0.959	1.954	13.640	22.876	1"
Tub-22	38	20.0	150.0	0.209	0.666	9.454	13.640	3/4 "
Tub-23	9	20.0	150.0	0.161	0.511	9.144	9.454	3/4 "
Tub-24	37	25.0	150.0	0.113	0.230	8.824	9.144	3/4 "
Tub-25	36	20.0	150.0	0.037	0.118	7.871	8.824	3/4 "
Tub-26	4	25.0	150.0	0.669	1.363	13.831	13.640	1"
Tub-27	47	20.0	150.0	0.122	0.389	13.470	13.831	3/4 "
Tub-28	36	20.0	150.0	0.037	0.117	11.813	13.470	3/4 "
Tub-29	34	25.0	150.0	0.167	0.341	18.996	20.487	3/4 "
Tub-30	35	20.0	150.0	0.388	1.235	16.610	18.996	3/4 "
Tub-31	75	25.0	150.0	0.173	0.353	10.000	16.610	3/4 "

ID	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Rugosidad	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Presión (Stop) (m H2O)	Presión (Start) (m H2O)	Notes
Tub-32	46	20.0	150.0	0.048	0.152	8.230	10.000	3/4 "
Tub-33	49	20.0	150.0	0.050	0.161	20.504	16.610	3/4 "
Tub-34	15	20.0	150.0	0.121	0.385	23.475	23.759	3/4 "
Tub-35	51	20.0	150.0	0.053	0.169	23.770	23.475	3/4 "
Tub-38	12	20.0	150.0	0.013	0.040	21.058	21.359	3/4 "
Tub-39	98	25.0	150.0	0.393	0.800	18.996	13.831	1"
Tub-40	85	25.0	150.0	0.705	1.436	20.239	22.876	1"

Fuente: Elaboración propia.

- La velocidad mínima calculada de 0.04 m/s.
- La velocidad máxima obtenida fue de 2.96 m/s.
- Los diámetros varían entre 3/4" y 1".

Tabla 7. Resultado de nodos en Epanet.

ID Nudo	Cota (m)	Demanda (L/s)	Altura (m)	Presión (m)
Nudo J-1	3050	0.03	3077.37	27.31
Nudo J-2	3047.86	0.11	3077.38	29.46
Nudo J-3	3047.61	0.12	3081.72	34.04
Nudo J-4	3041.46	0.15	3070.15	28.64
Nudo J-5	3041.76	0.05	3070.95	29.13
Nudo J-6	3044.64	0.09	3073.5	28.81
Nudo J-7	3039.33	0.21	3062.25	22.88
Nudo J-8	3042.24	0.04	3066.55	24.26
Nudo J-9	3043.62	0.04	3068.83	25.16
Nudo J-10	3044.96	0.06	3073.39	28.37
Nudo J-11	3048.08	0.05	3079.73	31.59
Nudo J-13	3048.60	0.05	3083.42	34.75
Nudo J-14	3042.76	0.08	3056.43	13.64
Nudo J-15	3045.85	0.05	3055.32	9.45
Nudo J-16	3046.00	0.05	3055.16	9.14
Nudo J-17	3046.21	0.08	3055.05	8.82
Nudo J-18	3047.12	0.04	3055.01	7.87
Nudo J-19	3042.23	0.15	3056.09	13.83
Nudo J-20	3042.09	0.09	3055.59	13.47
Nudo J-21	3043.71	0.04	3055.54	11.81

ID Nudo	Cota (m)	Demanda (L/s)	Altura (m)	Presión (m)
Nudo J-22	3034.00	0.17	3053.03	19
Nudo J-23	3032.72	0.07	3053.25	20.49
Nudo J-24	3034.10	0.11	3054.38	20.24
Nudo J-25	3033.27	0.16	3049.91	16.61
Nudo J-26	3039.38	0.13	3049.4	10
Nudo J-27	3041.06	0.05	3049.31	8.23
Nudo J-28	3029.27	0.05	3049.81	20.5
Nudo J-29	3031.48	0.08	3052.88	21.36
Nudo J-30	3028.28	0.11	3052.09	23.76
Nudo J-31	3028.41	0.07	3051.94	23.48
Nudo J-32	3028.00	0.05	3051.82	23.77
Nudo J-35	3025.26	0.05	3052.01	26.7
Nudo J-36	3031.78	0.01	3052.88	21.06
Embalse R-1	3084.00	-2.65	3084.00	0

Fuente: Elaboración propia.

- La presión mínima fue de 7.87 m.
- La presión máxima obtenida fue de 34.75 m.

Tabla 8. Resultados de tuberías en Epanet.

ID Línea	Longitud (m)	Díámetro (mm)	Rugosidad	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Pérdida Unit.	Estado
Tubería Tub-1	26.5140004	25	150	-0.96	1.95	162.13	Abierta
Tubería Tub-2	13.0077825	25	150	-1	2.03	175.17	Abierta
Tubería Tub-3	24.2838218	25	150	-1.04	2.11	187.92	Abierta
Tubería Tub-4	30.566061	25	150	-1.09	2.23	207.39	Abierta
Tubería Tub-5	16.4312267	25	150	-1.14	2.32	224.79	Abierta
Tubería Tub-6	15.8157382	50	150	2.65	1.35	36.57	Abierta
Tubería Tub-7	16.5797636	25	150	0.6	1.22	68.29	Abierta
Tubería Tub-8	13.5815715	25	150	0.37	0.75	27.37	Abierta
Tubería Tub-9	43.663374	20	150	0.05	0.14	1.68	Abierta
Tubería Tub-12	48.68631499	25	150	0.28	0.56	16.29	Abierta
Tubería Tub-13	24.8162102	20	150	0.03	0.08	0.59	Abierta
Tubería Tub-14	35.8715136	25	150	0.82	1.66	121.02	Abierta
Tubería Tub-15	75.0385464	20	150	0.52	1.65	154.19	Abierta
Tubería Tub-16	13.970166	25	150	-0.54	1.11	56.93	Abierta

ID Línea	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Rugosidad	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Pérdida Unit.	Estado
Tubería Tub-17	37.7197755	25	150	0.6	1.22	67.74	Abierta
Tubería Tub-18	44.7321839	25	150	0.68	1.39	86.71	Abierta
Tubería Tub-19	52.9549869	25	150	0.91	1.86	149.24	Abierta
Tubería Tub-20	4.82893696	25	150	1.45	2.96	352.15	Abierta
Tubería Tub-21	35.7336399	25	150	0.96	1.95	162.92	Abierta
Tubería Tub-22	38.413262	20	150	0.21	0.67	28.84	Abierta
Tubería Tub-23	8.84944894	20	150	0.16	0.51	17.63	Abierta
Tubería Tub-24	37.2655031	25	150	0.11	0.23	3.1	Abierta
Tubería Tub-25	36.0058678	20	150	0.04	0.12	1.17	Abierta
Tubería Tub-26	4.06347321	25	150	0.67	1.36	83.58	Abierta
Tubería Tub-27	46.9735477	20	150	0.12	0.39	10.66	Abierta
Tubería Tub-28	35.7167139	20	150	0.04	0.12	1.16	Abierta
Tubería Tub-29	33.9352837	25	150	0.17	0.34	6.41	Abierta
Tubería Tub-30	34.5219738	20	150	0.39	1.23	90.37	Abierta
Tubería Tub-31	75.4888715	25	150	0.17	0.35	6.85	Abierta
Tubería Tub-32	46.1205405	20	150	0.05	0.15	1.86	Abierta
Tubería Tub-33	48.8729409	20	150	0.05	0.16	2.07	Abierta
Tubería Tub-34	14.5630414	20	150	0.12	0.39	10.44	Abierta
Tubería Tub-35	51.3047493	20	150	0.05	0.17	2.27	Abierta
Tubería Tub-38	12.203099	20	150	0.01	0.04	0.17	Abierta
Tubería Tub-39	97.9766842	25	150	0.39	0.8	31.16	Abierta
Tubería Tub-40	85.348917	25	150	0.71	1.44	92.14	Abierta

Fuente: Elaboración propia.

- La velocidad mínima calculada de 0.04 m/s.
- La velocidad máxima obtenida fue de 2.96 m/s.
- Los diámetros varían entre 3/4" y 1".

Tabla 9. Resultados de nodos en QGis.

Etiqueta	Cota (m)	Demanda (l/s)	Presión (m)	Gradiente Hidráulico (m)
J-1	3050	0.026	27.311	3077.37
J-2	3047.86	0.109	29.463	3077.38
J-3	3047.61	0.12	34.041	3081.72
J-4	3041.46	0.147	28.634	3070.15
J-5	3041.76	0.053	29.132	3070.95

J-6	3044.64	0.085	28.807	3073.5
J-7	3039.33	0.207	22.876	3062.25
J-8	3042.24	0.041	24.256	3066.55
J-9	3043.62	0.039	25.159	3068.83
J-10	3044.96	0.057	28.371	3073.39
J-11	3048.08	0.049	31.586	3079.73
J-13	3048.6	0.055	34.754	3083.42
J-14	3042.76	0.081	13.64	3056.43
J-15	3045.85	0.049	9.454	3055.32
J-16	3046	0.048	9.144	3055.16
J-17	3046.21	0.076	8.824	3055.05
J-18	3047.12	0.037	7.871	3055
J-19	3042.23	0.154	13.831	3056.09
J-20	3042.09	0.085	13.47	3055.59
J-21	3043.71	0.037	11.813	3055.54
J-22	3034	0.172	18.996	3053.03
J-23	3032.72	0.066	20.487	3053.25
J-24	3034.1	0.105	20.239	3054.38
J-25	3033.27	0.164	16.61	3049.91
J-26	3039.38	0.126	10.00	3049.4
J-27	3041.06	0.048	8.23	3049.31
J-28	3029.27	0.05	20.504	3049.81
J-29	3031.48	0.077	21.359	3052.88
J-30	3028.28	0.11	23.759	3052.09
J-31	3028.41	0.068	23.475	3051.93
J-32	3028	0.053	23.77	3051.82
J-35	3025.26	0.045	26.7	3052.01
J-36	3031.78	0.013	21.058	3052.88

Fuente: Elaboración propia.

- La presión mínima fue de 7.87 m.
- La presión máxima obtenida fue de 34.75 m.

Tabla 10. Resultados de tuberías en QGis.

Etiqueta	Longitud (m)	Diámetro (pulg)	Rugosidad	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
Tub-1	27	1"	150	-0.957	1.949
Tub-2	13	1"	150	-0.997	2.032
Tub-3	24	1"	150	-1.036	2.11
Tub-4	31	1"	150	-1.093	2.226
Tub-5	16	1"	150	-1.141	2.325
Tub-6	16	2"	150	2.65	1.35

Etiqueta	Longitud (m)	Diámetro (pulg)	Rugosidad	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
Tub-7	17	1"	150	0.6	1.222
Tub-8	14	3/4 "	150	0.366	0.746
Tub-9	44	3/4 "	150	0.045	0.144
Tub-12	49	3/4 "	150	0.277	0.564
Tub-13	25	3/4 "	150	0.026	0.082
Tub-14	36	1"	150	0.817	1.664
Tub-15	75	3/4 "	150	0.518	1.648
Tub-16	14	1"	150	-0.544	1.108
Tub-17	38	1"	150	0.597	1.216
Tub-18	45	1"	150	0.682	1.39
Tub-19	53	1"	150	0.915	1.863
Tub-20	5	1"	150	1.454	2.962
Tub-21	36	1"	150	0.959	1.954
Tub-22	38	3/4 "	150	0.209	0.666
Tub-23	9	3/4 "	150	0.161	0.511
Tub-24	37	3/4 "	150	0.113	0.23
Tub-25	36	3/4 "	150	0.037	0.118
Tub-26	4	1"	150	0.669	1.363
Tub-27	47	3/4 "	150	0.122	0.389
Tub-28	36	3/4 "	150	0.037	0.117
Tub-29	34	3/4 "	150	0.167	0.341
Tub-30	35	3/4 "	150	0.388	1.235
Tub-31	75	3/4 "	150	0.173	0.353
Tub-32	46	3/4 "	150	0.048	0.152
Tub-33	49	3/4 "	150	0.05	0.161
Tub-34	15	3/4 "	150	0.121	0.385
Tub-35	51	3/4 "	150	0.053	0.169
Tub-38	12	3/4 "	150	0.013	0.04
Tub-39	98	1"	150	0.393	0.8
Tub-40	85	1"	150	0.705	1.436

Fuente: Elaboración propia.

- La velocidad mínima calculada de 0.04 m/s.
- La velocidad máxima obtenida fue de 2.96 m/s.
- Los diámetros varían entre 3/4" y 1".

### Resultados de diseño

En términos generales, los resultados en las tres herramientas computacionales utilizadas se pueden resumir de la siguiente manera:

- La red de distribución resultante es de tipo mixta, teniendo partes en una configuración cerrada, y otras partes en configuración abierta o ramal.
- En los tramos cerrados, el diseño hidráulico da como resultados un diámetro de 1 pulgada, mientras que en los tramos ramales, el diámetro calculado es de 3/4 de pulgada. Esta configuración se cumple dentro de las tres herramientas utilizadas.
- La velocidad mínima reportada fue de 0.04 m/s, en el programa Watercad, en la tubería 38.
- La velocidad máxima fue de 2.962 m/s, reportada por el programa Watercad, en la tubería en la tubería 20.
- El caudal mínimo en las tuberías resultó en 1.14 l/s, reportado por el programa Epanet, en la tubería 5.
- El caudal máximo es de 1.454 l/s, reportado por el programa Watercad, en la tubería 20.
- La presión mínima del sistema fue de 7.78 m.c.a., ubicada en el nodo J – 18, reportado por el programa QGis. Por su parte, la presión máxima fue de 34.814 m.c.a. en el nodo J – 13, también dentro del programa QGis.

#### **4.3. Comparación de resultados de las herramientas computacionales**

A continuación, se muestra el nivel de incidencia de los resultados obtenidos entre los diferentes programas. La tabla 11 muestra el nivel de coincidencia para los cálculos de velocidad en las tuberías de la red de distribución, mientras que la tabla 12 muestra los resultados en relación al caudal calculado. Por su parte, el nivel de coincidencia para las presiones calculadas en los nodos es mostrado en la tabla 13. Finalmente, la tabla 14 muestra la comparación entre los datos del reservorio utilizado para el modelado de la red.

Tabla 11. Nivel de coincidencia en resultados de velocidad

Etiqueta	Diámetro	Velocidad (m/s)			Nivel de coincidencia		
		WaterCAD	Epanet	QGIS	WaterCAD	Epanet	QGIS
TuberíaTub-1	1"	1.949	1.950	1.950	100.00%	100.05%	100.05%
TuberíaTub-2	1"	2.032	2.030	2.034	100.00%	99.90%	100.08%
TuberíaTub-3	1"	2.110	2.110	2.113	100.00%	100.00%	100.14%
TuberíaTub-4	1"	2.226	2.230	2.229	100.00%	100.18%	100.14%
TuberíaTub-5	1"	2.325	2.320	2.329	100.00%	99.78%	100.17%
TuberíaTub-6	2"	1.350	1.350	1.351	100.00%	100.00%	100.05%
TuberíaTub-7	1"	1.222	1.220	1.223	100.00%	99.84%	100.12%
TuberíaTub-8	3/4 "	0.746	0.750	0.746	100.00%	100.54%	99.95%
TuberíaTub-9	3/4 "	0.144	0.140	0.143	100.00%	97.22%	99.47%
TuberíaTub-12	3/4 "	0.564	0.560	0.562	100.00%	99.29%	99.69%
TuberíaTub-13	3/4 "	0.082	0.080	0.083	100.00%	97.56%	100.93%
TuberíaTub-14	1"	1.664	1.660	1.662	100.00%	99.76%	99.85%
TuberíaTub-15	3/4 "	1.648	1.650	1.649	100.00%	100.12%	100.09%
TuberíaTub-16	1"	1.108	1.110	1.105	100.00%	100.18%	99.76%
TuberíaTub-17	1"	1.216	1.220	1.213	100.00%	100.33%	99.78%
TuberíaTub-18	1"	1.390	1.390	1.387	100.00%	100.00%	99.75%
TuberíaTub-19	1"	1.863	1.860	1.862	100.00%	99.84%	99.92%
TuberíaTub-20	1"	2.962	2.960	2.962	100.00%	99.93%	99.99%
TuberíaTub-21	1"	1.954	1.950	1.953	100.00%	99.80%	99.92%
TuberíaTub-22	3/4 "	0.666	0.670	0.668	100.00%	100.60%	100.37%
TuberíaTub-23	3/4 "	0.511	0.510	0.512	100.00%	99.80%	100.29%
TuberíaTub-24	3/4 "	0.230	0.230	0.230	100.00%	100.00%	100.09%
TuberíaTub-25	3/4 "	0.118	0.120	0.118	100.00%	101.69%	99.81%
TuberíaTub-26	1"	1.363	1.360	1.360	100.00%	99.78%	99.76%
TuberíaTub-27	3/4 "	0.389	0.390	0.388	100.00%	100.26%	99.83%

Etiqueta	Diámetro	Velocidad (m/s)			Nivel de coincidencia		
		WaterCAD	Epanet	QGIS	WaterCAD	Epanet	QGIS
TuberíaTub-28	3/4 "	0.117	0.120	0.118	100.00%	102.56%	100.66%
TuberíaTub-29	3/4 "	0.341	0.340	0.343	100.00%	99.71%	100.69%
TuberíaTub-30	3/4 "	1.235	1.230	1.235	100.00%	99.60%	100.00%
TuberíaTub-31	3/4 "	0.353	0.350	0.354	100.00%	99.15%	100.42%
TuberíaTub-32	3/4 "	0.152	0.150	0.153	100.00%	98.68%	100.52%
TuberíaTub-33	3/4 "	0.161	0.160	0.159	100.00%	99.38%	98.85%
TuberíaTub-34	3/4 "	0.385	0.390	0.385	100.00%	101.30%	100.04%
TuberíaTub-35	3/4 "	0.169	0.170	0.169	100.00%	100.59%	99.82%
TuberíaTub-38	3/4 "	0.040	0.040	0.041	100.00%	100.00%	103.45%
TuberíaTub-39	1"	0.800	0.800	0.797	100.00%	100.00%	99.68%
TuberíaTub-40	1"	1.436	1.440	1.437	100.00%	100.28%	100.09%
<b>Promedio:</b>					<b>100.00%</b>	<b>99.94%</b>	<b>100.12%</b>

Fuente: Elaboración propia.

En relación a la velocidad, podemos observar la siguiente información:

- El promedio general de coincidencia es de un 99.94% para el programa Epanet, y de 100.12% para el programa QGIS, lo que representa una variación de 0.06% y de 0.12% respecto a Watercad.
- De manera individual, el menor porcentaje de coincidencia entre Epanet y Watercad resulto ser de 97.22% para el cálculo de velocidad en la tubería 9, lo que representa una variación del 2.78%.
- Por su parte, entre el programa QGIS y Watercad, el menor porcentaje de coincidencia fue de 103.45%, lo que representa una variación del 3.45%, encontrado en el resultado de la velocidad en la tubería 38.
- Así mismo, entre los programas Epanet y QGIS, la mayor variación encontrada fue de 3.45% en la velocidad de la tubería 38.

La figura 50 muestra la relación grafica entre los resultados obtenidos.

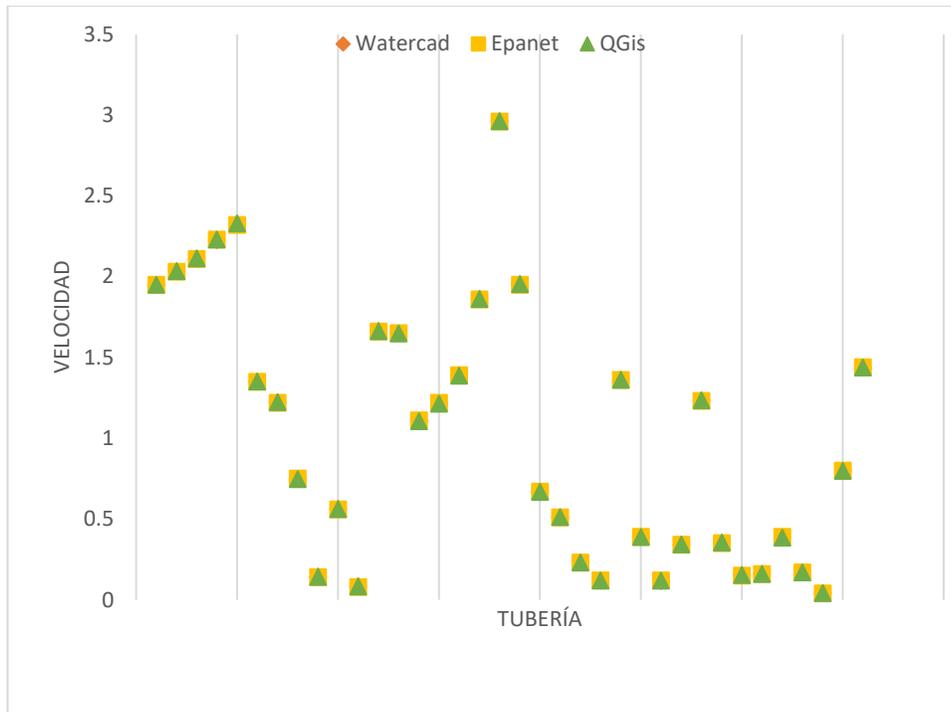


Figura 50. Relación de resultados de Velocidad.  
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. Nivel de coincidencia en resultados de caudal.

Etiqueta	Diámetro	Caudal (L/s)			Nivel de coincidencia		
		WaterCAD	Epanet	QGIS	WaterCAD	Epanet	QGIS
TuberíaTub-1	1"	-0.957	-0.960	-0.957	100.00%	100.31%	100.02%
TuberíaTub-2	1"	-0.997	-1.000	-0.998	100.00%	100.30%	100.12%
TuberíaTub-3	1"	-1.036	-1.040	-1.037	100.00%	100.39%	100.12%
TuberíaTub-4	1"	-1.093	-1.090	-1.094	100.00%	99.73%	100.11%
TuberíaTub-5	1"	-1.141	-1.140	-1.143	100.00%	99.91%	100.19%
TuberíaTub-6	2"	2.650	2.650	2.652	100.00%	100.00%	100.08%
TuberíaTub-7	1"	0.600	0.600	0.601	100.00%	100.00%	100.09%
TuberíaTub-8	3/4 "	0.366	0.370	0.366	100.00%	101.09%	100.00%
TuberíaTub-9	3/4 "	0.045	0.050	0.045	100.00%	111.11%	100.00%
TuberíaTub-12	3/4 "	0.277	0.280	0.276	100.00%	101.08%	99.64%
TuberíaTub-13	3/4 "	0.026	0.030	0.026	100.00%	115.38%	100.00%
TuberíaTub-14	1"	0.817	0.820	0.816	100.00%	100.37%	99.83%
TuberíaTub-15	3/4 "	0.518	0.520	0.518	100.00%	100.39%	100.03%

Etiqueta	Diámetro	Caudal (L/s)			Nivel de coincidencia		
		WaterCAD	Epanet	QGIS	WaterCAD	Epanet	QGIS
TuberíaTub-16	1"	-0.544	-0.540	-0.543	100.00%	99.26%	99.74%
TuberíaTub-17	1"	0.597	0.600	0.596	100.00%	100.50%	99.77%
TuberíaTub-18	1"	0.682	0.680	0.681	100.00%	99.71%	99.80%
TuberíaTub-19	1"	0.915	0.910	0.914	100.00%	99.45%	99.87%
TuberíaTub-20	1"	1.454	1.450	1.454	100.00%	99.72%	99.99%
TuberíaTub-21	1"	0.959	0.960	0.958	100.00%	100.10%	99.94%
TuberíaTub-22	3/4 "	0.209	0.210	0.210	100.00%	100.48%	100.48%
TuberíaTub-23	3/4 "	0.161	0.160	0.161	100.00%	99.38%	100.00%
TuberíaTub-24	3/4 "	0.113	0.110	0.113	100.00%	97.35%	100.00%
TuberíaTub-25	3/4 "	0.037	0.040	0.037	100.00%	108.11%	100.00%
TuberíaTub-26	1"	0.669	0.670	0.667	100.00%	100.15%	99.77%
TuberíaTub-27	3/4 "	0.122	0.120	0.122	100.00%	98.36%	100.00%
TuberíaTub-28	3/4 "	0.037	0.040	0.037	100.00%	108.11%	100.00%
TuberíaTub-29	3/4 "	0.167	0.170	0.169	100.00%	101.80%	100.93%
TuberíaTub-30	3/4 "	0.388	0.390	0.388	100.00%	100.52%	100.00%
TuberíaTub-31	3/4 "	0.173	0.170	0.174	100.00%	98.27%	100.58%
TuberíaTub-32	3/4 "	0.048	0.050	0.048	100.00%	104.17%	100.00%
TuberíaTub-33	3/4 "	0.050	0.050	0.050	100.00%	100.00%	100.00%
TuberíaTub-34	3/4 "	0.121	0.120	0.121	100.00%	99.17%	100.00%
TuberíaTub-35	3/4 "	0.053	0.050	0.053	100.00%	94.34%	100.00%
TuberíaTub-38	3/4 "	0.013	0.010	0.013	100.00%	76.92%	100.00%
TuberíaTub-39	1"	0.393	0.390	0.391	100.00%	99.24%	99.61%
TuberíaTub-40	1"	0.705	0.710	0.706	100.00%	100.71%	100.08%
<b>Promedio:</b>					100.00%	100.44%	100.02%

Fuente: Elaboración propia.

En relación al caudal calculado en las tuberías de la red de distribución, se observa lo siguiente:

- El promedio general de coincidencia es de un 100.44% para el programa Epanet, y de 100.02% para el programa QGis, lo que representa una variación de 0.44% y de 0.02% en comparación al programa Watercad, respectivamente.

- Individualmente, el menor porcentaje de coincidencia entre Epanet y Watercad resulto ser de 76.92% para el caudal calculado en la tubería 38, lo que representa una variación del 23.08%.
- Por su parte, entre el programa QGis y Watercad, el menor porcentaje de coincidencia fue de 100.93%, lo que representa una variación del 0.93%, encontrado en el resultado de la tubería 29.
- De manera similar, entre los programas Epanet y QGis, la mayor variación encontrada fue de 30% en el caudal de la tubería 38, seguido de un 13.33% de variación en el caudal calculado en la tubería 13.

La figura 51 muestra la relación entre los resultados obtenidos de caudal en las tres herramientas.

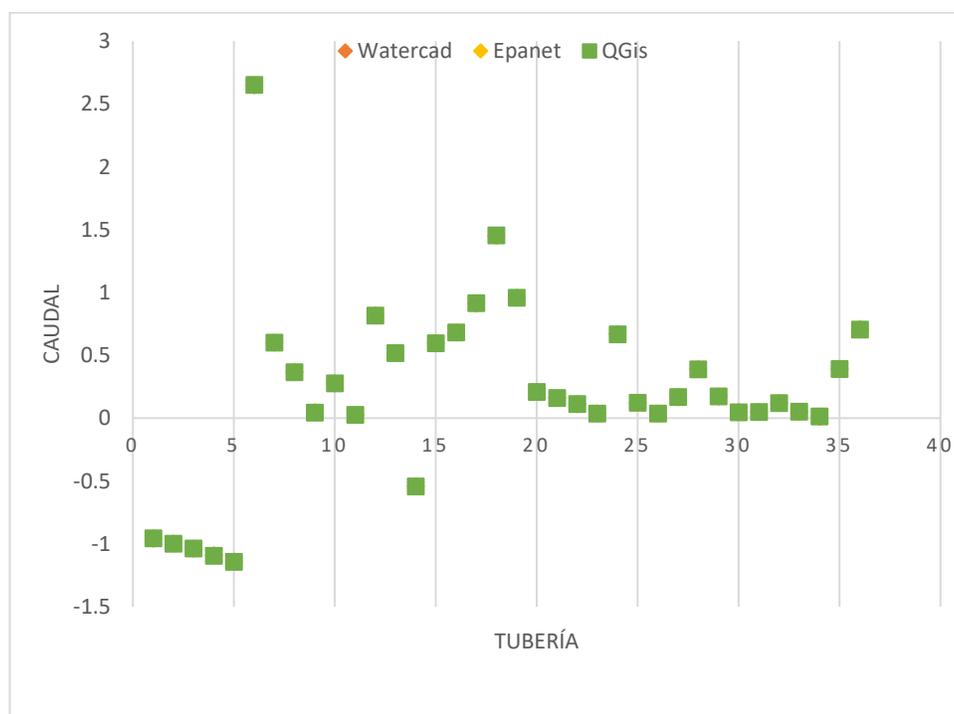


Figura 51. Relación de resultados de Caudal.  
Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Nivel de coincidencia en los resultados de presión en nodos

Etiqueta	Presión (m.c.a.)			Nivel de coincidencia de presión en los nodos		
	WaterCAD	Epanet	QGIS	WaterCAD	Epanet	QGIS
Nudo J-1	27.311	27.31	27.30	100.00%	100.00%	99.94%
Nudo J-2	29.463	29.46	29.45	100.00%	99.99%	99.96%
Nudo J-3	34.041	34.04	34.04	100.00%	100.00%	100.01%
Nudo J-4	28.634	28.64	28.61	100.00%	100.02%	99.92%
Nudo J-5	29.132	29.13	29.10	100.00%	99.99%	99.90%
Nudo J-6	28.807	28.81	28.79	100.00%	100.01%	99.93%
Nudo J-7	22.876	22.88	22.85	100.00%	100.02%	99.87%
Nudo J-8	24.256	24.26	24.32	100.00%	100.02%	100.26%
Nudo J-9	25.159	25.16	25.22	100.00%	100.00%	100.24%
Nudo J-10	28.371	28.37	28.40	100.00%	100.00%	100.10%
Nudo J-11	31.586	31.59	31.73	100.00%	100.01%	100.44%
Nudo J-13	34.754	34.75	34.81	100.00%	99.99%	100.17%
Nudo J-14	13.640	13.64	13.56	100.00%	100.00%	99.40%
Nudo J-15	9.454	9.45	9.37	100.00%	99.96%	99.08%
Nudo J-16	9.144	9.14	9.06	100.00%	99.96%	99.05%
Nudo J-17	8.824	8.82	8.73	100.00%	99.95%	98.96%
Nudo J-18	7.871	7.87	7.78	100.00%	99.99%	98.85%
Nudo J-19	13.831	13.83	13.76	100.00%	99.99%	99.45%
Nudo J-20	13.470	13.47	13.40	100.00%	100.00%	99.46%
Nudo J-21	11.813	11.81	11.73	100.00%	99.97%	99.34%
Nudo J-22	18.996	19.00	18.95	100.00%	100.02%	99.75%
Nudo J-23	20.487	20.49	20.45	100.00%	100.01%	99.82%
Nudo J-24	20.239	20.24	20.23	100.00%	100.00%	99.97%
Nudo J-25	16.610	16.61	16.52	100.00%	100.00%	99.43%
Nudo J-26	10.000	10.00	9.89	100.00%	100.00%	98.87%
Nudo J-27	8.230	8.23	8.12	100.00%	100.00%	98.67%
Nudo J-28	20.504	20.50	20.42	100.00%	99.98%	99.57%
Nudo J-29	21.359	21.36	21.31	100.00%	100.00%	99.76%
Nudo J-30	23.759	23.76	23.71	100.00%	100.00%	99.80%
Nudo J-31	23.475	23.48	23.43	100.00%	100.02%	99.79%
Nudo J-32	23.770	23.77	23.72	100.00%	100.00%	99.79%
Nudo J-35	26.700	26.70	26.66	100.00%	100.00%	99.84%
Nudo J-36	21.058	21.06	21.00	100.00%	100.01%	99.75%
			<b>Promedio:</b>	100.00%	100.00%	99.67%

Fuente: elaboración propia.

En relación a la presión en cada nodo de la red de distribución, encontramos las siguientes incidencias:

- El promedio general de coincidencia es de un 100% para el programa Epanet, y de 99.67% para el programa QGis, lo que representa una variación de 0% y de 0.23% en comparación al programa Watercad, respectivamente.
- Individualmente, el menor porcentaje de coincidencia entre Epanet y Watercad resulto ser de 99.95% para la presión disponible en el nodo J – 17, lo que representa una variación de 0.05%.
- Por su parte, entre el programa QGis y Watercad, el menor porcentaje de coincidencia fue de 98.67%, lo que representa una variación del 1.33%, ubicado en el nodo J – 27.
- Así mismo, entre los programas Epanet y QGis, la mayor variación encontrada fue de 1.33% en la presión calculada en el nodo J – 27.

La figura 52 muestra la relación de los resultados de presión en cada nodo mediante las tres herramientas utilizadas.

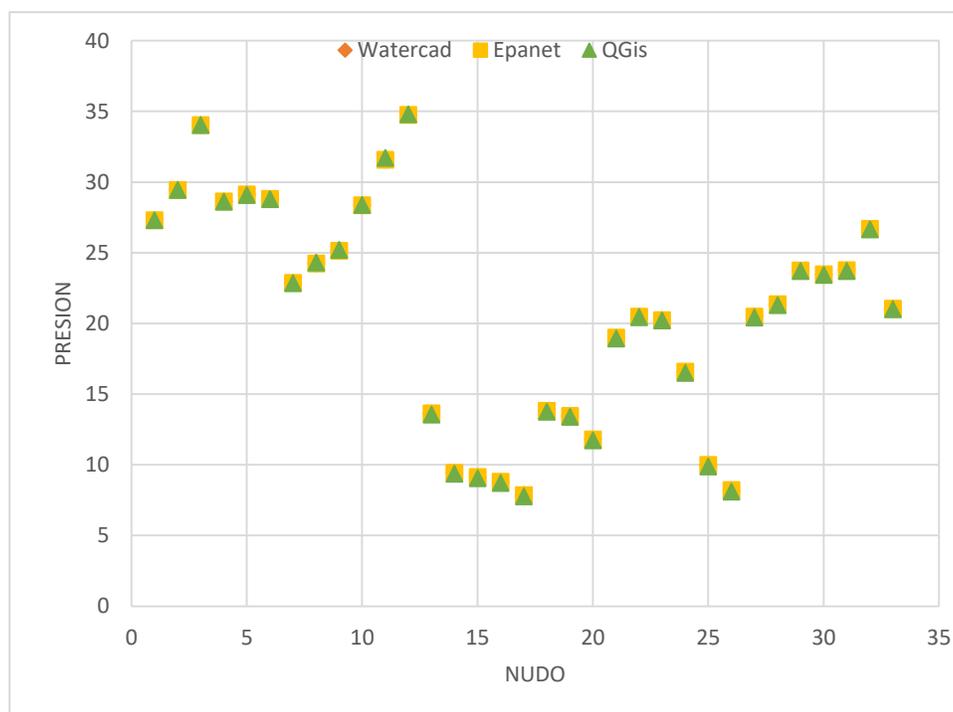


Figura 52. Relación de resultados de Presión.  
Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. Nivel de coincidencia de caudal en el reservorio

Etiqueta	Elevación (m)	Caudal (L/s)			Nivel de coincidencia de caudal en el reservorio		
		WaterCAD	Epanet	QGIS	WaterCAD	Epanet	QGIS
Embalse R-1	3084	2.65	-2.65	-2.65	100.00%	100.00%	100.00%

Fuente: elaboración propia.

Por su parte, en relación al reservorio utilizado en la simulación, se comprueba que los datos fueron idénticos en todos los casos analizados en las diferentes herramientas computacionales.

Finalmente, en las tablas 15 y 16 señalamos un resumen de las variaciones encontrados en las diferentes herramientas computacionales utilizadas en el presente proyecto.

Tabla 15. Resumen de variaciones promedio

Indicador	Variación promedio		
	Watercad / Epanet	Watercad - QGis	Epanet / QGis
Velocidad	0.06%	0.12%	0.19%
Caudal	0.44%	0.02%	0.09%
Presión	0.00%	0.23%	0.33%

Fuente: elaboración propia.

Tabla 16. Resumen de variaciones individuales

Indicador	Variación individual		
	Watercad / Epanet	Watercad - QGis	Epanet / QGis
Velocidad	2.78% - Tubería 9	3.45% - Tubería 38	3.45% - tubería 38
Caudal	23.08% - Tubería 38	0.93% - Tubería 29	30.00% - Tubería 38
Presión	0.05% - Nodo J - 17	1.33% - Nodo J - 27	1.33% - Nodo J - 27

Fuente: elaboración propia.

## V. DISCUSIÓN

Luego de haber obtenido los resultados de la investigación, hacemos una comparación con los antecedentes que sirvieron de consulta para el presente desarrollo.

**Objetivo general:** Evaluar el comportamiento hidráulico en la red de distribución de agua potable con herramientas computacionales en la comunidad de A.P.V El Bosque, Provincia de Urubamba – Cusco 2021.

Como se puede observar los valores determinados para el objetivo general son similares y utiliza la misma herramienta computacional Watercad, consistentes con los antecedentes; por consiguiente, el objetivo es alcanzado.

En cuanto a la investigación realizada por **Morante (2019)**, este realizó un modelo matemático en el programa WaterGems V8i con una red de abastecimiento de agua potable que abarcaba desde la captación del agua hasta su distribución final a la comunidad para ofrecer una alternativa de diseño frente a una red existente de más de 30 años de antigüedad, por lo que su funcionamiento era poco eficiente.

En este sentido, la presente investigación se realiza tomando en cuenta solo el sistema de distribución, pero de igual manera, se plantea una solución de diseño para abastecer de agua potable a una comunidad que actualmente presenta una red de abastecimiento en un estado deplorable que perjudica la calidad de vida de sus habitantes.

**Objetivo Especifico 1:** Determinar los criterios y parámetros de diseño que intervienen en el comportamiento hidráulico de la red de abastecimiento de agua potable de la comunidad de A.P.V El Bosque, Provincia de Urubamba – Cusco 2021.

En relación a la investigación que realizaron **Carhuapoma y Chahuayo (2019)**, quienes emplearon el programa Epanet para el modelado de una red de distribución de agua utilizando un algoritmo genético multiobjetivo a razón de obtener un diseño optimizado matemáticamente por el software, donde tuvieron

como resultado un diseño donde se emplean dos reservorios diferentes para dotar a la red de agua y atender zonas diferentes. Como tal, en la presente investigación también se utilizó la opción de diseño optimizado dentro del software Watercad, lo que garantizó la escogencia de los diámetros de la tubería que compone la red propuesta, aunque por el tamaño y características, fue suficiente realizar el diseño de la distribución partiendo de un solo reservorio de agua.

**Objetivo Específico 02:** Diseñar el modelo hidráulico de la red de abastecimiento de agua potable, mediante el uso de las herramientas EPANET, WaterCAD y QGis de la comunidad de A.P.V El Bosque, Provincia de Urubamba – Cusco 2021.

**Bravo (2017)**, en su proyecto de investigación, elaboró un modelo digital de la red de distribución con la herramienta Epanet a partir de la toma de datos en campo y de entrevistas al personal de la administración del gobierno parroquial.

En ello, la presente investigación difiere, puesto que los datos modelados fueron producto de una proyección de la población futura basada en cálculos estadísticos utilizando la tasa de crecimiento poblacional, al mismo tiempo que el consumo de la red se estimó por medio de los lineamientos encontrados en las normas de diseño de redes de distribución de agua potable.

Al respecto, que hecho la evaluación del comportamiento hidráulico y comparando los resultados, se demuestra que tienen coincidencias en mejorar las condiciones de la infraestructura particularmente la línea de conducción de las redes de agua existentes, en cuanto a los diámetros de las tuberías que se cuanta, la misma que permitirá conducir mayor flujo de agua, la cual permitirá cubrir la cobertura de agua en los lugares de estudio. Resultados que se han corroborado con el uso del software de modelamiento Epanet.

**Objetivo Específico 03:** Comparar las diferencias y similitudes del comportamiento hidráulico obtenido a través de EPANET, WaterCAD y QGis de la comunidad de A.P.V El Bosque, Provincia de Urubamba – Cusco 2021

Como se puede observar los valores determinados para el objetivo específico son similares y utiliza la misma herramienta computacional Watercad, consistentes con los antecedentes; por consiguiente, el objetivo es alcanzado.

En cuanto a la investigación de **Vera (2018)**, quien utilizó las herramientas computacionales Watercad, Epanet y QDis para realizar una evaluación del comportamiento hidráulico de una red de distribución, encontramos similitud en la presente investigación en cuanto a que se utilizaron dos de las mismas herramientas, siendo estas el programa Watercad y el programa Epanet. Así mismo, en este antecedente de investigación, el modelado supuso una evaluación de la red existente en la comunidad, mientras que en esta investigación se presenta una alternativa de diseño para una red futura.

Finalmente, en la investigación llevada a cabo por el autor confirma la similitud entre los resultados encontrados en las diferentes herramientas utilizadas, coincidiendo con lo encontrado en el presente trabajo.

## VI. CONCLUSIONES

1. Como resultado del trabajo de investigación, se evidencio la necesidad de la comunidad del A.P.V. El Bosque de contar con un sistema de abastecimiento de agua eficiente, que ayude a elevar su calidad de vida. La metodología empleada plantea el uso de herramientas computacionales como soluciones que permiten a los ingenieros proyectistas realizar estudios tecno económicos de manera eficiente y confiable, por lo que se espera que el uso de dichas herramientas se extienda y sean cabalmente reconocidos como soluciones optimas de diseño, permitiendo el desarrollo de propuestas de calidad en beneficio de la población.
2. Respecto a los criterios y parámetros de diseño, se analizaron los resultados puntuales de velocidad, presión y caudal calculados, donde si bien salen a relucir mayores diferencias entre lo calculado en cada programa, los órdenes de la magnitud de estas diferencias no comprometieron el funcionamiento general de la red en ningún caso. Asimismo, el sistema de red propuesto quedó conformado por un reservorio, una distribución por gravedad, y tuberías de PVC de diámetro 3/4" y 1", se corresponde con los utilizados en comunidades rurales de características similares a la estudiada, cuyo grado de complejidad reducido se espera sea acorde a la factibilidad de aplicación en la región de estudio. Por último, los cálculos de la dotación de agua, los diámetros empleados, y la presión disponible en los nodos cumplen con las disposiciones de las normas técnicas de diseño. Si bien es cierto que a velocidad en algunos tramos calculados resulta menor que lo indicado por la norma, al ser menores a 0.60 m/s, esta disposición se enfoca en evitar la acumulación de sedimentos en las tuberías, lo cual puede solucionarse al complementar el diseño con la adición de planes de limpieza periódica.
3. Las herramientas utilizadas en el presente trabajo, Watercad, Epanet y QGis, permiten el modelamiento de los diferentes componentes de una red de

distribución de agua, cuya incorporación permite que los resultados obtenidos sean lo más cercanos a la realidad. Si bien, el uso de las herramientas probadas ocurre de manera similar entre ellos, el programa que más capacidades salieron a relucir fue Watercad, gracias a su módulo de diseño optimizado, el cual facilita la selección de los diámetros de tubería a emplear. En el mismo orden de ideas, los tres programas aquí mostrados permiten al diseñador múltiples opciones de diseño a utilizar, como por ejemplo el método para estimación de pérdidas por fricción, la composición de redes abiertas o cerradas, o los materiales de los elementos empleados, todo ello lo cual permite su adaptabilidad a los lineamientos normativos pertinentes.

4. En relación a los cálculos en los modelos de la red de distribución propuesta, se obtuvieron resultados de diseño similares en las tres herramientas empleadas. Utilizando como punto de partida al modelo desarrollado en el programa Watercad, se encontró que las diferencias con los resultados calculados en Epanet y QGis fueron de manera general menores al 1%. Con este margen de diferencias, se asume que los cálculos realizados en cualquiera de los programas ofrecen resultados aceptables entre ellos.

## VII. RECOMENDACIONES

La presente investigación estuvo delimitada al sistema de distribución de agua potable, el cual va desde el reservorio hasta las conexiones domiciliarias, por tanto, no incluye lo referente a las obras de captación y de impulsión. En este sentido se recomienda el desarrollo de un proyecto integral con herramientas computarizadas, el cual abarque la totalidad del sistema de abastecimiento, lo cual permitiría la concepción de una solución completa a la problemática de la comunidad de la A.P.V. El Bosque.

Se recomienda que, al hacer uso de métodos computacionales, se debe tener muy presente la base teórica del diseño de redes de agua potable, ya que el diseñador debe observar la concordancia de los resultados obtenidos con los parámetros de diseño aceptables, además de ejercer una correcta interpretación de los resultados, lo que a su vez permite detectar errores en el modelo.

Respecto al proceso de recolección de datos, es aconsejable mantener un orden administrativo de la información, pues en el proceso de transcripción de los datos de campo a las herramientas computacionales, cualquier confusión dará lugar a resultados erróneos en el diseño.

En el mismo orden de ideas, se recomienda aprovechar la interoperabilidad encontrada en las herramientas computacionales para ser empleadas en combinación con sistemas de diseño con metodología BIM, las cuales ofrecen la posibilidad de incorporar análisis métodos constructivos, gerencia de la construcción, y de factibilidad económica, lo que amplía aún más las posibilidades de optimización de diseño.

En vista del franco desarrollo que ha tenido la zona de estudio en los últimos años, se recomienda un análisis de mayor profundidad de la estimación de la población futura a ser beneficiaria del sistema, dado que los últimos datos disponibles a la presente fecha son del censo realizado en el año 2017.

## REFERENCIAS

- ALA. (2017). *Administración Local del Agua Cusco*. Recuperado el 16 de abril de 2021, de <https://www.ana.gob.pe/organos-desconcentrados/aaa-urubamba-vilcanota/ala-cusco>
- ANA. (23 de marzo de 2021). *El agua en cifras*. Obtenido de <https://www.ana.gob.pe/contenido/el-agua-en-cifras>
- Anisha, G., Kumar, A., Ashok, J., & Suvarna, P. (4 de abril de 2016). Analysis and Design of Water Distribution Network Using EPANET for Chirala Municipality in Prakasam District of Andhra Pradesh. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*. Obtenido de [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/49446039/EPANET\\_CHIRALA.pdf?1475913107=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEPANET\\_CHIRALA.pdf&Expires=1619130900&Signature=Y51tULON6E8BaX4IbpZMBqN-DC8L9jh8s35meAeGfpbTmnhQAYguHzkcCzZ3Yz3tXVVvn0e0UE3oQA8](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/49446039/EPANET_CHIRALA.pdf?1475913107=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEPANET_CHIRALA.pdf&Expires=1619130900&Signature=Y51tULON6E8BaX4IbpZMBqN-DC8L9jh8s35meAeGfpbTmnhQAYguHzkcCzZ3Yz3tXVVvn0e0UE3oQA8)
- Ballestero, M., Arroyo, V., & Mejia, A. (2015). *Inseguridad económica del agua en latinoamérica: de la abundancia a la inseguridad*. Buenos Aires : CAF.
- Bravo, A. (2017). Modelación hidráulica de la red de distribución de agua potable de la parroquia El Retiro, Cantón Machala, provincia El Oro (Tesis de pregrado). *Universidad Técnica de Machala*. Machala.
- Carhuapoma, J., & Chahuayo, A. (2019). Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable en La Rinconada de Pamplona Alta, aplicando EPANET y algoritmos genéticos para la localización de válvulas reductoras de presión (Tesis de pregrado). *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas*. Lima.
- Carrasco, S. (2006). *Metodología de la investigación científica*. Lima: San Marcos.
- Carrasco, S. (2017). *Metodología de la investigación científica*. Lima: Editorial San Marcos.
- Comisión Nacional del Agua. (2016). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Diseño de Redes de Distribución de Agua Potable*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

- Coulibaly, H., & Santacruz, G. (2019). La visión africana del agua 2025 y la realidad sobre el acceso al agua para consumo humano en Mali, África. *Sociedad y Ambiente*, 7(20), 29-51.
- EPEM. (2018). *Pérdida de carga en tuberías*. Obtenido de <http://www.eepm.es/wp-content/uploads/2018/04/PRESSMAN-Pe%CC%81rdida-de-Carga-en-Tuberi%CC%81as.pdf>
- Elsheikh, M., Saleh, H., Rashuam, I., & El-Samadoni, M. (2018). Hydraulic modelling of water supply distribution for improving its quantity and quality. *Sustainable Environment Research*.
- Gávila, C. (2019). "El Perú tiene un enorme reto en cuanto a cobertura de agua y saneamiento" . *Constructivo*.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill.
- INAPA. (2018). *Reglamento tecnico para diseño de obras e instalaciones hidro-sanitario del INAPA*. Santo Domingo. Obtenido de [https://www.inapa.gob.do/phocadownload/Proyectos/Reglamentos\\_y\\_requerimientos\\_de\\_proyectos/ReglamentoTecnicoParaDisenoDeObrasElstalizacionesHidroSanitarias.pdf](https://www.inapa.gob.do/phocadownload/Proyectos/Reglamentos_y_requerimientos_de_proyectos/ReglamentoTecnicoParaDisenoDeObrasElstalizacionesHidroSanitarias.pdf)
- INEI. (2017). *Características de la Población*. Recuperado el 23 de marzo de 2021, de [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1539/cap01.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1539/cap01.pdf)
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). *Resultados definitivos de los censos nacionales 2017*. Perú.
- Jaramillo, R. (2019). Factores que contribuyen a la escasez de agua en Etiopía y Somalia. *Saber, Ciencia y Libertad*, 14(2), 63-74.
- MEF. (2004). *Parámetros de diseño de infraestructura de agua y saneamiento para centros poblados rurales*. Obtenido de [https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv\\_publica/docs/instrumentos\\_metod/saneamiento/\\_3\\_Parametros\\_de\\_dise\\_de\\_infraestructura\\_de\\_agua\\_y\\_saneamiento\\_CC\\_PP\\_rurales.pdf](https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/instrumentos_metod/saneamiento/_3_Parametros_de_dise_de_infraestructura_de_agua_y_saneamiento_CC_PP_rurales.pdf)

- Mejía, A., Castillo, O., & Vera, R. (2018). *Agua potable y saneamiento en la nueva ruralidad de América Latina*. Bogotá: CAF.
- Mena, M. (2016). Diseño de la red de distribución de agua potable de la parroquia El Rosario del cantón San Pedro de Pelileo, provincia de Tungurahua (Tesis de pregrado). *Universidad Técnica de Ambato*. Ambato.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *Resumen ejecutivo - Actualización del inventario de carácter básico de la red vial vecinal o rural - Departamentos de Cusco, Huanuco y Piura*. Perú. Recuperado de [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/documentos/Resumen\\_Ejecutivo\\_IVB\\_RVV\\_3DPTOS%20\\_\(RD\\_N%C2%BA\\_17-2018-MTC-14\).pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/documentos/Resumen_Ejecutivo_IVB_RVV_3DPTOS%20_(RD_N%C2%BA_17-2018-MTC-14).pdf).
- Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento. (2018). *Norma técnica de diseño: opciones tecnológicas para sistemas de saneamiento en el ámbito rural*. Recuperado de <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1743222/ANEXO%20RM%20192-2018-VIVIENDA%20B.pdf.pdf>.
- Ministerio del Ambiente. (2021). *Mapa climático del Perú*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/servicios/?p=mapa-climatico-del-peru>.
- Morante, C. (2019). Rediseño del sistema de abastecimiento de agua potable en la localidad de Sónдор, Huacabamba (Tesis de pregrado). *Universidad de Piura*. Piura.
- OMS. (12 de julio de 2017). *2100 millones de personas carecen de agua potable en el hogar y más del doble no disponen de saneamiento seguro*. Obtenido de <https://www.who.int/es/news/item/12-07-2017-2-1-billion-people-lack-safe-drinking-water-at-home-more-than-twice-as-many-lack-safe-sanitation>
- OMS. (14 de junio de 2019). *Agua*. Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- ONU. (6 de 4 de 2021). *Agua*. Obtenido de <https://www.un.org/es/global-issues/water>

- Perez, N. (2017). *Modelación del sistema de abasto de agua potable Santa Marta-Varadero empleando el software Epanet 2.0vE (Tesis de diploma)*. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas.
- Pérez, R., Roldán, J., Moeno, M., & García, S. (2018). Análisis del comportamiento hidráulico de la red de abastecimiento de la ciudad de Córdoba mediante EPANET. *Ingeniería del Agua*.
- Rasooli, A., & Kang, D. (2016). Designing of Hydraulically Balanced Water Distribution Network Based on GIS and EPANET. *International Journal of Advance Computer Science and Applications*. Obtenido de <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.739.8745&rep=rep1&type=pdf>
- RNE. (2006). *Norma OS.050*. Obtenido de [https://www3.vivienda.gob.pe/Direcciones/Documentos/RNE\\_Actualizado\\_Solo\\_Saneamiento.pdf](https://www3.vivienda.gob.pe/Direcciones/Documentos/RNE_Actualizado_Solo_Saneamiento.pdf)
- RNE. (2006). *Norma OS.100*. Obtenido de [https://www3.vivienda.gob.pe/Direcciones/Documentos/RNE\\_Actualizado\\_Solo\\_Saneamiento.pdf](https://www3.vivienda.gob.pe/Direcciones/Documentos/RNE_Actualizado_Solo_Saneamiento.pdf)
- Sedapal. (2014). *Plan maestro de los sistemas de agua potable y alcantarillado*. Obtenido de <https://www.sedapal.com.pe/storage/objects/anexo-a-modelamiento-hidraulico-ap.pdf>
- Seyoum, A., & Tanyimboh, T. (2017). Integration of Hydraulic and Water Quality Modelling in Distribution Networks: EPANET-PMX. *Water Resources Management*, 4485-4503. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-017-1760-0#citeas>
- Sonaje, N., & Joshi, M. (2015). A review of modeling and application of water distribution networks (WDN) Softwares. *International Journal of Technical Research and Applications*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Nitin-Sonaje/publication/282704415\\_A\\_REVIEW\\_OF\\_MODELING\\_AND\\_APPLICATION\\_OF\\_WATER\\_DISTRIBUTION\\_NETWORKS\\_WDN\\_SOFTWARE](https://www.researchgate.net/profile/Nitin-Sonaje/publication/282704415_A_REVIEW_OF_MODELING_AND_APPLICATION_OF_WATER_DISTRIBUTION_NETWORKS_WDN_SOFTWARE)

S/links/56193a9f08ae044edba8b20/A-REVIEW-OF-MODELING-AND-APPLICATION-OF-WATER-DISTRIBUTION-NETWORKS-WD

- Tamayo, M. (2003). *El proceso de la investigación científica*. México: Limusa, S.A.
- Tzatchkov, V., Alcocer, V., Bourguett, V., & Arreguin, F. (2014). *Avances en la hidráulica de redes de distribución de agua potable*. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Venkata, G., & Sudheer, V. (23 de febrero de 2018). Validation and Examination of Existing Water Distribution Network for Continuous Supply of Water Using EPANET. *Water Resources Management*. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-017-1889-x>
- Venkata, G., Sudheer, V., & Rajasekhar, B. (2015). Network analysis of water distribution system in rural areas using. *Procedia Engineering*, 496-505. Obtenido de [https://pdf.sciencedirectassets.com/278653/1-s2.0-S1877705815X00269/1-s2.0-S187770581502545X/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEOb%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEaCXVzLWVhc3QtMSJHMEUCIQCdRTVgOXIFPcBakAUX2arDaskb6pAuV8YiN748xHoTrglgRkUAVeKWS3Tm](https://pdf.sciencedirectassets.com/278653/1-s2.0-S1877705815X00269/1-s2.0-S187770581502545X/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEOb%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEaCXVzLWVhc3QtMSJHMEUCIQCdRTVgOXIFPcBakAUX2arDaskb6pAuV8YiN748xHoTrglgRkUAVeKWS3Tm)
- Vera, D. (2018). Evaluación del comportamiento hidráulico de redes de distribución de agua potable, mediante métodos computacionales convencionales en el Distrito de Chupaca (Tesis de Pregrado). *Universidad Nacional del Centro de Perú*. Huancayo.
- Vivienda. (2018). *Manual de operación y mantenimiento del sistema de agua potable y alcantarillado*. Cusco. Obtenido de [http://minos.vivienda.gob.pe:8081/Documentos\\_SICA/modulos/FTA/SECCION%20IV/4.14/889005501\\_02.%20Manual%20de%20O&M%20-%20Colquepata%20V.0.pdf](http://minos.vivienda.gob.pe:8081/Documentos_SICA/modulos/FTA/SECCION%20IV/4.14/889005501_02.%20Manual%20de%20O&M%20-%20Colquepata%20V.0.pdf)
- Vivienda. (2018). *Manual de red de distribución de agua potable*. Obtenido de [http://minos.vivienda.gob.pe:8081/Documentos\\_SICA/modulos/FTA/SECCION%20IV/4.14/1743059001\\_004%20Manual%20de%20Operacion%20y%20Mantenimiento.pdf](http://minos.vivienda.gob.pe:8081/Documentos_SICA/modulos/FTA/SECCION%20IV/4.14/1743059001_004%20Manual%20de%20Operacion%20y%20Mantenimiento.pdf)

WatDIS. (2021). *Watdis*. Obtenido de <https://watdis.com/>

## ANEXOS

### Anexo 1. Matriz de consistencia

<b>Proyecto: “Comportamiento Hidráulico en una red de distribución de agua potable con herramientas computacionales en la comunidad de APV El Bosque Provincia de Urubamba – Cusco, 2021”</b>					
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p><b>Problema General</b> ¿Cuál es el comportamiento Hidráulico en la red de distribución de agua potable con herramientas computacionales en la comunidad de A. P. V El Bosque, Provincia de Urubamba – Cusco 2021?</p> <p><b>Problemas Específicos</b> a) ¿Cuáles son los criterios y parámetros de diseño que intervienen en el comportamiento hidráulico de la red de abastecimiento de agua potable de la comunidad de A?P.V El Bosque, Provincia de Urubamba – Cusco 2021? b) ¿Cuál es el modelo hidráulico de la red de abastecimiento de agua potable con el uso de las herramientas EPANET, WaterCAD y QGis de la comunidad de A?P.V El Bosque, Provincia de Urubamba – Cusco 2021? c) ¿Cuáles son las diferencias y similitudes del comportamiento hidráulico obtenido a través de EPANET, WaterCAD y QGis , de la red de abastecimiento de agua potable de la comunidad de A.P.V El Bosque, Provincia de Urubamba – Cusco 2021?</p>	<p><b>Objetivo General</b> Evaluar el comportamiento hidráulico en la red de distribución de agua potable con herramientas computacionales en la comunidad de A.P.V El Bosque, Provincia de Urubamba – Cusco 2021</p> <p><b>Objetivos Específicos</b> a) Determinar los criterios y parámetros de diseño que intervienen en el comportamiento hidráulico de la red de abastecimiento de agua potable de la comunidad de A.P.V El Bosque, Provincia de Urubamba – Cusco 2021. b) Diseñar el modelo hidráulico de la red de abastecimiento de agua potable, mediante el uso de las herramientas EPANET, WaterCAD y QGis de la comunidad de A.P.V El Bosque, Provincia de Urubamba – Cusco 2021. c) Comparar las diferencias y similitudes del comportamiento hidráulico obtenido a través de EPANET, WaterCAD y QGis de la comunidad de A.P.V El Bosque, Provincia de Urubamba – Cusco 2021.</p>	<p><b>Hipótesis General</b> El comportamiento hidráulico en la red de distribución de agua potable obtenido con la herramienta EPANET es el más óptimo en la Comunidad APV El Bosque, Provincia de Urubamba – Cusco 2021.</p> <p><b>Hipótesis Especificas</b> a) Los parámetros de la red de abastecimiento de agua potable de la comunidad de A.P.V El Bosque no son los adecuados para el funcionamiento óptimo del sistema. b) Los modelos hidráulicos obtenidos a través de las herramientas EPANET, WaterCAD y QGis están en la capacidad de cubrir las demandas de la comunidad de A.P.V El Bosque, Provincia de Urubamba. c) Los comportamientos hidráulicos obtenidos a través de las herramientas EPANET, WaterCAD y QGis no difieren entre sí.</p>	<p><b>Variable Dependiente:</b> Comportamiento Hidráulico de redes de Distribución de agua potable</p> <p><b>Variable Independiente</b> Herramientas Computacionales</p>	<p>Presión Velocidad Diámetro Pérdida de carga en tuberías</p> <p>EPANET WaterCAD QGis</p>	<p><b>Método:</b> Deductivo</p> <p><b>Tipo de investigación:</b> Aplicada</p> <p><b>Diseño y nivel de investigación:</b> No experimental – Explicativa</p> <p><b>Población:</b> Sector Capillania en la comunidad de Palccaraqui, distrito de Urubamba.</p> <p><b>Muestra:</b> Población que comprende el A.P.V. El Bosque, conformada actualmente por 739 habitantes</p> <p><b>Técnica e instrumento</b> Observación directa Ficha de observación</p>

Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 2. Matriz de operacionalización

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicador	Escala de medición
<b>Independiente:</b> <b>Herramientas Computacionales</b>	Son softwares de diseño y optimización para redes de distribución de agua que abarcan desde las más simples a las más complejas. La elección del software a usar depende del presupuesto del proyecto y los datos requeridos por el software. (Sonaje & Joshi, 2015).	Herramientas que ofrecen modelado y simulación de redes hidráulicas, análisis de calidad de agua, modelamiento de componentes hidráulicos, entre otros. (Sonaje & Joshi, 2015).	EPANET	De Razón
			WaterCAD	De Razón
			QGis	De Razón
<b>Dependiente:</b> <b>Comportamiento Hidráulico de redes de Distribución de agua potable</b>	El análisis de comportamiento hidráulico de una red de agua potable expone el funcionamiento hidráulico y la capacidad hidráulica de la misma. Además de la identificación de zonas con problemas, lo que permite el mantenimiento o mejoramiento del sistema. (Sedapal, 2014).	A través del modelamiento hidráulico es posible hacer propuestas de mejoras en los sistemas primarios, ya sea a corto, mediano o largo plazo. (Sedapal, 2014).	Presión	$\leq 50$ m.c.a.
			Velocidad	$> 0.60$ m/s $< 3.00$ m/s
			Diámetro	$D > 12.50$ mm

Fuente: Elaboración propia.

### Anexo 3. Porcentaje de Muestras de Antecedentes

N°	AUTOR	TITULO	AÑO	SOFTWARE EMPLEADO	DIAMETRO DE TUBERIA DE LA RED DE DISTRIBUCION		PRESION (N/m <sup>2</sup> )		VELOCIDAD (m/s)	
					Conduccion	Distribucion	Minima	Maxima	Minima	Maxima
1	Bravo Quezada, Adriana Lisseth (Ecuador)	"Modelación hidráulica de la red de distribución de agua potable de la parroquia el retiro, Cantón Machala, Provincia El Oro."	2017	Epanet 2.0	3" 90 mm	2" 50 mm	1 m.c.a	3,84. m.c.a	0.03 m/seg	0.21 m/seg
2	Perez Suarez, Nilien Milagro	"Modelacion del Sistema de Abasto de Agua Potable Santa Maria-Varadero Empeando el Software EPANET 2.0vE."	2017	Epanet 2.0	6" 150 n.m	3" 2", 3/4" 1/2"	5.18 N/m2	94.50.98 n/m2	9.8 m/s	11.8 m/s
3	Mena Cespedes, Maria Jose (Ecuador)	Diseño de la red de distribución de agua potable de la parroquia El Rosario del cantón San Pedro de Pelileo, provincia de Tungurahua"	2016	Epanet 2.0	2" 50 m.m	1"3/4"1/2"	1 N/m2	50.33 N/m2	0.9 m/s	2.28 m/s
4	Morante Ramirez Carlos Andres	"Rediseño del sistema de abastecimiento de agua potable en la localidad de Sónдор, Huancabamba".	2019	Water Gems V8i	1", 1 1/2"	3/4"	29.46 N/m2	44.29 N/m2	0.50 l/s	1.69 m/s
5	Carhuapoma Mendoza, Jenny Claudia y Durán, Adolfo Rogers	"Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable en la rioncada de pamplona alta, aplicando EPANET y algoritmos genéticos para la localización de válvulas reductoras de presión"	2019	Epanet	6"	10" y 12"	9 N/m2	30 N/m2	0.1 l/s	1.88 l/s
6	Vera Pereyra, Domingo Martin	Evaluación del comportamiento hidráulico de redes de distribución de agua potable, mediante métodos computacionales convencionales en el Distrito de Chupaca	2018	Epanet	1 1/2"	3/4"	Nodo 1 5.18 N/m2	Nodo 94.50.98 N/m2	9.8 m/s	11.8 m/s
7	Venkata y Sudheer	"Validation and Examination of Existing Water Distribution Network for Continuous Supply of Water Using EPANET" Validación y examen de la red de distribución de agua existente para el suministro continuo de agua mediante EPANET	2018	Epanet, WaterGEMS y AutoCAD	1"	1 1/2"	20.15 N/m2	22.45 N/m2	0.6m/s	1.50 m/s
8	Anisha, Kumar, Ashok y Suvarna	"Analysis and Design of Water Distribution Network Using EPANET for Chirala Municipality in Prakasam District of Andhra Pradesh" Análisis y diseño de la red de distribución de agua utilizando EPANET para el municipio de Chirala en el distrito de Prakasam de Andhra Pradesh	2016	Epanet	2"	1" 3/4"	15.35 N/m2	16.46 N/m2	0.8 m/s	1.80 m/s
9	Venkata, Sudheer y Rajasekhar	"Network analysis of water distribution system in rural areas using EPANET" Análisis de red del sistema de distribución de agua en zonas rurales utilizando EPANET"	2015	Autocad, Epanet	2"	1" 3/4"	32.14 N/m2	33.16 N/m2	0.6 m/s	2.00 m/s
10	Seyoum y Tanyimbah	"Integration of Hydraulic and Water Quality Modelling in Distribution Networks: EPANET-PMX" Integración de Modelización Hidráulica y de Calidad del Agua en Redes de Distribución: EPANET-PMX"	2017	Epanet- PMX	1"	3/4"	12.15 N/m2	14.56 N/m2	0.9 m/s	1.90 m/s
11	Rasooli y Kang	"Designing of Hydraulically Balanced Water Distribution Network Based on GIS and EPANET" Diseño de una red de distribución de agua equilibrada hidráulicamente basada en GIS y EPANET"	2016	SIG y Epanet	6"	3"	15.67 N/m2	20.57 N/m2	0.8 m/s	1.50 m/s
12	Sonaje y Joshi	"A review of modeling and application of water distribution networks (WDN) softwares" "Una revisión del modelado y la aplicación de software de redes de distribución de agua (WDN)"	2015	Epanet, Branch y LOOP	4"	1/2"	20.56 N/m2	25.78 N/m2	0.5 m/s	2.0 m/s

## Anexo 4. INSTRUMENTOS VALIDADOS

### SIMULACION DE ANALISIS DE VALIDEZ DE FICHA DE RECOPIACION DE DATOS

PROYECTO : Comportamiento Hidráulico en la red de distribución de agua potable con herramientas computacionales en la comunidad de APV El Bosque Provincia de Urubamba – Cusco, 2021						valoracion de 0 a 1
AUTOR: Jorge Luis, ALVAREZ SERRANO						
I.-	INFORMACION GENERAL:					1.00
	UBICACIÓN					
	Comunidad	A.P.V el Bosque - Palccaraqui	ALTITUD:	2902 msnm		
	PROVINCIA:	Urubamba	SUR:	13°17'50.05" m		
	REGION:	Cusco	OESTE:	72°7'46.62"		
II.-	HERRAMIENTA COMPUTACIONAL CON WATERCAD					0.80
	Se procedera al uso y acceso de la modelacion de la red de distribucion					
	Uso	Und.	Acceso	Und,	Indicador3:	Und.
III.-	HERRAMIENTA COMPUTACIONAL CON EPANET					0.80
	Se procedera al uso y acceso de la modelacion de la red de distribucion					
	Uso	Und.	Acceso	Und,	Indicador3:	Und.
IV.-	HERRAMIENTA COMPUTACIONAL CON QGIS					0.70
	Se procedera al uso y acceso de la modelacion de la red de distribucion					
	Uso	Und.	Acceso	Und,	Indicador3:	Und.
V.-	DIAMETRO					0.80
	Se procedera a verificar con la OS.050					
	DIAMETRO MINIMO	mm	DIAMETRO MEDIO	mm	DIAMETRO INTERIOR, NOMINAL Y EXTERIOR	mm
	25		75		INTERIOR	
VI.-	PRESION					0.90
	Se procedera a verificar con la OS.050					
	PRESION MINIMA ESTATICA	mca	PRESION MEDIA	mca	PRESION MAXIMA	mca
	5		10		50	
VII.-	VELOCIDAD					0.80
	Se procedera a verificar con la OS.050					
	VELOCIDAD MINIMA	m/s	VELOCIDAD MEDIA	mca	VELOCIDAD MAXIMA	m/s
	0.3		0.6		3-5	
TOTAL DE VALORACION						5.9
PROMEDIO DE VALORACION						0.84
APELLIDOS Y NOMBRES:		Coello Jose Noe				
PROFESION		INGENIERO CIVIL				
REGISTRO CIP N°:		14742				
EMAIL:		NOE.SOX@Socil.com				
TELEFONO:		949745319				


 MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE URUBAMBA  
 Ing. Noe Coello Sosa  
 RESIDENTE DE OBRA  
 CIP. 14742

Fuente: Elaboración propia.

**CONSTANCIA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS**

Yo Noe Coello Sosa....., Identificado con DNI N°  
41192999..... CIP N° 14742..... de profesión **INGENIERO CIVIL**, en ejercicio, que  
en la actualidad me encuentro laborando como .....

Por medio de la presente hago constar que he revisado con fines de validación  
el instrumento de evaluación y cálculos realizados, para el informe de investigación del:

Bach. Alvarez Serrano Jorge Luis (DNI N° 42140802).

Para el sustento del **INFORME DE INVESTIGACIÓN** titulada “**Comportamiento  
Hidráulico en una red de distribución de agua potable con herramientas  
computacionales en la comunidad de APV El Bosque Provincia de Urubamba –  
Cusco, 2021**”, el cual será presentado a la Universidad Cesar Vallejo – Lima Norte;  
para la obtención del título profesional de ingeniería civil.

Luego de hacer las observaciones pertinentes, puedo formular las siguientes  
apreciaciones.

CONCEPTOS	DEFICIENTE	ACEPTABLE	BUENO	EXCELENTE
Congruencia de Items			X	
Sustente Técnico en Datos			X	
Aplicación de Conocimientos			X	
Claridad y Precisión en Resultados			X	
Cálculos Dinámicos			X	



MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE URUBAMBA  
.....  
**Ing. Noe Coello Sosa**  
RESIDENTE DE OBRA  
CIP. 147421



**CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO QUE MIDE EL MODELAMIENTO CON HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES (WATERCAD, EPANET y QGIS), Y EL DISEÑO EN LA A.P.V. EL BOSQUES, PROVINCIA DE URUBAMBA, CUSCO 2021.**

N°	DIMENSIONES / ítems	Pertinencia <sup>1</sup>		Relevancia <sup>2</sup>		Claridad <sup>3</sup>		Sugerencias
		Si	No	Si	No	Si	No	
	<b>Variable Independiente: Softwares convencionales (Watercad, Epanet y Qgis)</b>							
	<b>DIMENSION 1: Watercad</b>							
1	¿Usted cree que se ha empleado adecuadamente el software para el modelamiento?	X		X		X		
2	¿Usted cree que los resultados obtenidos en el modelamiento están sujetos a las normas sobre la materia?	X		X		X		
3	¿El modelo desarrollado por el software se rigen a las normas técnicas?	X		X		X		
4	¿Usted cree que el modelo propuesto es óptimo como alternativa de solución para el abastecimiento de agua en el sector de estudio?	X		X		X		
5	¿Usted cree que la herramienta computacional Epanet es ventajoso para el desarrollo de modelamientos hidráulicos?	X		X		X		
	<b>DIMENSION 2: Epanet</b>	Si	No	Si	No	Si	No	
6	¿Usted cree que se ha empleado adecuadamente el software para el modelamiento?	X		X		X		
7	¿Usted cree que los resultados obtenidos en el modelamiento están sujetos a las normas sobre la materia?	X		X		X		
8	¿El modelo desarrollado por el software se rigen a las normas técnicas?	X		X		X		
9	¿Usted cree que el modelo propuesto es óptimo como alternativa de solución para el abastecimiento de agua en el sector de estudio?	X		X		X		
10	¿Usted cree que la herramienta computacional Epanet es ventajoso para el desarrollo de modelamientos hidráulicos?	X		X		X		
	<b>DIMENSION 3: Qgis</b>	Si	No	Si	No	Si	No	
11	¿El diseño presentado cumplen las normas técnicas?	X		X		X		
12	¿Según usted el diseñador ha empleado criterio técnico en la propuesta de diseño óptimo?	X		X		X		
13	¿Según usted cree que el diseño propuesto solucionara el problema de desabastecimiento de agua en el lugar de estudios?	X		X		X		
	<b>Variable dependiente: Comportamiento hidráulico de la red de agua.</b>	Si	No	Si	No	Si	No	
	<b>DIMENSION 1: Diámetro</b>							
14	¿Los diámetros propuestos en la línea de conducción, aducción y distribución son apropiados para trasportar el flujo de agua para abastecer el agua demandada?	X		X		X		

Fuente: Elaboración propia.



15	¿La clase de tubería empleado en el diseño del sistema de agua propuesto cumplen las normas técnicas para trasladar el flujo de agua?	X		X		X	
<b>DIMENSION 2: Velocidad</b>							
17	¿La velocidad que se presentan en la línea de conducción, aducción y distribución cumplirá la norma técnica para garantizar el sistema de agua?	X		X		X	
<b>DIMENSION 3: Presión</b>		Si	No	Si	No	Si	No
18	¿La presión que se presentan en la línea de conducción, aducción y distribución cumplirá la norma técnica para garantizar el sistema de agua?	X		X		X	
<b>DIMENSION 3: Demanda</b>		Si	No	Si	No	Si	No
19	¿Considera usted que el caudal que presenta la fuente será suficiente para cumplir con la demanda de todos los beneficios en los años de diseño del sistema de agua?	X		X		X	

Observaciones (precisar si hay suficiencia): \_\_\_\_\_

Opinión de aplicabilidad:    **Aplicable [ X ]**            **Aplicable después de corregir [ ]**            **No aplicable [ ]**

Apellidos y nombres del juez validador. Mg/Ing: Noe Coello Sosa ..... DNI: 4115 29 98 .....

Especialidad del validador: Residente de obra .....

<sup>1</sup>**Pertinencia:** El ítem corresponde al concepto teórico formulado.  
<sup>2</sup>**Relevancia:** El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo  
<sup>3</sup>**Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo

**Nota:** Suficiencia, se dice suficiencia cuando los ítems planteados son suficientes para medir la dimensión

28 de Julio del 2021  
 MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE URUBAMBA  
  
 Ing. Noe Coello Sosa  
 INGENIERO EN OBRA  
 CIP. 147421  
**Firma del Experto Informante.**

## SIMULACION DE ANALISIS DE VALIDEZ DE FICHA DE RECOPIACION DE DATOS

PROYECTO : Comportamiento Hidráulico en la red de distribución de agua potable con herramientas computacionales en la comunidad de APV El Bosque Provincia de Urubamba – Cusco, 2021						valoracion de 0 a 1
AUTOR: Jorge Luis, ALVAREZ SERRANO						
I.-	INFORMACION GENERAL:					1.00
	UBICACIÓN					
	Comunidad	A.P.V el Bosque - Palccaraqui		ALTITUD:	2902 msnm	
	PROVINCIA:	Urubamba		SUR:	13°17'50.05" m	
REGION:	Cusco		OESTE:	72°7'46.62"		
II.-	HERRAMIENTA COMPUTACIONAL CON WATERCAD					0.80
	Se procedera al uso y acceso de la modelacion de la red de distribucion					
	Uso	Und.	Acceso	Und,	Indicador3:	
III.-	HERRAMIENTA COMPUTACIONAL CON EPANET					0.80
	Se procedera al uso y acceso de la modelacion de la red de distribucion					
	Uso	Und.	Acceso	Und,	Indicador3:	
IV.-	HERRAMIENTA COMPUTACIONAL CON QGIS					0.70
	Se procedera al uso y acceso de la modelacion de la red de distribucion					
	Uso	Und.	Acceso	Und,	Indicador3:	
V.-	DIAMETRO					0.80
	Se procedera a verificar con la OS.050					
	DIAMETRO MINIMO	mm	DIAMETRO MEDIO	mm	DIAMETRO INTERIOR, NOMINAL Y EXTERIOR	
	25		75	INTERIOR		
VI.-	PRESION					0.90
	Se procedera a verificar con la OS.050					
	PRESION MINIMA ESTATICA	mca	PRESION MEDIA	mca	PRESION MAXIMA	
	5		10	50		
VII.-	VELOCIDAD					0.80
	Se procedera a verificar con la OS.050					
	VELOCIDAD MINIMA	m/s	VELOCIDAD MEDIA	mca	VELOCIDAD MAXIMA	
	0.3		0.6	3-5		
TOTAL DE VALORACION						5.9
PROMEDIO DE VALORACION						0.84
APELLIDOS Y NOMBRES: Cruz Davila Manuel Antonio						
PROFESION: INGENIERO CIVIL						
REGISTRO CIP N°: 70707						
EMAIL: cruz71@gmail.com						
TELEFONO: 975314125						

  
 ING. MANUEL ANTONIO CRUZ DÁVILA  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP N° 70707

Fuente: Elaboración propia.

### CONSTANCIA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

Yo... MANUEL ANTONIO CRUZ DÁVILA....., Identificado con DNI N°  
40145215... CIP N° 70707... de profesión **INGENIERO CIVIL**, en ejercicio, que  
 en la actualidad me encuentro laborando como FORMULADOR DE PROYECTOS.....

Por medio de la presente hago constar que he revisado con fines de validación  
 el instrumento de evaluación y cálculos realizados, para el informe de investigación del:

Bach. Alvarez Serrano Jorge Luis (DNI N° 42140802).

Para el sustento del **INFORME DE INVESTIGACIÓN** titulada **“Comportamiento  
 Hidráulico en una red de distribución de agua potable con herramientas  
 computacionales en la comunidad de APV El Bosque Provincia de Urubamba –  
 Cusco, 2021”**, el cual será presentado a la Universidad Cesar Vallejo – Lima Norte;  
 para la obtención del título profesional de ingeniería civil.

Luego de hacer las observaciones pertinentes, puedo formular las siguientes  
 apreciaciones.

CONCEPTOS	DEFICIENTE	ACEPTABLE	BUENO	EXCELENTE
Congruencia de Items			X	
Sustente Técnico en Datos			X	
Aplicación de Conocimientos			X	
Claridad y Precisión en Resultados			X	
Cálculos Dinámicos			X	

  
 ING. MANUEL ANTONIO CRUZ DÁVILA  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP N° 70707





**CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO QUE MIDE EL MODELAMIENTO CON HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES (WATERCAD, EPANET y QGIS), Y EL DISEÑO EN LA A.P.V. EL BOSQUES, PROVINCIA DE URUBAMBA, CUSCO 2021.**

N°	DIMENSIONES / ítems	Pertinencia <sup>1</sup>		Relevancia <sup>2</sup>		Claridad <sup>3</sup>		Sugerencias
		Si	No	Si	No	Si	No	
	<b>Variable Independiente: Softwares convencionales (Watercad, Epanet y Qgis)</b>							
	<b>DIMENSION 1: Watercad</b>							
1	¿Usted cree que se ha empleado adecuadamente el software para el modelamiento?	X		X		X		
2	¿Usted cree que los resultados obtenidos en el modelamiento están sujetos a las normas sobre la materia?	X		X		X		
3	¿El modelo desarrollado por el software se rigen a las normas técnicas?	X		X		X		
4	¿Usted cree que el modelo propuesto es óptimo como alternativa de solución para el abastecimiento de agua en el sector de estudio?	X		X		X		
5	¿Usted cree que la herramienta computacional Epanet es ventajoso para el desarrollo de modelamientos hidráulicos?	X		X		X		
	<b>DIMENSION 2: Epanet</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>	
6	¿Usted cree que se ha empleado adecuadamente el software para el modelamiento?	X		X		X		
7	¿Usted cree que los resultados obtenidos en el modelamiento están sujetos a las normas sobre la materia?	X		X		X		
8	¿El modelo desarrollado por el software se rigen a las normas técnicas?	X		X		X		
9	¿Usted cree que el modelo propuesto es óptimo como alternativa de solución para el abastecimiento de agua en el sector de estudio?	X		X		X		
10	¿Usted cree que la herramienta computacional Epanet es ventajoso para el desarrollo de modelamientos hidráulicos?	X		X		X		
	<b>DIMENSION 3: Qgis</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>	
11	¿El diseño presentado cumplen las normas técnicas?	X		X		X		
12	¿Según usted el diseñador ha empleado criterio técnico en la propuesta de diseño óptimo?	X		X		X		
13	¿Según usted cree que el diseño propuesto solucionara el problema de desabastecimiento de agua en el lugar de estudios?	X		X		X		
	<b>Variable dependiente: Comportamiento hidráulico de la red de agua.</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>	
	<b>DIMENSION 1: Diámetro</b>							
14	¿Los diámetros propuestos en la línea de conducción, aducción y distribución son apropiados para transportar el flujo de agua para abastecer el agua demandada?	X		X		X		

Fuente: Elaboración propia.



15	¿La clase de tubería empleado en el diseño del sistema de agua propuesto cumplen las normas técnicas para trasladar el flujo de agua?	X		X		X	
<b>DIMENSION 2: Velocidad</b>							
17	¿La velocidad que se presentan en la línea de conducción, aducción y distribución cumplirá la norma técnica para garantizar el sistema de agua?	X		X		X	
<b>DIMENSION 3: Presión</b>		Si	No	Si	No	Si	No
18	¿La presión que se presenta en la línea de conducción, aducción y distribución cumplirá la norma técnica para garantizar el sistema de agua?	X		X		X	
<b>DIMENSION 3: Demanda</b>		Si	No	Si	No	Si	No
19	¿Considera usted que el caudal que presenta la fuente será suficiente para cumplir con la demanda de todos los beneficios en los años de diseño del sistema de agua?	X		X		X	

Observaciones (precisar si hay suficiencia): \_\_\_\_\_

Opinión de aplicabilidad:    **Aplicable** [ X ]        **Aplicable después de corregir** [ ]        **No aplicable** [ ]

Apellidos y nombres del juez validador. Mg/Ing: MANUEL ANTONIO CRUZ DAVILA ..... DNI: 40145215 .....

Especialidad del validador: FORMULADOR DE PROYECTOS DE MPU. .....

<sup>1</sup>**Pertinencia:** El ítem corresponde al concepto teórico formulado.

<sup>2</sup>**Relevancia:** El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo

<sup>3</sup>**Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo

**Nota:** Suficiencia, se dice suficiencia cuando los ítems planteados son suficientes para medir la dimensión

28 de Julio del 2021

  
 \_\_\_\_\_  
 ING. MANUEL ANTONIO CRUZ DÁVILA  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP N° 70707

## SIMULACION DE ANALISIS DE VALIDEZ DE FICHA DE RECOPIACION DE DATOS

PROYECTO : Comportamiento Hidráulico en la red de distribución de agua potable con herramientas computacionales en la comunidad de APV El Bosque Provincia de Urubamba – Cusco, 2021						valoracion de 0 a 1	
AUTOR: Jorge Luis, ALVAREZ SERRANO							
I.-	INFORMACION GENERAL:						1.00
	UBICACIÓN						
	Comunidad	A.P.V el Bosque - Palccaraqui			ALTITUD:	2902 msnm	
	PROVINCIA:	Urubamba			SUR:	13°17'50.05" m	
	REGION:	Cusco			OESTE:	72°7'46.62"	
II.-	HERRAMIENTA COMPUTACIONAL CON WATERCAD						0.80
	Se procedera al uso y acceso de la modelacion de la red de distribucion						
	Uso	Und.	Acceso	Und,	Indicador3:	Und.	
III.-	HERRAMIENTA COMPUTACIONAL CON EPANET						0.80
	Se procedera al uso y acceso de la modelacion de la red de distribucion						
	Uso	Und.	Acceso	Und,	Indicador3:	Und.	
IV.-	HERRAMIENTA COMPUTACIONAL CON QGIS						0.70
	Se procedera al uso y acceso de la modelacion de la red de distribucion						
	Uso	Und.	Acceso	Und,	Indicador3:	Und.	
V.-	DIAMETRO						0.80
	Se procedera a verificar con la OS.050						
	DIAMETRO MINIMO	mm	DIAMETRO MEDIO	mm	DIAMETRO INTERIOR, NOMINAL Y EXTERIOR	mm	
	25		75		INTERIOR		
VI.-	PRESION						0.90
	Se procedera a verificar con la OS.050						
	PRESION MINIMA ESTATICA	mca	PRESION MEDIA	mca	PRESION MAXIMA	mca	
	5		10		50		
VII.-	VELOCIDAD						0.80
	Se procedera a verificar con la OS.050						
	VELOCIDAD MINIMA	m/s	VELOCIDAD MEDIA	mca	VELOCIDAD MAXIMA	m/s	
	0.3		0.6		3-5		
TOTAL DE VALORACION						3.9	
PROMEDIO DE VALORACION						0.84	
APELLIDOS Y NOMBRES:		VALERO ENRIQUEZ JOSE EMILIO					
PROFESION		INGENIERO CIVIL					
REGISTRO CIP N°:		98533					
EMAIL:		VALERO@gmail.com					
TELEFONO:		953686279					



JOSE EMILIO VALERO ENRIQUEZ  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P 98533

Fuente: Elaboración propia.

**CONSTANCIA DE VALIDACIÓN**

Yo JOSE EMILIO VALERO ENRIQUEZ, Identificado con DNI N° 42151621 CIP N° 98533 de profesión **INGENIERO CIVIL**, en ejercicio, que en la actualidad me encuentro laborando como Formulador de Proyecto

Por medio de la presente hago constar que he revisado con fines de validación el instrumento de evaluación y cálculos realizados, para el informe de investigación del:

Bach. Alvarez Serrano Jorge Luis (DNI N° 42140802).

Para el sustento del **INFORME DE INVESTIGACIÓN** titulada “**Comportamiento Hidráulico en una red de distribución de agua potable con herramientas computacionales en la comunidad de APV El Bosque Provincia de Urubamba – Cusco, 2021**”, el cual será presentado a la Universidad Cesar Vallejo – Lima Norte; para la obtención del título profesional de ingeniería civil.

Luego de hacer las observaciones pertinentes, puedo formular las siguientes apreciaciones.

CONCEPTOS	DEFICIENTE	ACEPTABLE	BUENO	EXCELENTE
Congruencia de Items			X	
Sustente Técnico en Datos			X	
Aplicación de Conocimientos			X	
Claridad y Precisión en Resultados			X	
Cálculos Dinámicos			X	



JOSE EMILIO VALERO ENRIQUEZ  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P 98533



**CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO QUE MIDE EL MODELAMIENTO CON HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES (WATERCAD, EPANET y QGIS), Y EL DISEÑO EN LA A.P.V. EL BOSQUES, PROVINCIA DE URUBAMBA, CUSCO 2021.**

N°	DIMENSIONES / ítems	Pertinencia <sup>1</sup>		Relevancia <sup>2</sup>		Claridad <sup>3</sup>		Sugerencias
		Si	No	Si	No	Si	No	
	<b>Variable Independiente: Softwares convencionales (Watercad, Epanet y Qgis)</b>							
	<b>DIMENSION 1: Watercad</b>							
1	¿Usted cree que se ha empleado adecuadamente el software para el modelamiento?	X		X		X		
2	¿Usted cree que los resultados obtenidos en el modelamiento están sujetos a las normas sobre la materia?	X		X		X		
3	¿El modelo desarrollado por el software se rigen a las normas técnicas?	X		X		X		
4	¿Usted cree que el modelo propuesto es óptimo como alternativa de solución para el abastecimiento de agua en el sector de estudio?	X		X		X		
5	¿Usted cree que la herramienta computacional Epanet es ventajoso para el desarrollo de modelamientos hidráulicos?	X		X		X		
	<b>DIMENSION 2: Epanet</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>	
6	¿Usted cree que se ha empleado adecuadamente el software para el modelamiento?	X		X		X		
7	¿Usted cree que los resultados obtenidos en el modelamiento están sujetos a las normas sobre la materia?	X		X		X		
8	¿El modelo desarrollado por el software se rigen a las normas técnicas?	X		X		X		
9	¿Usted cree que el modelo propuesto es óptimo como alternativa de solución para el abastecimiento de agua en el sector de estudio?	X		X		X		
10	¿Usted cree que la herramienta computacional Epanet es ventajoso para el desarrollo de modelamientos hidráulicos?	X		X		X		
	<b>DIMENSION 3: Qgis</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>	
11	¿El diseño presentado cumplen las normas técnicas?							
12	¿Según usted el diseñador ha empleado criterio técnico en la propuesta de diseño óptimo?	X		X		X		
13	¿Según usted cree que el diseño propuesto solucionara el problema de desabastecimiento de agua en el lugar de estudios?	X		X		X		
	<b>Variable dependiente: Comportamiento hidráulico de la red de agua.</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>	
	<b>DIMENSION 1: Diámetro</b>							
14	¿Los diámetros propuestos en la línea de conducción, aducción y distribución son apropiados para trasportar el flujo de agua para abastecer el agua demandada?	X		X		X		

Fuente: Elaboración propia.



15	¿La clase de tubería empleado en el diseño del sistema de agua propuesto cumplen las normas técnicas para trasladar el flujo de agua?	X		X		X	
<b>DIMENSION 2: Velocidad</b>							
17	¿La velocidad que se presentan en la línea de conducción, aducción y distribución cumplirá la norma técnica para garantizar el sistema de agua?	X		X		X	
<b>DIMENSION 3: Presión</b>		Si	No	Si	No	Si	No
18	¿La presión que se que se presentan en la línea de conducción, aducción y distribución cumplirá la norma técnica para garantizar el sistema de agua?	X		X		X	
<b>DIMENSION 3: Demanda</b>		Si	No	Si	No	Si	No
19	¿Considera usted que el caudal que presenta la fuente será suficiente para cumplir con la demanda de todos los beneficios en los años de diseño del sistema de agua?	X		X		X	

Observaciones (precisar si hay suficiencia): \_\_\_\_\_

Opinión de aplicabilidad:    **Aplicable [X]**        **Aplicable después de corregir [ ]**        **No aplicable [ ]**

Apellidos y nombres del juez validador. Mg/Ing: VALERO ENRIQUEZ JOSE EMILIO ..... DNI: 42157621 .....

Especialidad del validador: FORMULADOR DE PROYECTOS DE LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE URUBAMBA .....

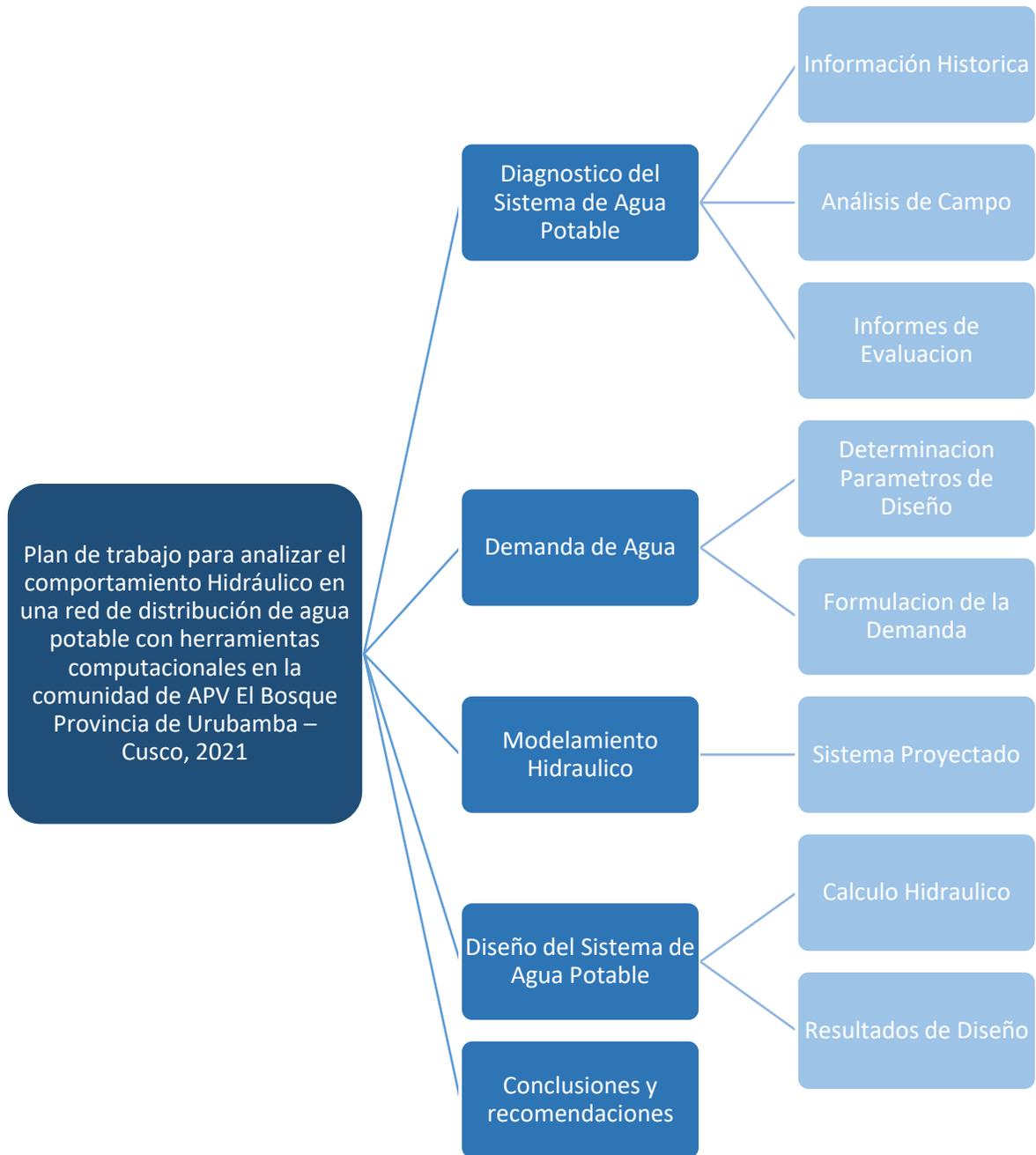
28 de Julio del 2021

<sup>1</sup>**Pertinencia:** El ítem corresponde al concepto teórico formulado.  
<sup>2</sup>**Relevancia:** El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo  
<sup>3</sup>**Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo

**Nota:** Suficiencia, se dice suficiencia cuando los ítems planteados son suficientes para medir la dimensión

  
  
 .....  
 JOSE EMILIO VALERO ENRIQUEZ  
 INGENIERO CIVIL  
 C.I.P 98533

## Anexo 5. Procedimiento



Fuente: elaboración propia

## Anexo 6. Cálculo de la población de estudio

$$P = P_0 \times \left(1 + \frac{r * t}{100}\right)$$

Donde;

P: población futura (al año 2040)

P<sub>0</sub>: población actual (al año 2020)

r: tasa de crecimiento anual (1.89%)

t: periodo de diseño en años (20 años)

$$P = 739 \times \left(1 + \frac{1.89 * 20}{100}\right) = 1018.34 \text{ habitantes}$$

- Número de viviendas al 2040

$$N = \frac{1018.34}{4.37} = 233 \text{ viviendas}$$

## Anexo 7. Cálculo del caudal promedio

$$Qp = Pa * \frac{Dot}{86,400}$$

Donde:

- Pa: Población beneficiaria
- Dot: Dotación de agua en litros por habitante por día

$$Qp = 1018 \text{ hab} * \frac{150 \text{ l/hab/dia}}{86,400 \text{ s/dia}}$$

$$Qp = 1.76 \text{ l/s}$$

## Anexo 8. Distribución de caudal en nodos de la red de distribución

<b>Nodo</b>	<b>Elevación (m)</b>	<b>Demanda (l/s)</b>
Nudo J-1	3,050.00	0.026
Nudo J-2	3,047.86	0.109
Nudo J-3	3,047.61	0.120
Nudo J-4	3,041.46	0.147
Nudo J-5	3,041.76	0.053
Nudo J-6	3,044.64	0.085
Nudo J-7	3,039.33	0.207
Nudo J-8	3,042.24	0.041
Nudo J-9	3,043.62	0.039
Nudo J-10	3,044.96	0.057
Nudo J-11	3,048.08	0.049
Nudo J-13	3,048.60	0.055
Nudo J-14	3,042.76	0.081
Nudo J-15	3,045.85	0.049
Nudo J-16	3,046.00	0.048
Nudo J-17	3,046.21	0.076
Nudo J-18	3,047.12	0.037
Nudo J-19	3,042.23	0.154
Nudo J-20	3,042.09	0.085
Nudo J-21	3,043.71	0.037
Nudo J-22	3,034.00	0.172
Nudo J-23	3,032.72	0.066
Nudo J-24	3,034.10	0.105
Nudo J-25	3,033.27	0.164
Nudo J-26	3,039.38	0.126
Nudo J-27	3,041.06	0.048
Nudo J-28	3,029.27	0.050
Nudo J-29	3,031.48	0.077
Nudo J-30	3,028.28	0.110
Nudo J-31	3,028.41	0.068
Nudo J-32	3,028.00	0.053
Nudo J-35	3,025.26	0.045
Nudo J-36	3,031.78	0.013

Fuente: Watercad.

## Anexo 9. Panel Fotográfico



*Fotografar 01: Levantamiento Topográfico Red de Distribución*



*Fotografar 02 Levantamiento Topográfico Red de Distribución*



*Fotografar 03: Identificación de la Captación*



*Fotografar 04: Identificación de Reservorio*



*Fotografar 05: Comportamiento Hidráulico de la Red*





## Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, **Dr. Ing. Luis Alberto Vargas Chacaltana** docente de la Facultad de Ingeniería y Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad César Vallejo sede Lima Norte, asesor del Informe de Investigación titulada:

**“Comportamiento Hidráulico en una red de distribución de agua potable con herramientas computacionales en la comunidad de APV El Bosque Provincia de Urubamba – Cusco, 2021”** del autor **Alvarez Serrano, Jorge Luis** constato que la investigación tiene un índice de similitud de **20%** verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender el trabajo de tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Lima 07 de Julio del 2021

Apellidos y Nombres del Asesor <b>Vargas Chacaltana, Luis Alberto</b>	
DNI: 09389936	 Firma
ORCID: 000-0003-4136-7189	