

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



Evaluación de la variabilidad en el diseño de la red de distribución de agua potable del proyecto Jachocco utilizando los programas EPANET y TDHNet, con el fin de optimizar la eficiencia y confiabilidad del sistema de distribución

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Luz Marina Acsara Flores

Asesor:

Msc. Ecler Mamani Chambi

Juliaca, noviembre de 2025

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Msc. Ecler Mamani Chambi, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“EVALUACIÓN DE LA VARIABILIDAD EN EL DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DEL PROYECTO JACHOCCO UTILIZANDO LOS PROGRAMAS EPANET Y TDHNET, CON EL FIN DE OPTIMIZAR LA EFICIENCIA Y CONFIABILIDAD DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN”** del autor **Luz Marina Acsara Flores**, tiene un índice de similitud de 9% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca, a los 09 días del mes de diciembre del año 2025.



Msc. Ecler Mamani Chambi

Asesor

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a7..... día(s) del mes de noviembre del año 2025, siendo las 8:30 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del (de la) presidente(a):



Mtro. Leonel G. Shahuares Paucar el (la) secretario(a): Mg. Lily Zea Gonzales y los demás miembros: Mg. Fritz Willy Mamani Apaza y el (la) asesor(a) Msc. Eder Mamani Chambi

..... con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: Evaluación de la variabilidad en el diseño de la red de distribución de agua potable del proyecto Tachoco utilizando los programas EPANET y TDHNet, con el fin de optimizar la eficiencia y confiabilidad del sistema de distribución del(los) bachiller(es): a) Luz Marina Acosara Flores b) c)

..... conducente a la obtención del título profesional de: Ingeniero Civil (Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): Luz Marina Acosara Flores

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>15</u>	<u>B-</u>	<u>Buena</u>	<u>Muy Bueno</u>

Bachiller (b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

Bachiller (c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

[Firma]
Presidente/a
[Firma]
Asesor/a
[Firma]
Bachiller(a)

[Firma]
Miembro
[Firma]
Bachiller (b)

[Firma]
Secretario/a
[Firma]
Miembro
[Firma]
Bachiller (c)

DEDICATORIA

A Dios por su amor y compasión, que me permitió lograr uno de mis metas de esta vida. A mis padres, por creer en mí, por las lecciones y por el apoyo total, que me ha permitido progresar y ser la persona que soy hoy.

Con cariño.

Luz Marina Acsara Flores

AGRADECIMIENTO

A Dios por la vida, la salud, ser mi guía y mi pilar en momentos
difíciles.

A mis padres: Saturnino Acsara Ccorimanya y Santusa Flores Cuevas,
y a mis hermanos Ronal, Elvis y Yershon por ser los primordiales
alentadores de mis deseos, por la confianza y creer en mí, por las
invaluables recomendaciones y valores inculcados.

A la Universidad Peruana Unión, por ofrecerme una instrucción de
alta calidad basada en valores y respetando los principios que ha
dado Dios.

A cada uno de mis maestros de la facultad de Ingeniería y
Arquitectura, por compartir sus conocimientos durante la vida
estudiantil y preparación de la profesión.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
1. Introducción	10
2. Métodos	10
2.1 Análisis Mediante Epanet	11
2.2 Formulación Matemática y configuración de modelo en Epanet..	11
2.3 Análisis mediante TDHnet.....	12
2.4 formulación matemática y configuración del modelo en Tdhnet .	12
3. Estudio de Caso	13
3.1 Área de Estudio.....	13
3.2 Datos y variables.....	14
3.3 Proceso manual de calculo.....	15
4. Resultados.....	17
4.1 Resultados del análisis con Epanet y Tdhnet	17
4.1.1 Diseño optimo	24
4.2 Resultados.....	26
5. Conclusiones.....	27
1. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	28

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos Demográficos y de dotación de agua por vivienda.....	15
Tabla 2. Calculo Manual V1	19
Tabla 3. Comparación de presiones en los nodos de la red de distribución de agua entre las versiones V2 y V3.....	19
Tabla 4. Comparación de presiones en los nodos de la red de distribución de agua en versiones V2 y V3 Tdhnet.	20
Tabla 5. Comparación de presiones en los nodos de la red de distribución de agua en versiones V2 y V3 Epanet.	21
Tabla 6. Comparación de Velocidades de Flujo en las Tuberías de la Red de distribución de Agua entre las Versiones V2 y V3 TdhNet.	21
Tabla 7. Presiones, velocidades y caudales del flujo en la red de distribución de agua en la versión 3	24
Tabla 8. Comparativa Estadística de Velocidades en las Versiones V2 y V3 mediante EPANET y TDHNet.	25
Tabla 9. Comparativa Estadística de Velocidades en las Versiones V2 y V3 mediante EPANET y TDHNet.	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de flujo Epanet	12
Figura 2 Diagrama de flujo Tdhnet	13
Figura 3 Mapa de ubicación y esquema de la red de agua	14
Figura 4 Modelamiento de Version V2	18
Figura 5 Modelamiento de versión V3	18
Figura 6 Comparación de velocidades de flujo de la tuberías para las versiones V1,V2 y V3.	22
Figura 7 Comparación de velocidades de flujo de la tuberías para las versiones V1,V2 y V3.	23
Figura 8 Comparación de velocidades de flujo de la tuberías para las versiones V1,V2 y V3.	24

EVALUACIÓN DE LA VARIABILIDAD EN EL DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DEL PROYECTO JACHOCCO UTILIZANDO LOS PROGRAMAS EPANET Y TDHNET, CON EL FIN DE OPTIMIZAR LA EFICIENCIA Y CONFIABILIDAD DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

EVALUATION OF THE VARIABILITY IN THE DESIGN OF THE DRINKING WATER DISTRIBUTION NETWORK OF THE JACHOCCO PROJECT USING THE EPANET AND TDHNET PROGRAMS, IN ORDER TO OPTIMIZE THE EFFICIENCY AND RELIABILITY OF THE DISTRIBUTION SYSTEM

Luz Marina Acsara Flores

Resumen

Este estudio buscó evaluar la variabilidad en el diseño de la red de distribución de agua potable del proyecto Jachocco, con el fin de optimizar la eficiencia y confiabilidad del sistema. La investigación es de tipo aplicada, nivel descriptivo, diseño no experimental y enfoque cuantitativo. El estudio se centró en modelar el comportamiento hidráulico de la red actual y una propuesta mejorada. La población estudiada fue el Centro Poblado de Jachocco Huaraco, ubicado en el distrito de Ilave, provincia del Collao, Puno. La muestra del estudio corresponde al sector III del C.P Jachocco Huaracco, conformado por 145 familias beneficiarias, de 725 habitantes. Se utilizaron los programas EPANET y TDHNet para realizar simulaciones hidráulicas, llegando a una respuesta en 11 iteraciones utilizando el complemento de Python para Epanet. El software MS Excel con su complemento estadístico se utilizó para el procesamiento de datos y el análisis de resultados. Se identificaron ineficiencias en la red actual con velocidades promedio de 0.424 m/s por debajo del mínimo regulatorio, se evaluaron mejoras en la distribución del agua incrementando la velocidad promedio a 0.686 m/s dentro de los rangos regulatorios y se desarrollaron estrategias de optimización para asegurar un suministro más eficiente y confiable, mejorando así el diseño y operación del sistema, con una desviación estándar de 0.16 m/s.

Palabras clave: Distribución, Agua, sistema, abierto, gravedad, epanet

Abstract

This study sought to evaluate the variability in the design of the Jachocco project's drinking water distribution network, in order to optimize the system's efficiency and reliability. This research is applied, descriptive, with a non-experimental design and a quantitative approach. The study focused on modeling the hydraulic behavior of the current network and an improved proposal. The population studied was the Jachocco Huaraco Population Center, located in the Ilave district, Collao province, Puno. The study sample corresponds to sector III of the Jachocco Huaracco CP, made up of 145 beneficiary families with a population of 725. EPANET and TDHNet programs were used to perform hydraulic simulations, arriving at a response in 11 iterations using the Python plugin for Epanet. MS Excel software with its statistical plugin was used for data processing and results analysis. Inefficiencies were identified in the current network with average velocities of 0.424 m/s below the regulatory minimum, improvements in water distribution were evaluated by increasing the average velocity to 0.686 m/s within the regulatory ranges and optimization strategies were developed to ensure a more efficient and reliable supply, thus improving the design and operation of the system, with a standard deviation of 0.16 m/s.

Keywords: Distribution, Water, system, open, gravity, epanet.

1. Introducción

La evaluación y optimización de las redes de distribución de agua potable son esenciales para garantizar un servicio eficiente y adecuado a la población. En este contexto, el proyecto Jachocco, ubicado en el sector III del distrito de Ilave, Puno, enfrenta desafíos relacionados con la eficiencia de su red de distribución, particularmente en términos de presión, velocidad y caudal en diferentes partes de la red. La hipótesis de este estudio es la optimización de la red de distribución de agua potable mediante el análisis y simulación de las versiones de diseño (V1, V2 y V3) de tres escenarios clave: primero, se analiza la red según el cálculo manual de la red óptima; segundo, se evalúa la red tal como fue ejecutada en la obra; tercero, se plantea un escenario ideal óptima para identificar posibles mejoras en el sistema, utilizando los programas EPANET y TDHNet así mejorar la eficiencia del sistema, especialmente en lo que respecta a la presión, velocidad y caudal, resultando en una distribución de agua más eficiente. EPANET es una herramienta especializada en el análisis hidráulico de redes, proporcionando información precisa sobre presiones, flujos y caudales. TDHNet, por su parte, permite un análisis más flexible en condiciones operativas dinámicas. El uso combinado de ambos programas no solo proporciona un análisis más completo, sino que, al ser dos herramientas que validan los resultados de manera independiente, le otorgan un mayor valor y confianza al estudio. Así, se asegura que los resultados obtenidos no sean producto de una única herramienta, sino que reflejan un consenso entre ambos programas, lo que aumenta la fiabilidad y robustez del análisis. Diferentes algoritmos de optimización, que recientemente han sido ampliamente considerados por muchos investigadores para mejorar el rendimiento. (Ezzeldin, Zelenakova, Abd-Elhamid, Pietrucha-Urbanik, & Elabd, 2023).

2. Métodos

El estudio fue de tipo aplicado, con enfoque cuantitativo, nivel descriptivo y diseño transversal. Se consideró como aplicada porque no solo analiza el estado actual de la red de distribución de agua potable, sino que también propone soluciones técnicas. En enfoque cuantitativo se emplean datos numéricos, como caudales, presiones y consumo poblacional, los cuales son procesados mediante simulaciones hidráulicas en software especializado, lo que requiere un tratamiento estadístico y matemático. El nivel descriptivo se adopta al detallar las características del sistema actual y de una propuesta mejorada. En el diseño transversal se aplica porque los datos fueron recolectados en un solo momento del tiempo, permitiendo un análisis puntual del sistema y su comportamiento en un contexto específico.

2.1 Analisis Mediante Epanet

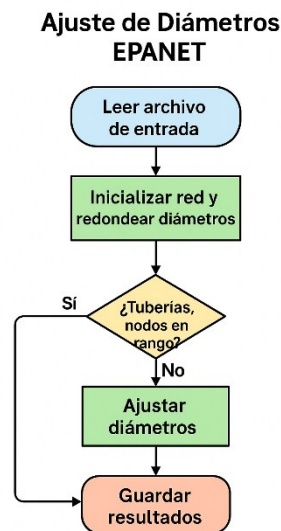
EPANET, desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), es una herramienta utilizada para simular el comportamiento hidráulico de redes de distribución de agua el cual puede conectarse con complementos como python. En este estudio, se empleó EPANET para realizar un análisis detallado del desempeño de la red del sistema Jachocco bajo diversos escenarios operativos (V1, V2 y V3). El análisis se enfocó en evaluar cómo el sistema responde a pérdidas de carga y presiones mínimas en nodos críticos. Se identificaron tramos con velocidades fuera de los rangos establecidos, así como áreas con sobrepresión o sub presión, lo que permitió proponer mejoras, como ajustes en el diámetro de las tuberías, reorganización de la topología de la red y optimización de la capacidad de bombeo. así como: Ríos, Este sistema presenta un alto potencial en términos de cantidad y calidad, lo que lo hace adecuado para ser considerado como la fuente de abastecimiento.(Ríos Arboleda et al., 2023).

2.2 Formulación Matemática y configuración de modelo en Epanet

En EPANET, el cálculo del flujo de agua en la red se realiza mediante la ecuación de Hazen-Williams, que depende de factores como la rugosidad de las tuberías y su diámetro, y es fundamental para determinar las pérdidas de carga. Además, se resuelve un sistema de ecuaciones de balance de energía y masa para calcular la presión en cada nodo de la red. La configuración del modelo en EPANET implicó la incorporación detallada de los componentes físicos y operativos de la red de distribución de agua del proyecto Jachocco, como los nodos de suministro, las tuberías, especificando sus características particulares (diámetros, longitudes, coeficientes de rugosidad, etc.). También se definieron las condiciones iniciales y de contorno, tales como las demandas de agua en cada nodo y las elevaciones de los tanques de almacenamiento. Esta configuración permitió generar simulaciones precisas y representativas de la red operativa real. Como indica hemanth, El diseño de una red de distribución de agua (RDA) presenta una gran complejidad, principalmente debido a la relación no lineal entre la altura y el caudal. (Hemanth Sai Kumar & S.K., 2023) Una vez configurado el modelo, se procedió a la calibración, comparando los resultados simulados con datos operativos reales del sistema. Los parámetros ajustados incluyeron las velocidades, presiones y la eficiencia de la red de agua. Como señala shiu, La calibración de modelos hidráulicos para sistemas de distribución de agua (WDS) es crucial durante la construcción de modelos, particularmente en la determinación de los coeficientes de rugosidad de las tuberías (Shiu, Chung, & Chiang, 2024)

Figura 1

Diagrama de flujo Epanet



2.3 Análisis mediante TDHnet

TDHNet es una herramienta especializada en el cálculo de la pérdida de carga total dinámica (TDH) y en la optimización de la red de tuberías. En este estudio, se utilizó TDHNet para analizar la red del proyecto Jachocco. TDHNet se centra en el análisis de la pérdida de carga y la eficiencia operativa del sistema de distribución. Así como Ramana, Para garantizar la disponibilidad de agua suficiente y de buena calidad para los distintos sectores de la comunidad, se desarrollaron numerosas herramientas informáticas.(Ramana, Sudheer, & Rajasekhar, 2015).

2.4 formulación matemática y configuración del modelo en

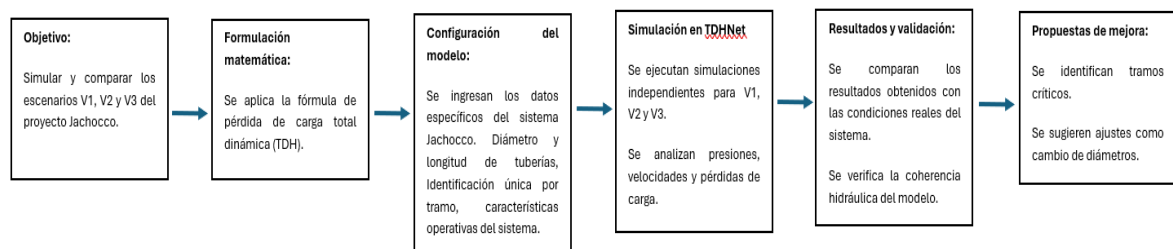
Tdhnet

La formulación matemática en TDHNet se basa en el cálculo de la pérdida de carga total dinámica (TDH), considerando las pérdidas por fricción en las tuberías y la energía necesaria para mantener el caudal deseado. La configuración del modelo en TDHNet consistió en introducir los datos específicos del proyecto Jachocco, como las características de la red de distribución, las tuberías y los componentes del sistema. Esto incluyó parámetros como el diámetro y longitud de las tuberías, así como las

características operativas del sistema. Esta calibración del modelo en TDHNet fue fundamental para asegurar que las simulaciones reflejaran las condiciones reales del sistema. Así como Muller, Los campos de atributos deben contener al menos la longitud y el diámetro de las tuberías, junto con un número de identificación único. (Muller, Gericke, & Pietersen, 2020)

Figura 2

Diagrama de flujo Tdhnet



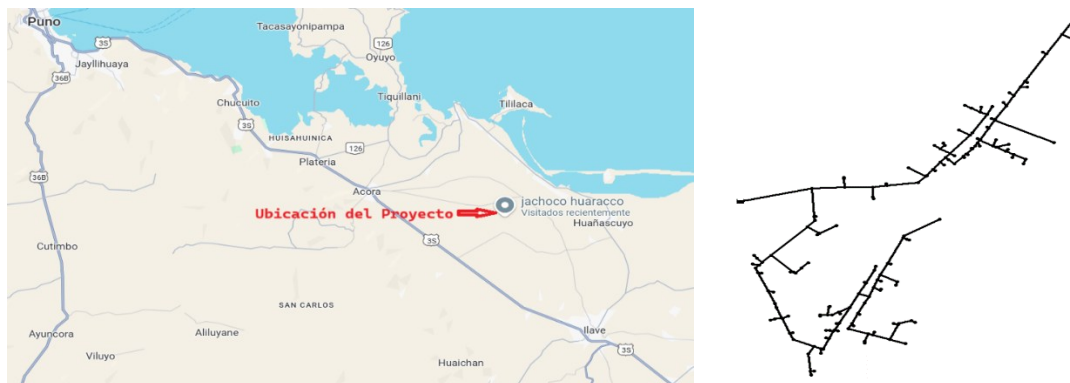
3. Estudio de Caso

3.1 Área de Estudio

El proyecto Jachocco se localiza en el distrito de Ilave, provincia de El Collao, Puno, una zona caracterizada por su topografía montañosa y un clima variable. El área de estudio abarca el centro poblado de Jachocco Huaraco, una comunidad cuya población depende de la red de distribución de agua para sus necesidades diarias. Sin embargo, la red enfrenta problemas operativos significativos, tales como presiones inestables, fugas y fallas en la infraestructura, lo que requiere una evaluación técnica y la implementación de mejoras. Así como Ladino menciona, la localización de fugas; la estimación de presiones; y los caudales generados por la pérdida de agua constituyen un problema. (Ladino-Moreno, García-Ubaque, & García-Vaca, 2021) . La red de distribución también se ve afectada por la variabilidad en la demanda y la limitada disponibilidad de recursos hídricos; factores estacionales como las lluvias, el deshielo y el uso agrícola alteran los patrones de consumo y presión. Thankanadar señala que el costo, la vida útil y el tipo de material juegan un papel importante al diseñar una nueva red (Thankanadar Thavamony & Rajagopal, 2024).

Figura 3

Mapa de ubicación y esquema de la red de agua



3.2 Datos y variables

Los datos utilizados en este estudio incluyeron tanto parámetros físicos de la red como información operativa. Entre los datos físicos se recopilaban detalles sobre las características de las tuberías, como diámetros, materiales y longitudes, así como aspectos topográficos del área; tales como elevaciones, pendientes y la ubicación de los nodos. En este contexto, Marques señala que el objetivo es encontrar una configuración de red ideal (diseño) (Marques et al., 2023). En línea con este enfoque y según hizo, Dzuwa indican que se plantearon varios escenarios para la red de distribución utilizando el software EPANET. (Dzuwa, Nkhonjera, Musonda, & Onososen, 2024). Todos los datos recopilados fueron procesados y normalizados para ser compatibles con los modelos hidráulicos utilizados, en este caso EPANET y TDHNet, asegurando así resultados precisos y comparables. Además, se aplicó un análisis de correlación para identificar las variables más influyentes en el comportamiento del sistema, permitiendo orientar el estudio hacia los aspectos más relevantes. Tal como afirman Koşucu y Demirel (2024), "finalmente, se plantearon varios escenarios para la red de distribución, utilizando el software de diseño EPANET, herramienta para modelar sistemas de distribución de agua a nivel mundial", (Koşucu & Demirel, 2024).

Tabla 1.

Datos Demográficos y de dotación de agua por vivienda.

NUMERO DE VIVIENDAS	PERSONAS POR VIVIENDAS	POBLACIÓN	DOTACION (L/hab/día)	CAUDAL MAXIMA (L/s)
145	5	725	120.00	0.01

3.3 Proceso manual de calculo

El proceso de cálculo como se muestra a continuación se realizó para cada tramo critico dentro del proyecto.

Periodo de diseño (t) = 20 años, Tabla RNE

Tasa de crecimiento (r) = 59%, Tabla

Población actual (Pi) = 725 habitantes, Dato

Dotación (D) = 120 l/p(/d)((litros/persona)/día), Tabla RNE

Coefficiente de rugosidad (ε) = 140 (para la fórmula de Hazen – Williams)

Personas por vivienda = 5 personas/ vivienda, Dato

Número de familias = 145

Longitud del tramo (L) = 334m

Coefficiente K2 = 2, RNE

Coefficiente K1 = 1.3, RNE

Diámetro interno de tubería (D) = 0.057 m

Cota terreno inicial = 3932 m

Cota terreno final = 3908.53 m

Población futura (Pf):

$$Pf = Pi * \left(1 + \frac{r * t}{100}\right)$$

$$Pf = 725 \times \left(1 + \frac{0.59 * 20}{100}\right) = 810.55 \text{ habitantes}$$

Caudal promedio (Qp):

$$Qp = \frac{Pf * Dotación}{86400}$$

$$Qp = \frac{810.55 * 120}{86400} = 1.1257 \frac{l}{s}$$

Caudal máximo diario (Qmd):

$$Qmd = Qp * K1 = 1.1257 * 1.3 = 1.46341 \frac{l}{s}$$

Caudal máximo horario (CMH):

$$Qmh = Qp * K2 = 1.1257 * 2 = 2.2514 \frac{l}{s}$$

Caudal de diseño (Qmh):

$$Qmh = Qp * K2 = 1.1257 * 2 = 2.2514 \frac{l}{s}$$

Caudal unitario (Qunit):

$$Qunit = \frac{Qmh}{Pf} = \frac{2.2514}{810.55} = 0.002782 \frac{l}{s}$$

Caudal por persona (por vivienda):

$$Qp = Qunit * personas por vivienda$$

$$Qpersona = 0.002782 * 5 = 0.0139 \frac{l}{s}$$

Caudal total tramo (Q):

$$Q = \frac{Qpersona * Cantidad de viviendas}{1000}$$

$$Q = \frac{0.014 * 145}{1000} = \frac{2.03}{1000} = 0.002030 \frac{m^3}{s}$$

Reservorio a P-02:

Cálculo de la velocidad del flujo (V):

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2}$$

$$V = \frac{4 * 0.002030}{\pi * (0.0542)^2} = \frac{0.008064}{\pi * 0.002937} = \frac{0.008064}{0.009228} = 0.88 \frac{m}{s}$$

Cálculo de la pérdida de carga unitaria (hf):

$$hf = 10.67 * \left(\frac{1}{e^{1.85}} \right) * \frac{Q^{1.85}}{D^{4.87}}$$

$$hf = 10.67 * \left(\frac{1}{140^{1.85}}\right) * \left(\frac{(0.002030)^{1.85}}{(0.05442)^{4.87}}\right)$$

$$hf = 10.67 * \left(\frac{1}{9339.78}\right) * \left(\frac{1.31582004 * 10^{-5}}{5.2085 * 10^{-7}}\right)$$

$$hf = 10.67 * 0.000107 * 25.26 = 0.02m$$

Cálculo de la pérdida de carga en el tramo (hf-tramo):

$$hf_{tramo} = 10.67 * \left(\frac{L}{\varepsilon^{1.85}}\right) * \left(\frac{Q^{1.85}}{D^{4.87}}\right)$$

$$hf_{tramo} = 10.67 * \left(\frac{334}{140^{1.85}}\right) * \left(\frac{(0.002030)^{1.85}}{(0.0542)^{4.87}}\right)$$

$$hf_{tramo} = 10.67 * \left(\frac{334}{9339.784}\right) * \left(\frac{1.31582004 * 10^{-5}}{5.2085 * 10^{-7}}\right)$$

$$hf_{tramo} = 10.67 * (0.035780) * (25.26) = 5.83$$

Cálculo de la cota piezométrica final:

$$Cota\ piezometrica_{final} = cota\ terreno_{inicial} - hf_{tramo}$$

$$Cota\ piezometrica_{final} = 3932 - 5.83 = 3926.17$$

Cálculo de la presión en el punto P-02:

$$Presión = Cota\ piezométrica\ final - Cota\ terreno\ final$$

$$Presión = 3926.17 - 3911.53 = 14.64\ m.\ c.\ a$$

4. Resultados

4.1 Resultados del análisis con Epanet y Tdhnet

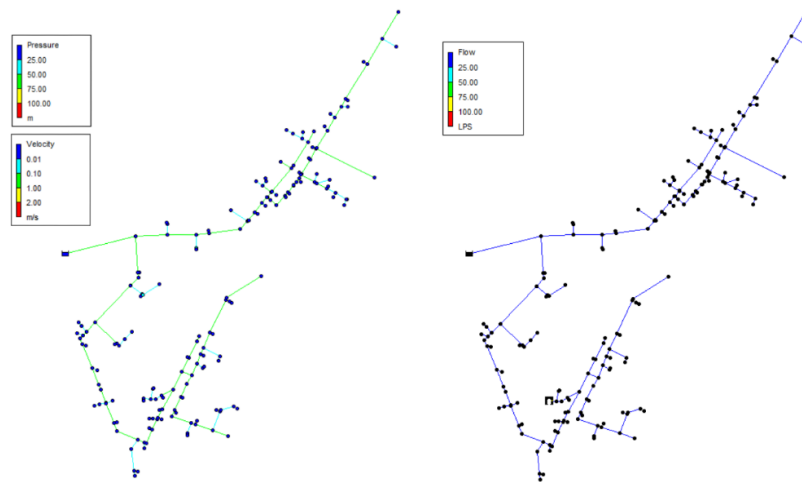
El análisis con EPANET reveló varias áreas clave donde el diseño actual de la red podría mejorarse. En primer lugar, se identificaron varias secciones de la red donde la presión caía por debajo de los niveles recomendados, lo que podría llevar a un suministro de agua insuficiente en esos puntos lo que sugiere que la red actual no está adecuadamente dimensionada. En función de este problema, el desarrollo de la capacidad de la red se lleva a cabo aumentando el diámetro o disminuyéndolo de la tubería actual para que se pueda reducir la velocidad del flujo y la pérdida de presión en la red de distribución. (Sanchita, Yujana, & Suranata, 2023)

La versión V1 correspondiente a los cálculos manuales del modelo ideal, el V2 a la red distribución ejecutado y el V3 el diseño ideal, en base a estas versiones se realizó una comparación detallada de la presión en los nodos

y el flujo en tuberías entre las versiones de la red de distribución de agua. La versión V3 se diseñó específicamente para cumplir con las normas peruanas vigentes. Estos resultados fueron obtenidos mediante simulaciones realizadas con EPANET Y TDHNET.

Figura 4

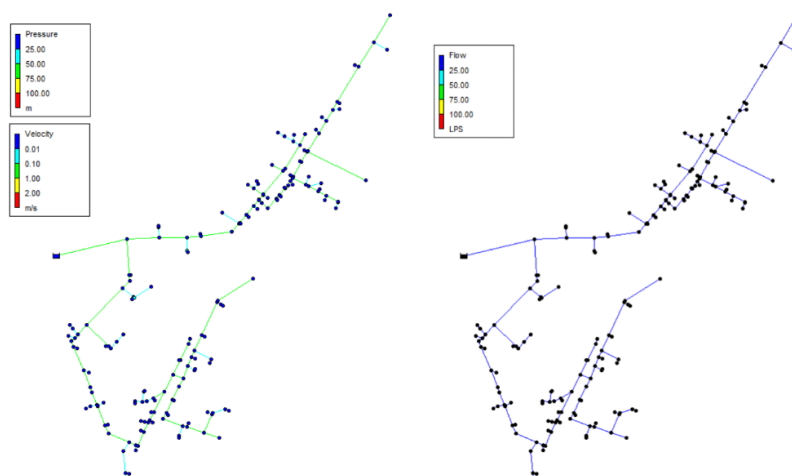
Modelamiento de Version V2



La figura 4 muestra los resultados de la simulación hidráulica correspondiente al escenario operativo V2. A la izquierda se observa la distribución de presiones en nodos, también se muestra las velocidades en las tuberías y a la derecha el caudal en la red. Los resultados fueron generados mediante el software EPANET.

Figura 5

Modelamiento de versión V3



La figura 5 muestra los resultados de la simulación hidráulica correspondiente al escenario operativo V3. A la izquierda se observa la distribución de presiones en nodos también se muestra las velocidades en las tuberías, y a la derecha el caudal en la red. Los resultados fueron generados mediante el software EPANET.

Tabla 2.

Calculo Manual V1

Tuberías	tramos		L (m)	(viviendas)	Q (m ³ /s)	D (m)	V 0.6-3 (m/s)	P	R
	N 1	N 2							
51	resrvorio	P-02	334	145	0.00203	0.0542	0.88	14.64	140
p132	P-02	P-03	146.95	79	0.00111	0.0542	0.48	16.80	140
29	P-03	P-4	130.6	78	0.00109	0.0434	0.74	16.77	140
187	P-04	N223	63	78	0.00109	0.0434	0.74	19.16	140
188	N223	P-05	145	76	0.00106	0.0434	0.72	17.12	140
194	P-05	n224	49	75	0.00105	0.0434	0.71	18.16	140
193	n224	n227	5	74	0.00104	0.0434	0.70	18.98	140
192	n227	n229	48	74	0.00104	0.0434	0.70	32.65	140
191	n229	n232	53.68	73	0.00102	0.0434	0.69	33.42	140
49	P-02	8	166.9	67	0.00094	0.0542	0.41	14.22	140
48	8	02-a	24	66	0.00092	0.0434	0.62	13.93	140
28	02-a	02-b	50	65	0.00091	0.0434	0.62	13.50	140
31	02-b	02-c	233.75	63	0.00088	0.0434	0.60	11.24	140
p15	02-c	02-d	56.85	63	0.00088	0.0434	0.60	12.01	140

Tabla 3.

Comparación de presiones en los nodos de la red de distribución de agua entre las versiones V2 y V3.

EPANET								
V2					V3			
Prueba Presion					Prueba Presion			
Networ k Table	Nodo 1	Nodo 2	Presió n	Presió n	Networ k Table	Presió n	Presió n	rugosida d
Tubería s			Nodo 1	Nodo 2	Tubería s		Nodo 2	
ID			m	m	ID	m	m	
51	Reservorio *	P-02	0.00	14.64	51	0.00	14.63	140
p132	P-03	P-02	14.63	16.81	p132	14.63	16.81	140
29	P-4	P-03	16.81	18.20	29	16.81	16.82	140
187	n223	P-4	18.20	21.30	187	16.82	19.26	140

188	P-5	n223	21.30	20.77	188	19.26	17.26	140
194	P-5	n224	20.77	22.29	194	17.26	18.29	140
193	n224	n227	22.29	23.17	193	18.29	19.12	140
192	n227	n229	23.17	37.31	192	19.12	32.80	140
191	n229	n232	37.31	38.60	191	32.80	34.09	140
49	P-02	8	14.63	14.21	49	14.63	14.21	140
48	8	02-a	14.25	14.21	48	14.06	14.21	140
28	02-b	02-a	14.25	14.20	28	14.06	13.61	140
31	02-c	02-b	14.20	13.62	31	13.61	11.29	140
p15	02-d	02-c	13.62	14.81	p15	11.29	12.09	140

Tabla 4.

Comparación de presiones en los nodos de la red de distribución de agua en versiones V2 y V3 Tdhnet.

TDHNET								
V2					V3			
Prueba Pressure					Prueba Pressure			
Network Table	Nodo 1	Nodo 2	Presión	Presión	Network Table	Presión	Presión	rugosidad
Tuberías ID			Nodo 1 m	Nodo 2 m	Tuberías ID	Nodo 1 m	Nodo 2 m	
51	Reservorio*	P-02	0.00	14.64	51	0.00	14.63	140
p132	P-03	P-02	14.63	16.81	p132	14.63	16.81	140
29	P-4	P-03	16.81	18.20	29	16.81	16.82	140
187	n223	P-4	18.20	21.30	187	16.82	19.26	140
188	P-5	n223	21.30	20.77	188	19.26	17.26	140
194	P-5	n224	20.77	22.29	194	17.26	18.29	140
193	n224	n227	22.29	23.17	193	18.29	19.12	140
192	n227	n229	23.17	37.31	192	19.12	32.80	140
191	n229	n232	37.31	38.60	191	32.80	34.09	140
49	P-02	8	14.63	14.21	49	14.63	14.21	140
48	8	02-a	14.25	14.21	48	14.06	14.21	140
28	02-b	02-a	14.25	14.20	28	14.06	13.61	140
31	02-c	02-b	14.20	13.62	31	13.61	11.29	140
p15	02-d	02-c	13.62	14.81	p15	11.29	12.09	140

Tabla 5.

Comparación de presiones en los nodos de la red de distribución de agua en versiones V2 y V3 Epanet.

EPANET										
V2					V3					
Prueba Velocity					Prueba Velocity					
Netw ork Table	Veloc ity	Longi tud	Diáme tro	Cau dal	Netw ork Table Tuber ías	Veloc ity	Longi tud	Diá me tro	Cau dal	Ru go sid ad
Tuber ías										
ID	m/s	m	mm	LPS	ID	m/s	m	mm	LPS	
51	0.89	334	54.2	2.05	51	0.89	334	57	2.04	140
p132	0.48	146.9 5	54.2	1.11	p132	0.48	146.9 5	43.4	1.11	140
29	0.47	130.6	54.2	1.09	29	0.74	130.6	43.4	1.09	140
187	0.47	63	54.2	1.08	187	0.73	63	43.4	1.08	140
188	0.46	145	54.2	1.06	188	0.72	145	43.4	1.06	140
194	0.46	49	54.2	1.06	194	0.72	49	43.4	1.06	140
193	0.46	5	54.2	1.05	193	0.71	5	43.4	1.05	140
192	0.45	48	54.2	1.04	192	0.70	48	43.4	1.04	140
191	0.44	53.68	54.2	1.02	191	0.44	53.68	43.4	1.02	140
49	0.41	166.9	54.2	0.95	49	0.41	166.9	43.4	0.94	140
48	0.40	24	54.2	0.93	48	0.63	24	43.4	0.92	140
28	0.40	50	54.2	0.93	28	0.63	50	43.4	0.92	140
31	0.39	233.7 5	54.2	0.91	31	0.61	233.7 5	43.4	0.89	140
p15	0.37	56.85	54.2	0.86	p15	0.58	56.85	43.4	0.85	140

Tabla 6.

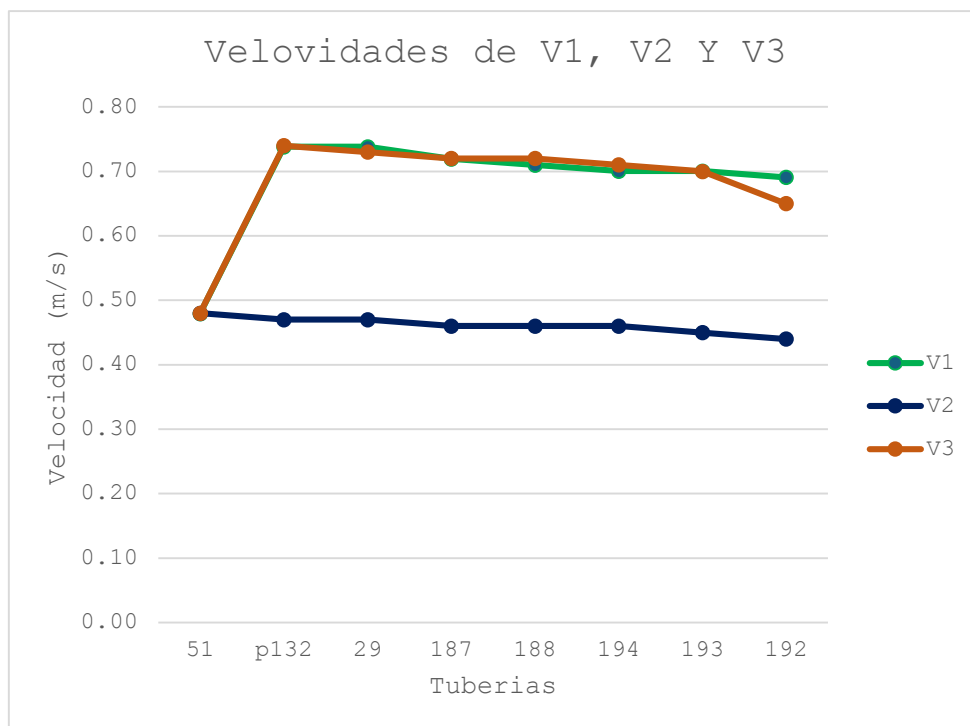
Comparación de Velocidades de Flujo en las Tuberías de la Red de distribución de Agua entre las Versiones V2 y V3 TdhNet.

TDHNET										
V2					V3					
Prueba Velocity					Prueba Velocity					
Netw ork Table	Veloc ity	Longi tud	Diáme tro	Cau dal	Netw ork Table Tuber ías	Veloc ity	Longi tud	Diá me tro	Cau dal	Ru go sid ad
Tuber ías										
ID	m/s	m	mm	LPS	ID	m/s	m	mm	LPS	

51	0.89	334	54.2	2.05	51	0.89	334	57	2.04	140
p132	0.48	146.9 5	54.2	1.11	p132	0.48	146.9 5	43.4	1.11	140
29	0.47	130.6	54.2	1.09	29	0.74	130.6	43.4	1.09	140
187	0.47	63	54.2	1.08	187	0.73	63	43.4	1.08	140
188	0.46	145	54.2	1.06	188	0.72	145	43.4	1.06	140
194	0.46	49	54.2	1.06	194	0.72	49	43.4	1.06	140
193	0.46	5	54.2	1.05	193	0.71	5	43.4	1.05	140
192	0.45	48	54.2	1.04	192	0.70	48	43.4	1.04	140
191	0.44	53.68	54.2	1.02	191	0.44	53.68	43.4	1.02	140
49	0.41	166.9	54.2	0.95	49	0.41	166.9	43.4	0.94	140
48	0.40	24	54.2	0.93	48	0.63	24	43.4	0.92	140
28	0.40	50	54.2	0.93	28	0.63	50	43.4	0.92	140
31	0.39	233.7 5	54.2	0.91	31	0.61	233.7 5	43.4	0.89	140
p15	0.37	56.85	54.2	0.86	p15	0.58	56.85	43.4	0.85	140

Figura 6

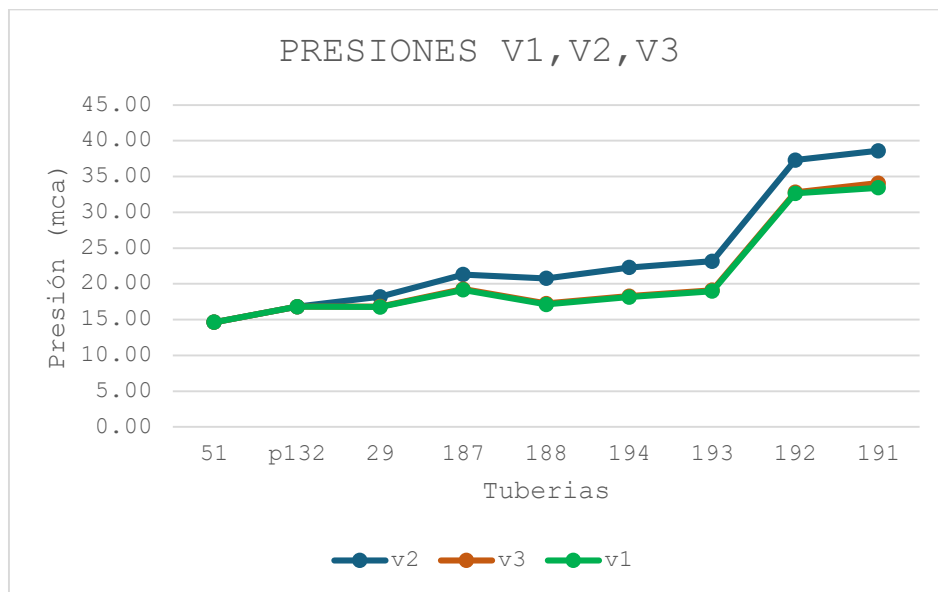
Comparación de velocidades de flujo de la tuberías para las versiones V1, V2 y V3.



La gráfica 6 muestra las velocidades de flujo para tres versiones diferentes (V1, V2 y V3), cada línea representa una versión: V1 (línea verde): Velocidad intermedia, superior a V2. V2 (línea azul): Velocidad más baja en comparación con las otras versiones V3 (línea naranja): Velocidad similar a V1, estos están en unidades de (m/s).

Figura 7

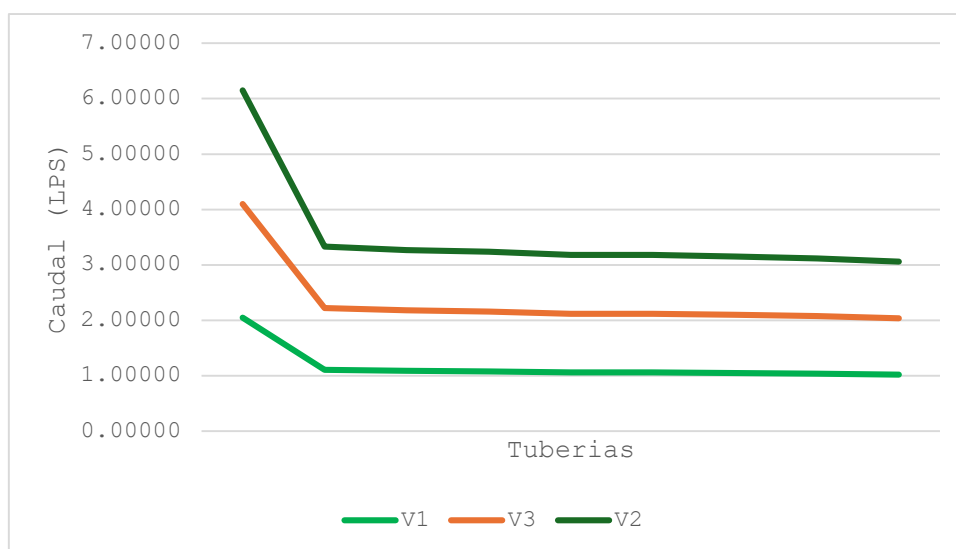
Comparación de velocidades de flujo de la tuberías para las versiones V1,V2 y V3.



El gráfico 7 compara las presiones en los nodos de un sistema para tres versiones (V1, V2, V3) Se observa que, V1 (línea verde) Registra las presiones similares a V3. V2 (línea azul) presenta las presiones más altas. V3 (línea naranja) registra las presiones similares al nivel a V2, esto están en unidades de (m.c.a).

Figura 8

Comparación de velocidades de flujo de la tuberías para las versiones V1, V2 y V3.



El gráfico 8 compara los caudales obtenidos en las tres versiones de diseño (V1, V2 y V3), cada versión está representada con un color diferente. Se observa que las curvas presentan una tendencia similar, con ligeras variaciones, estos están en unidades de (m³/s).

4.1.1 Diseño optimo

Tabla 7.

Presiones, velocidades y caudales del flujo en la red de distribución de agua en la versión 3

DISEÑO OPTIMO												
Tubería	EPANET						TDHNET					
	L	D	PN1	PN2	V	Q	D	PN1	PN2	V	Q	Rugosidad
ID	m	m	m	m	m/s	LP	m	m	m	m/s	LP	
51	334	54.2	0.00	14.63	0.89	2.05	54.2	0.00	14.63	0.89	2.04	140
p132	146.95	43.4	14.63	16.81	0.48	1.11	43.4	14.6	16.81	0.48	1.11	140
29	130.6	43.4	16.81	16.82	0.74	1.09	43.4	16.8	16.82	0.74	1.09	140
187	63	43.4	16.82	19.26	0.73	1.08	43.4	16.8	19.26	0.73	1.08	140

188	145	43. 4	19.2 6	17.2 6	0.72	1.0 6	43. 4	19.2	17.2 6	0.72	1.0 6	140
194	49	43. 4	17.2 6	18.2 9	0.72	1.0 6	43. 4	17.2	18.2 9	0.72	1.0 6	140
193	5	43. 4	18.2 9	19.1 2	0.71	1.0 5	43. 4	18.2	19.1 2	0.71	1.0 5	140
192	48	43. 4	19.1 2	32.8 0	0.70	1.0 4	43. 4	19.1	32.8 0	0.70	1.0 4	140
191	53.68	43. 4	32.8 0	34.0 9	0.44	1.0 2	43. 4	32.8	34.0 9	0.44	1.0 2	140
49	166.9	54. 2	14.6 3	14.2 1	0.41	0.9 5	54. 2	14.6	14.2 1	0.41	0.9 4	140
48	24	43. 4	14.0 6	14.2 1	0.63	0.9 3	43. 4	14.0	14.2 1	0.63	0.9 2	140
28	50	43. 4	14.0 6	13.6 1	0.6 3	0.93	43. 4	14.0	13.6 1	0.63	0.9 2	140
31	233.7 5	43. 4	13.6 1	11.2 9	0.6 1	0.91	43. 4	13.6	11.2 9	0.61	0.8 9	140
p15	56.85	43. 4	11.2 9	12.0 9	0.5 8	0.86	43. 4	11.2	12.0 9	0.58	0.8 5	140

Tabla 8.

Comparativa Estadística de Velocidades en las Versiones V2 y V3 mediante EPANET y TDHNet.

Software	Versión	Media de Velocidades (m/s)	Desviación Estándar (m/s)
EPANET	ENTRADA V2	0.46	0.16
	SALIDA V3	0.63	0.17
TDHNET	ENTRADA V2	0.46	0.16
	SALIDA V3	0.63	0.17
MANUAL	V1	0.63	0.11

En ambas plataformas, EPANET y TDHNet, la velocidad media es de 0.46 m/s con una desviación estándar de 0.16 m/s. En la versión **V3**, la velocidad media aumenta a 0.63 m/s y la desviación estándar es de 0.17 m/s. La versión **V3** tiene velocidades más altas, pero también una ligera mayor dispersión de los datos.

Tabla 9.

Comparativa Estadística de Velocidades en las Versiones V2 y V3 mediante EPANET y TDHNet.

Software	Versión	Media de Presiones (m)	Desviación Estándar (m)
EPANET	ENTRADA V2	20.30	8.19
	SALIDA V3	18.17	6.92
TDHNET	ENTRADA V2	20.31	8.18
	SALIDA V3	18.17	6.92
MANUAL	V1	18.04	6.80

En la versión V2, la presión media es de 20.30 m con una desviación estándar de 8.19 m. En la versión V3, la presión media es ligeramente inferior, 18.17 m, y la desviación estándar es menor, 6.92 m. Esto sugiere que, si bien la presión media es similar, la versión V3 tiene presiones más uniformes y menos dispersas en toda la red.

4.2 Resultados

Según la normativa peruana, las velocidades en redes de agua potable deben estar entre 0.60 m/s y 3 m/s. En la versión V2, la velocidad media de 0.46 m/s no cumple con el mínimo normativo, lo que podría aumentar el riesgo de sedimentación. En la versión V3, la velocidad media es de 0.63 m/s, un valor que sí cumple con los rangos normativos. Con respecto a las presiones, ambas versiones cumplen con los requisitos de la normativa peruana de mantener presiones entre 10 m.c.a y 50 m.c.a. La versión V2 tuvo una presión media de 20.30 m, y la versión V3 de 18.17 m, ambas dentro del rango. Sin embargo, la versión V3 presenta una presión más equilibrada en toda la red con una menor desviación estándar, reduciendo los riesgos de sobrepresión o presión insuficiente.

5. Conclusiones

1. Basado en los resultados de EPANET Y TDHNET, la versión V3 es la única que cumple con los valores de velocidad establecidos por la normativa peruana. Aunque ambas versiones cumplen con las presiones, la versión V2 no alcanza el mínimo de velocidad, lo que podría comprometer la calidad del agua. En contraste, la versión V3 garantiza condiciones hidráulicas más estables y homogéneas, V1 al ser un calculo manual presenta al igual v3 la misma velocidad pero menor desviación estándar.
2. La velocidad media de la red de la versión V3 y V1 de 0.63 m/s supera el umbral mínimo de 0.6 m/s, lo que ayuda a prevenir la sedimentación y a mantener la integridad del sistema, además de reducir los costos de mantenimiento.
3. La metodología de simulación y calibración con EPANET Y TDHNET es efectiva para analizar y optimizar el diseño de redes de distribución de agua. El proceso de ajustar y alinear el modelo de simulación con datos operativos reales es fundamental para una representación precisa del sistema y para proponer mejoras viables.
4. La metodología utilizada en este estudio, que incluye la simulación, calibración con EPANET de diferentes versiones de red Se realizaron 11 simulaciones, ofrece un enfoque que puede replicarse en otros proyectos de distribución de agua. Este proceso detallado de análisis y mejora puede aplicarse en redes de características similares, proporcionando una guía para optimizar sistemas en contextos rurales.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Buddhavarapu, P. N. V. S. R. (2015). On Bayesian estimation of spatial and dynamic count models using data augmentation techniques: application to road safety management. PhD thesis
- Ertugrul, S., & Hizal, N. A. (2005). Designing an intelligent controller based on modeling human operator actions. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 16(2), 133-140.
- Gonzalez-Valdes, Fuse, Y., B., Martinez-Lorenzo, J. A., & Rappaport, C. M. (2016). Advanced SAR imaging methods for forward-looking ground penetrating radar. In 2016 10th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP) (pp. 1-4). Davos, Switzerland. doi: <https://doi.org/10.1109/EuCAP.2016.7481192>
- Gu, S., Zhang, Y., Tang, J., Yang, J., Alvarez, J. M., & Kong, H. (2019). Integrating Dense LiDAR-Camera Road Detection Maps by a Multi-Modal CRF Model. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 68(12), 11635-11645. doi: <https://doi.org/10.1109/TVT.2019.2946100>
- Gueta, L. B., & Sato, A. (2017). Classifying road surface conditions using vibration signals. In 2017 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC) (pp. 039-043). Kuala Lumpur, Malaysia. doi: <https://doi.org/10.1109/APSIPA.2017.8281999>
- Hagan, M. T., Demuth, H. B., Beale, M. H., & De Jesús, O. (2014). *Neural network design* (2nd ed.). Martin Hagan.
- Hata, A. Y., & Wolf, D. F. (2015). Feature detection for vehicle localization in urban environments using a multilayer LIDAR. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17(2), 420-429. <https://doi.org/10.1109/TITS.2015.2477817>
- Haykin, S. (2009). *Neural networks and learning machines* (3rd ed.). Pearson.

- Hippi, M., Juga, I., & Nurmi, P. (2009). A statistical forecast model for road surface friction. Proceedings of the 15th International Road Weather Conference (SIRWEC) (pp. 16-18).
- Issa, A., Samaneh, H., & Ghanim, M. (2021). Predicting pavement condition index using artificial neural networks approach. Ain Shams Engineering Journal. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.04.033>
- Kim, S., Lee, J., & Yoon, T. (2021). Road surface conditions forecasting in rainy weather using artificial neural networks. Safety Science, 140, 105302. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105302>
- Li, M., Stein, A., Bijker, W., & Zhan, Q. (2016). Region-based urban road extraction from VHR satellite images using Binary Partition Tree. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 44, 217-225. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.09.005>
- Li, W., Liang, S., Jiang, Y., & Pan, Q. (2019). Road detection based on wavelet transform and deep belief network. Journal of Algorithms & Computational Technology, 13. <https://doi.org/10.1177/1748301819842733>
- Najafi, S., & Gerardo, G. W. (2016). Fuzzy logic inference-based pavement friction management and real-time slippery warning systems: A proof of concept study. Accident Analysis & Prevention, 90, 41-49. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.02.007>
- Pu, Z., Liu, C., Shi, X., Cui, Z., & Wang, Y. (2020). Road surface friction prediction using long short-term memory neural network based on historical data. Journal of Intelligent Transportation Systems.
- Pu, Z., Liu, C., Shi, X., Cui, Z., & Wang, Y. (2020). Road surface friction prediction using long short-term memory neural network based on historical data. Journal of Intelligent Transportation Systems, 1-12. <https://doi.org/10.1080/15472450.2020.1780922>

ANEXOS

Anexo 1. Evidencia de la Submisión

 Omar Zegarra Marmanillo <ric@ing.puc.cl>
Para: gabriela.cm  Sáb 04/05/2024 14:53

Gabriela Karla Caty mamani:



Thank you for submitting the manuscript, "Forecasting the surface conditions of the Juliaca - Puno highway in rainy weather using artificial neural networks" to Revista Ingeniería de Construcción. With the online journal management system that we are using, you will be able to track its progress through the editorial process by logging in to the journal web site:

Submission URL: <https://revistaingenieriaconstruccion.uc.cl/index.php/ric/authorDashboard/submission/78830>
Username: gabrielacm

If you have any questions, please contact me. Thank you for considering this journal as a venue for your work.

Omar Zegarra Marmanillo
Omar Zegarra Marmanillo
{JournalName} <http://ojs.uc.cl/index.php/ric>

Ilustración 1: Mensaje de la submisión

 RIC RIC <ric@ing.puc.cl>
Para: gabriela.cm  Jue 09/05/2024 17:22

Estimada Gabriela,

Su artículo ha sido recibido en la revista, estamos en proceso de revisar pertinencia y similitudes. Si el artículo es aceptable en estos dos aspectos, recién será considerado para su revisión por arbitros. Le agradecemos mucho por su paciencia.

Cordialmente,


Omar Zegarra
Editor Asistente | Revista Ingeniería de Construcción


Ilustración 2: Aprobación de la submisión

Anexo 2. Copia de la resolución de inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato articulo



“AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO”

RESOLUCIÓN N° 0133-2023/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Ñaña 28 de marzo de 2023

VISTO:

El expediente de **Renso Eddie Colque Quispe**, identificado(a) con Código Universitario N° 201310748 y **Gabriela Karla Caty Mamani**, identificado(a) con Código Universitario N° 201310787, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

CONSIDERANDO

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la aprobación e inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato articulo y la designación o nombramiento del asesor para la obtención del título profesional;

Que **Renso Eddie Colque Quispe** y **Gabriela Karla Caty Mamani**, han solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado "Pronóstico de las condiciones de la superficie de la carretera Juliaca - Puno en clima lluvioso utilizando redes neuronales artificiales" y la designación del Asesor, encargado de orientar y asesorar la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato articulo;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 28 de marzo de 2023, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

Aprobar el perfil de proyecto de tesis en formato articulo titulado "**Pronóstico de las condiciones de la superficie de la carretera Juliaca - Puno en clima lluvioso utilizando redes neuronales artificiales**" y disponer su inscripción en el registro correspondiente, designar a **Ing. Rina Luzmeri Yampara Ticona** como ASESOR para que oriente y asesore la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato articulo el cual fue dictaminado por: **Ing. Ecler Mamani Chambi** y **Mg. Fritz Willy Mamani Apaza**, otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución.

Regístrese, comuníquese y archívese.




Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA




Dr. Santiago Ramírez López
SECRETARIO ACADÉMICO

cc:
-Interesado

Ilustración 3: Acta de aprobación