



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**LOCALIZACIÓN ÓPTIMA DE VÁLVULAS REDUCTORAS DE
PRESIÓN PARA MEJORAR LA EQUIDAD EN REDES DE
DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN LA COMUNIDAD DE LLUNGO,
ATUNCOLLA**

TESIS

PRESENTADA POR:

EDITH CONDORI MULLUNI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PUNO – PERÚ

2024



NOMBRE DEL TRABAJO

**LOCALIZACIÓN ÓPTIMA DE VÁLVULAS
REDUCTORAS DE PRESIÓN PARA MEJO
RAR LA EQUIDAD EN REDES DE DISTRIB
UCIÓN DE AGUA EN LA COMUNIDAD DE
LLUNGO, ATUNCOLLA**

AUTOR

EDITH CONDORI MULLUNI

RECuento de PALABRAS

29881 Words

RECuento DE CARACTERES

139880 Characters

RECuento DE PÁGINAS

134 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

2.8MB

FECHA DE ENTREGA

Sep 26, 2024 3:36 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Sep 26, 2024 3:38 PM GMT-5

● **19% de similitud general**

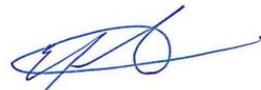
El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 18% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 9% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 13 palabras)


M.Sc. Alicia Hilda Calderon Mondragon
DOCENTE
CIP: 122022


D.Sc. EDILBERTO VELARDE COAQUIRA
Director Unidad de Investigación
Facultad de Ingeniería Agrícola - UNA - Puno


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
PUNO - PERU

Resumen



DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mi madre Candelaria, quien pudo ayudarme a cumplir esta meta tan anhelada, con sus sabios consejos y motivándome a ser mejor cada día, dando todo de ella para mi desarrollo personal y profesional, no escatimando recursos ya que todo fue una inversión en mí.

A mis amigos David, Deysi y Gaby quienes me acompañaron en mis peores momentos y en mis alegrías, supieron aconsejarme para perseverar en mi desarrollo profesional, y por ser modelos a seguir, gracias a ellos estoy cumpliendo una meta más en mi vida profesional. Y también a mi amigo Piter por ser fuente de inspiración en mi vida.

Dedico este trabajo a dichas persona por su amor, apoyo incondicional y motivación en todo momento.

Edith Condori Mulluni



AGRADECIMIENTOS

Primeramente, quiero agradecer a Dios, quien desde lo alto me da conducido hasta este momento, y me brindó su compañía en lo largo de mi crecimiento profesional.

Quiero expresar mi profunda gratitud a mi asesor de tesis, M. Sc. Alcides Héctor Calderón Montalico, por su guía, paciencia y apoyo constante a lo largo de este proyecto, por compartir sus conocimientos que fueron fundamentales para esta investigación.

Agradezco a la Facultad de Ingeniería Agrícola por brindar los recursos necesarios y el ambiente ideal para adquirir conocimientos en mi etapa universitaria.

A mi familia, por su apoyo incondicional y amor ya que han sido la fuerza que me impulsó a seguir adelante durante los momentos desafiantes de este camino académico.

Edith Condori Mulluni



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	12
ABSTRACT.....	14
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	18
1.2.1. Problema general.....	18
1.2.2. Problema específico	18
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
1.3.1. Hipótesis general	18
1.3.2. Hipótesis específica.....	19
1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	19
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	20
1.5.1. Objetivo general	20
1.5.2. Objetivos específicos	20



CAPÍTULO II

REVISION DE LITERATURA

2.1.	ANTECEDENTES	21
2.1.1.	Antecedentes internacionales	21
2.1.2.	Antecedentes nacionales	30
2.1.3.	Antecedentes regionales	32
2.2.	MARCO TEÓRICO	33
2.2.1.	Topografía	33
2.2.2.1.	División básica de la topografía.....	34
2.2.2.2.	Levantamiento topográfico.	36
2.2.3.	Componentes del sistema de distribución de agua potable	37
2.2.3.1.	Redes ramificadas	37
2.2.3.2.	Redes malladas (o reticuladas).....	38
2.2.4.	Comportamiento hidráulico	46
2.2.5.	Parámetros del comportamiento hidráulico	47
2.2.5.1.	Velocidades	47
2.2.5.2.	Presiones	49
2.2.5.3.	Estados de carga.....	51
2.2.5.4.	Diámetro.....	55
2.2.5.5.	Caudal	56
2.2.6.	Componentes de un sistema de agua.....	56
2.2.6.1.	Línea de conducción	56
2.2.6.2.	Reservorio de almacenamiento	57
2.2.6.3.	Redes de distribución	58
2.2.6.4.	Componentes de una red de distribución	59



2.2.6.5. División de una red de distribución	59
2.2.6.6. Válvulas	62
2.2.7. Análisis hidráulico	68
2.2.8. Inequidad.....	68

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN	70
3.1.1. Ubicación política	70
3.1.2. Ubicación geográfica	71
3.2. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	71
3.2.1. Análisis documental	71
3.2.2. Observación.....	71
3.2.3. Visita de campo/medición de campo	72
3.2.4. Internet	72
3.3. TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN	72
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA	73
3.4.1. Población.....	73
3.4.2. Muestra.....	73
3.4.3. Muestreo.....	73
3.4.4. Diseño de muestreo	74
3.4.5. Variables de estudio	74
3.4.5.1. Variable independiente	74
3.4.5.2. Variable dependiente.....	75
3.4.5. Delimitación temporal.....	75
3.4.6. Delimitación espacial	75



3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	75
3.6. MATERIAL EXPERIMENTAL	75
3.7. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	76
3.7.1. Diagnóstico del sistema de abastecimiento de agua potable.....	76
3.7.2. Construcción del Modelo Digital	77
3.7.3. Calibración del Modelo	78
3.7.4. Propuesta de Optimización	80
3.7.5. Criterios de evaluación de la calibración	80
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE	82
4.2. LOCALIZACIÓN OPTIMA DE LAS VRP.....	88
4.2.1. Calibración de la red de distribución	88
4.2.2. Localización óptima de válvulas	90
4.3. DISCUSIÓN	94
V. CONCLUSIONES.....	97
VI. RECOMENDACIONES.....	98
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	99
ANEXOS.....	104

Área : Infraestructura rural

Tema : Saneamiento rural

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 27 de setiembre del 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Coeficientes de rugosidad.....	40
Tabla 2 Criterios de evaluación en función a la presión.....	81
Tabla 3 Presiones de servicios del sap llungo - Atuncolla	85
Tabla 4 Comparación de resultados de presión	93



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Red ramificada.....	38
Figura 2 Circuito de red de distribución.	41
Figura 3 Diagrama del método hardy - cross.....	43
Figura 4 Masa de un fluido incompresible.	48
Figura 5 Solicitaciones debidas a la presión.	50
Figura 6 Estados de carga.	53
Figura 7 Válvula reductora de presión.....	65
Figura 8 Válvula de purga.....	66
Figura 9 Válvula de aire.....	67
Figura 10 Válvula de control.	68
Figura 11 Comunidad de llungo.	70
Figura 12 Sistema de agua potable llungo - atuncolla	83
Figura 13 Lectura y mediciones insitu de presiones de servicio	84
Figura 14 Sistema de agua potable llungo – atuncolla	87
Figura 15 Calibración de datos (observados vs simulados).....	88
Figura 16 Escenario de calibración y resultados de presiones en el sap llungo	89
Figura 17 Localización de vrp en el sap llungo	90
Figura 18 Optimización del modelo sap llungo.....	91
Figura 19 Comparación de modelos.	92



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1 Resultado de las presiones del modelamiento optimizado con VRP.	105
ANEXO 2 Resultado de velocidades del sistema optimizado con VRP.....	117
ANEXO 3 Plano del sistema de agua optimizado.....	131



ACRÓNIMOS

UTC:	Hora Universal Coordinada.
VRP:	Válvulas Reductoras de Presión.
RDAP:	Registration Data Access Protocol o Protocolo de Acceso a Datos de Registración.
DANE:	Departamento Administrativo Nacional de Estadística.
SAP:	Sistema de agua potable.
RAS:	Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico.
EPANET:	Es un programa para computador para el análisis de sistemas de distribución de agua potable.
AUACACT:	Empresa Acueducto Comunitario Aguas Calientes de Bogotá DC.
AG:	Algoritmo Genético.
SWMM:	Storm Water Management Model (Modelo de gestión de aguas pluviales).
TETIS:	Es un modelo de simulación hidrológica y del ciclo de sedimentos de tipo distribuido en el espacio.
NTE:	Normas Tecnológicas de la Edificación.
hf:	Perdidas de fricción
m.c.a:	Metros de columna de agua.
IWS:	Intelligent Watering Systems (es un sistema hidráulico con un depósito Flexitank que contiene agua).



RESUMEN

Muchos sistemas de abastecimiento de agua potable a nivel rural presentan problemas de fugas, rotura de tuberías y fallas en el sistema de dotación, esto debido a diversos factores como las sobrepresiones. El objetivo de la presente investigación es localizar de manera óptima válvulas reductoras de presión para mejorar la equidad en redes de distribución de agua en la comunidad de Llungo, Atuncolla. Por lo que se realizó cuatro etapas, la primera etapa fue realizar el diagnóstico del sistema de agua potable, después se construyó el modelo Digital a través de la red y planos de replanteo digitalizados, seguidamente se realizó la calibración del modelo digital con los datos recopilados en campo para asimilar el comportamiento y situación actual del sistema de agua potable. Y la cuarta etapa consistió en calibrar el sistema, y se ubicó las válvulas reductoras de presión. Finalmente se localizó 5 válvulas reductoras de presión en inicios de los tramos críticos donde se ha evidenciado las sobrepresiones, y se establecieron presiones de regulación de 20 mca para la VRP1, 40 mca para la VRP3, 45 mca para las VRP2 y VRP4, y 50 mca para la VRP5, al reducir las presiones por debajo de las que se establecieron en las VRP, también influyen en las presiones del sistema y se reducen por debajo de los 8 mca en las conexiones domiciliarias que se ubican por debajo de las VRP. Y con la localización óptima de las válvulas reductoras de presión se ha logrado optimizar el sistema de agua potable de Llungo.

Palabras Clave: Agua potable, Equidad, Localización óptima, Redes de distribución, Válvulas reductoras de presión.



ABSTRACT

Many rural drinking water supply systems have problems with leaks, pipe breaks and failures in the supply system, due to various factors such as overpressures. The objective of this research is to optimally locate pressure reducing valves to improve equity in water distribution networks in the community of Llungo, Atuncolla. Therefore, four stages were carried out, the first stage was to carry out the diagnosis of the drinking water system, then the Digital model was built through the network and digitized layout plans, then the calibration of the digital model was carried out with the collected data in the field to compare the behavior and current situation of the drinking water system. And the fourth stage consisted of calibrating the system, and the pressure reducing valves were located. Finally, 5 pressure reducing valves were located at the beginning of the critical sections where overpressures have been evident, and regulation pressures of 20 mca for VRP1, 40 mca for VRP3, 45 mca for VRP2 and VRP4, and 50 mca were configured. mca for the VRP5, by reducing the pressures below those configured in the VRP, they also influence the system pressures and it is reduced below 8 mca in the home connections that are located below the VRP. And with the optimal location of the pressure reducing valves, Llungo's drinking water system has been optimized.

Keywords: Potable water, Distribution networks, Pressure reducing valves, Equitable distribution.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento esencial en nuestro planeta para la vida de cada ser vivo, por lo que, debemos preservar la existencia del agua, sin contaminar, y malgastar el agua, utilizando adecuadamente ya que sin agua no habría vida en el mundo (Chakraborty, 2021). El agua sirve para muchas actividades como por ejemplo para la actividad pecuaria, agrícola, para el consumo humano, para lavar nuestras ropas, para lavar los alimentos que consumimos y entre muchas actividades más, sin embargo, últimamente el agua está escaseando por la degradación de los ecosistemas reguladores en las cuencas altas por el sobrepastoreo, cambio de uso del suelo, pérdida de bofedales por ganadería, deforestación, la variabilidad climática y el incremento de la temperatura. Sumado a estos factores, se encuentra también la contaminación de las aguas superficiales y de los acuíferos.

Las aguas residuales no tratadas; relaves mineros; lixiviados de basureros, es decir, contaminantes líquidos generados en un relleno sanitario; así como la minería legal; la contaminación; y el desgaste de los suelos producto del uso de agroquímicos, residuos sólidos, entre otros, influyen directamente sobre la calidad del agua, por lo que es necesario tomar medidas para optimizar el agua.

Muchos operadores de redes de distribución de agua no pueden satisfacer la creciente demanda de agua. En tales situaciones, los operadores de servicios públicos recurren al racionamiento del suministro como una solución parcial a este problema; esto, a su vez, puede conducir a una asignación desproporcionada de agua o a una inequidad en el suministro. Por lo que se debe proponer una formulación de programa no lineal de enteros mixtos y un enfoque de solución eficiente para minimizar la inequidad en el



suministro, sujeto a restricciones hidráulicas y restricciones adicionales sobre las horas de suministro y el funcionamiento de las válvulas (Kurian et al., 2023).

La ampliación de consumo de agua potable en las zonas rurales de nuestra región y específicamente en la comunidad de Llungo del distrito de Atuncolla es uno de los principales desafíos que deben enfrentar todas aquellas instituciones que están comprometido en mejorar la calidad de vida de la población rural.

En la zona rural mayormente carecen de sistemas de agua, por lo que se realiza proyectos de agua potable, fijando un almacén de agua llamado reservorio, lo cual a través de redes de distribución llega a cada vivienda agua potable para que pueda ser utilizado, sin embargo en todo el sistema de distribución existe tuberías donde hay mucha presión lo cual ocasiona la ruptura de tramos de tubería o malogra los accesorios que se utiliza en las tuberías, y no permite que llegue el agua con el caudal que se diseñó, por lo que es necesario controlar la presión con la que se transporta en las tuberías.

Por lo que, el presente proyecto de investigación tiene como objetivo localizar de manera óptima las válvulas reductoras de presión para una distribución equitativa del agua potable en la comunidad de Llungo del distrito de Atuncolla, para ello, se recopiló información topográfica, demandas, oferta hídrica, la cual se evaluó, y se procesó en Watercad para proponer un nuevo diseño de las redes de distribución, y evaluar deficiencias en la infraestructura existente, y de esta manera mejorar la equidad de presión en las redes. El resultado esperado es localizar estratégicamente válvulas reductoras de presión para mejorar la equidad en las redes de distribución de agua en la comunidad de Llungo. Esto permitirá optimizar la distribución del agua potable, ya que la modelación hidráulica es una herramienta que facilita la identificación de diversos escenarios para la



gestión y manejo eficiente del agua. De esta manera, se podrá mejorar la calidad de vida de los habitantes de Llungo.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El agua es un recurso de vital importancia para el desarrollo del ser humano y las actividades que realiza, por lo que, el agua debería de llegar a todas las personas del mundo, razón por la cual las entidades públicas y privadas han ido creando sistemas de agua potable o servicios de dotación para que más personas cuenten con el servicio básico, sin embargo, después de ejecutados los proyectos de sistemas de agua potable en la etapa de operación muchos proyectos presentan problemas de fugas, rotura de tuberías y fallas en el sistema de dotación, esto debido a diversos factores como las sobrepresiones que ocasionan problemas en las tuberías y en los componentes del sistema como línea de conducción y redes de distribución.

Las sobrepresiones se dan cuando el agua se mueve a través de las tuberías a una velocidad determinada, pero cuando se usa una válvula, el flujo se detiene por completo, el agua más cercana a la válvula se detiene abruptamente y luego es forzada a ingresar, y ocasiona sobrepresión y ello ocasiona rotura de tuberías, fugas, daños en los accesorios, por lo que, los accesorios en las conexiones domiciliarias sufren colapsos constantes por las presiones altas que hay en los sistemas ejecutados.

El sistema de agua potable Llungo, en la actualidad presenta problemas de presión en varios tramos del sistema debido a las depresiones y diferencias de nivel entre el reservorio y las zonas más bajas del sistema, dichas presiones representan un problema ya que pueden provocar roturas de las tuberías, y por consiguiente una pérdida drástica de la eficiencia del sistema, asimismo ello conlleva a que se eleven los costos de operación y mantenimiento.



En cuanto a la presiones, estas logran llegar los 85 m.c.a. de acuerdo a las mediciones que se realizaron insitu, evidenciando un problema latente, y según los propios beneficiarios se han encontrado con problemas en las tuberías y accesorios que actualmente ya se encuentran en mal estado, por lo que periódicamente se tiene que reemplazar dichos accesorios para no interrumpir el abastecimiento del sistema en las conexiones aledañas a los tramos con problemas de sobrepresiones.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿Se podrá mejorar la equidad en redes de distribución de agua localizando de manera óptima las válvulas reductoras de presión en la comunidad de Llungo, Atuncolla?

1.2.2. Problema específico

¿La presión del agua será la causante de la inequidad en el servicio de agua potable en la comunidad de Llungo?

¿Actualmente estarán ubicadas óptimamente las válvulas reductoras de presión en las redes de distribución de la comunidad de Llungo?

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis general

- La regulación de presiones mejora la distribución y equidad de dotaciones en el sistema.



1.3.2. Hipótesis específica

- La causante de la inequidad del servicio de agua potable en la comunidad de Llungo es el exceso de presión del agua.
- Actualmente las válvulas reductoras de presión no se encuentran ubicadas óptimamente en las redes de distribución de la comunidad de Llungo.

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Hoy en día existe la necesidad de abordar las desigualdades en el acceso al agua potable debido a variaciones en la presión dentro del sistema de distribución. Estas diferencias de presión suelen provocar un suministro ineficiente, con exceso en algunas zonas y déficit en otras, lo que impacta negativamente en la calidad de vida de los habitantes de la comunidad.

La implementación de válvulas reductoras de presión de manera estratégica permitirá una distribución más equitativa del recurso hídrico, garantizando que todas las áreas de la comunidad reciban un suministro de agua adecuado y constante, independientemente de su ubicación. Esto no solo mejorará el acceso al agua, sino que también reducirá problemas derivados del exceso de presión, como fugas y roturas en las tuberías, optimizando así el funcionamiento y la vida útil del sistema de distribución.

La modelación hidráulica es una herramienta clave en este proceso, ya que permite simular diversos escenarios de operación de la red y evaluar la ubicación más adecuada para las válvulas, logrando una planificación más eficiente. De esta manera, se busca garantizar la sostenibilidad del sistema de agua potable y contribuir a la mejora de la calidad de vida de los pobladores de Llungo.



Este proyecto responde a la necesidad de gestionar de manera equitativa y sostenible los recursos hídricos, en concordancia con los objetivos de desarrollo sostenible, en particular con el objetivo de asegurar el acceso universal y equitativo al agua potable.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

Localizar de manera óptima válvulas reductoras de presión para mejorar la equidad en redes de distribución de agua en la comunidad de Llungo, Atuncolla.

1.5.2. Objetivos específicos

- Analizar el levantamiento topográfico, características de las redes hidráulicas, cantidad de usuarios, demanda.
- Realizar el análisis hidráulico para la localización óptima de las válvulas reductoras de presión para mejorar la equidad en las redes de la comunidad de Llungo.



CAPÍTULO II

REVISION DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Antecedentes internacionales

Méndez, A., realizó la tesis denominada: Rediseño del sistema de agua potable de la ciudad de Nandaime, departamento de Granada, con un periodo de diseño de julio 2011 – julio 2031, para obtener el título en ingeniería Civil de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, en el año 2013. Según (Méndez, 2013), el objetivo general del proyecto es rediseñar el sistema de agua potable para mejorar las condiciones de suministro de agua en la ciudad de Nandaime. El período de diseño es de julio de 2011 a julio de 2031. La problemática del proyecto fue que la población enfrenta la falta del servicio de agua potable. Como parte de la política de uso racional de los recursos, se creará un nuevo sistema de red de abastecimiento del líquido vital y se construirá un tanque de almacenamiento de capacidad adecuada. Su objetivo es ampliar la cobertura de los servicios antes mencionados. La investigación concluyó que las proyecciones de población de la ciudad de Nandaime se realizaron utilizando una relación porcentual del 3,25%, considerando la población de la ciudad con la mayor tasa de crecimiento poblacional. Las personas de la ciudad de Nandaime se abastecen con agua subterránea que es extraída de la cuenca que lleva el mismo nombre es muy apta para el consumo humano. Se proponen tres nuevos pozos para complementar los nuevos tanques de almacenamiento que se construirán (Méndez, 2013).



Godoy, A., realizó la tesis: Mejoramiento de la red de distribución del sistema de acueducto Auacact de la localidad de ciudad Bolívar mediante modelación en EPANET - Bogotá D.C. para obtener el título de especialista en Recursos Hídricos de la Universidad Católica de Colombia, en el año 2018. El principal objetivo del proyecto es planificar mejoras a la red de abastecimiento de agua potable de AUACACT en Ciudad Bolívar, Bogotá, que cumpla los requisitos obligatorios determinados por la norma RAS, mediante escenarios realizados a partir de un modelo hidráulico calibrado el cual permita detectar los problemas actuales en la red y en consecuencia mejorarlo. El proyecto espera identificar problemas como presión insuficiente, diámetro insuficiente, problemas hidráulicos, velocidad inadecuada y concentración excesiva de cloro. Al identificar problemas y mejorar la red de distribución, se tiene un impacto positivo en la población y se mejoran sus condiciones de vida, incluyendo a los vecinos de la zona y a todas las personas que trabajan y visitan la zona, dejando en última instancia la planificación a los gestores y operadores del agua. Suministrar herramientas para la toma de decisiones (Godoy & Cifuentes, 2018).

Guzmán, V., realizó el proyecto de tesis denominado: Algoritmos Genéticos y Epanet 2.0 para la Localización Óptima de Válvulas Reductoras de Presión en Redes de Distribución de Agua Potable, en la Universidad Nacional Autónoma de México para obtener el título de Ingeniería de computación, en el año 2009, el objetivo general de este trabajo es desarrollar un método automatizado mediante un algoritmo genético y Epanet 2.0, para ayudar en el control de presiones en redes de distribución de agua potable, mediante la localización óptima de válvulas reductoras de presión. Las fugas de agua en las redes de distribución de agua potable se deben a que el líquido se encuentra a muy



alta presión. Esto puede ser un gran problema cuando se trata de redes grandes con una gran cantidad de tuberías y conexiones entre ellas. Se planean algoritmos genéticos para ayudar a resolver este problema. Este trabajo presenta un algoritmo genético multiobjetivo que codifica cromosomas mixtos para encontrar la ubicación óptima de válvulas reductoras de presión en redes de distribución de agua potable. Para modelar la red se utiliza Epanet 2.0. Este enfoque es aplicable a algunos sectores hídricos en la parte occidental del distrito federal, que se encuentran bajo una presión muy alta debido a las características geográficas del distrito. Los resultados obtenidos fueron muy buenos al observar la presencia de comportamiento espontáneo generado por el algoritmo genético que imita el comportamiento de expertos humanos para controlar la presión en la red de distribución de agua (Guzman, 2009).

Florián, S., realiza la propuesta de optimización del servicio de la red de distribución de agua potable – RDAP – del municipio de Madrid, Cundimarca, en la Universidad Católica de Colombia para obtener el título de Ingeniería Civil en el año 2017. El objetivo principal del proyecto es proponer una optimización para la red de distribución de agua potable en el municipio de Madrid, Cundinamarca, Colombia. Para lograr un servicio adecuado, utilizando un modelo de simulación digital. Después de revisar toda la información proporcionada, que fue de gran ayuda para modelar y calibrar el modelo digital numérico, cabe señalar que para trabajar más fácilmente con el programa y los resultados que proporciona, es necesario conocer más sobre la red. se recomienda seguirlo para comprender el estado actual del arte. Para la calibración más rigurosa se requiere caudales mínimos y máximos de RDAP, el proyecto utilizó un caudal proporcionado por la empresa de 145 litros por segundo con un consumo de 99 l. / hab. /día. Se



requieren datos de caudales horarios, diarios o mensuales para obtener un modelo digital calibrado con mayor precisión. Utilizando este estudio, se recomienda que futuros proyectos de grado que modelen el funcionamiento de las bombas para optimizar y planificar su funcionamiento, optimizando así los costos de las bombas (Florian, 2017).

Beltrán, A., realizó la tesis denominada: Análisis de la demanda y la red de distribución de agua en el municipio de Aracataca, Colombia, en la Universidad Católica de Colombia para optar el título de Ingeniería Civil, se realizó dicho proyecto en el año 2014. El principal objetivo del proyecto es planificar un esquema de optimización hidráulica del sistema de distribución de agua potable en el municipio de Aracataca, complementado con un análisis estadístico de la presión del servicio. Según el DANE, la ciudad de Aracataca actualmente tiene una cobertura insuficiente en la prestación de servicios públicos domiciliarios, con un 41% de la población sin servicio de agua potable y un 71% sin servicio de alcantarillado. Esta cobertura está por debajo del promedio departamental. Esto muestra los problemas actuales que afectan a la población. Como parte del estudio, se puede desarrollar un plan de optimización hidráulica para el sistema de distribución de agua potable de la ciudad utilizando el software EPANET y se realiza un modelado hidráulico de la red para evaluar la situación existente y los escenarios sectorizados. Se realizó un análisis estadístico de la presión del servicio, que resultó de gran utilidad para la optimización de la red. Durante el análisis, resultó que la solución de optimización propuesta ejerce suficiente presión sobre la red para adaptarse a las necesidades actuales del municipio y de los principales beneficiarios (Beltrán & Abril, 2014).



Kurian et al., (2023) propone una técnica racional para organizar el suministro de las redes de suministro de agua rural con el fin de maximizar la igualdad del suministro de agua de las aldeas. El objetivo secundario es reducir el número de operaciones de válvulas.

Klingel (2012), mencionó que la mayoría de los sistemas de distribución fueron diseñados originalmente para el modo de suministro continuo y ahora funcionan de forma intermitente debido a diversas limitaciones. En este modo de funcionamiento, el sistema de tuberías sólo puede suministrar agua durante un período de tiempo limitado, en lugar de estar continuamente lleno de agua a presión, como estaba previsto originalmente en el concepto del proyecto técnico. El llenado y drenaje periódicos de los sistemas de tuberías puede tener muchos efectos negativos y, en última instancia, perjudicar o impedir la distribución sostenible de agua segura.

Dubasik (2017), en su investigación denominada: Planning for Intermittent Water Supply in Small Gravity-Fed, reporta que en la comunidad de Espavé, Panamá se instaló y puso en funcionamiento un nuevo sistema de agua en 2015. Está diseñado para operación continua, pero durante la estación seca el caudal del manantial es menor que las necesidades diarias totales de la comunidad. Bajo este régimen periódico, el sistema opera de manera diferente, dejando a algunos miembros de la comunidad sin acceso a los servicios de agua. La información de levantamiento y diseño se utilizó para modelar el sistema para la operación EPANET CWS (continua) y la operación EPA SWMM IWS (intermitente). Se realizaron varias pruebas utilizando enrutamiento dinámico de flujo en SWMM para simular flujos de temporada seca con demanda media y alta. Luego, el modelo se dividió en dos partes para aislar las casas más altas de las de



menor elevación. Estas secciones aisladas se utilizan para desarrollar un sistema jerárquico de gestión del suministro de agua. Los resultados del modelo sugieren que se recomienda reducir el uso diario durante la estación seca para evitar interrupciones en el sistema. Si la demanda aún supera la oferta, las entregas escalonadas a diferentes regiones pueden ayudar a mantener la igualdad en la distribución. Se deberían desarrollar modelos futuros de sistemas de distribución de agua para simular el IWS.

Abarca & da Silva (2020), presentaron una metodología para localizar embalses de distribución de agua en zonas rurales andinas (zonas remotas, poblaciones de bajos ingresos, zonas montañosas) utilizando diversos criterios analíticos.

De acuerdo a Magwilang et al. (2023), el desarrollo rural en Filipinas necesita urgentemente tecnologías avanzadas y soluciones analíticas para optimizar el uso de los suministros de agua por gravedad limitados existentes y su distribución proporcional a las comunidades. El software EPANET se utiliza para ajustar los tamaños de las tuberías de distribución para mantener un flujo de agua óptimo. Para maximizar el uso del suministro de agua existente, se desarrollaron modelos analíticos para determinar el número máximo de grifos conectados a cada fuente de agua, la variación en el tiempo de suministro de agua para un volumen de descarga determinado y el tiempo de suministro de agua proporcionado por cada fuente de agua. El análisis muestra la optimización del sistema de alimentación por gravedad. El suministro de agua puede evitar tuberías obstruidas, distribución desigual del suministro de agua y desbordamiento del tanque principal.



Las redes de suministro de agua intermitente (IWS) cuentan con sistemas hidráulicos diversos y complejos. Durante los cortes de agua, la red IWS se agota y los consumidores dependen del agua almacenada cuando se restablece el suministro se llenan las tuberías y el almacenamiento de los consumidores. Los procesos de drenaje, almacenamiento y recarga no se representan fácilmente en el software de modelado estándar, por lo que, se revisó 30 formas y las sintetizó en ocho enfoques diferentes para una comparación cuantitativa. Al elegir un método, nos enfrentamos a dos opciones principales: lo más rápido posible hasta que se reciba el volumen restringido o lo suficientemente rápido como para recibir el volumen requerido al final del suministro (flujo restringido). Cuantificamos los efectos de estas opciones sobre la satisfacción de la demanda del consumidor y los efectos de la desigualdad, utilizando tres redes de prueba con dos duraciones de suministro implementadas en dos solucionadores hidráulicos diferentes (EPANET y EPA-SWMM). La desigualdad esperada y la satisfacción de la demanda se ven fuertemente afectadas por las opciones que reflejan los retiros de los consumidores, como sin restricciones, con volumen restringido o de flujo restringido, pero no por el efecto de la implementación específica. El método de volumen restringido supone una mayor desigualdad que el método de flujo restringido, mientras que el método sin restricciones supone un retiro excesivo. El modelado de llenado evita un suministro desigual de agua, lo que reduce la cantidad de agua que reciben algunos consumidores, especialmente donde el agua es escasa. En igualdad de condiciones, recomendamos utilizar el método de volumen restringido, específicamente modelando mejoras del sistema e incluyendo procesos de llenado en el estudio de desigualdades (Abdelazeem & Meyer, 2024).



Sutharsan, (2023), indica que el correcto funcionamiento de la red de distribución de agua (WDN) en cualquier sistema de suministro de agua es esencial para proporcionar a los consumidores cantidades suficientes de agua potable a una presión suficiente. Sin embargo, a largo plazo, el rendimiento de WDN puede diferir del diseño original. En este estudio, se construyó un modelo de red WDN utilizando simuladores informáticos WaterGEMS y WaterCAD, y se realizó un análisis hidráulico para lograr una WDN óptima para un plan de suministro de agua comunitaria de una aldea en Sri Lanka. En el desarrollo del modelo de simulación WDN se llevó a cabo una serie de pasos tales como: la selección de modelos, la representación de la red, la simulación de la red, la identificación de problemas, la finalización de la configuración de la red y el análisis de resultados. Los parámetros hidráulicos como presión, velocidad y caudal se analizaron mediante simulaciones a largo plazo. Los resultados muestran que la carga de presión nodal en las uniones (100%) excede el nivel de presión requerido de 10 metros H₂O, que es suficiente para el funcionamiento eficiente del sistema de distribución de agua (WDS) durante los picos y caídas de la demanda. La torre de agua elevada está optimizada hasta una altura de 10 m para garantizar una presión de suministro de agua satisfactoria. La presión nodal está inversamente relacionada con la altura del suelo. El 67% de la red de tuberías tiene una velocidad de flujo entre 0,1 y 0,4 m/s, y el 17% de la red de tuberías tiene una velocidad de flujo inferior a 0,1 m/s. Una menor demanda diaria de agua en comunidades pequeñas puede generar condiciones de bajo flujo que pueden provocar sedimentación en las tuberías, por lo que se recomienda lavar las tuberías con frecuencia para evitar que los sedimentos se depositen en el sistema. El WDN



está diseñado para optimizar el tamaño de la tubería y la disponibilidad en el mercado.

Gullotta et al., (2021) propone un enfoque simplificado para mejorar la equidad de la distribución del agua en los sistemas existentes. Se introducen sistemas intermitentes de distribución de agua (WDS). Este método consiste en la instalación de válvulas en la red de distribución de agua con el objetivo de reorganizar el flujo de circulación para distribuir mejor el agua entre los usuarios de la red. La instalación en WDS se basa en el uso del algoritmo de suma secuencial (SA). Se desarrolló y probó un esquema de optimización basado en SA. El primero permite la identificación de las posiciones de las válvulas de compuerta para maximizar la equidad de la distribución global de la red, independientemente del efecto local de la válvula en los niveles de suministro de los nodos individuales. En contraste, el segundo enfoque apunta a maximizar la equidad global de la red optimizando la posición y el ajuste (grado de apertura) de las válvulas de control para incorporar el impacto de la nueva circulación de flujo en los niveles de entrega de cada nodo. Estos dos esquemas de optimización se aplicaron a una red de estudio de caso en condiciones de escasez de agua. El software se utilizó para simulaciones posteriores del Modelo de Gestión de Aguas Pluviales (SWMM) de la EPA. De la anterior aplicación exitosa al análisis de sistemas irregulares de distribución de agua. Los resultados de la aplicación del algoritmo SA también se comparan con los resultados obtenidos en la literatura y obtenido mediante el uso de la genética no dominada multiobjetivo, Algoritmo II (NSGA II). Los resultados demuestran el alto rendimiento del algoritmo SA para determinar las posiciones y ajustes óptimos de las válvulas en el WDS. La comparación muestra que el algoritmo SA funciona de manera similar a NSGA II



al tiempo que reduce significativamente el esfuerzo computacional asociado con el proceso de optimización.

2.1.2. Antecedentes nacionales

El bachiller Juan Alberto López Calle realizó la tesis denominada: Sectorización para la optimización hidráulica de redes de distribución de agua potable del sector operativo VI en el distrito de Castilla-Piura para obtener el Título de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Piura dicho trabajo se realizó en el año 2017, con el objetivo de mejorar y sectorizar la red de distribución de agua potable en el sector operativo VI de la región de Castilla. El estudio analiza el periodo estático de manera que la demanda en el nodo sea el caudal unitario encontrado en función del número de lotes y el caudal máximo por hora, cabe mencionar que, durante la ejecución del proyecto se probó la optimización dividiendo las líneas de distribución en sectores. Para la simulación hidráulica del sistema se usó el programa WATERCAD. Utilizando el esquema de sectorización final se logró un diseño totalmente confiable para su funcionamiento hidráulico y mediante la zonificación se pueden controlar mejor las fugas mediante detección electrónica en tiempo real (López, 2017).

Domingo Martín Vera Pereyra evaluó el comportamiento hidráulico de la red de distribución de agua potable en la región de Chupaca utilizando métodos computacionales tradicionales en el distrito de Chupaca, para obtener el Título de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Del Centro del Perú, en el año 2018, el objetivo del proyecto de tesis era analizar el comportamiento hidráulico de la red de distribución de agua potable en la región de Chupaca, se utilizaron tres softwares diferentes e independientes: WaterCAD, Epanet y WatDIS, que son los



llamados métodos de cálculo tradicionales. Luego de realizar el estudio se obtuvo los siguientes resultados: 3 métodos de cálculo tradicionales son útiles para analizar el comportamiento hidráulico y demuestran que la red de distribución de agua potable de Chupaca cuenta con tuberías y nodos que no cumplen con los requerimientos hidráulicos y por lo tanto no funciona de manera integrada, este efecto negativo se puede evitar utilizando un diseño optimizado. Sólo el software WaterCAD tiene un algoritmo directo para recomendar diseños óptimos, sin embargo, Epanet y WatDIS también pueden recomendar diseños óptimos, pero requieren el uso de otras herramientas no específicas del programa. Después de la optimización, el valor de presión promedio es de 38,80 m.c.a. La velocidad promedio es de 0,68 m/s, lo que indica una configuración hidráulicamente consistente y un buen desempeño de todo el sistema recientemente desarrollado (Vera, 2018).

Porras, O., desarrolló la tesis denominada: Reducción de pérdidas de caudal en una red de tuberías para mejorar la distribución de agua potable - sector San Carlos-La Merced, desarrollado para optar el título de Ingeniero Mecánico de la Universidad Nacional del Centro del Perú-Huancayo en el año 2014, el objetivo de dicha fue mejorar la distribución de agua potable en la red mediante control de presión y reduciendo las pérdidas de flujo utilizando la zonificación en la ciudad de La Merced-Chanchamayo. La finalidad del proyecto fue lograr el balance hídrico para conocer la cantidad de agua disponible en el río Pindo, por lo que, el modelo hidrológico distribuido TETIS se realizó con el objetivo específico de representar dicho modelo en la unidad hidrológica del río Pindo, calibrando y validando el modelo hidrológico a escalas diarias para evaluar la variabilidad hidrológica de la unidad hidrológica del río Pindo. Se concluye que el modelo



hidrológico distribuido TETIS aplicado a la unidad hidrológica Río Pindo permite obtener una calificación de “muy bueno” y se puede asumir que los factores de corrección obtenidos en la calibración permiten obtener los caudales de las series de precipitación registradas y si implementamos el Sistema de Control de Presión reduciremos las pérdidas de caudal en la red de distribución de agua potable y así mejoraremos la continuidad de los servicios en la parte alta de la ciudad (Porras, 2014).

2.1.3. Antecedentes regionales

Yanapa, J., en el 2015 realizó el proyecto de investigación: Optimización de redes de distribución de agua potable en cuatro comunidades del distrito de Pisacoma, provincia de Chucuito, del departamento de Puno, para optar el Título profesional de Ingeniero Agrícola en la Universidad Nacional del Altiplano. El objetivo del proyecto de investigación es optimizar la red de distribución de agua potable en las comunidades de Bajo Vilcallamas, Chambalaya Arriba, Quenta y Bajo Chambalaya en el distrito de Pisacoma. La problemática es la falta de agua dulce en el ambiente y los beneficiarios no cuentan con este servicio, por lo que, se propone modelar y obtener el menor costo de financiamiento para la eficiencia hidráulica, optimización del agua potable para las comunidades antes mencionada. Con base en las hipótesis propuestas, se utilizó el software CIVILCAD 2005 para modelar la eficiencia hidráulica. Los costos de financiamiento del proyecto también se lograron debido a diferencias en los diámetros de las tuberías, como el flujo, la velocidad y la altura de diseño. Por lo tanto, podrá proporcionar agua potable a las personas de manera eficiente y oportuna. La eficiencia hídrica y los costos de financiamiento adecuados traen mayores beneficios económicos a las comunidades (Yanapa, 2015).



2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Topografía

La topografía se define tradicionalmente como una ciencia aplicada que se ocupa de determinar las posiciones relativas de puntos de la Tierra y representar partes de la superficie terrestre en un plano. En un sentido más general, puede definirse como una disciplina que incluye todos los métodos utilizados para recopilar información sobre partes físicas de la Tierra (por ejemplo, topografía, cotas, canales de agua, etc.), con métodos clásicos, investigación de campo, fotogrametría y teledetección. Si se analiza la palabra topografía podemos ver que está compuesta por dos palabras griegas: topo- topos (lugar/ región/sitio) y -grafía graphe (descripción), indica que la topografía se refiere al arte o técnica encargada de describir detalladamente el terreno de un área o lugar en particular. Una definición muy precisa es: Topografía es la ciencia de determinar la posición de puntos en la superficie de la Tierra, por encima y por debajo de ella; medir distancias, ángulos y alturas (Rincón et al., 2017).

Según Gallego & Sánchez (2015), la ciencia que estudia las herramientas existentes, los métodos de su uso y los métodos de trabajo a seguir antes de cartografiar el terreno con todas las situaciones posibles se llama topografía.

Los trabajos topográficos se dividen en dos fases bien diferenciadas, como se menciona a continuación:

- Trabajo en campo, donde se toma datos del terreno que se va a intervenir, ya sea midiendo ángulos, las distancias a cada punto importante.



- Trabajo de gabinete, realizar los cálculos necesarios y finalmente mostrar la superficie del terreno.

Siempre debe ser posible comprobar el trabajo topográfico y determinar su precisión con varios puntos de control. Hay que recordar que todas las mediciones realizadas están sujetas a un cierto grado de error debido a las imperfecciones del instrumento utilizado y a limitaciones naturales de las personas que lo usan. Por tanto, en función del trabajo a realizar, debemos elegir las herramientas adecuadas y los métodos de trabajo adecuados, para que el número de errores cometidos nunca supere los límites requeridos. La topografía tiene como objetivo introducir diferentes herramientas en el mercado, instruir respecto a su uso y exactitud, explorar diferentes formas de trabajo en su uso y calcular los errores cometidos para elaborar un plano. La topografía es importante en todo proyecto de planificación, tanto en la fase de desarrollo como en su ejecución. Por lo tanto, en el ámbito de la agricultura, es necesario usar la topografía para proyectos de ingeniería, por ejemplo: equipos de riego a presión, caminos rurales, depósitos de agua, construcción de terrazas, nivelación de campos, etc., (Gallego & Sánchez, 2015).

2.2.2.1. División básica de la topografía.

a) Planimetría

Es la representación gráfica del estado del terreno, sin tener en cuenta los desniveles ni las diferentes alturas de dicho terreno. La planimetría sólo considera la proyección de la tierra sobre una superficie horizontal imaginaria (visto en planta), que se supone es la superficie media de la tierra (Yanapa, 2015).



b) Altimetría

Es una rama de la topografía que tiene como objetivo determinar el terreno, sus contornos, dimensiones y posición en el espacio tridimensional. Para la altimetría, el estudio se realiza en base a la altura del terreno que forma la topografía, y en ocasiones para levantar esta altura necesitamos valores planos, como distancias horizontales de perfiles, taludes (Machado, 2022).

c) Topografía integral

Se encarga de representar gráficamente diversos puntos de la superficie terrestre en cuanto a su posición en el plano y elevación (Yanapa, 2015).

d) Curva de nivel

Son líneas imaginarias que conectan puntos de igual altura con respecto a un nivel de referencia (generalmente el nivel medio del mar) y marcadas sobre el terreno desarrollan una trayectoria horizontal (Yanapa, 2015).

e) Perfil longitudinal

Según Machado (2022), el perfil longitudinal es una representación de relieve creada por secciones transversales realizadas a lo largo de un eje longitudinal.

f) Sección transversal

También llamada perfil transversal, y es el corte perpendicular al eje del perfil longitudinal en cada estaca, por lo general, algunos puntos se



llevan a la derecha y a la izquierda dependiendo del tamaño del proyecto (Yanapa, 2015).

2.2.2.2. Levantamiento topográfico.

Según Yanapa (2015), el levantamiento topográfico es un conjunto de procedimientos que deben realizarse para obtener una representación gráfica, planimétrica o plano exacta de cualquier superficie del terreno, sin tener en cuenta las diferencias de elevación o desniveles de la zona.

Para Machado (2022), es una trabajo que sirve para recopilar datos y características de campo de forma ortogonal, a escala y representados en papel o gráficos para su estudio, análisis y realizar cambios.

Según Rincón et al. (2017) el levantamiento topográfico es el conjunto de operaciones que determina la posición de puntos en el espacio y su representación en un plano, el conjunto de operaciones incluye:

- Selección del método de levantamiento.
- Elección del equipo a utilizar.
- Identificar y ubicar posibles vértices de apoyo.
- Realización de mediciones en terreno.
- Calculo y procesamiento de datos.
- Elaboración de planos.



2.2.3. Componentes del sistema de distribución de agua potable

Se pueden clasificar de diferentes maneras las redes de agua dependiendo del tipo de proyecto requerido para cada situación. La clasificación más sencilla que se puede hacer de una red de suministro de agua es dividirla en dos categorías amplias, como redes ramificadas y las redes malladas (Fernández, 2023).

2.2.3.1. Redes ramificadas

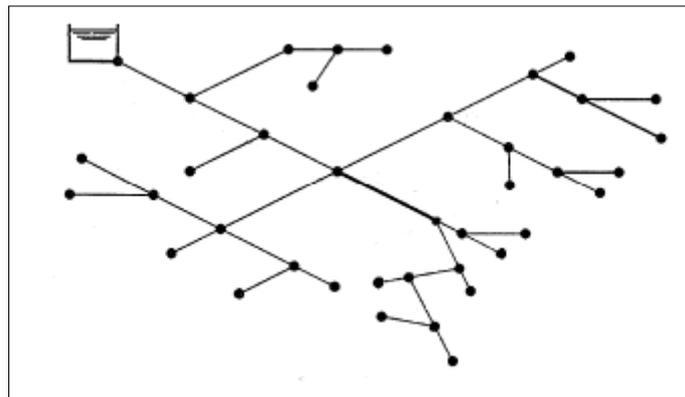
Este tipo de redes están formadas por la red principal, redes secundarias, y así consecutivamente (García & Perez de la Cruz, 2012).

Propiedades de las redes ramificadas:

- Cada punto de consumo recibe agua a lo largo de una ruta.
- El diámetro de los tubos disminuye.
- En caso de falla, toda la red posterior a la falla se queda sin suministro.
- El estancamiento del agua se produce en las ramas más externas, lo que puede cambiar su calidad.
- Se instalan en zonas rurales o extensas.

Figura 1

Red ramificada.



Nota: Ejemplo de red ramificada.

Para realizar su cálculo, conocidos los puntos y valores de consumos entrantes y salientes al sistema, diámetros y alturas geométricas:

- Desde aguas abajo hasta aguas arriba, se aplica la ecuación de continuidad en los nodos para la obtención de consumos en cada punto.

$$Q = S * V$$

$$S = \pi * D^2 / 4$$

- Cálculo de aguas arriba, aguas abajo, pérdidas y presión al final del tramo (Colebrook).

2.2.3.2. Redes malladas (o reticuladas)

Según Vera (2018), las redes de malla tienen una apariencia similar a una malla y circuitos de tubos cerrados. La distribución de caudales depende de las propiedades hidráulicas de las propias tuberías, por lo que los datos de consumo no proporcionan información suficiente para calcular los caudales.



Para calcularlo se conocen los puntos y valores, diámetros y alturas geométricas de los consumos que entran y salen del sistema:

a) MÉTODO 1

- Realizar cortes virtuales a la red para convertirla en ramificada.
- Calcular la presión existente en los puntos de corte virtuales por los caminos posibles. Se obtendrán valores diferentes a no ser que hallamos cortado por el punto exacto.
- Luego se admite el punto de recorte como válido si la diferencia de presiones es inferior al 20% de la pérdida de carga entre dicho punto y el origen de la red.
- Si no se cumple, tomar otros puntos de corte virtuales (NTE – IFA).

b) MÉTODO 2

El método de Hardy – Cross (1936) se basa en dos leyes:

- La suma de los caudales que entran en un nudo de la red es igual a la suma de los caudales que salen.
- Existirá un punto P, en el que las pérdidas de carga por un camino son igual a las pérdidas por el otro camino. O bien, considerando las pérdidas con signo, la suma de las pérdidas en una malla cerrada es cero.

Para el cálculo de las pérdidas se puede aplicar cualquiera de las formulaciones existentes (por ejemplo, podemos emplear Hazen – Williams, 1905):

$$h = \frac{10,674 * Q^{1,85} * L}{D^{4,87} * C^{1,85}}$$



Donde:

- h = pérdida de carga en un tramo (m).
- Q = Caudal $\left(\frac{m^3}{s}\right)$
- C = coeficiente de rugosidad (adim).
- D = Diametro interno de la tubería.
- L = Longitud de la tubería (m).

El método de Hardy – Cross comienza suponiendo unos caudales iniciales en los ramales (arbitrarios, pero que cumplan la primera ley).

El valor del coeficiente de rugosidad C viene dado en función de los diferentes materiales constitutivos de la tubería:

Tabla 1

Coefficientes de rugosidad.

MATERIAL	C	MATERIAL	C
Asbesto cemento	140	Hierro galvanizado	120
Latón	130-140	Vidrio	140
Ladrillo de saneamiento	100	Plomo	130-140
Hierro fundido, nuevo	130	Plástico (PE, PVC)	140-150
Asbesto cemento	140	Hierro galvanizado	120
Latón	130-140	Vidrio	140
Ladrillo de saneamiento	100	Plomo	130-140
Hierro fundido, nuevo	130	Plástico (PE, PVC)	140-150

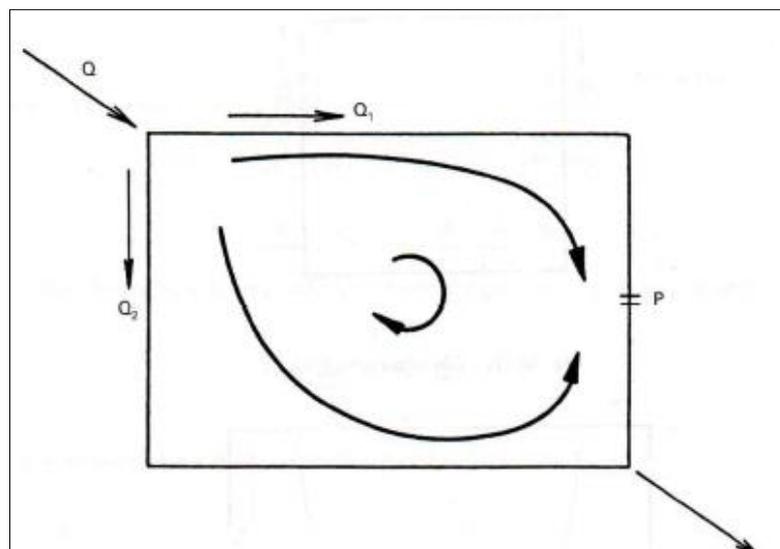
MATERIAL	C	MATERIAL	C
Hierro fundido, 10 años de edad.	107-113	Tubería lisa nueva	140
Hierro fundido, 20 años de edad.	89-100	Acero nuevo	140-150
Hierro fundido, 30 años de edad.	75-90	Acero	130
Hierro fundido, 40 años de edad.	64-83	Acero rolado	110
Concreto	120-140	Lata	130
Cobre	130-140	Madera	120
Hierro dúctil	120	Hormigón	120-140

Nota: Coeficiente de Hazen-Williams para algunos materiales.

Sea Q el caudal del circuito dividido por sus dos ramales y sea P el punto donde las pérdidas de carga en ambos ramales son iguales.

Figura 2

Circuito de red de distribución.



Nota: Circuito de dos ramales.



Se pueden formar las siguientes ecuaciones:

$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$h_1 = K_1 * Q_1^{1,85} * L_1$$

$$h_2 = K_2 * Q_2^{1,85} * L_2 = K_2(Q - Q_1)^{1,85} * L_2$$

Sea Q el caudal del circuito dividido por sus dos ramales y sea P el punto donde las pérdidas de carga en ambos ramales son iguales. Representando gráficamente las pérdidas a ambos lados con una gráfica de la primera coordenada con el origen normal O y la segunda con el origen O' desplazado una distancia igual al eje del flujo, obtenemos un punto P con una pérdida de presión $PF = h_1$, a distancia L1 y L2 O y O', la solución.

El procedimiento es el siguiente:

- Suponga una distribución de caudales considerando únicamente que la suma algebraica de los mismos en cada nodo es cero.
- Se calcula el error de pérdida de carga para cada circuito se calcula teniendo en cuenta la dirección de los flujos de agua (dándoles un signo), es decir sumando el flujo correspondiente al flujo de circulación en el sentido de las agujas del reloj y restando el flujo asumido en el sentido contrario a las agujas del reloj.

$$\Sigma h = \Sigma K_x * Q_x^{1,85} * L_x$$

- Se calcula, sin tener en cuenta el signo de las corrientes:

$$1,85 * \Sigma h / Q = 1,85 \Sigma (K_x * Q_x^{0,85} * L_x)$$

- Se obtiene el valor del caudal de corrección:

$$\Delta Q = - \frac{\Sigma h}{1,85 * \Sigma h/Q} = \frac{\Sigma K_x * Q_x^{1,85} * L_x}{1,85 \Sigma (K_x * Q_x^{0,85} * L_x)}$$

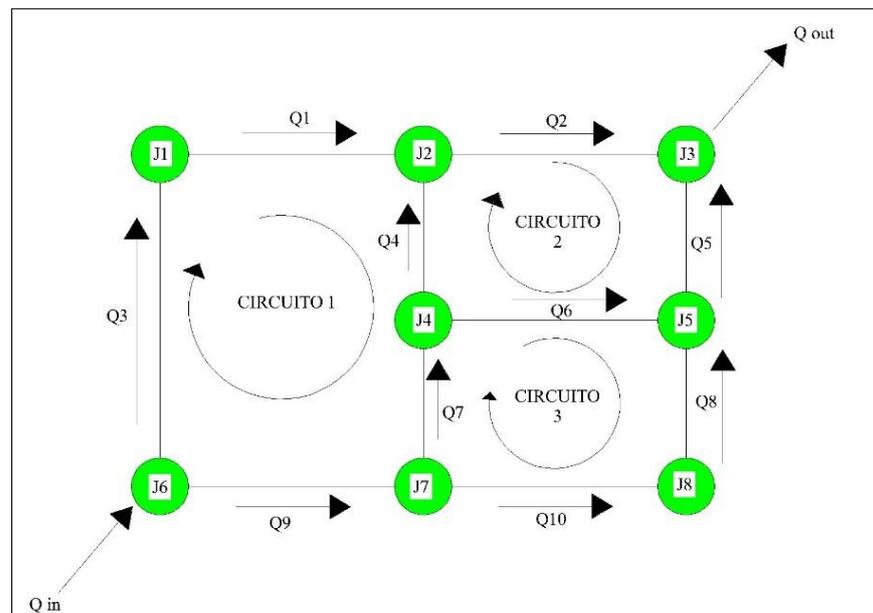
- Y se introduce como corriente de contrabalance de cada circuito para lograr que:

$$\Sigma h = \Sigma K_x (Q_x + \Delta Q)^{1,85} * L_x = 0$$

- Si no se cumpliera la igualdad anterior con los nuevos caudales así determinados, se repite el tanteo.

Figura 3

Diagrama del método Hardy - Cross.



Nota: Elaboración propia.

Consideraciones para la aplicación del Método de Hardy – Cross:

- Si $\Delta Q < 10\%$ del menor Q considerado, daremos por correcto el dimensionamiento realizado.
- Si la forma de la red y la carga son simétricas, decimos que la red es simétrica. Si hay simetrías, la simplificación se realiza



dividiendo tantas simetrías como sea posible y se calcula la malla resultante.

La velocidad del flujo de la sección y la sección transversal deben tener en cuenta el eje de simetría de modo que la última parte de la sección perteneciente al eje de simetría sea la sección que entrega el doble de caudal con las mismas pérdidas de carga (García & Perez de la Cruz, 2012).

A lo largo de los años la distribución del agua ha pasado por múltiples cambios y desarrollos, en la actualidad los softwares de simulaciones están siendo utilizados para poder realizar el diseño de toda una red de distribución de un sistema de abastecimiento de agua potable, con el fin de reducir el costo total mientras se satisface la demanda de agua a una presión adecuada y manteniendo la calidad de la misma (Debnath et al., 2022).

c) Método de gradiente hidráulico

Según Saldarriaga (1998), el método del gradiente utilizado para el cálculo de las redes de distribución de agua se basa en que un caudal constante garantiza el cumplimiento de las ecuaciones de conservación de masa en cada nodo de la red, así como de las ecuaciones de conservación de energía en cada circuito, explicándolo de una forma matricial sería:

$$\begin{bmatrix} [A11] & [A12] \\ [A21] & [0] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [Q] \\ [H] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -[A10][H_0] \\ [q] \end{bmatrix}$$

Donde:



- [A11]: Matriz diagonal de $NT \times NT$.
- [A10]: Matriz topológico tramo a nodo para los NS nodos de cabeza fija.
- [A12]: Matriz de conectividad.
- [A21]: Matriz transpuesta de [A12].
- [Q]: Vector de caudales con dimensión $NT \times 1$
- [H]: Vector de cabezas piezométricas desconocidas con dimensión $NN \times 1$.
- [Ho]: Vector de cabezas piezométricas fijas con dimensión $NS \times 1$.
- [q]: Vector de consumo (demanda) o de entrada (oferta) en cada mixto de la red, con dimensión $NS \times 1$.

Este método de la gradiente es utilizado en mayor parte de programas comerciales y de distribución gratuita en la Web (Saldarriaga, 1998).

d) Software Bentley Watercad

Rengifo & Zárate (2016), indica que Watercad es un software para la simulación, análisis, modelado y control hidráulico de redes de presión (sistemas de distribución o riesgo) y pertenece a Software Bentley, que brinda soluciones para el diseño, construcción y operación de infraestructuras en diversos campos. WaterCAD permite simular hidráulicamente modelos computacionales, que en este caso están representados por elementos tipo: líneas (secciones de tubería), puntos (nodos de consumo, embalses, embalses, hidrantes) y mezclas (bombas, válvulas de control, reguladores, etc.).



Las principales características que tiene de Bentley son:

- No hay límite para el tamaño de la red a analizar.
- Calcular las pérdidas por fricción en tuberías utilizando las expresiones de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach o Chezy-Manning.
- Modelo de bombas que funcionan a velocidad constante y velocidad variable.
- Calcula el consumo de energía y los costos de bombeo para cada estación.
- Modela varios tipos de válvulas de control, válvulas de retención, válvulas de cierre, válvulas de alivio de presión, válvulas de control de flujo.
- Permite almacenar agua en tanques de cualquier geometría.
- -Considere crear diferentes categorías de consumo en los nodos, cada una con su propia curva de modulación.
- Modela el consumo dependiente de la presión desde el sistema a través del emisor.
- Puede determinar el rendimiento de su sistema simplemente verificando el nivel del agua y el tiempo en el tanque.

2.2.4. Comportamiento hidráulico

Significa aplicar un cálculo hidráulico al modelo. El cálculo utiliza la siguiente información: caudal, tipo de material, pendiente longitudinal (S) y rugosidad (n). Esto también significa una pendiente que depende enteramente de



las propiedades mecánicas del material. Estos datos se pueden utilizar para calcular parámetros como caudal, velocidad, etc, (Loayza & Meza, 2022).

Según Loayza & Meza (2022), consiste en el uso de cálculos hidráulicos en el diseño. El cálculo se basa en los siguientes datos: caudal, tipo de material, pendiente longitudinal (S) y rugosidad (n). Esto también se aplica a la pendiente, que depende completamente de las propiedades mecánicas del material y permite calcular parámetros como caudal, velocidad, etc.

2.2.5. Parámetros del comportamiento hidráulico

2.2.5.1. Velocidades

Según Chow (1994), las velocidades en el canal no se distribuyen uniformemente debido a la fricción en las paredes laterales y el borde libre. Es común que las velocidades más altas ocurran debajo de la superficie libre con una profundidad que varía entre 0.05 y 0.25.

La distribución de velocidades en el canal también depende de factores tales como: la forma de la sección transversal del canal, la rugosidad dentro del canal y la presencia de curvas. en las partes del canal. De ello se deduce que, en un canal de corriente ancha, rápida y con poca profundidad o, por el contrario, en un canal liso, la velocidad máxima está en la superficie libre (Loayza & Meza, 2022).

Las velocidades de circulación del agua en el interior del tubo se consideran entre los valores límite que deben limitarse por motivos técnicos. La aparición de sonidos hace que valores de velocidad muy elevados puedan provocar una gran cantidad de erosión interna; Las bajas

velocidades, sin embargo, permiten el transporte de grandes cantidades de material puede tener consecuencias negativas debido a la limpieza de tuberías y la sedimentación (Vera, 2018).

Por regla general, para las redes de distribución se estiman los siguientes valores límites:

- Velocidad mínima = 0.5 m/s
- Velocidad máxima = 2 m/s

Para presiones normales de 2 a 5 atmósferas, la velocidad aproximada se puede determinar mediante la fórmula de Mougny:

$$1.5 * \sqrt{D + 0.05} \dots \dots \text{Ec 1}$$

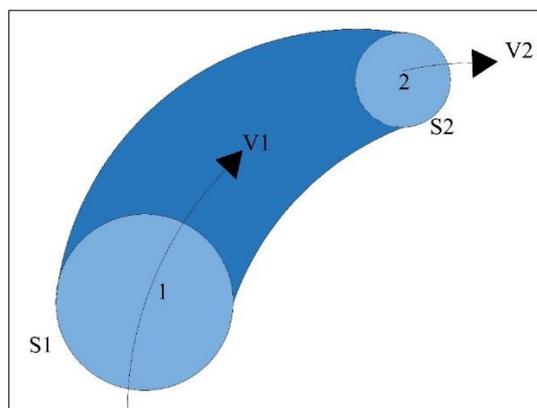
Donde:

- “D” es el diámetro.

Ecuación de continuidad de fluido, la masa de fluido incompresible que pasa por cualquier parte de una tubería en una unidad de tiempo constante. (Figura 4).

Figura 4

Masa de un fluido incompresible.



Nota: Elaboración propia.



Cumple:

- En la sección S1 y la sección S2 expuestas en la Figura 4, se puede deducir:

$$g_1 * S_1 * V_1 = g_2 * S_2 * V_2 = \text{constante } Q$$

- Como $g_1 = g_2$ (agua), entonces $S_1 * V_1 = S_2 * V_2 = Q$

Luego la ecuación de la continuidad será:

$$Q = S * V \dots\dots \text{Ec 2.1}$$

- Q: Caudal en litros por segundo.
- V: Velocidad (decímetros por segundo).
- S: Sección (decímetros cuadrados).

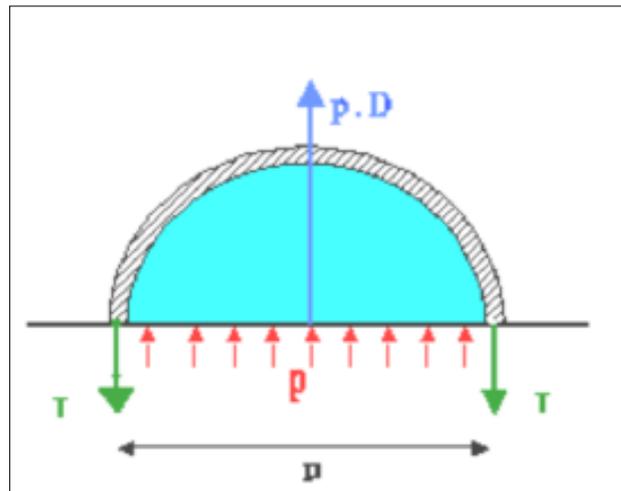
2.2.5.2. Presiones

La presión estática no debe exceder los 50 m en ningún punto de la red de tuberías. Siempre que exista una demanda máxima horaria, la presión dinámica no debe ser inferior a 10m. Al suministrar agua a través de la pileta, la presión mínima en la salida de la pileta es de 3.50 m. (Norma Técnica I.S.010, 2017).

Se muestra una tubería de presión, dividida por un plano horizontal que contiene el eje, lo que permite considerarla como un "cuerpo libre" que resalta a las solicitudes actuales (Pérez & Pérez, 2007).

Figura 5

Solicitaciones debidas a la presión.



Nota: Presión final distribuida a lo largo del diámetro.

Las leyes básicas de la física significan que la distribución de tensiones en los espesores de las tuberías debido a la presión interna es uniforme. Esta expresión se refiere a la consideración de "tubos de pared fina", es decir, la relación mínima entre espesor y diámetro (Pérez & Pérez, 2007).

En la Figura 5, se puede observar que la presión final distribuida a lo largo del diámetro debe equilibrarse mediante dos fuerzas de tracción, que a su vez están distribuidas uniformemente a lo largo del espesor del tubo y configuradas por dos fuerzas de equilibrio "T".

Por lo que, considerando una longitud unitaria de conducción ($L = 1$ m) se tiene que:

$$p \cdot D = 2 \cdot T = 2 \cdot \sigma \cdot e \dots\dots Ec 1$$

De donde:

$$\sigma = p \cdot \frac{D}{2} \cdot e \dots\dots Ec 2$$



En donde:

- e es el espesor o grosor de pared de la tubería de material homogéneo.
- p es la presión actuante en el plano horizontal que contiene al eje.
- σ es la tensión de trabajo del material.

Estas ecuaciones son utilizadas por la industria de procesamiento de tuberías; establecen valores de rotura para la presión interna y la tensión de tracción a partir de los cuales se puede determinar el espesor. Dado que cada espesor corresponde a una tensión permitida, los espesores de las tuberías están estandarizados para soportar diferentes rangos de presión predeterminados en estado estacionario, llamados clases de tuberías (Vera, 2018).

2.2.5.3. Estados de carga

Al diseñar el sistema de la red de distribución de agua potable se debe tener en cuenta su uso previsto. Habitualmente en ingeniería hidráulica se diseña para que el sistema pueda funcionar en las condiciones más adversas, por lo que, si puede funcionar en esas condiciones, implícitamente se puede decir que funcionará en otras condiciones y escenarios posibles (Vera, 2018).

Si consideramos el caso simple de tuberías sometidas a impulso y diseñadas para conducir una corriente máxima, el escenario más favorable del sistema conducirá exactamente esta corriente máxima. Si el sistema

puede manejar el peor de los casos, naturalmente será capaz de transportar flujos más pequeños (Vera, 2018).

Teniendo en cuenta la presión de trabajo de la tubería, es necesario calcular el fuerte impacto causado por una parada repentina de la bomba de refuerzo. Hay dos tipos de condiciones de peor caso: estática (caudal máximo), que se utiliza para determinar las capacidades hidráulicas, y transitoria, que se utiliza para evaluar la resistencia mecánica de la tubería (Vera, 2018).

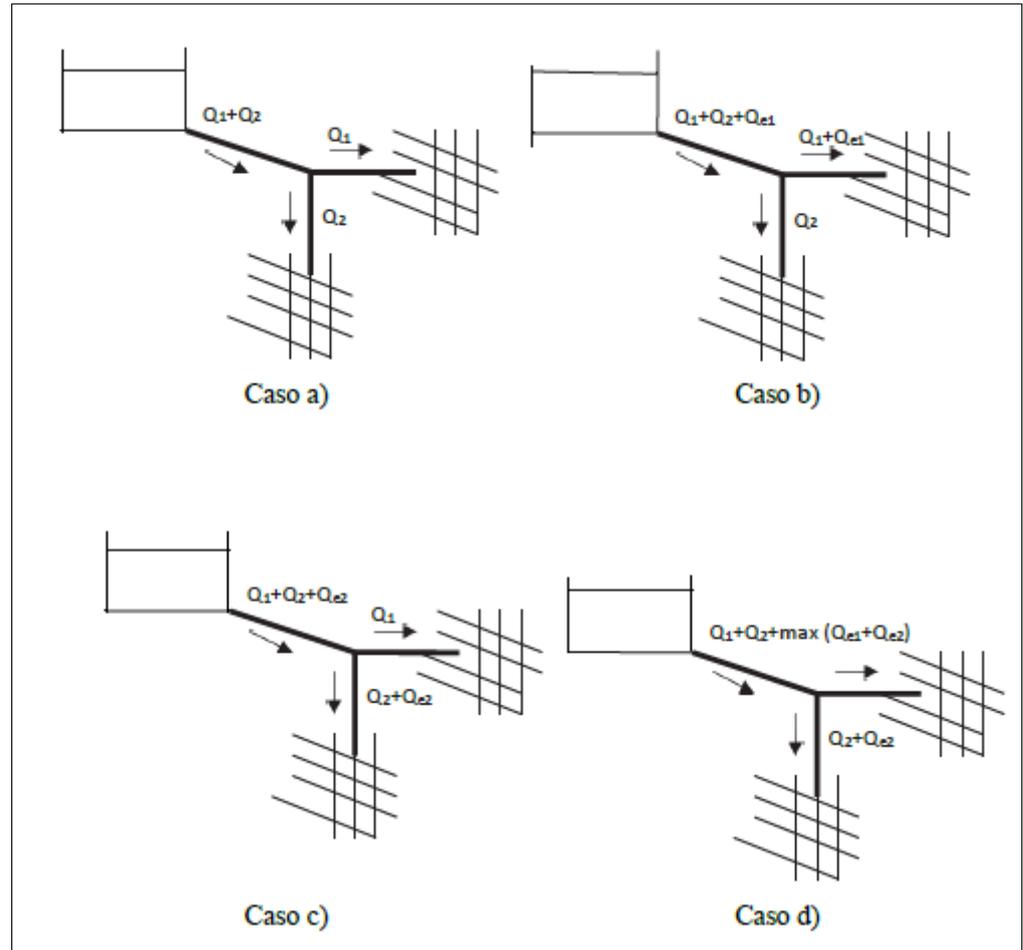
Es difícil determinar qué situación de la línea de distribución es la más desfavorable, porque existen muchas condiciones de operación para una red determinada. Sin embargo, el modelo operativo considerado representa adecuadamente el peor escenario que ocurre durante el funcionamiento normal de la red. Un diagrama de trabajo hace referencia a la magnitud del flujo en nodos, cruces o uniones y los datos de presión correspondientes. Por lo tanto, esta información se denomina estado de carga del sistema de red. El problema de diseño se formula de manera más precisa y confiable cuando se utilizan modos de carga más representativos. Esto, por supuesto, complica el modelo y su solución (Vera, 2018).

A veces es posible combinar información de varios estados de carga en uno solo. La Figura 6 muestra un problema de dimensionamiento donde un tanque abastece dos áreas con requisitos de uso normal de Q_1 y Q_2 (Caso a). Además, el sistema debe ser capaz de hacer frente a determinadas emergencias (por ejemplo, caudales de incendios) Q_{e1} y Q_{e2} , que se supone que no son simultáneas (casos b y c). Toda la

información de los casos a, b y c se resume en la presentación d. Si el sistema está diseñado para esta última actividad, responderá adecuadamente a los casos a, b y c. (Vera, 2018).

Figura 6

Estados de carga.



Nota: Ejemplo distintos estados de carga.

Se debe tener en cuenta que los caudales resultantes en las tuberías A, B y C no diverja con la muy usada ecuación de continuidad:

$$Q_1+Q_2+\text{máx}(Q_{e1}+Q_{e2}) = Q_1+Q_2+Q_{e1}+Q_{e2}$$

Desde el punto de vista de la efectividad de la presentación, esto no es importante, ya que durante la fase de diseño no se buscan situaciones



reales, sino una presentación funcional apropiada, independientemente de que sea ficticia. Esta representación sólo debe resumir el peor de los casos al que el sistema debería poder responder.

Representar caudales de diseño utilizando criterios de probabilidad o criterios de simultaneidad son ejemplos de cómo agrupar información en un solo modelo. Los siguientes puntos describen la información acumulativa necesaria para diseñar un sistema de tuberías para una red de distribución de agua:

- Necesidades de caudal: distribución espacial y temporal.
- Necesidades de presión.
- Trazados de conducciones.
- Topografía del terreno.
- Diámetro de las conducciones.
- Materiales de las conducciones.
- Características y situación real, de los elementos de inyección y almacenamiento.
- Velocidades de circulación permitidas y aconsejables.

Si este es el caso, existen varias configuraciones posibles que pueden satisfacer estos supuestos cuando se superponen múltiples requisitos de diseño. Aquí se utiliza el concepto de solución más económica. Desde el punto de vista económico se puede entonces considerar la solución óptima, que es la que tiene el menor costo común de uso e inversión y que en cualquier caso debe cumplir con los valores límite necesarios de consumo y presión (Vera, 2018).



2.2.5.4. Diámetro

Cuando es necesario diseñar la línea de conducción con tuberías, no existe una solución única. Pueden existir diferentes diámetros para cumplir con los requerimientos hidráulicos necesarios en el diseño de la red. De todos los diámetros posibles, es necesario determinar cuál es el más adecuado y cuál es el material más ventajoso al momento de la ejecución, función y materiales. Para obtener el diámetro más económico para un sistema de red de tuberías se deben tener en cuenta los siguientes factores: diámetros habituales en el mercado, precio de las tuberías y accesorios y el factor de rugosidad mencionado anteriormente, además de otros como el transporte, costos, condiciones de crédito y/o tasas de interés bancarias (Vera, 2018).

El diámetro mínimo de las tuberías principales será de 75 mm para uso de vivienda y de 150 mm de diámetro para uso industrial. En casos especiales y justificados, se podrán aceptar tramos de tubería con un diámetro de 50 mm y una longitud máxima de 100 m si se alimenta por un extremo o una longitud máxima de 200 m si se alimenta por ambos extremos si la tubería de alimentación es de mayor diámetro y la sección anterior está bajo los límites inferiores de presión de la zona. El valor mínimo del diámetro efectivo en el ramal de distribución de agua se determina mediante cálculo hidráulico. Si la fuente es agua subterránea, el diámetro nominal mínimo es de 38 mm o equivalente. En los casos de abastecimiento por piletas el diámetro mínimo será de 25 mm. (Yanapa, 2015).



2.2.5.5. Caudal

Es la cantidad de fluido que circula por un tramo de tubería por unidad de tiempo. Generalmente se identifica por el flujo volumétrico o el volumen que circula a través de un área determinada por unidad de tiempo. Con menos frecuencia, se identifica como el flujo másico o masa en un área determinada por unidad de tiempo (Patricio, 2018).

2.2.6. Componentes de un sistema de agua

2.2.6.1. Línea de conducción

Red de tuberías que transporta agua desde las estaciones de recolección hasta los tanques de almacenamiento. Las tuberías que conectan la recolección y almacenamiento se llaman línea aductora, donde el tanque de almacenamiento se encuentra a menor altura que la represa todo esto debido a la gravedad (Yanapa, 2015).

Es un sistema de abastecimiento de agua potable por gravedad en el que un conjunto de tuberías, válvulas, accesorios, estructuras y obras de arte se encarga de transportar el agua desde un punto de captación hasta un depósito, embalse o reservorio utilizando las cargas estáticas existentes (Anchapuri, 2018).

La línea de conducción es por donde se transporta agua, conectando la captación con una estación de tratamiento, estación de depuración o tanque de almacenamiento. El agua que conecta la estación de recolección con la planta de tratamiento o tanque de almacenamiento se transporta a través de una tubería. Dado que el nivel del agua en la cuenca es más alto



que del embalse, la energía que hace circular el agua es la gravedad y la línea de conducción se calcula en función al día de máximo consumo (Concha, 2022).

Es una tubería que transporta agua desde un punto de recolección de agua hasta un tanque de almacenamiento. Debe cumplir las condiciones del día de máximo consumo de agua para garantizar la eficiencia del sistema. También puede verse afectado por condiciones del terreno que permitan el flujo por gravedad o, por el contrario, requieran un sistema de bombeo. En cualquier caso, el diseño se realiza según los criterios de estas diferentes condiciones, independientemente de que el tiempo de bombeo se vea afectado o no (Anchapuri, 2018).

2.2.6.2. Reservorio de almacenamiento

Un sistema de suministro de agua potable requerirá un depósito si el retorno permitido de la fuente de agua es menor que el gasto máximo horario (Q_{mh}). Si el rendimiento de la fuente hídrica es mayor a Q_{mh} no se considera el embalse o reservorio, se debe asegurar que el diámetro de la línea de conducción sea suficiente para conducir el gasto máximo horario (Q_{mh}) con el que se puedan cubrir los requerimientos de consumo de agua de la población (Anchapuri, 2018).

Un depósito es una estructura construida para almacenar agua. Su objetivo principal es almacenar agua cuando abunda para utilizarla cuando escasea. Estos cuerpos de agua regulan el flujo de agua, almacenan agua de riego y suministran agua potable a las comunidades (Fernández, 2023).



Un tanque o depósito de agua asegura la disponibilidad de agua durante las horas de mayor demanda y también proporciona una reserva de agua en caso de problemas en la línea de conducción (Yanapa, 2015).

2.2.6.3. Redes de distribución

Las redes de distribución son un Conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde el tanque de almacenamiento o planta de tratamiento hasta los puntos de consumo (Beltrán & Abril, 2014).

Una red de abastecimiento de agua potable es un sistema de tuberías interconectadas que se utilizan para transportar agua desde los puntos de recogida hasta los hogares de los residentes de pueblos, ciudades o zonas rurales con población relativamente densa (Vera, 2018).

Una red de distribución es un conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que transportan agua desde los tanques de servicio o distribución hasta las tomas de agua doméstica o hidrantes generales. Su finalidad es proporcionar a los usuarios agua para uso doméstico, público, comercial, industrial y situaciones de emergencia como extinción de incendios (Berrocal, 2016).



2.2.6.4. Componentes de una red de distribución

Una red de distribución de agua potable se compone generalmente de:

a. Tuberías

Se encargan de suministrar agua a presión hasta el punto de consumo (López, 2017).

Según Perez (2020), las tuberías constan de dos o más tuberías conectadas entre sí para transportar fluidos.

b. Piezas especiales

Se trata de accesorios que se utilizan para ramificar, cruzar, cambiar de dirección, cambiar de diámetro, conectar tuberías de diferentes materiales o diámetros y accesorios para tuberías. Se llaman cruceros a las partes o grupos de accesorios especiales que, cuando se conectan a tuberías, crean fuertes curvas, cambios de diámetro, ramas y ramas. Una vez instalada, la válvula también puede controlar el flujo (Berrocal, 2016).

c. Válvulas

Según Berrocal (2016), las válvulas son dispositivos mecánicos que se utiliza para detener, iniciar o controlar características de flujo en tuberías de presión. Se pueden operar manualmente o mediante dispositivo automático o semiautomático.

Son accesorios que se utilizan para disminuir o evitar el flujo en la tubería.



d. Hidrantes

Es un punto, una toma o conexión especial de toma de agua que se instala en determinados puntos de la red para abastecer de agua a varios hogares (hidrantes públicos) o para conectar mangueras o bombas utilizadas para producir agua contra incendios (hidrantes contra incendios). Un hidrante público es una toma de agua, compuesta habitualmente por un pedestal y una o más válvulas comunes, situada a cierta distancia de la calle para dar servicio a varios hogares. El agua del hidrante público se entrega a los hogares en contenedores como cubos u otros recipientes. Se utilizan en localidades pequeñas donde las condiciones económicas no permiten la instalación de un servicio de agua potable en la propiedad del usuario (Berrocal, 2016).

e. Tanques de distribución

Es un depósito situado entre la captación y la red de distribución, cuya finalidad es almacenar el agua procedente de la fuente. El almacenamiento permite regular la distribución o simplemente evitar interrupciones en el suministro, aunque algunos tanques suelen cumplir ambas funciones. Si la demanda de la red supera el suministro de agua durante el día, almacena una determinada cantidad de agua adicional, denominada tanque de regulación. La mayoría de los tanques existentes son de este tipo. Algunos tanques tienen capacidad de almacenamiento para emergencias como fallas en la fuente. Esta situación suele ser prevista por los usuarios de los tanques de agua o cisternas, por lo que muchas veces las redes se utilizan únicamente para el control o regulación de los



tanques de agua. Se pueden alimentar a la red de distribución con varios tanques correspondientes al mismo número de fuentes, o se pueden ubicar tanques de regulación adicionales en la misma área de la red para abastecer alguna parte de la red (Berrocal, 2016).

f. Tomas domiciliarias.

Es un conjunto de piezas y tuberías que posibilitan el abastecimiento desde la red de distribución hasta la propiedad del usuario y donde se pueden instalar los medidores. Esta es la parte de la red que demuestra la eficiencia y calidad del sistema de distribución, ya que entrega agua directamente a los consumidores (Berrocal, 2016).

g. Rebombeos.

Consisten en instalaciones de bombeo, normalmente situados en puntos intermedios de la línea de conducción y excepcionalmente en la red de distribución. Su finalidad es elevar la carga hidráulica en el punto de su ubicación para mantener la circulación del agua en la tubería. Se utilizan en redes de distribución de agua cuando se requieren interconexiones entre reservorio que abastecen diferentes áreas (Berrocal, 2016).

h. Cajas rompedoras de presión.

Son depósitos con una superficie libre de agua y tienen un volumen relativamente pequeño, su trabajo es recibir el flujo de la tubería, que elimina la presión hidrostática y formar un nuevo nivel hidrostático aguas abajo (Berrocal, 2016).



2.2.6.5. División de una red de distribución

La red de distribución se divide en dos partes para determinar su funcionamiento hidráulico: la red principal (que controla el funcionamiento de la red) y la red secundaria o "de relleno" (Berrocal, 2016).

a. La red primaria

Esta red permite transportar el agua a través de la red principal y suministrarla a redes secundarias. Se considera que el diámetro mínimo de tubería correspondiente a la red primaria es de 100 mm. Sin embargo, se pueden permitir 75 mm en las ciudades, hasta 50 mm en las zonas rurales y 500 mm es aceptable en las grandes ciudades (Berrocal, 2016).

La red primaria mantiene la presión operativa básica para el funcionamiento normal de todo el sistema y normalmente no distribuye agua en ruta (Beltrán & Abril, 2014).

b. La red secundaria

Son las tuberías alimentadas por el circuito principal y que alimentan las pequeñas áreas de un zona (Carhuapoma & Chahuayo, 2019).

Según Berrocal (2016), la función de la red secundaria es distribuir adecuadamente el agua en los puntos de agua domésticos. Hay tres tipos de redes secundarias:



- Red secundaria convencional: En este tipo de red, las tuberías conectan la red principal y actúan como una red cerrada. Las válvulas generalmente se proporcionan en las conexiones principales y en los cruceros de las secundarias.
- Red secundaria en dos planos: En este tipo de red, las tuberías se conectan a la red principal en dos puntos opuestos cuando la red está dentro del circuito, o en una intersección de la red principal en el caso de un circuito externo (usado como línea abierta). Su longitud varía de 400 a 600 m, dependiendo del tamaño del área de servicio.
- Red secundaria en bloques: En este caso, la tubería secundaria forma un bloque que se conecta a la red primaria en solo dos puntos, y la red primaria no recibe conexión domiciliaria. La longitud total de las tuberías secundarias en el bloque suele ser de 2000 a 5000 m. Por otro lado, la red auxiliar en el bloque puede ser convencional o en dos planos.

2.2.6.6. Válvulas

a. Válvulas Reductororas de Presión

Carhuapoma & Chahuayo (2019), indica que las válvulas de control en las redes de distribución de agua potable que permiten controlar la presión aguas abajo se denominan válvulas reductoras de presión, este accesorio de control reduce la presión del flujo de agua para satisfacer las necesidades sin comprometer ni poner en riesgo el flujo requerido o consumido de manera que satisfaga las necesidades de la red en servicio.



Con dicho texto la Válvula Reductora de Presión se define como una válvula que controla la presión.

Las válvulas reductoras de presión están diseñadas para regular la alta presión en su suministro de agua a un nivel que sea seguro para los hogares.

Cuando la válvula reductora de presión falla, puede causar problemas de presión y flujo de agua, ruidos extraños o simplemente comenzar a tener fugas.

La presión del agua en el hogar es como la presión arterial en el cuerpo humano. Debe estar dentro de un cierto rango para que todo funcione correctamente y evite consecuencias a veces graves. Todos los accesorios de plomería, las líneas de suministro y los aparatos que usan agua están contruidos para funcionar dentro de este rango. Cuando la presión del agua es más alta que esto, por lo general no causa problemas inmediatos, pero pasa factura con el tiempo al desgastar las tuberías más rápido y aumentar la probabilidad de fugas o inundaciones (Davis, 2010).

Según Berrocal (2016), “Una válvula reductora de presión reduce la presión aguas arriba a una presión aguas abajo preestablecida independientemente de los cambios de presión y/o el caudal. A menudo se utiliza para proporcionar áreas de bajo servicio” (p. 29).

Asillo (2020), indica que todos los sistemas de agua pueden tener fugas y romperse. Las pérdidas de agua pueden oscilar entre el 10 y el 40 por ciento del volumen total de agua suministrada. De los diversos factores

que dependen de las fugas, la presión en la red de suministro es el más controlable.

Las Válvulas Reductoras de Presión (VRP) aparecen como uno de los métodos más importantes y eficaces para la uniformidad y regular las presiones de la red. Debido a que las válvulas reductoras de presión se pueden controlar para que funcionen en más de un valor de presión, los niveles de servicio se pueden controlar de manera más eficiente (Shammas & Wang, 2015).

Figura 7

Válvula reductora de presión.



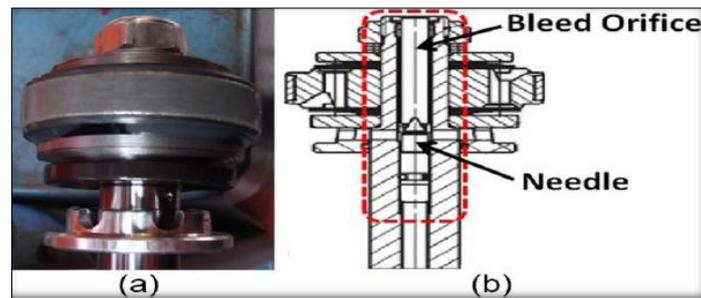
Nota: Válvula reductora de presión con dos manómetros.

b. Válvula de purga

Se trata de válvulas que permiten limpiar las tuberías por tramos, por lo que su instalación es importante, debido a que la acumulación de depósitos en las partes inferiores de la tubería reduce el área de flujo (Pauro & Vilca, 2021).

Figura 8

Válvula de purga.



(a) Conjunto de cuerpo de válvula.

(b) Vista de corte del cuerpo de la válvula.

Nota: Diferentes vistas de la válvula de purga.

c. Válvula de aire

Se utiliza para cambiar las dimensiones del recorrido del agua, desempeñan su función mediante el moviendo los componentes controlados por unidades neumáticas, eléctricas, hidráulicas o manuales. Estas válvulas son importantes en todos los circuitos porque se ajustan el fluido hidráulico según sea necesario. Por otro lado, se mencionó que cuando la presión de trabajo sea demasiado alta, las empresas optarán por instalar válvulas de control para regular el flujo de agua para evitar roturas anuales de tuberías y así alargar la vida útil de las tuberías (Pauro & Vilca, 2021).

Figura 9

Válvula de aire.



Nota: Imagen de una válvula manual de aire.

d. Válvula de control

Se utiliza para cambiar las dimensiones del paso de agua, funciona mediante el movimiento de elementos móviles controlados por accionamientos neumáticos, eléctricos, hidráulicos o manuales. Estas válvulas son importantes en todos los circuitos porque regulan el fluido hidráulico según sea necesario. Por otro lado, se menciona que cuando la presión de operación es demasiado alta, las empresas optan por instalar válvulas de control que tienen como objetivo regular el flujo de agua para evitar roturas anuales de las tuberías con el fin de extender la vida útil del sistema (Pauro & Vilca, 2021).

Figura 10

Válvula de control.



Nota: Sirve para cambiar las dimensiones de agua de paso.

2.2.7. Análisis hidráulico

Un análisis hidráulico de una red de distribución consta de todos los "circuitos" que componen la red de distribución, con iguales pérdidas por fricción (hf) en ambos sentidos, por lo que las cadenas deben estar perfectamente "equilibrados" (Anchapuri, 2018).

El análisis hidráulico facilita simular el comportamiento dinámico de las redes de distribución de agua potable y hace posible que se pueden utilizar tuberías, bombas de velocidad constante y variable, aceleradores, válvulas reductoras y de retención de presión, tanques de altura constante o variable y temporales, y sistemas de control y operación temporales o según nivel y presión (Saldarriaga, 1998).

2.2.8. Inequidad

Según Correa & Muñoz (2015), la inequidad resulta si la percepción no es satisfactoria, es probable que cree desigualdad porque se basa en condiciones



injustas. Por lo tanto, si $A = B$, el proceso de comparación subyacente considera válido el fenómeno bajo evaluación, de lo cual se deduce que la desigualdad bajo consideración es $A \neq B$, donde puede ocurrir $A > B$ o $A < B$.

El término "inequidad", que es la diferencia máxima en la relación oferta-demanda entre diferentes consumidores. Esto se basa en el rendimiento real de la red en lugar de medidas sustitutivas, generalmente utilizadas para la confiabilidad. Se ilustra que la máxima "inequidad" en el suministro en una red durante toda la duración del suministro se puede estimar con un solo análisis (Chandapillai et al., 2011).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN

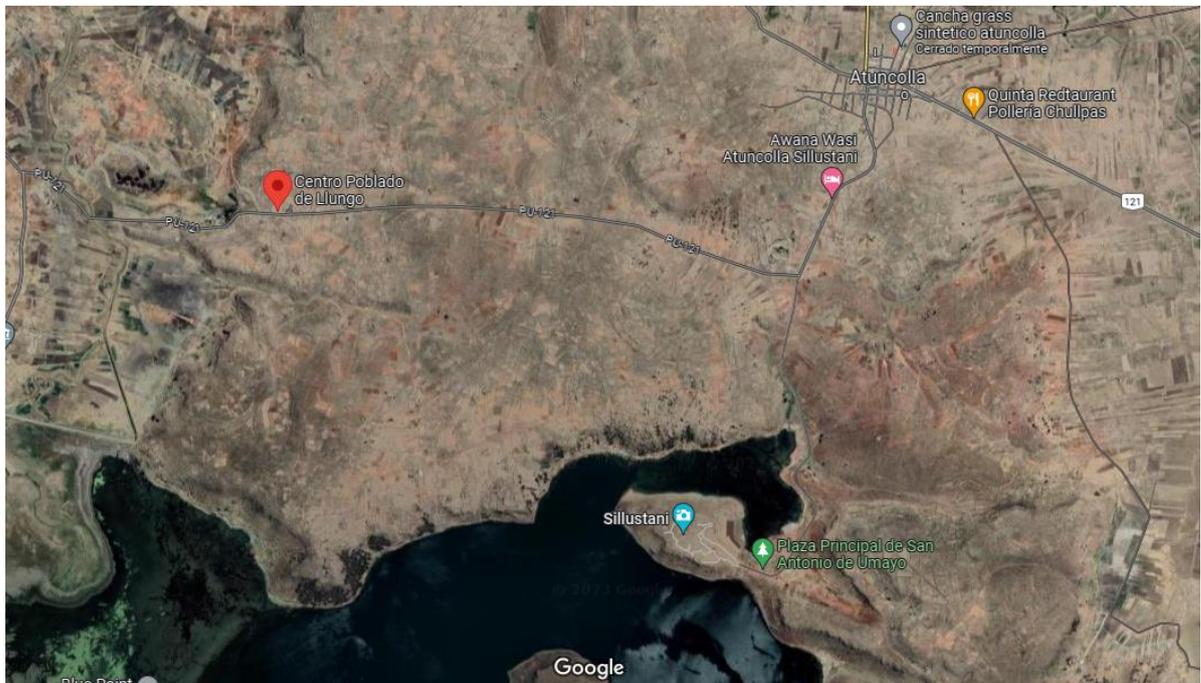
3.1.1. Ubicación política

El trabajo de investigación se desarrolló en la comunidad de Llungo del distrito de Atuncolla, provincia de Puno, región de Puno.

El distrito de Atuncolla, se encuentra a 21 Km de la provincia de Puno del departamento de Puno; está ubicado en el lado norte de la capital de la provincia, a orillas de la Laguna Umayo, cuyas aguas desembocan en el Lago Sagrado de los Incas “Titicaca”.

Figura 11

Comunidad de Llungo.



Nota: Ubicación de la comunidad de Llungo.



3.1.2. Ubicación geográfica

Está dada por las coordenadas 15° 41' 19" de latitud sur, 70° 08' 37" de longitud Oeste del meridiano de Greenwich, a una altitud entre los 3830 - 3900 m.s.n.m.

- Ubigeo: 210104.
- Latitud Sur: 15°41'19”.
- Latitud Oeste: 70°08'37”.
- Altitud: 3851 m.s.n.m.
- Huso Horario: UTC-5.

3.2. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

3.2.1. Análisis documental

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación fue necesario el análisis del proyecto “AMPLIACION Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO EN EL AREA RURAL DE ATUNCOLLA, DISTRITO DE ATUNCOLLA - PUNO - PUNO”, con Código Único de Inversiones N° 2163966, temas de investigaciones, libros manuales y tesis.

3.2.2. Observación

La observación es una técnica para identificar fortalezas, oportunidades, debilidades y Amenazas en cualquier actividad que se realice, y en el presente trabajo de investigación se trasladó a la comunidad de Llungo en donde se observó que existe un sistema de agua potable y saneamiento que no funciona adecuadamente, también se pudo observar la preocupación de la población ya que



no cuentan con agua durante el día, lo cual ha permitido buscar soluciones a dicho problema.

3.2.3. Visita de campo/medición de campo

Se realizó la visita a la zona del trabajo donde se observó el sistema 03, y se puede apreciar que los accesorios y las tuberías están dañadas a causa de la fuerte presión que existe en la zona, por lo que, se realizó la medición de las presiones con un manómetro y el caudal a través del llenado de un balde de 4 litros, para en lo posterior localizar válvulas reductoras de presión en lugares apropiados.

3.2.4. Internet

En la actualidad, se tiene el internet como una oportunidad para recopilar información de todo tipo de materia y ayuda a que podamos acceder a información a nivel mundial, por lo que se debe seleccionar dicha información para realizar un buen trabajo de investigación. A través del internet se descargó tesis, libros, revistas y otros.

3.3. TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

Con el presente trabajo de investigación se quiere encontrar una solución práctica y directa para mejorar la equidad en las redes de distribución de agua en la comunidad de Llungo, por lo que, el tipo de investigación es cualitativo, ya que se recolectó datos y se analizó para mejorar la situación actual de los pobladores a través de las redes de distribución de agua mediante la localización óptima de válvulas reductoras de presión y de esa manera brindar una solución práctica a un problema existente.



Y el nivel de la investigación es descriptivo, ya que se describe la presión en diversos puntos del sistema de agua potable y en base a eso se regula la presión.

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1. Población

Según López (2004), la población es un grupo de personas u objetos sobre los cuales se quiere saber algo en algún estudio. Una población puede estar formado por personas, animales, documentos médicos, partos, pruebas de laboratorio, Accidentes de tráfico, conexiones domiciliarias, etc.

Para el presente estudio la población está referida a las 297 conexiones establecidas en la red de distribución de agua de la comunidad de Llungo, distrito de Atuncolla.

3.4.2. Muestra

Según Hernández et al. (2014), una muestra es un subconjunto de la población de interés. Esta muestra no solo debe ser exacto sino también representativo.

Según lo antes mencionado en la presente investigación la muestra corresponde a la Selección aleatoria de 50 conexiones domiciliarias ubicadas en las zonas críticas del sistema de la comunidad de Llungo del distrito de Atuncolla.

3.4.3. Muestreo

Según López (2004), indica que el muestreo se divide en dos tipos: el probabilístico y el no probabilístico; en el muestreo no probabilístico todas las unidades que componen la población no tiene la misma posibilidad de ser



seleccionada "también es conocido como muestreo por conveniencia, no es aleatorio, razón por la que se desconoce la probabilidad de selección de cada unidad o elemento de la población". El muestreo no probabilístico se divide en tres grupos:

- Intencional o deliberado.
- Accidentales o por comodidad.
- Por cuota.

En esta investigación se aplicará el muestreo no probabilístico del tipo intencional o deliberado.

3.4.4. Diseño de muestreo

Para seleccionar la muestra se realizó visita a la comunidad de Llungo donde se identificó las zonas más críticas donde los niveles estáticos están por encima de los 60 m.c.a., en dicha zona existe 297 conexiones domiciliarias y están dispersas las viviendas, por lo que, con el diseño de muestreo se tomó 50 conexiones domiciliarias críticas como muestra representativa para la investigación.

3.4.5. Variables de estudio

3.4.5.1. Variable independiente

Una variable independiente es una variable que se puede manipular o controlar para observar su efecto sobre otra variable, por lo que, en la presente investigación las variables independientes del estudio de investigación son el diámetro, caudal y velocidad.



3.4.5.2. Variable dependiente

La variable dependiente es la variable que se mide u observa para evaluar los efectos de la manipulación de las variables independientes. El resultado o efecto depende del cambio en la variable independiente, en la presente investigación la variable dependiente es la presión del agua.

3.4.5. Delimitación temporal

La investigación se llevó a cabo analizando las presiones en viviendas del sistema de agua potable durante el año 2024, se eligió este tiempo ya que permite analizar cómo ha evolucionado las válvulas reductoras de presión en sistema de agua potable ejecutada en el año 2015.

3.4.6. Delimitación espacial

La delimitación espacial es el sistema 3 del sistema de agua potable ejecutada en la comunidad de Llungo, del distrito de Atuncolla.

3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación es cualitativo descriptivo ya que el estudio se basa en recolectar y analizar datos de las conexiones domiciliarias.

3.6. MATERIAL EXPERIMENTAL

Los materiales que se empleó en el presente estudio fue el manómetro y accesorios, balde, estación total.

3.7. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

La metodología planteada en la presente tesis está basada en cuatro etapas, cada una de las etapas se desarrolló de acuerdo al siguiente orden:

- Etapa 1: El diagnóstico del SAP para la presente investigación se desarrolló en base al diseño de la red con la cual se ejecutó e instaló en la etapa de ejecución de la obra, para lo cual se tomó como punto de partida los planos de replanteo de la obra ejecutada y a partir de ello ubicar los puntos de muestreo, verificación de las presiones y toma de datos para su evaluación de la situación actual.
- Etapa 2: corresponde a la construcción del modelo Digital a través de la red y planos de replanteo digitalizados, los cuales son importados en el programa de WaterCad para realizar los análisis correspondientes, en el cual se ingresarán los datos físicos del sistema, como elevaciones, diámetros, longitudes, tipo de tuberías y caudales.
- Etapa 3: La calibración del modelo digital se realiza con los datos recopilados en campo para asimilar el comportamiento y situación actual del sistema de agua potable.
- Etapa 4: Calibrado el sistema, se ubican las VRP, con la finalidad de optimizar el modelo tomando en consideración la problemática de las sobrepresiones encontradas en el sistema.

3.7.1. Diagnóstico del sistema de abastecimiento de agua potable

El sistema de abastecimiento de Agua Potable Lluncho, por lo que tomando en consideración la problemática en cuanto a las sobrepresiones existentes en el sistema, se procedió a realizar la visita de campo para evaluar y realizar las mediciones correspondientes en 50 conexiones que se seleccionaron de forma



aleatoria, los datos suministrados en el programa sirven como punto de partida para calibrar el modelo, asimismo se tomó en cuenta el plano de replanteo final, lo que incluye el levantamiento topográfico y cotas de cada uno de los puntos de análisis hidráulico.

3.7.1.1. Información de campo

Corresponde a la toma de datos de los puntos de muestro que se llevaron a cabo insitu en las 50 conexiones domiciliarias seleccionadas de forma aleatoria, y puntualizadas en distintas zonas críticas del sistema. Los datos recopilados se organizaron y se les asignó un código en función al programa de modelamiento (WaterCad), para poder identificar y homogenizar las conexiones en la etapa de calibración del modelo hidráulico, las mediciones se realizaron con un manómetro analógico en unidades de p.s.i., sin embargo, por facilidad de manejo en el programa Watercad, se convirtieron los datos a unidades de metros de columna de agua (m.c.a.).

3.7.2. Construcción del Modelo Digital

Con los datos recopilados en campo del SAP Llungo se procedió a desarrollar el modelo digital en el programa WaterCad, por lo que es importante el manejo e ingreso de la información, ya que cualquier error podría dañar la simulación del modelo, no obstante, es necesario calibrar el modelo para asimilar el funcionamiento actual del sistema.

En este sentido, una vez finalizada la tarea de clasificación y validación de la información recolectada, se revisaron las principales herramientas para la realización de simulaciones hidráulicas, dando como resultado el modelo inicial y



posterior calibración. Se eligieron los modelos WaterCad versión 10.0 por su facilidad de uso, libertad y versatilidad. Para proporcionar un modelo de simulación hidráulica WaterCad con datos representativos de SAP Llungo, según la Guía del Usuario de Teoría y Procedimientos Hidráulicos, se consideraron los siguientes factores:

- Diámetros de tubería.
- Longitudes de tuberías.
- Altimetría y planimetría del terreno.
- Válvulas de control.
- Accesorios.
- Reservorio.
- Demandas concentradas.

El primer paso para la modelización, es el ingreso topológico de la red materia de análisis, ya que el programa permite gestionar e importar datos de archivos CAD, se importaron las redes y curvas de nivel trabajadas y procesadas en el programa Civil 3D con las herramientas de Model Builder y TRex respectivamente.

3.7.3. Calibración del Modelo

El proceso de calibración es el procedimiento más importante para la modelización de un sistema, tomando en cuenta la información disponible es necesario definir el método de calibración más adecuado.

Por tanto, se evaluaron varios métodos de calibración como el método de restricciones paramétricas, métodos esquemáticos utilizando sistemas SCADA,



metodología CIACUA, herramienta PEST, y métodos de calibración a través de algoritmos genéticos disponible en WaterGEMS a través de su herramienta o metodología Darwin Calibrator.

Al final se optó por el enfoque de Algoritmos Genéticos. El algoritmo genético (AG) es un poderoso paradigma de búsqueda basado en “evolución natural y reproducción biológica” (Goldberg, 1989). Un modelo de distribución de agua generado por un programa de algoritmo genético genera un conjunto de soluciones de prueba de los parámetros del modelo. Un solucionador hidráulico, simula cada solución de prueba. La simulación hidráulica resultante predice los gradientes hidráulicos y flujo de tubería en un número mínimo de nodos o en un número predeterminado de nodos (o puntos de datos). red. Esta información luego se devuelve al módulo de calibración apropiado.

El módulo de calibración evalúa qué tan cerca están las simulaciones del modelo de los resultados observados. La evaluación de calibración calcula un valor de ajuste, es decir diferencia la relación entre observaciones y modelos predichos del flujo de la tubería y las presiones o gradiente hidráulico, para cada solución, este grado de idoneidad se asigna entonces como la aptitud para esa solución en el algoritmo genético

Este valor de aptitud luego se asigna como aptitud de la solución en el algoritmo genético. La generación producida por el algoritmo genético está completa. La aptitud medida se tiene en cuenta en los pasos del algoritmo genético de próxima generación. Para encontrar la solución de calibración óptima, la solución ajustada se seleccionará imitando el principio de selección natural de supervivencia del más apto o principio de Darwin.



3.7.4. Propuesta de Optimización

Con el sistema y la red calibrada, procedemos a optimizar el modelo, tomando en cuenta la problemática de sobrepresiones en el sistema, por lo tanto, es necesario identificar y ubicar de manera estratégica las válvulas reguladoras de presión, este procedimiento se realizó identificando los tramos de tubería en el que las presiones son altas, por lo tanto el criterio de colocación de válvulas reguladoras de presión en el sistema se realizó en los inicios de cada tramo con problemas de sobrepresiones. A continuación, se muestran las ubicaciones de las válvulas.

3.7.5. Criterios de evaluación de la calibración

Los procesos realizados durante la calibración se evalúan para determinar qué parámetros son más sensibles que otros y cómo afectan al sistema.

El proceso de calibración de un modelo de suministro de agua potable debe tener en cuenta el rango aceptable en el que intentamos aproximar los valores finales a los obtenidos en campo. A continuación, determinamos la relación porcentual mínima y máxima entre los valores simulados y los valores medidos según el criterio de Bentley.



Tabla 2

Criterios de evaluación en función a la Presión.

CRITERIO	RANGO
85% de las medidas de campo deben estar entre	± 0.5 m o $\pm 5\%$ de la máxima pérdida de carga a través del sistema (el criterio que sea más grande).
95% de las medidas de campo deben estar entre	± 0.75 m o $\pm 7.5\%$ de la máxima pérdida de carga a través del sistema (el criterio que sea más grande).
100% de las medidas de campo deben estar entre	± 2.0 m o $\pm 15\%$ de la máxima pérdida de carga a través del sistema (el criterio que sea más grande).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE

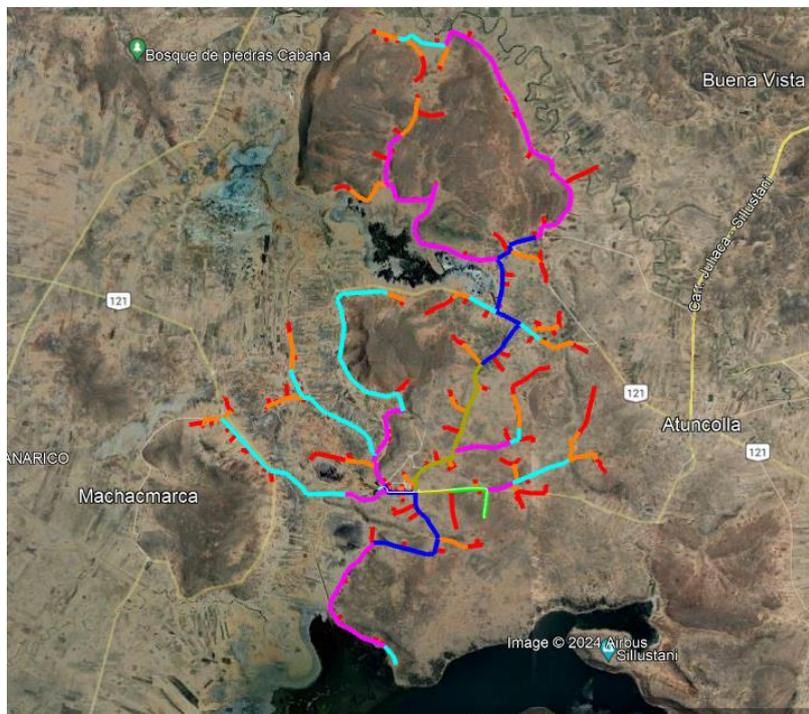
4.1.1. Características del Sistema de Agua potable

El Sistema de Agua Potable Llungo, como antecedente, inicia su ejecución en el año 2015, y en el año 2016 entra en operación y funcionamiento, dicho sistema cuenta con una captación de tipo ladera, cuenta con una caseta de bombeo en el que se instaló electrobombas verticales trifásicas con sus respectivos accesorios y tablero de mando y control, cuenta también con una línea de impulsión desde la caseta de bombeo ubicado en la ladera del cerro Llungo, hasta el reservorio de 50m³, con tubería PVC C-15 Ø 90mm (3") con una longitud de 1869m, existe también un reservorio de 50m³ para almacenamiento de agua, la red de distribución consta de 56,355.00 m de tubería PVC C-10 y 7.5 de Ø 4", 3", 2", 1", ¾" respectivamente y finalmente el sistema está compuesto por 373 conexiones domiciliarias con tubería PVC C-10 Ø 1/2", de 5 a 50m para cada vivienda provista de válvulas de paso, accesorios, y cajas de registro.

En la Figura 12 se observa la ubicación del sistema, en el cual se puede observar las redes de distribución. Actualmente el sistema reporta presiones altas, por encima de las presiones máximas establecidas en la normativa.

Figura 12

Sistema de agua potable Llunco – Atuncolla.



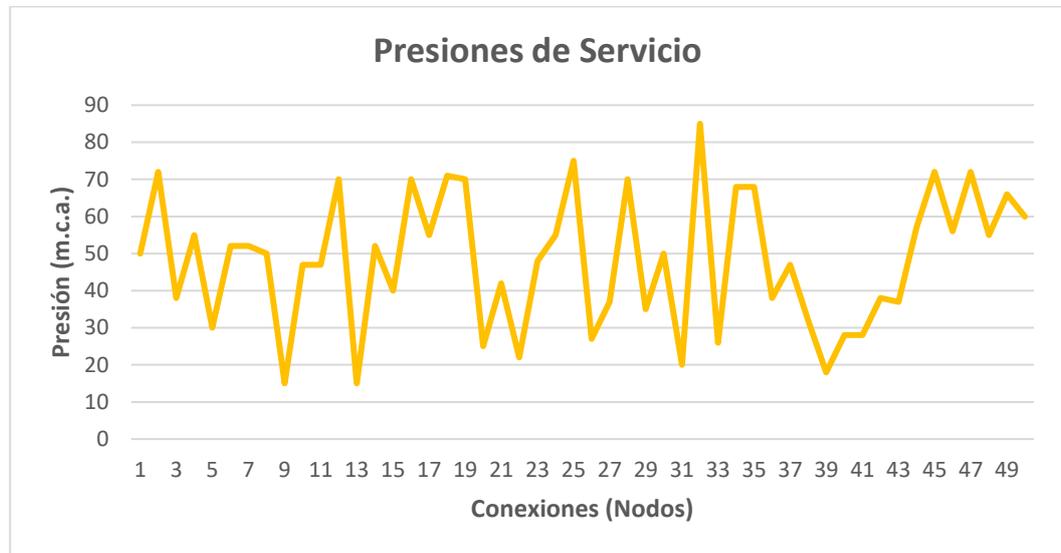
Nota: Basado en planos de replanteo informe final ejecución de obra

4.1.2. Validación del problema existente

Según la norma técnica de diseño para sistemas de saneamiento en el ámbito rural del Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento se establece que la presión máxima de la tubería no debe ser mayor al 75% de la presión de trabajo especificada por el fabricante, asimismo en dicha norma se establece que la presión mínima de servicio en cualquier punto de la red no debe ser menor de 5 m.c.a. y la presión estática no debe ser mayor de 60 m.c.a. Por otro lado, según el Reglamento Nacional de Edificaciones OS.050, se establece que las presiones estáticas no deberán ser mayor a los 50 m en cualquier punto de la red. En condiciones de demanda máxima horaria, la presión dinámica no será menor de 10 m, y en caso de abastecimiento de agua por piletas, la presión mínima será 3,50 m a la salida de la pileta.

Figura 13

Lectura y mediciones Insitu de presiones de servicio.



Nota: Elaboración Propia

De acuerdo a las mediciones en las 50 conexiones aleatorias en las zonas críticas del sistema que se realizaron en campo, tal como se muestra en la gráfica, se puede observar que el 50% de las conexiones o puntos de muestreo en las que se realizaron las mediciones de las presiones superan los 50 m.c.a., por lo que queda evidenciado la problemática descrita.

4.1.3. Información de campo

Corresponde a la toma de datos de los puntos de muestro que se llevaron a cabo insitu en las 50 conexiones domiciliarias seleccionadas de forma aleatoria, y puntualizadas en distintas zonas críticas del sistema. Los datos recopilados se organizaron y se les asignó un código en función al programa de modelamiento (WaterCad), para poder identificar y homogenizar las conexiones en la etapa de calibración del modelo hidráulico, las mediciones se realizaron con un manómetro analógico en unidades de p.s.i., sin embargo, por facilidad de manejo en el programa Watercad, se convirtieron los datos a unidades de metros de columna



de agua (m.c.a.). A continuación, se muestra la tabla de mediciones de presión recopiladas en campo con sus respectivos códigos de etiqueta.

Tabla 3

Presiones de servicios del SAP Llunco – Atuncolla.

N°	Conexiones	Presiones (PSI)	Presiones (mca)
1	N-683	71	50
2	N-684	102	72
3	N-685	54	38
4	N-689	78	55
5	N-690	43	30
6	N-691	74	52
7	N-692	74	52
8	N-693	71	50
9	N-694	21	15
10	N-695	67	47
11	N-696	67	47
12	N-697	100	70
13	N-699	21	15
14	N-700	74	52
15	N-701	57	40
16	N-702	100	70
17	N-703	78	55
18	N-704	101	71
19	N-705	100	70
20	N-706	36	25
21	N-707	60	42
22	N-708	31	22
23	N-711	68	48
24	N-712	78	55
25	N-713	107	75
26	N-714	38	27
27	N-715	53	37
28	N-716	100	70
29	N-717	50	35
30	N-718	71	50
31	N-719	28	20



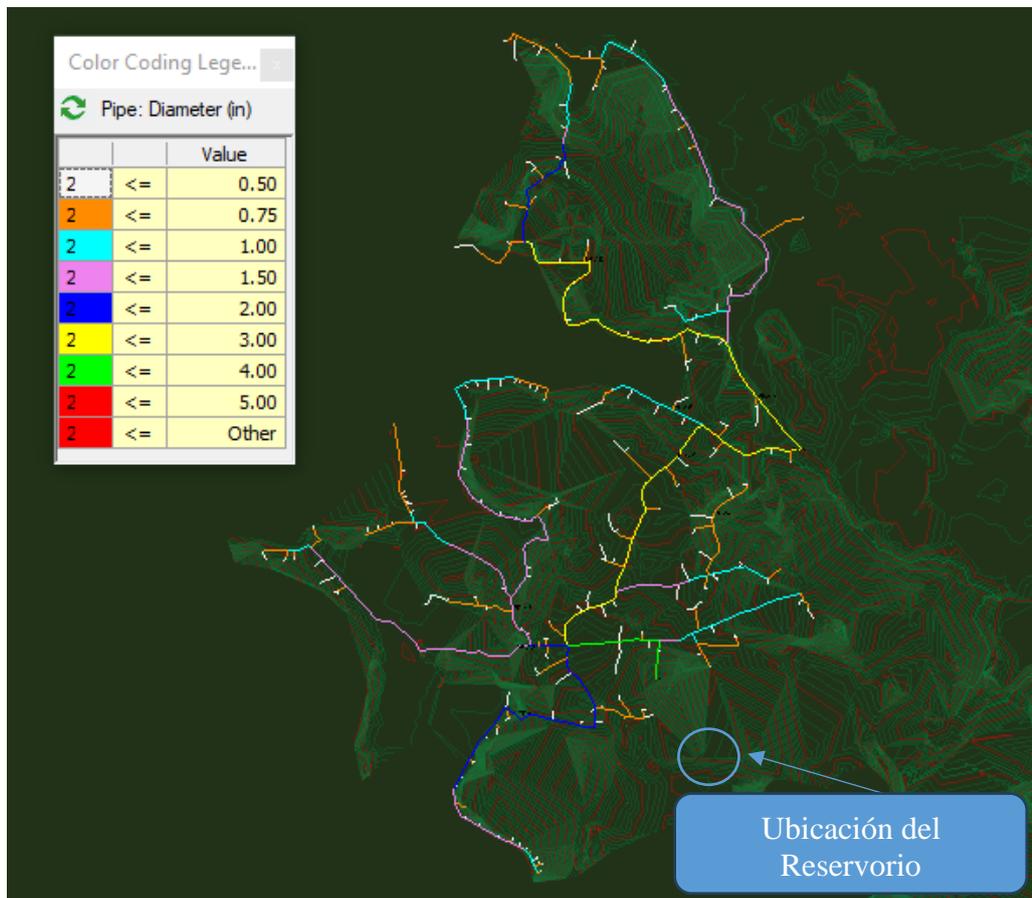
N°	Conexiones	Presiones (PSI)	Presiones (mca)
32	N-720	121	85
33	N-721	37	26
34	N-722	97	68
35	N-723	97	68
36	N-724	54	38
37	N-725	67	47
38	N-726	46	32
39	N-727	26	18
40	N-730	40	28
41	N-732	40	28
42	N-736	54	38
43	N-737	53	37
44	N-739	81	57
45	N-741	102	72
46	N-743	80	56
47	N-746	102	72
48	N-750	78	55
49	N-752	94	66
50	N-754	85	60

Nota: Elaboración Propia

En la tabla 3, se presentan presiones máximas de hasta 85 m.c.a. y presiones mínimas de hasta 10 m.c.a, tales presiones se emplearán con la finalidad de calibrar el modelo digital, considerando que se tiene como datos generales el consumo por individuo de 80 L/hab./día y un caudal de dotación de demanda de 6.50 L/s por sistema.

Figura 14

Sistema de agua potable Llungo – Atuncolla.



Nota: Sistema de agua potable con curvas de nivel.

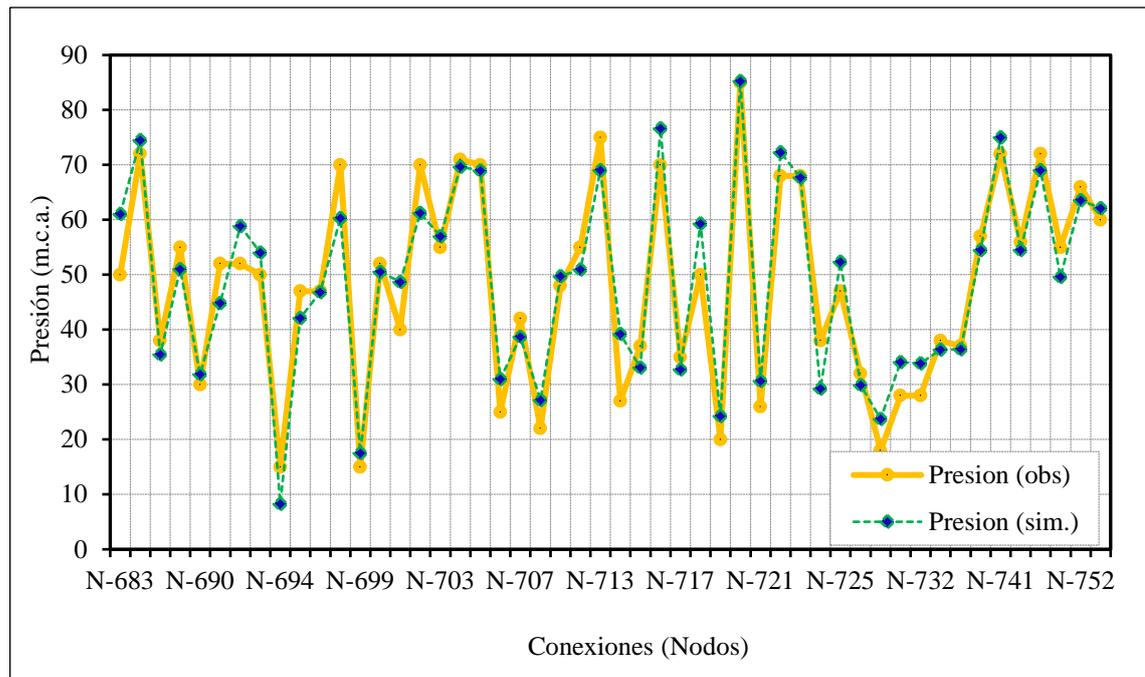
En la Figura 14 se muestra la topología de la red del SAP Llungo, en el que se visualizan los diámetros de tubería en función al tipo de color en unidades comerciales, las tuberías en su totalidad son de material PVC, por lo que el coeficiente de rugosidad es igual para toda la red, sin embargo, para el proceso de calibración fue necesario realizar ajustes en las rugosidades y diámetros, tomando en cuenta que los diámetros de diseño corresponden al diámetro interior de la tubería según las especificaciones y espesores de tubería de los fabricantes según el tipo de clase, todo ello con la finalidad de asemejar el comportamiento hidráulico con la realidad.

4.2. LOCALIZACIÓN ÓPTIMA DE LAS VRP

4.2.1. Calibración de la red de distribución

Figura 15

Calibración de datos (observados vs simulados).



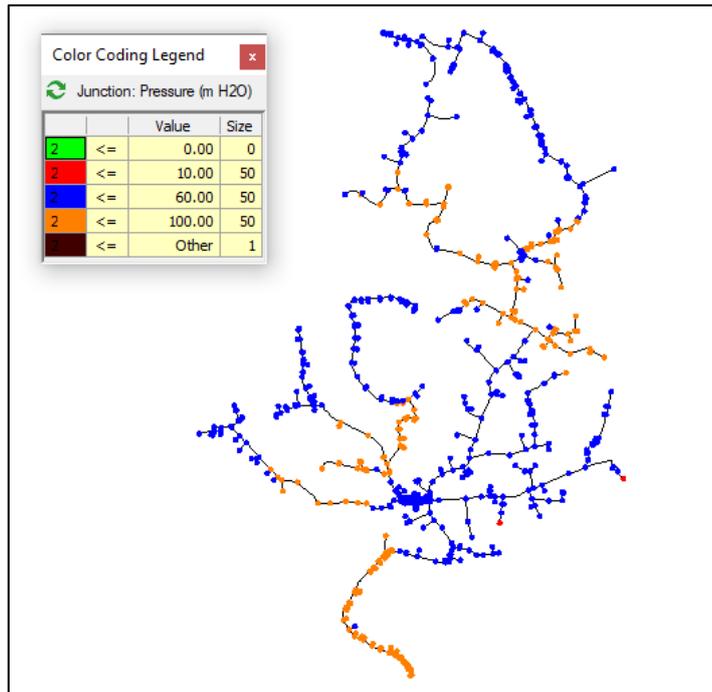
Nota: Elaboración Propia

En la Figura 15 se muestra el resultado de las presiones en el proceso de calibración del sistema, el cual presenta un buen ajuste, ya que los resultados obtenidos en la simulación se aproximan a los datos tomados en las mediciones, este proceso se llevó a cabo generando un modelo inicial para comprobar que el sistema funciona satisfactoriamente (sin errores ni avisos), comprobar que las tuberías no están a velocidad cero, que las válvulas están en la posición correcta, que no hay depresión, etc. En ese sentido con ayuda de la herramienta Darwin Calibrator del WateGEMS, se procedió a crear escenarios donde se pueda ajustar ligeramente los coeficientes de rugosidad con pequeñas modificaciones a través de productos multiplicadores tomando en cuenta la edad y tipo de material del

sistema, asimismo se ajustaron los diámetros internos producto de la colmatación de las tuberías, por otro lado se analizaron las pérdidas de carga menores producidas por los accesorios así como las velocidades de flujo en el sistema.

Figura 16

Escenario de calibración y resultados de presiones en el SAP Llunco.



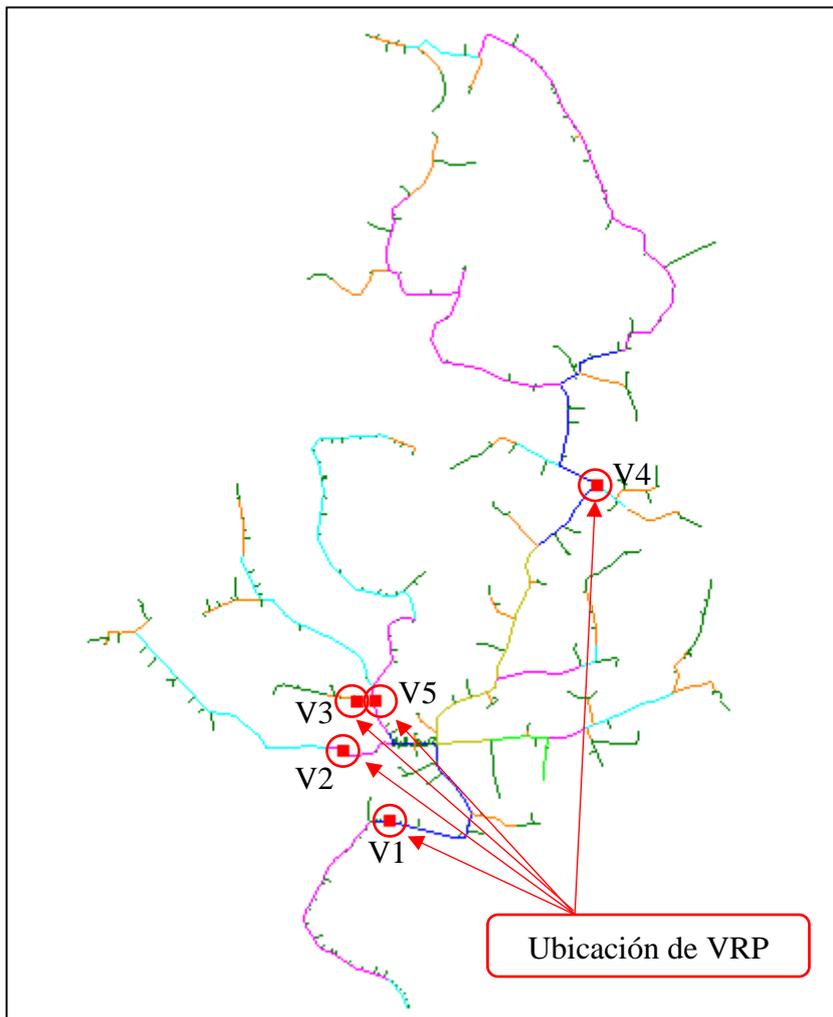
Nota: Se observa los resultados de las presiones.

En la Figura 16 se observa el resultado de las presiones en el sistema producto del proceso de calibración, en el que se puede ver que existen diferentes conexiones y nodos en los que las presiones se encuentran por encima de los 60 m.c.a. (nodos de color naranja), asimismo las presiones que se encuentran dentro del rango aceptable se denotan de color azul.

Al encontrarse el sistema de agua potable calibrado, podemos deducir que la simulación realizada, representa la situación real de la red donde se muestra la problemática por presiones altas.

Figura 17

Localización de VRP en el SAP Llungo.



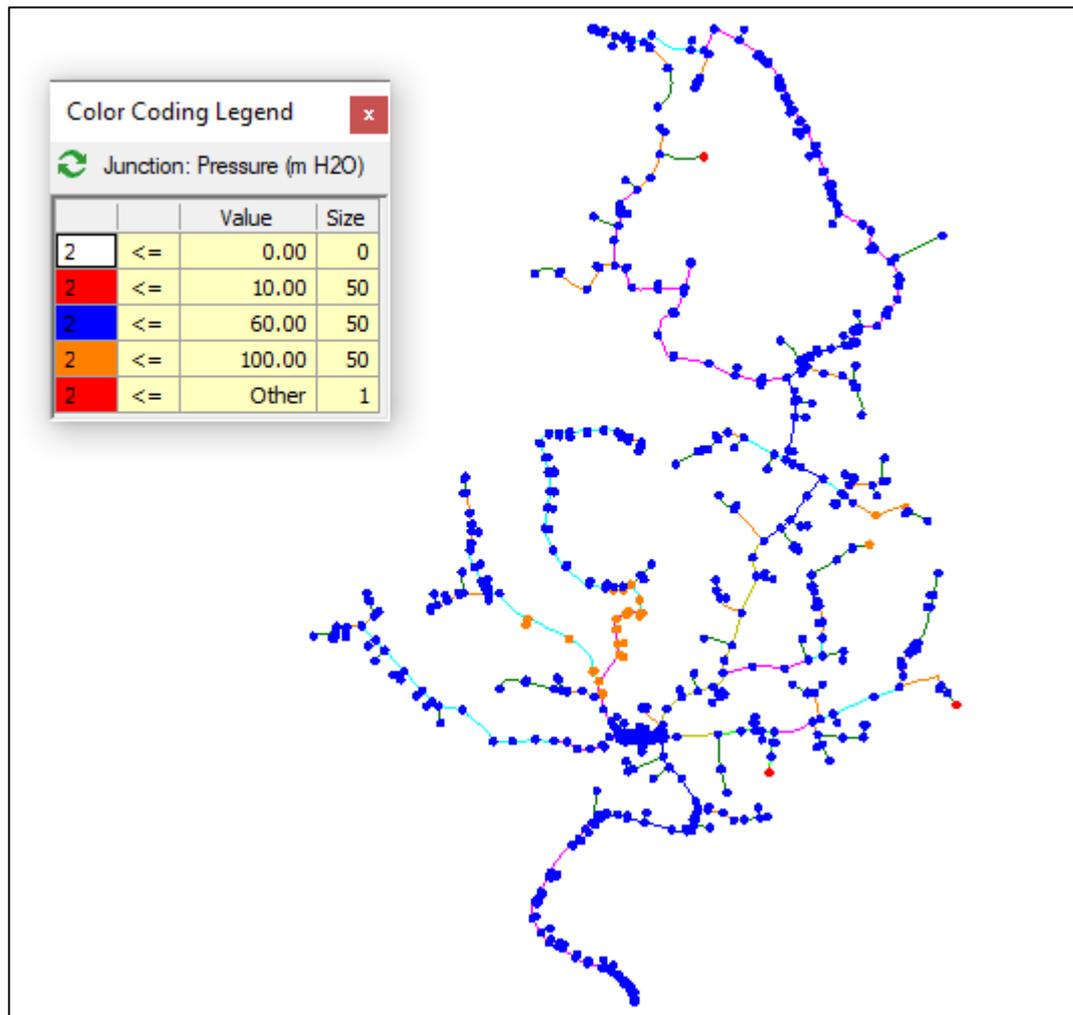
Nota: Ubicación de válvulas reductoras de presión.

4.2.2. Localización óptima de válvulas

En la Figura 17 se puede observar la localización de cinco VRP, en la cuales se establecieron presiones de regulación de 20 mca para la VRP1, 40 mca para la VRP3, 45 mca para las VRP2 y VRP4, y finalmente 50 mca para la VRP5, con los cuales se procedió a correr el modelo con el nuevo escenario sin modificar las condiciones físicas del sistema en las redes. A continuación, se muestra la optimización del modelo y una comparación de la misma.

Figura 18

Optimización del modelo SAP Llunco.



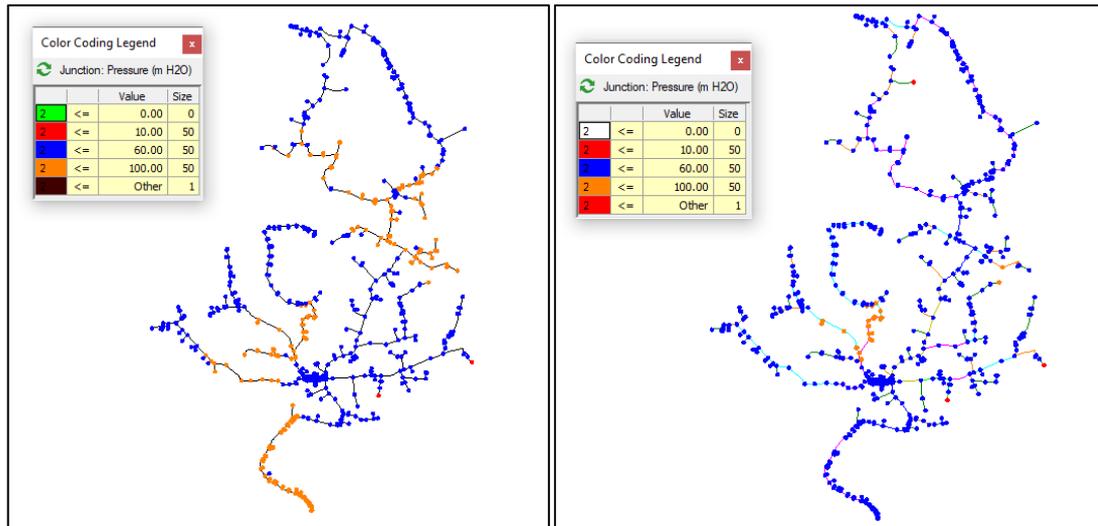
Nota: En la imagen se observa una reducción considerable de las presiones.

En la Figura 18 se puede observar una reducción considerable de las presiones en los nodos críticos, sin embargo, se observó que al establecer una presión por debajo de los 40 mca las presiones en los nodos inferiores se reducen considerablemente por debajo del mínimo requerido (< 5 mca, según NTD - MVCS), por lo que la presión establecida garantiza las presiones en las conexiones por debajo de la ubicación de la VRP # 2, tramo en el que las presiones se sostienen hasta los 64.68 mca (nodos de color naranja).

A continuación, se muestra una comparación entre el modelo calibrado antes de la optimización y el modelo optimizado en el que se visualiza que las sobrepresiones se han reducido considerablemente:

Figura 19

Comparación de modelos.



Nota: Comparación del modelo antes y después de la optimización SAP Llunco.

En la Figura 19 se puede apreciar los cambios realizados, al lado izquierdo se muestra el modelo calibrado antes de la optimización y al lado derecho podemos visualizar los resultados de presiones del modelo optimizado, tal como se visualiza en la etapa de calibración se muestra presiones por encima de los 60 mca de presión, sin embargo al optimizar el modelo con la colocación de las válvulas reguladoras de presión, podemos notar un cambio significativo en las presiones, ya que la mayoría de las conexiones se encuentran dentro de los límites establecidos por las normativas.



Tabla 4

Comparación de resultados de Presión.

ID	NODO	SISTEMA CON VRP	SISTEMA SIN VRP
		PRESION (mca)	PRESION (mca)
1782	N-683	43.45	50
1785	N-684	56.92	72
1787	N-685	35.51	38
1795	N-689	50.98	55
1797	N-690	14.26	30
1801	N-691	27.22	52
1804	N-692	41.25	52
1806	N-693	36.45	50
1809	N-694	8.3	15
1812	N-695	19.84	47
1814	N-696	29.21	47
1816	N-697	42.73	70
1820	N-699	17.53	15
1822	N-700	50.57	52
1824	N-701	48.67	40
1826	N-702	39	70
1828	N-703	39.42	55
1830	N-704	52.1	71
1832	N-705	68.99	70
1834	N-706	30.99	25
1836	N-707	38.66	42
1838	N-708	27.18	22
1844	N-711	49.71	48
1846	N-712	50.94	55
1850	N-713	51.44	75
1852	N-714	39.21	27
1854	N-715	10.85	37
1856	N-716	59.03	70
1858	N-717	32.78	35
1860	N-718	41.75	50
1862	N-719	24.28	20
1864	N-720	54.56	85
1866	N-721	13.04	26
1869	N-722	47.47	68
1871	N-723	50.08	68
1873	N-724	11.67	38
1876	N-725	52.33	47
1882	N-726	12.34	32
1884	N-727	6.14	18
1914	N-730	34.11	28
1918	N-732	33.86	28
1928	N-736	36.38	38
1930	N-737	36.4	37
1933	N-739	36.92	57
1939	N-741	44.33	72
1944	N-743	54.47	56
1956	N-746	51.43	72
1964	N-750	32.01	55
1969	N-752	45.97	66
1974	N-754	44.51	60

Nota: En la tabla se puede apreciar la diferencia entre las presiones.

En la tabla 4 podemos observar la diferencia entre las presiones en la etapa de calibración con las condiciones reales del sistema de agua potable, en el que no se han localizado válvulas que puedan regular las presiones en las redes y por otro lado tenemos el resultado de las presiones con el sistema optimizado en el cual se han localizado las VRP, por lo que se evidencia una notable reducción de las presiones que se encontraban por encima de los 60mca de presión. Los resultados de todo el sistema se presentan en los anexos.

4.3. DISCUSIÓN

Según Méndez (2013) indica que, por razones del terreno, el nivel de velocidad de la red de distribución de agua no cumple con los estándares especificados en “Normas técnicas para el diseño de abastecimiento y tratamiento de agua” (NTON 09 003-99), por lo que, es necesario analizar el levantamiento del terreno así como las características de las redes hidráulicas, en lo que respecta a este estudio se coincide con Méndez Arvizu en que la topografía afecta las características de las redes de distribución de agua.

La determinación de la posición óptima de la válvula reductora de presión requiere de un análisis hidráulico porque según Saldarriaga (1998) “las redes de distribución, en lo posible, se diseñarán en circuitos cerrados que formen la red. Estas dimensiones se basarán en cálculos hidráulicos para asegurar un flujo y presión adecuados en cualquier punto de la red”, dicha afirmación se confirma con la presente investigación.

En general, el software empleado para estos casos emplea el método del gradiente, pudiendo ser el EPANET o WaterCAD, que usan para las simulaciones, teniéndose varias aplicaciones exitosas anteriores para el análisis de sistemas de distribución de agua intermitente (Gullota et al., 2021).



Los resultados muestran que se puede lograr una mejora considerable en el suministro equitativo con una inversión adicional en tuberías por encima de la solución de menor costo. Por lo tanto, es mejor diseñar redes considerando debidamente la condición de déficit para una mejor confiabilidad. También se ilustra que será difícil mejorar la equidad más allá de un límite para una red dada, a través de la selección de diferentes diámetros de tubería (Chandapillai et al., 2011).

El modelo de optimización se basa en el uso de un algoritmo genético, que es conocido por su robustez para manejar la optimización de las redes de distribución de agua. El conocimiento del sistema de distribución de agua se ha incorporado al modelo de optimización para reducir el espacio de búsqueda y mejorar la eficiencia del modelo en la búsqueda de las soluciones óptimas (Sutharsan, 2023). El empleo de un único modelo de optimización para buscar tanto la ubicación óptima de las válvulas como sus ajustes. El modelo también se puede utilizar para probar la minimización de fugas en una red de agua de referencia estudiada por otros investigadores y ha demostrado ser muy eficiente y robusto (Bhagat et al., 2019).

Las redes de agua rurales requieren técnica de programación para lograr una distribución equitativa del agua disponible con restricciones en la operación. Considera además restricciones lineales al problema de programación para modelar varias clases de restricciones prácticas. Los problemas matemáticos resultantes se resuelven con relativa facilidad y se encontró que las desviaciones entre la demanda y la oferta eran muy bajas para las redes probadas aquí. El método propuesto se puede implementar en el campo siempre que se disponga de mediciones de flujos en estado estacionario bajo diferentes configuraciones de red (Kurian et al., 2023).



En muchos países en desarrollo, los sistemas de suministro de agua intermitente son frecuentes, lo que da como resultado un acceso limitado al agua para los consumidores que no tienen un suministro continuo las 24 horas del día, los 7 días de la semana. Los consumidores se ven obligados a utilizar tanques de almacenamiento privados para adaptarse a las condiciones de suministro intermitente y superar los períodos sin acceso al agua. Que nos enfoca en un desafío para resolver esta problemática no solo desde el punto de vista técnico, sino otros aspectos económicos, sociales (Hendrickson & Sela, 2024).



V. CONCLUSIONES

- Se realizó el diagnóstico del estado actual del sistema de agua potable, así como análisis del levantamiento topográfico en el que se evidenció los niveles estáticos, las pendientes en el cual se identificaron que existe desniveles superiores a los 60 mca., lo cual influye en el cálculo de presiones y el funcionamiento del sistema.
- Se realizó la calibración del sistema a través del enfoque de Algoritmos Genéticos para adecuar y simular las condiciones reales del sistema en campo y compararlas con el modelo digital, al comparar los valores de presiones calibrados vs los valores de presiones simulados, podemos notar que los valores se aproximan y por ende el modelo digital se ajusta a las condiciones medidas en el campo. Una vez calibrado el modelo, sirvió como base para el modelamiento y la localización de las VRP.
- Se ha localizado 5 válvulas reductoras de presión en inicios de los tramos críticos donde se ha evidenciado las sobrepresiones. Se establecieron presiones de regulación de 20 mca para la VRP1, 40 mca para la VRP3, 45 mca para las VRP2 y VRP4, y finalmente 50 mca para la VRP5, al reducir las presiones por debajo de las que se establecieron en las VRP, dichos valores influyen en las presiones del sistema y se reducen por debajo de los 8 mca en las conexiones domiciliarias que se ubican por debajo de las VRP.
- Según los resultados de presiones con la localización óptima de las válvulas reductoras de presión se ha logrado optimizar el sistema de agua potable de Llungo, tomando que en cuenta que antes de la localización de las VRP, el SAP Llungo, presentaba presiones por encima de los 60 mca, sin embargo, localizadas las VRP, podemos notar una reducción significativa en las presiones del sistema, por lo que se concluye que el sistema queda optimizado.



VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda:

- Adoptar la ubicación de las válvulas reductoras de presión en los puntos estratégicos que se han establecido en el sistema de agua potable Llungo para contrarrestar la problemática presente en las redes en cuanto a sobrepresiones.
- Realizar el mantenimiento adecuado de las redes de distribución del sistema de agua potable para el buen funcionamiento del sistema, de tal manera que pueda cumplir con objetivos de funcionalidad del proyecto durante el periodo de su vida útil.
- Al plantear proyectos de agua y potable, se debe tomar en cuenta la topografía de la zona, ya que el levantamiento topográfico de cualquier proyecto es la base para el planteamiento de cualquier infraestructura, por lo que se debe tomar énfasis en desarrollar buenos trabajos topográficos o planialtimétricos, ya que cualquier error en la topografía puede inducir a plantear dimensiones que no se encuentren acordes a la realidad.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abarca, N. L. S., & da Silva, W. T. P. (2020). Locating water distribution reservoirs in rural andean areas: A methodological approach. *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development*, 10(2), 309–319. <https://doi.org/10.2166/washdev.2020.163>
- Abdelazeem, O., & Meyer, D. D. J. (2024). How to Model an Intermittent Water Supply: Comparing Modeling Choices and Their Impact on Inequality. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 150(1), 1–11. <https://doi.org/10.1061/jwrmd5.wreng-6090>
- Anchapuri, A. (2018). Determinación del diámetro óptimo en redes de distribución de agua potable por el método Hardy Cross en el centro poblado de Lampa Putuma Pomata-Chucuito-Puno. In Universidad Nacional del Altiplano.
- Asillo, E. J. (2020). Análisis del comportamiento de válvulas de control de los sistemas de abastecimiento de agua. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Beltrán, A. L., & Abril, J. J. (2014). Análisis de la demanda y la red de distribución de agua en el municipio de Aracataca, Colombia. Universidad Católica de Colombia.
- Berrocal, W. (2016). Diseño de redes de distribución de agua. In *Manual De Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento - Libro 12*.
- Bhagat, S. K., Tiyyasha, Welde, W., Tesfaye, O., Tung, T. M., Al-Ansari, N., Salih, S. Q., & Yaseen, Z. M. (2019). Evaluating physical and fiscal water leakage in water distribution system. *Water (Switzerland)*, 11(10), 1–14. <https://doi.org/10.3390/w11102091>
- Carhuapoma, J. C., & Chahuayo, A. R. (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. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Chakraborty, S. K. (2021). Water: Its properties, distribution, and significance. *Riverine Ecology Volume 1: Eco-Functionality of the Physical Environment of Rivers*, 23–55. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-53897-2_2



- Chandapillai, J., Sudheer, K. P., & Saseendran, S. (2011). Design of Water Distribution Network for Equitable Supply. *Water Resources Management*, 26(2), 391–406. <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9923-x>
- Chow, V. Te. (1994). *Hidraulica de canales abiertos*.
- Concha, N. (2022). Diagnóstico y propuesta de mejora del alcantarillado y redes de agua potable en la ciudad de Huamanga, región Ayacucho [Universidad Peruana del Centro]. http://repositorio.upecen.edu.pe/bitstream/UPECEN/84/1/Informe_Final_2014.pdf
- Correa, G., & Muñoz, A. (2015). Agua, pobreza y equidad : Un análisis asimétrico. *Bioetica*, 15, 90–99.
- Davis, M. L. (2010). *Water and wastewater engineering: design principles and practice* (McGraw-Hil).
- Debnath, K., Das, S., & Mukherjee, B. (2022). Hydraulic Analysis of Drinking Water Distribution Network Using WaterCAD Simulation: Case of Purba Medinipur in West Bengal. *Advanced Modelling and Innovations in Water Resources Engineering*, 301–314. https://doi.org/10.1007/978-981-16-4629-4_21
- Dubasik, F. B. (2017). Planning for Intermittent Water Supply in Small Gravity-Fed, Distribution Systems: Case Study in Rural Panama. *Michigan Technological University*, 1–63.
- Fernández, S. (2023). Proyecto constructivo del sistema de abastecimiento de agua potable en la comunidad rural de la Laguna Huaypo, Cusco (Perú). *Universidad Politécnica de Madrid*.
- Florian, S. B. (2017). Propuesta de optimización del servicio de la red de distribución de agua potable -RDAP- del municipio de Madrid, Cundinamarca. (Issue 0). *Universidad Católica de Colombia*.
- Gallego, Á., & Sánchez, M. (2015). *Manual de topografía en ingeniería*. Universidad Politécnica de València, 158. https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/788b177a-33d7-41a7-ae2d-feae688de515/TOC_0202_04_01.pdf?guest=true



- García, J., & Perez de la Cruz, F. J. (2012). Abastecimiento de Aguas. 7–30. http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6015/mod_resource/content/1/Tema_04_CARACT_FIS_QUIM.pdf
- Godoy, A. F., & Cifuentes, G. (2018). Mejoramiento de la red de distribución del sistema de Acueducto AUACACT en la localidad de ciudad Bolivar mediante modelación en EPANET - Bogota D.C. Universidad Católica de Colombia.
- Gullotta, A., Campisano, A., Creaco, E., & Modica, C. (2021). A Simplified Methodology for Optimal Location and Setting of Valves to Improve Equity in Intermittent Water Distribution Systems. *Water Resources Management*, 35(13), 4477–4494. <https://doi.org/10.1007/s11269-021-02962-9>
- Guzman, V. H. (2009). Algoritmos genéticos y Epanet 2.0 para la localización óptima de válvulas reductoras de presión en redes de distribución de agua potable. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Hendrickson, G., & Sela, L. (2024). Optimizing equity in intermittent water supply systems: A volume-driven demand and flow control approach. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105615>
- Hernández, R., Hernandez, C., & Baptisa, P. (2014). Metodología de la Investigación (McGRAW-HIL).
- Klingel, P. (2012). Technical causes and impacts of intermittent water distribution. *Water Science and Technology: Water Supply*, 504–512.
- Kurian, V., Mohandoss, P., Chandrakesa, S., Chinnusamy, S., Narasimhan, S., & Narasimhan, S. (2023). Equitable supply in intermittently operated rural water networks in emerging economies. *Water Supply*, 23(11), 4520–4538. <https://doi.org/10.2166/ws.2023.268>
- Loayza, L. Y., & Meza, C. C. (2022). Comportamiento hidráulico de flujo de agua en canales de riego en zonas de singularidad canal Molino, Mito, Junín - 2021 [Universidad Continental]. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/11467>
- López, J. A. (2017). Sectorización para la optimización hidráulica de redes de distribución



- de agua potable del sector operativo VI en el distrito de Castilla-Piura. Universidad Nacional de Piura.
- López, P. L. (2004). Población, muestra y muestreo. UCB-Cbba, 129–139. <http://www.medicapanamericana.com/Libros/Libro/3848/Epidemiologia-Clinica.html>
- Machado, J. (2022). Topografía Básica en Español: Vol. 1ra Ed.
- Magwilang, E., Armas, F., Paredes, A. L., Bugnay, H. G., & Dagupen, R. (2023). Optimising the distribution system of existing scarce water supply in a mountain indigenous community. LHB: Hydrosience Journal, 109(1). <https://doi.org/10.1080/27678490.2023.2280573>
- Méndez, A. K. (2013). Rediseño del sistema de agua potable de la ciudad de Nandaime, Departamento de Granada, con un periodo de diseño de julio 2011 – julio 2031. In DISEÑO HIDRAULICO PARA MONTE GRANDE I (Vol. 0, Issue 0).
- Norma Técnica I.S.010. (2017). Instalaciones Sanitarias para Edificaciones. Normas Legales, 1–30.
- Patricio, J. M. (2018). Determinación de la sobre presión en la línea de conducción por gravedad de agua potable en la localidad rural de Quitaracza (distrito de Yuracmarca) - Ancash. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, 98. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2452>
- Pauro, J. D., & Vilca, F. I. (2021). Mejoramiento de operatividad del sistema de agua potable, para su funcionamiento óptimo utilizando válvulas reductoras de presión - Choquelihue – Puno. In Universidad Cesar Vallejo. http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Perez, D. (2020). Acceso por la red Pública en el centro poblado de la primera etapa de la zona “ B ” de Huarangal del distrito de Lurín , Lima. In Repositorio USMP.
- Pérez, L. E., & Pérez, S. (2007). Criterios de diseño, cálculo y selección de tuberías en base al criterio de las prestaciones equivalentes. 79. www.fi.uba.ar/archivos/institutos_criterio_seleccion_tuberias.pdf.



- Porras, O. H. (2014). Reducción de pérdidas de caudal en red de tuberías para mejorar distribución de agua potable - Sector San Carlos - La Merced [Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/290>
- Rengifo, T. C., & Zárate, C. J. (2016). Diseño estático del flujo de agua en la red de distribución del centro poblado la Palma Central provincia de Jaén aplicación del programa Watercad [Univesidad Privada Antenor Orrego]. http://www.gonzalezcabeza.com/documentos/CRECIMIENTO_MICROBIANO.pdf
- Rincón, M. A., Vargas, W. E., & Gonzáles, C. J. (2017). Topografía: Conceptos y Aplicaciones (Ecoe Edici).
- Saldarriaga, J. G. (1998). Hidráulica de tuberías. In Acueducto y alcantarilado.
- Shammas, N. K., & Wang, L. K. (2015). Water engineering: hydraulics, distribution and treatment. In Water Engineering.
- Sutharsan, M. E. (2023). Optimizing the water distribution network of community water supply using different computer simulation techniques. Regional Support Centre (North), National Water Supply and Drainage Board, Vavuniya, Sri Lanka, 4(1), 88–100. <http://doi.org/10.4038/josuk.v16i1.8070>
- Vera, D. M. (2018). Evaluación del comportamiento hidráulico de redes de distribución de agua potable, mediante métodos computacionales convencionales en el distrito de Chupaca. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Yanapa, J. R. (2015). Optimización de redes de distribución de agua potable en cuatro comunidades del distrito de Pisacoma. Universidad Nacional del Altiplano.



ANEXOS



ANEXO 1: Resultado de las presiones del modelamiento optimizado con VRP.

ID	NODO	ELEVACION (msnm)	Demanda (l/s)	Gradiente Hidráulico (m)	Presión (mca)
1884	N-727	3,874.00	0.02	3,880.15	6.14
1809	N-694	3,920.73	0.02	3,929.04	8.3
1854	N-715	3,860.69	0.02	3,871.56	10.85
1873	N-724	3,872.00	0.02	3,883.69	11.67
1771	N-678	3,839.20	0.02	3,851.02	11.8
1882	N-726	3,838.49	0.02	3,850.85	12.34
1726	N-655	3,839.01	0.02	3,851.90	12.87
1866	N-721	3,868.00	0.02	3,881.07	13.04
1797	N-690	3,841.48	0.02	3,855.77	14.26
1136	N-355	3,914.85	0.02	3,929.37	14.49
1377	N-485	3,835.26	0.02	3,850.53	15.24
1301	N-446	3,835.27	0.02	3,850.54	15.24
1571	N-580	3,835.55	0.02	3,850.90	15.31
1600	N-595	3,835.62	0.02	3,851.51	15.86
1296	N-443	3,835.04	0.02	3,851.79	16.72
1364	N-479	3,835.26	0.02	3,852.08	16.79
1250	N-418	3,837.00	0.02	3,854.56	17.53
1820	N-699	3,910.00	0.02	3,927.57	17.53
1581	N-585	3,911.79	0.02	3,930.18	18.35
1686	N-636	3,836.00	0.02	3,854.40	18.36
1607	N-599	3,840.10	0.02	3,858.61	18.46
1335	N-464	3,835.96	0.02	3,854.49	18.5
1232	N-408	3,908.49	0.02	3,927.40	18.88
1775	N-680	3,907.16	0.02	3,926.24	19.04
1325	N-459	3,836.00	0.02	3,855.13	19.09
1587	N-588	3,905.00	0.02	3,924.16	19.12
1767	N-676	3,834.79	0.02	3,854.40	19.57



ID	NODO	ELEVACION (msnm)	Demanda (l/s)	Gradiente Hidráulico (m)	Presión (mca)
1729	N-657	3,906.67	0.02	3,926.30	19.59
1234	N-409	3,907.75	0.02	3,927.40	19.61
1812	N-695	3,855.55	0.02	3,875.43	19.84
1530	N-560	3,851.89	0.02	3,871.90	19.97
1227	N-405	3,851.73	0.02	3,871.95	20.18
1654	N-620	3,851.56	0.02	3,872.19	20.59
1663	N-624	3,837.12	0.02	3,857.96	20.79
1701	N-644	3,860.03	0.02	3,880.89	20.82
1733	N-659	3,850.82	0.02	3,871.81	20.95
1559	N-574	3,835.03	0.02	3,856.32	21.25
1583	N-586	3,835.57	0.02	3,857.21	21.61
1439	N-517	3,836.99	0.02	3,858.64	21.61
1409	N-502	3,850.12	0.02	3,871.96	21.79
1321	N-457	3,849.96	0.02	3,871.98	21.98
1283	N-436	3,836.65	0.02	3,858.68	21.99
1522	N-556	3,835.02	0.02	3,857.10	22.03
1645	N-616	3,902.01	0.02	3,924.26	22.2
1744	N-664	3,837.49	0.02	3,859.91	22.38
1543	N-566	3,895.03	0.02	3,917.66	22.58
1198	N-389	3,833.56	0.02	3,856.53	22.93
1391	N-493	3,834.31	0.02	3,857.55	23.19
1276	N-432	3,833.79	0.02	3,857.04	23.2
1462	N-527	3,833.00	0.02	3,856.60	23.55
1209	N-395	3,848.49	0.02	3,872.29	23.75
1427	N-511	3,834.33	0.02	3,858.46	24.08
1862	N-719	3,910.36	0.02	3,934.69	24.28
1647	N-617	3,899.63	0.02	3,924.38	24.7
1756	N-671	3,849.36	0.02	3,874.69	25.27
1482	N-537	3,851.26	0.02	3,876.60	25.29
1714	N-650	3,856.03	0.02	3,881.45	25.37



ID	NODO	ELEVACION (msnm)	Demanda (l/s)	Gradiente Hidráulico (m)	Presión (mca)
1769	N-677	3,863.00	0.02	3,889.63	26.57
1395	N-495	3,833.00	0.02	3,859.68	26.62
1684	N-635	3,901.33	0.02	3,928.15	26.77
1838	N-708	3,902.00	0.02	3,929.24	27.18
1801	N-691	3,836.34	0.02	3,863.61	27.22
1492	N-542	3,833.60	0.02	3,861.03	27.38
1753	N-669	3,899.11	0.02	3,926.64	27.47
1550	N-569	3,889.09	0.02	3,916.70	27.55
1737	N-661	3,849.60	0.02	3,877.33	27.68
1561	N-575	3,845.15	0.02	3,873.17	27.96
1661	N-623	3,900.15	0.02	3,928.21	28
1500	N-546	3,898.35	0.02	3,926.45	28.05
1758	N-672	3,899.85	0.02	3,928.09	28.18
1425	N-510	3,833.45	0.02	3,861.83	28.33
1176	N-378	3,844.76	0.02	3,873.31	28.49
1220	N-401	3,847.80	0.02	3,876.63	28.77
1389	N-492	3,833.00	0.02	3,861.91	28.85
1397	N-496	3,898.80	0.02	3,927.97	29.12
1814	N-696	3,851.96	0.02	3,881.24	29.21
1339	N-466	3,833.00	0.02	3,862.40	29.34
1292	N-441	3,833.00	0.02	3,862.72	29.66
1692	N-639	3,896.56	0.02	3,926.67	30.05
1735	N-660	3,899.00	0.02	3,929.16	30.1
1468	N-530	3,895.93	0.02	3,926.45	30.46
1682	N-634	3,846.82	0.02	3,877.38	30.5
1596	N-593	3,897.29	0.02	3,927.99	30.63
1419	N-507	3,903.00	0.02	3,933.76	30.69
1261	N-424	3,902.75	0.02	3,933.78	30.96
1834	N-706	3,905.94	0.02	3,936.99	30.99
1254	N-420	3,903.85	0.02	3,935.20	31.28



ID	NODO	ELEVACION (msnm)	Demanda (l/s)	Gradiente Hidráulico (m)	Presión (mca)
1174	N-377	3,894.70	0.02	3,926.23	31.47
1124	N-348	3,894.70	0.02	3,926.24	31.48
1528	N-559	3,898.10	0.02	3,929.92	31.75
1520	N-555	3,898.00	0.02	3,929.92	31.85
1344	N-468	3,894.85	0.02	3,926.78	31.86
1464	N-528	3,908.10	0.02	3,940.17	32.01
1964	N-750	3,857.68	0.02	3,889.76	32.01
1612	N-601	3,858.05	0.02	3,890.14	32.03
1748	N-666	3,907.10	0.02	3,939.21	32.04
1433	N-514	3,895.02	0.02	3,927.33	32.25
1131	N-352	3,893.27	0.02	3,925.60	32.27
1629	N-609	3,844.51	0.02	3,876.95	32.38
1602	N-596	3,892.59	0.02	3,925.15	32.49
1258	N-422	3,833.17	0.02	3,865.77	32.53
1731	N-658	3,847.57	0.02	3,880.17	32.54
1273	N-430	3,893.96	0.02	3,926.57	32.55
1858	N-717	3,883.43	0.02	3,916.27	32.78
1267	N-427	3,857.59	0.02	3,890.49	32.84
1760	N-673	3,849.58	0.02	3,882.72	33.08
1386	N-490	3,893.45	0.02	3,926.63	33.12
1777	N-681	3,894.01	0.02	3,927.24	33.16
1161	N-369	3,892.00	0.02	3,925.64	33.57
1263	N-425	3,891.20	0.02	3,924.89	33.62
1460	N-526	3,892.06	0.02	3,925.80	33.67
1441	N-518	3,892.75	0.02	3,926.62	33.8
1918	N-732	3,893.51	0.02	3,927.44	33.86
1421	N-508	3,891.56	0.02	3,925.52	33.89
1304	N-448	3,892.43	0.02	3,926.39	33.9
1435	N-515	3,892.37	0.02	3,926.33	33.9
1450	N-522	3,891.33	0.02	3,925.35	33.96



ID	NODO	ELEVACION (msnm)	Demanda (l/s)	Gradiente Hidráulico (m)	Presión (mca)
1122	N-347	3,893.25	0.02	3,927.28	33.97
1412	N-504	3,891.67	0.02	3,925.71	33.97
1415	N-505	3,891.74	0.02	3,925.81	34
1204	N-392	3,893.40	0.02	3,927.48	34
1488	N-540	3,891.56	0.02	3,925.70	34.07
1914	N-730	3,893.29	0.02	3,927.46	34.11
1359	N-476	3,891.76	0.02	3,925.95	34.12
1401	N-498	3,893.00	0.02	3,927.23	34.16
1680	N-633	3,893.09	0.02	3,927.37	34.21
1577	N-583	3,833.49	0.02	3,867.90	34.34
1200	N-390	3,893.29	0.02	3,927.72	34.36
1214	N-397	3,893.00	0.02	3,927.47	34.4
1169	N-374	3,893.36	0.02	3,927.87	34.44
1381	N-487	3,890.40	0.02	3,924.94	34.48
1152	N-364	3,893.18	0.02	3,927.73	34.48
1327	N-460	3,890.71	0.02	3,925.27	34.49
1453	N-523	3,890.05	0.02	3,924.79	34.67
1166	N-372	3,893.00	0.02	3,927.75	34.68
1393	N-494	3,833.29	0.02	3,868.16	34.8
1697	N-642	3,903.97	0.02	3,938.94	34.9
1502	N-547	3,842.14	0.02	3,877.17	34.97
1765	N-675	3,889.06	0.02	3,924.11	34.97
1352	N-472	3,893.00	0.02	3,928.06	34.99
1285	N-437	3,893.00	0.02	3,928.13	35.06
1403	N-499	3,889.66	0.02	3,925.00	35.27
1405	N-500	3,889.38	0.02	3,924.72	35.28
1252	N-419	3,889.30	0.02	3,924.65	35.28
1399	N-497	3,893.04	0.02	3,928.39	35.28
1431	N-513	3,893.00	0.02	3,928.39	35.31
1516	N-553	3,849.52	0.02	3,885.02	35.42



ID	NODO	ELEVACION (msnm)	Demanda (l/s)	Gradiente Hidráulico (m)	Presión (mca)
1457	N-525	3,889.81	0.02	3,925.35	35.47
1787	N-685	3,856.00	0.02	3,891.58	35.51
1445	N-520	3,845.96	0.02	3,881.54	35.51
1369	N-481	3,893.00	0.02	3,928.67	35.6
1480	N-536	3,889.49	0.02	3,925.25	35.69
1652	N-619	3,842.13	0.02	3,878.03	35.84
1337	N-465	3,892.59	0.02	3,928.84	36.18
1290	N-440	3,892.72	0.02	3,928.97	36.18
1746	N-665	3,852.23	0.02	3,888.54	36.24
1928	N-736	3,892.54	0.02	3,928.99	36.38
1930	N-737	3,892.50	0.02	3,928.97	36.4
1591	N-590	3,847.73	0.02	3,884.24	36.43
1806	N-693	3,842.60	0.02	3,879.13	36.45
1567	N-578	3,841.76	0.02	3,878.35	36.51
1773	N-679	3,890.00	0.02	3,926.62	36.55
1720	N-652	3,845.02	0.02	3,881.89	36.8
1223	N-403	3,887.73	0.02	3,924.67	36.87
1933	N-739	3,831.80	0.02	3,868.79	36.92
1331	N-462	3,892.08	0.02	3,929.69	37.53
1496	N-544	3,887.28	0.02	3,924.93	37.57
1659	N-622	3,892.61	0.02	3,930.31	37.63
1539	N-564	3,839.91	0.02	3,877.72	37.74
1191	N-385	3,892.08	0.02	3,929.98	37.82
1724	N-654	3,885.23	0.02	3,923.18	37.88
1333	N-463	3,839.50	0.02	3,877.52	37.94
1350	N-471	3,901.00	0.02	3,939.04	37.96
1534	N-562	3,886.48	0.02	3,924.83	38.27
1271	N-429	3,833.13	0.02	3,871.53	38.32
1762	N-674	3,897.91	0.02	3,936.37	38.38
1631	N-610	3,844.16	0.02	3,882.67	38.43



ID	NODO	ELEVACION (msnm)	Demanda (l/s)	Gradiente Hidráulico (m)	Presión (mca)
1306	N-449	3,891.95	0.02	3,930.47	38.45
1362	N-478	3,880.04	0.02	3,918.64	38.52
1443	N-519	3,843.10	0.02	3,881.75	38.58
1145	N-361	3,880.18	0.02	3,918.85	38.59
1278	N-433	3,891.78	0.02	3,930.49	38.63
1836	N-707	3,889.78	0.02	3,928.51	38.66
1298	N-444	3,891.71	0.02	3,930.48	38.69
1367	N-480	3,833.50	0.02	3,872.42	38.84
1207	N-394	3,832.93	0.02	3,871.90	38.88
1703	N-645	3,849.45	0.02	3,888.51	38.97
1826	N-702	3,843.58	0.02	3,882.66	39
1269	N-428	3,839.65	0.02	3,878.75	39.02
1346	N-469	3,885.62	0.02	3,924.80	39.1
1852	N-714	3,887.88	0.02	3,927.18	39.21
1356	N-474	3,891.39	0.02	3,930.75	39.29
1609	N-600	3,879.14	0.02	3,918.60	39.38
1741	N-663	3,855.00	0.02	3,894.47	39.4
1828	N-703	3,848.00	0.02	3,887.50	39.42
1594	N-592	3,886.14	0.02	3,925.85	39.63
1688	N-637	3,841.00	0.02	3,881.00	39.92
1672	N-628	3,841.00	0.02	3,881.16	40.08
1694	N-640	3,896.88	0.02	3,937.24	40.28
1548	N-568	3,840.82	0.02	3,881.26	40.36
1202	N-391	3,884.04	0.02	3,924.60	40.47
1448	N-521	3,839.59	0.02	3,880.19	40.51
1553	N-571	3,847.06	0.02	3,887.93	40.79
1164	N-371	3,834.03	0.02	3,875.29	41.17
1379	N-486	3,838.00	0.02	3,879.33	41.25
1804	N-692	3,850.64	0.02	3,891.98	41.25
1518	N-554	3,839.12	0.02	3,880.64	41.44



ID	NODO	ELEVACION (msnm)	Demanda (l/s)	Gradiente Hidráulico (m)	Presión (mca)
1477	N-535	3,842.01	0.02	3,883.53	41.44
1751	N-668	3,884.00	0.02	3,925.75	41.66
1860	N-718	3,838.29	0.02	3,880.13	41.75
1494	N-543	3,845.25	0.02	3,887.99	42.66
1194	N-387	3,845.05	0.02	3,887.81	42.67
1816	N-697	3,849.44	0.02	3,892.26	42.73
1417	N-506	3,839.48	0.02	3,882.30	42.74
1656	N-621	3,881.80	0.02	3,924.70	42.81
1148	N-363	3,844.96	0.02	3,887.91	42.86
1541	N-565	3,881.21	0.02	3,924.19	42.9
1633	N-611	3,882.35	0.02	3,925.53	43.1
1470	N-531	3,845.95	0.02	3,889.18	43.14
1158	N-367	3,844.58	0.02	3,887.83	43.16
1639	N-613	3,881.31	0.02	3,924.57	43.17
1665	N-625	3,841.02	0.02	3,884.28	43.18
1690	N-638	3,883.08	0.02	3,926.38	43.21
1287	N-438	3,838.98	0.02	3,882.33	43.26
1618	N-604	3,846.03	0.02	3,889.46	43.34
1475	N-534	3,839.19	0.02	3,882.64	43.36
1782	N-683	3,845.31	0.02	3,888.85	43.45
1423	N-509	3,880.43	0.02	3,924.05	43.53
1779	N-682	3,882.63	0.02	3,926.26	43.54
1310	N-451	3,880.79	0.02	3,924.42	43.55
1294	N-442	3,838.99	0.02	3,882.68	43.6
1667	N-626	3,838.33	0.02	3,882.03	43.61
1589	N-589	3,850.77	0.02	3,894.66	43.8
1473	N-533	3,846.75	0.02	3,890.64	43.81
1455	N-524	3,844.03	0.02	3,888.08	43.95
1739	N-662	3,840.41	0.02	3,884.53	44.04
1622	N-606	3,842.33	0.02	3,886.59	44.17



ID	NODO	ELEVACION (msnm)	Demanda (l/s)	Gradiente Hidráulico (m)	Presión (mca)
1939	N-741	3,844.55	0.02	3,888.97	44.33
1974	N-754	3,839.58	0.02	3,884.18	44.51
1139	N-357	3,843.89	0.02	3,888.62	44.64
1616	N-603	3,844.47	0.02	3,889.28	44.71
1354	N-473	3,830.97	0.02	3,875.81	44.74
1240	N-412	3,845.77	0.02	3,890.68	44.81
1243	N-414	3,843.32	0.02	3,888.61	45.2
1329	N-461	3,842.75	0.02	3,888.21	45.37
1225	N-404	3,842.66	0.02	3,888.17	45.42
1626	N-608	3,843.49	0.02	3,889.20	45.62
1437	N-516	3,842.54	0.02	3,888.42	45.78
1969	N-752	3,833.41	0.02	3,879.48	45.97
1557	N-573	3,833.41	0.02	3,879.49	45.98
1371	N-482	3,845.01	0.02	3,891.22	46.12
1565	N-577	3,838.92	0.02	3,885.18	46.16
1245	N-415	3,833.97	0.02	3,880.27	46.2
1509	N-550	3,848.27	0.02	3,894.59	46.23
1585	N-587	3,848.74	0.02	3,895.20	46.37
1624	N-607	3,847.70	0.02	3,894.17	46.38
1280	N-434	3,848.28	0.02	3,894.93	46.56
1429	N-512	3,841.88	0.02	3,888.65	46.68
1649	N-618	3,844.63	0.02	3,891.53	46.8
1484	N-538	3,847.99	0.02	3,894.91	46.82
1142	N-359	3,844.16	0.02	3,891.25	46.99
1526	N-558	3,845.02	0.02	3,892.26	47.14
1573	N-581	3,836.44	0.02	3,883.83	47.29
1869	N-722	3,841.00	0.02	3,888.56	47.47
1348	N-470	3,844.08	0.02	3,891.72	47.54
1524	N-557	3,839.89	0.02	3,887.67	47.68
1511	N-551	3,842.84	0.02	3,890.62	47.69



ID	NODO	ELEVACION (msnm)	Demanda (l/s)	Gradiente Hidráulico (m)	Presión (mca)
1598	N-594	3,837.07	0.02	3,885.11	47.94
1513	N-552	3,842.66	0.02	3,890.70	47.94
1490	N-541	3,843.79	0.02	3,892.20	48.31
1555	N-572	3,843.29	0.02	3,891.70	48.31
1674	N-629	3,843.24	0.02	3,891.83	48.49
1824	N-701	3,887.48	0.02	3,936.25	48.67
1178	N-379	3,870.91	0.02	3,920.04	49.03
1265	N-426	3,844.02	0.02	3,893.28	49.16
1532	N-561	3,842.04	0.02	3,891.56	49.42
1537	N-563	3,843.97	0.02	3,893.63	49.56
1316	N-454	3,886.83	0.02	3,936.58	49.65
1844	N-711	3,874.53	0.02	3,924.34	49.71
1374	N-483	3,869.50	0.02	3,919.35	49.75
1637	N-612	3,831.77	0.02	3,881.65	49.78
1717	N-651	3,869.97	0.02	3,919.90	49.83
1871	N-723	3,832.43	0.02	3,882.60	50.08
1466	N-529	3,844.76	0.02	3,895.32	50.46
1822	N-700	3,852.07	0.02	3,902.75	50.57
1171	N-375	3,837.10	0.02	3,887.85	50.66
1498	N-545	3,837.01	0.02	3,887.80	50.69
1846	N-712	3,840.91	0.02	3,891.96	50.94
1795	N-689	3,885.80	0.02	3,936.88	50.98
1504	N-548	3,839.85	0.02	3,890.98	51.03
1238	N-411	3,843.94	0.02	3,895.30	51.26
1956	N-746	3,841.99	0.02	3,893.53	51.43
1850	N-713	3,842.86	0.02	3,894.40	51.44
1563	N-576	3,837.00	0.02	3,888.91	51.8
1722	N-653	3,840.91	0.02	3,892.88	51.87
1383	N-488	3,830.98	0.02	3,883.17	52.08



ID	NODO	ELEVACION (msnm)	Demanda (l/s)	Gradiente Hidráulico (m)	Presión (mca)
1830	N-704	3,831.00	0.02	3,883.20	52.1
1236	N-410	3,837.00	0.02	3,889.41	52.31
1876	N-725	3,874.42	0.02	3,926.86	52.33
1707	N-647	3,837.52	0.02	3,890.16	52.54
1604	N-597	3,842.13	0.02	3,894.79	52.56
1229	N-406	3,837.00	0.02	3,889.87	52.76
1712	N-649	3,838.96	0.02	3,892.36	53.3
1181	N-381	3,838.00	0.02	3,891.53	53.43
1186	N-383	3,837.98	0.02	3,891.54	53.45
1323	N-458	3,837.58	0.02	3,891.20	53.52
1944	N-743	3,838.59	0.02	3,893.16	54.47
1864	N-720	3,840.00	0.02	3,894.67	54.56
1575	N-582	3,838.53	0.02	3,893.41	54.77
1614	N-602	3,839.32	0.02	3,894.47	55.03
1620	N-605	3,840.63	0.02	3,896.32	55.58
1709	N-648	3,837.93	0.02	3,893.74	55.7
1643	N-615	3,842.77	0.02	3,898.90	56.02
1785	N-684	3,837.40	0.02	3,894.43	56.92
1676	N-630	3,844.68	0.02	3,902.98	58.18
1579	N-584	3,843.10	0.02	3,902.02	58.8
1569	N-579	3,841.19	0.02	3,900.20	58.89
1856	N-716	3,834.90	0.02	3,894.06	59.03
1705	N-646	3,840.05	0.02	3,900.68	60.51
1670	N-627	3,850.11	0.02	3,914.74	64.49
¿1486	N-539	3,845.58	0.02	3,912.12	66.41
1196	N-388	3,841.53	0.02	3,908.54	66.87
1699	N-643	3,847.11	0.02	3,914.20	66.96
1832	N-705	3,849.90	0.02	3,919.02	68.99
1319	N-456	3,843.44	0.02	3,912.71	69.13
1407	N-501	3,841.03	0.02	3,913.62	72.45



ID	NODO	ELEVACION (msnm)	Demanda (l/s)	Gradiente Hidráulico (m)	Presión (mca)
1308	N-450	3,839.99	0.02	3,914.46	74.32

ANEXO 2: Resultado de velocidades del sistema optimizado con VRP.

ID	LABEL	Longitud (m)	Nodo Inicio	Nodo Final	Diámetro (In)	Material	Hazen-Williams C	Darcy-Weisbach e (m)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Gradiente de Perdida (m/m)
1978	T-756	81	PRV-3	N-301	0.75	PVC	150	0.000002	0.08	0.26	0.005
1977	T-755	3.6	N-110	PRV-3	0.75	PVC	150	0.000002	0.08	0.26	0.006
1975	T-754	26.3	N-753	N-754	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1970	T-751	11	N-751	N-752	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1965	T-748	272	N-749	N-750	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1963	T-747	39.5	N-748	N-749	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1961	T-746	33.3	N-747	N-748	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1959	T-745	28	N-744	N-747	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1957	T-744	8.7	N-745	N-746	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1948	T-741	3.5	N-328	N-744	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1946	T-740	33.3	N-742	N-221	1	PVC	150	0.000002	0.14	0.27	0.004
1945	T-739	4.6	N-742	N-743	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1942	T-738	65.8	N-212	N-742	1	PVC	150	0.000002	0.15	0.3	0.005
1940	T-737	41.9	N-740	N-741	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1938	T-736	148.8	N-740	N-182	1.5	PVC	150	0.000002	0.21	0.18	0.001
1937	T-735	164.9	N-131	N-740	1.5	PVC	150	0.000002	0.23	0.2	0.001
1935	T-734	550.8	N-738	N-739	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1931	T-732	7.2	N-416	N-737	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1929	T-731	4.9	N-417	N-736	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002



ID	LABEL	Longitud (m)	Nodo Inicio	Nodo Final	Diámetro (In)	Material	Hazen-Williams C	Darcy-Weisbach e (m)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Gradiente de Perdida (m/m)
1927	T-730	6.6	N-735	N-365	0.5	PVC	150	0.000002	0.03	0.24	0.007
1926	T-729	8.7	N-734	N-735	0.5	PVC	150	0.000002	0.03	0.24	0.007
1924	T-728	16.9	N-733	N-734	0.5	PVC	150	0.000002	0.03	0.24	0.007
1919	T-725	25	N-731	N-732	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1917	T-724	9.6	N-393	N-731	0.75	PVC	150	0.000002	0.02	0.05	0
1915	T-723	12.3	N-393	N-730	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1909	T-720	105.3	PRV-1	N-66	2	PVC	150	0.000002	0.51	0.25	0.002
1908	T-719	15.7	N-80	PRV-1	2	PVC	150	0.000002	0.51	0.25	0.002
1906	T-718	35.6	N-445	N-8	3	PVC	150	0.000002	1.88	0.41	0.002
1905	T-717	27.7	N-9	N-445	3	PVC	150	0.000002	1.89	0.41	0.003
1904	T-716	61.9	N-729	N-335	0.75	PVC	150	0.000002	0.05	0.16	0.002
1903	T-715	104.4	N-452	N-729	0.75	PVC	150	0.000002	0.05	0.16	0.002
1901	T-714	57.9	N-331	N-452	0.75	PVC	150	0.000002	0.06	0.21	0.004
1896	T-710	47.5	N-431	N-313	0.75	PVC	150	0.000002	0.05	0.16	0.002
1895	T-709	20.9	N-491	N-431	0.75	PVC	150	0.000002	0.06	0.21	0.004
1894	T-708	41.9	N-60	N-491	0.75	PVC	150	0.000002	0.08	0.26	0.005
1893	T-707	72.1	N-667	N-4	4	PVC	150	0.000002	4.58	0.56	0.003
1892	T-706	133	N-1	N-667	4	PVC	150	0.000002	4.59	0.57	0.003
1891	T-705	367	N-698	N-263	1	PVC	150	0.000002	0.06	0.12	0.001
1890	T-704	138.9	N-82	N-698	1	PVC	150	0.000002	0.08	0.15	0.001



ID	LABEL	Longitud (m)	Nodo Inicio	Nodo Final	Diámetro (In)	Material	Hazen-Williams C	Darcy-Weisbach e (m)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Gradiente de Perdida (m/m)
1889	T-703	119.7	N-688	N-260	1	PVC	150	0.000002	0.03	0.06	0
1888	T-702	36.9	N-320	N-688	1	PVC	150	0.000002	0.06	0.12	0.001
1887	T-701	249.6	N-95	N-320	1	PVC	150	0.000002	0.14	0.27	0.004
1883	T-699	475.5	N-337	N-727	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1881	T-698	480.9	N-342	N-726	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1880	T-697	427.4	N-271	N-567	0.5	PVC	150	0.000002	0.05	0.36	0.015
1878	T-695	348.7	N-85	N-632	0.5	PVC	150	0.000002	0.03	0.24	0.007
1877	T-694	308	N-304	N-532	0.5	PVC	150	0.000002	0.03	0.24	0.007
1874	T-692	307.5	N-686	N-710	0.5	PVC	150	0.000002	0.03	0.24	0.007
1870	T-690	303	N-489	N-723	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1868	T-689	332.2	N-532	N-722	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1867	T-688	274.4	N-327	N-709	0.5	PVC	150	0.000002	0.03	0.24	0.007
1863	T-686	273.6	N-350	N-720	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1859	T-684	289.6	N-344	N-718	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1857	T-683	245.6	N-570	N-717	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1855	T-682	247.7	N-316	N-716	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1853	T-681	245.3	N-268	N-715	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1849	T-679	236.3	N-598	N-713	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1848	T-678	234.1	N-84	N-362	0.5	PVC	150	0.000002	0.05	0.36	0.015
1847	T-677	230.1	N-241	N-670	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002



ID	LABEL	Longitud (m)	Nodo Inicio	Nodo Final	Diámetro (In)	Material	Hazen-Williams C	Darcy-Weisbach e (m)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Gradiente de Perdida (m/m)
1841	T-674	218.3	N-710	N-484	0.5	PVC	150	0.000002	0.03	0.24	0.007
1839	T-673	212.6	N-709	N-687	0.5	PVC	150	0.000002	0.03	0.24	0.007
1833	T-670	192.7	N-641	N-706	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1831	T-669	187.4	N-484	N-705	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1827	T-667	182.1	N-56	N-703	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1823	T-665	179.8	N-455	N-701	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1821	T-664	172.4	N-631	N-700	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1818	T-662	167.1	N-310	N-656	0.5	PVC	150	0.000002	0.03	0.24	0.007
1813	T-660	164.5	N-188	N-696	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1810	T-658	171.5	N-273	N-503	0.5	PVC	150	0.000002	0.03	0.24	0.007
1807	T-656	154.3	N-334	N-376	0.5	PVC	150	0.000002	0.03	0.24	0.007
1803	T-654	145.3	N-263	N-692	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1802	T-653	141	N-222	N-631	0.5	PVC	150	0.000002	0.03	0.24	0.007
1799	T-651	132.7	N-567	N-570	0.5	PVC	150	0.000002	0.03	0.24	0.007
1794	T-648	130.2	N-341	N-689	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1790	T-646	126	N-687	N-423	0.5	PVC	150	0.000002	0.03	0.24	0.007
1788	T-645	125.6	N-335	N-686	0.5	PVC	150	0.000002	0.03	0.24	0.007
1783	T-642	117.7	N-327	N-641	0.5	PVC	150	0.000002	0.03	0.24	0.007
1780	T-640	116.8	N-286	N-413	0.5	PVC	150	0.000002	0.03	0.24	0.007
1770	T-635	105.5	N-308	N-678	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002



ID	LABEL	Longitud (m)	Nodo Inicio	Nodo Final	Diámetro (In)	Material	Hazen-Williams C	Darcy-Weisbach e (m)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Gradiente de Perdida (m/m)
1763	T-631	124	N-345	N-356	0.5	PVC	150	0.000002	0.03	0.24	0.007
1759	T-629	101.3	N-48	N-673	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1757	T-628	94.4	N-278	N-672	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1750	T-625	91.8	N-300	N-668	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1736	T-618	84.4	N-614	N-661	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1732	T-616	94.4	N-503	N-659	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1727	T-614	79.1	N-656	N-657	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1715	T-607	74.4	N-341	N-455	0.5	PVC	150	0.000002	0.03	0.24	0.007
1691	T-595	69.6	N-299	N-639	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1685	T-592	62.9	N-288	N-636	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1683	T-591	61.4	N-278	N-635	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1678	T-589	62.2	N-632	N-633	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1668	T-584	56.2	N-324	N-489	0.5	PVC	150	0.000002	0.03	0.24	0.007
1657	T-578	53.4	N-312	N-396	0.5	PVC	150	0.000002	0.03	0.24	0.007
1655	T-577	53	N-346	N-621	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1653	T-576	54.2	N-396	N-620	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1640	T-569	48.8	N-257	N-614	0.5	PVC	150	0.000002	0.03	0.24	0.007
1634	T-565	51.3	N-343	N-598	0.5	PVC	150	0.000002	0.03	0.24	0.007
1627	T-561	45.2	N-293	N-447	0.5	PVC	150	0.000002	0.03	0.24	0.007
1613	T-554	43.5	N-316	N-602	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002

ID	LABEL	Longitud (m)	Nodo Inicio	Nodo Final	Diámetro (In)	Material	Hazen-Williams C	Darcy-Weisbach e (m)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Gradiente de Perdida (m/m)
1611	T-553	43.4	N-185	N-601	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1608	T-551	42.6	N-477	N-600	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1606	T-550	50.7	N-294	N-599	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1574	T-535	39.8	N-212	N-582	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1562	T-529	36.5	N-334	N-576	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1560	T-528	34.4	N-273	N-575	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1554	T-526	52	N-291	N-572	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1527	T-512	31.7	N-338	N-559	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1519	T-508	31.5	N-338	N-555	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1517	T-507	30.7	N-344	N-554	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1514	T-505	30.1	N-275	N-402	0.5	PVC	150	0.000002	0.03	0.24	0.007
1507	T-502	29.7	N-549	N-550	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1497	T-496	29.9	N-376	N-545	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1481	T-488	26.1	N-402	N-537	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1472	T-483	26.4	N-413	N-533	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1467	T-481	24.6	N-313	N-530	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1451	T-473	24	N-362	N-477	0.5	PVC	150	0.000002	0.03	0.24	0.007
1438	T-466	31.9	N-294	N-517	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1416	T-455	26.5	N-195	N-506	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1413	T-453	21.7	N-39	N-439	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002



ID	LABEL	Longitud (m)	Nodo Inicio	Nodo Final	Diámetro (In)	Material	Hazen-Williams C	Darcy-Weisbach e (m)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Gradiente de Perdida (m/m)
1376	T-436	20.1	N-447	N-485	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1370	T-433	19.6	N-360	N-482	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1360	T-428	19.2	N-477	N-478	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1288	T-394	13.7	N-439	N-440	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1282	T-391	13.1	N-294	N-436	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1259	T-381	11.5	N-423	N-424	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1230	T-368	9.5	N-407	N-408	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1226	T-366	9.3	N-276	N-405	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1126	T-330	2.1	N-97	N-350	0.5	PVC	150	0.000002	0.02	0.12	0.002
1115	T-328	461.8	N-20	N-346	0.75	PVC	150	0.000002	0.03	0.11	0.001
1111	T-326	349.6	N-339	N-344	0.75	PVC	150	0.000002	0.03	0.11	0.001
1102	T-321	289.1	N-21	N-306	0.75	PVC	150	0.000002	0.03	0.11	0.001
1100	T-320	271	N-329	N-339	0.75	PVC	150	0.000002	0.03	0.11	0.001
1099	T-319	270.4	N-279	N-287	0.75	PVC	150	0.000002	0.05	0.16	0.002
1096	T-317	268.1	N-10	N-338	0.75	PVC	150	0.000002	0.03	0.11	0.001
1095	T-316	248.8	N-203	N-280	0.75	PVC	150	0.000002	0.08	0.26	0.005
1094	T-315	246	N-321	N-315	0.75	PVC	150	0.000002	0.05	0.16	0.002
1086	T-312	203.6	N-332	N-323	0.75	PVC	150	0.000002	0.05	0.16	0.002
1082	T-310	190.7	N-71	N-332	0.75	PVC	150	0.000002	0.05	0.16	0.002
1081	T-309	182.5	N-263	N-318	0.75	PVC	150	0.000002	0.05	0.16	0.002



ID	LABEL	Longitud (m)	Nodo Inicio	Nodo Final	Diámetro (In)	Material	Hazen-Williams C	Darcy-Weisbach e (m)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Gradiente de Perdida (m/m)
1079	T-308	176.8	N-330	N-331	0.75	PVC	150	0.000002	0.08	0.26	0.005
1077	T-307	169.9	N-248	N-330	0.75	PVC	150	0.000002	0.09	0.32	0.008
1075	T-306	190.1	N-166	N-329	0.75	PVC	150	0.000002	0.05	0.16	0.002
1074	T-305	161.8	N-205	N-272	0.75	PVC	150	0.000002	0.06	0.21	0.004
1073	T-304	159.8	N-311	N-325	0.75	PVC	150	0.000002	0.03	0.11	0.001
1072	T-303	161	N-326	N-285	0.75	PVC	150	0.000002	0.08	0.26	0.005
1069	T-301	154.2	N-319	N-328	0.5	PVC	150	0.000002	0.03	0.24	0.007
1068	T-300	147.6	N-281	N-317	0.75	PVC	150	0.000002	0.05	0.16	0.002
1064	T-298	143.6	N-301	N-326	0.75	PVC	150	0.000002	0.08	0.26	0.005
1062	T-297	141.5	N-325	N-309	0.75	PVC	150	0.000002	0.03	0.11	0.001
1059	T-296	139.6	N-323	N-324	0.75	PVC	150	0.000002	0.05	0.16	0.002
1058	T-295	136.3	N-305	N-274	0.75	PVC	150	0.000002	0.03	0.11	0.001
1057	T-294	127.6	N-259	N-314	0.75	PVC	150	0.000002	0.14	0.47	0.016
1056	T-293	125.6	N-308	N-292	0.75	PVC	150	0.000002	0.05	0.16	0.002
1053	T-291	125.3	N-284	N-264	0.75	PVC	150	0.000002	0.12	0.42	0.013
1050	T-290	132.7	N-320	N-321	0.75	PVC	150	0.000002	0.08	0.26	0.005
1046	T-288	120.8	N-318	N-319	0.75	PVC	150	0.000002	0.05	0.16	0.002
1044	T-287	119.6	N-317	N-290	0.75	PVC	150	0.000002	0.03	0.11	0.001
1041	T-286	119.5	N-315	N-316	0.75	PVC	150	0.000002	0.03	0.11	0.001
1039	T-285	120.3	N-314	N-283	0.75	PVC	150	0.000002	0.14	0.47	0.016



ID	LABEL	Longitud (m)	Nodo Inicio	Nodo Final	Diámetro (In)	Material	Hazen-Williams C	Darcy-Weisbach e (m)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Gradiente de Perdida (m/m)
1033	T-283	109	N-69	N-311	0.75	PVC	150	0.000002	0.05	0.16	0.002
1030	T-282	106.8	N-309	N-310	0.75	PVC	150	0.000002	0.03	0.11	0.001
1028	T-281	98.2	N-303	N-308	0.75	PVC	150	0.000002	0.06	0.21	0.004
1027	T-280	96.9	N-13	N-277	0.75	PVC	150	0.000002	0.05	0.16	0.002
1024	T-279	94.8	N-306	N-307	0.75	PVC	150	0.000002	0.02	0.05	0
1022	T-278	89.1	N-282	N-305	0.75	PVC	150	0.000002	0.05	0.16	0.002
1020	T-277	88.1	N-286	N-304	0.75	PVC	150	0.000002	0.03	0.11	0.001
1018	T-276	86.2	N-231	N-303	0.75	PVC	150	0.000002	0.08	0.26	0.005
1012	T-274	83.4	N-19	N-300	0.75	PVC	150	0.000002	0.03	0.11	0.001
1010	T-273	89	N-60	N-299	0.75	PVC	150	0.000002	0.03	0.11	0.001
1001	T-269	75.3	N-162	N-294	0.75	PVC	150	0.000002	0.05	0.16	0.002
998	T-268	72.1	N-292	N-293	0.75	PVC	150	0.000002	0.03	0.11	0.001
995	T-267	68.9	N-290	N-291	0.75	PVC	150	0.000002	0.02	0.05	0
990	T-265	59.8	N-287	N-288	0.75	PVC	150	0.000002	0.03	0.11	0.001
987	T-264	59.1	N-285	N-286	0.75	PVC	150	0.000002	0.06	0.21	0.004
986	T-263	57.3	N-265	N-269	0.75	PVC	150	0.000002	0.09	0.32	0.008
983	T-262	53.2	N-283	N-284	0.75	PVC	150	0.000002	0.12	0.42	0.013
981	T-261	52.3	N-235	N-282	0.75	PVC	150	0.000002	0.06	0.21	0.004
978	T-260	44.1	N-280	N-281	0.75	PVC	150	0.000002	0.06	0.21	0.004
976	T-259	47.7	N-190	N-279	0.75	PVC	150	0.000002	0.06	0.21	0.004

ID	LABEL	Longitud (m)	Nodo Inicio	Nodo Final	Diámetro (In)	Material	Hazen-Williams C	Darcy-Weisbach e (m)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Gradiente de Perdida (m/m)
973	T-258	42.7	N-277	N-278	0.75	PVC	150	0.000002	0.03	0.11	0.001
968	T-256	38.6	N-274	N-275	0.75	PVC	150	0.000002	0.03	0.11	0.001
965	T-255	37.2	N-272	N-273	0.75	PVC	150	0.000002	0.05	0.16	0.002
963	T-254	26.3	N-270	N-271	0.75	PVC	150	0.000002	0.06	0.21	0.004
960	T-253	21.8	N-269	N-270	0.75	PVC	150	0.000002	0.08	0.26	0.005
952	T-250	12.9	N-264	N-265	0.75	PVC	150	0.000002	0.11	0.37	0.01
949	T-249	488.7	N-262	N-261	1	PVC	150	0.000002	0.27	0.53	0.014
947	T-247	466.4	N-237	N-258	1	PVC	150	0.000002	0.18	0.36	0.007
944	T-245	458.3	N-228	N-262	1	PVC	150	0.000002	0.27	0.53	0.014
942	T-244	416.3	N-261	N-227	1	PVC	150	0.000002	0.26	0.5	0.013
938	T-242	314.7	N-247	N-254	1	PVC	150	0.000002	0.26	0.5	0.013
935	T-241	292.8	N-258	N-259	1	PVC	150	0.000002	0.18	0.36	0.007
929	T-237	253.8	N-255	N-253	1	PVC	150	0.000002	0.24	0.47	0.012
926	T-236	232.2	N-254	N-255	1	PVC	150	0.000002	0.24	0.47	0.012
924	T-235	222.1	N-253	N-245	1	PVC	150	0.000002	0.23	0.44	0.01
917	T-231	195.3	N-233	N-222	1	PVC	150	0.000002	0.35	0.68	0.023
915	T-230	195.8	N-242	N-249	1	PVC	150	0.000002	0.11	0.21	0.003
913	T-229	190.1	N-241	N-248	1	PVC	150	0.000002	0.09	0.18	0.002
912	T-228	189.3	N-246	N-206	1	PVC	150	0.000002	0.2	0.39	0.008
911	T-227	186.4	N-226	N-244	1	PVC	150	0.000002	0.09	0.18	0.002



ID	LABEL	Longitud (m)	Nodo Inicio	Nodo Final	Diámetro (In)	Material	Hazen-Williams C	Darcy-Weisbach e (m)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Gradiente de Perdida (m/m)
909	T-226	179.7	N-216	N-247	1	PVC	150	0.000002	0.27	0.53	0.014
906	T-225	179.7	N-245	N-246	1	PVC	150	0.000002	0.21	0.41	0.009
904	T-224	174.8	N-244	N-234	1	PVC	150	0.000002	0.08	0.15	0.001
903	T-223	176.7	N-240	N-232	1	PVC	150	0.000002	0.15	0.3	0.005
899	T-221	165.2	N-221	N-242	1	PVC	150	0.000002	0.12	0.24	0.003
897	T-220	155.3	N-193	N-241	1	PVC	150	0.000002	0.11	0.21	0.003
895	T-219	154.5	N-207	N-240	1	PVC	150	0.000002	0.17	0.33	0.006
890	T-217	148.9	N-219	N-237	1	PVC	150	0.000002	0.2	0.39	0.008
885	T-215	147.6	N-234	N-235	1	PVC	150	0.000002	0.06	0.12	0.001
883	T-214	142.8	N-115	N-233	1	PVC	150	0.000002	0.36	0.71	0.025
881	T-213	149.7	N-232	N-224	1	PVC	150	0.000002	0.14	0.27	0.004
874	T-210	132.4	N-172	N-228	1	PVC	150	0.000002	0.29	0.56	0.016
872	T-209	117.5	N-227	N-202	1	PVC	150	0.000002	0.26	0.5	0.013
870	T-208	111.7	N-225	N-226	1	PVC	150	0.000002	0.11	0.21	0.003
867	T-207	110.7	N-224	N-225	1	PVC	150	0.000002	0.12	0.24	0.003
866	T-206	104.2	N-223	N-215	1	PVC	150	0.000002	0.3	0.59	0.018
863	T-205	104.7	N-222	N-223	1	PVC	150	0.000002	0.32	0.62	0.019
859	T-204	92.5	N-214	N-220	1	PVC	150	0.000002	0.05	0.09	0.001
857	T-203	86.7	N-201	N-219	1	PVC	150	0.000002	0.24	0.47	0.012
851	T-201	79.8	N-215	N-216	1	PVC	150	0.000002	0.29	0.56	0.016



ID	LABEL	Longitud (m)	Nodo Inicio	Nodo Final	Diámetro (In)	Material	Hazen-Williams C	Darcy-Weisbach e (m)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Gradiente de Perdida (m/m)
850	T-200	68.1	N-210	N-208	1	PVC	150	0.000002	0.12	0.24	0.003
848	T-199	56.5	N-213	N-214	1	PVC	150	0.000002	0.06	0.12	0.001
846	T-198	53.6	N-211	N-213	1	PVC	150	0.000002	0.08	0.15	0.001
844	T-197	48.7	N-203	N-212	1	PVC	150	0.000002	0.17	0.33	0.006
842	T-196	37.2	N-209	N-211	1	PVC	150	0.000002	0.09	0.18	0.002
840	T-195	36.9	N-145	N-210	1	PVC	150	0.000002	0.14	0.27	0.004
837	T-194	20.7	N-208	N-209	1	PVC	150	0.000002	0.11	0.21	0.003
834	T-193	20.5	N-206	N-207	1	PVC	150	0.000002	0.18	0.36	0.007
828	T-191	10	N-202	N-203	1	PVC	150	0.000002	0.24	0.47	0.012
826	T-190	434.8	N-1	N-201	1.5	PVC	150	0.000002	0.3	0.26	0.002
824	T-188	382.2	N-155	N-132	1.5	PVC	150	0.000002	0.39	0.34	0.004
823	T-187	362.4	N-172	N-164	1.5	PVC	150	0.000002	0.44	0.38	0.005
822	T-186	344.4	N-200	N-192	1.5	PVC	150	0.000002	0.12	0.11	0
820	T-185	318.5	N-12	N-200	1.5	PVC	150	0.000002	0.12	0.11	0
800	T-174	266.2	N-192	N-193	1.5	PVC	150	0.000002	0.12	0.11	0
784	T-163	186.7	N-133	N-157	1.5	PVC	150	0.000002	0.35	0.3	0.003
780	T-160	186.3	N-105	N-185	1.5	PVC	150	0.000002	0.3	0.26	0.002
778	T-159	178.3	N-185	N-178	1.5	PVC	150	0.000002	0.29	0.25	0.002
774	T-156	158.7	N-165	N-168	1.5	PVC	150	0.000002	0.41	0.36	0.004
773	T-155	157.9	N-137	N-180	1.5	PVC	150	0.000002	0.8	0.7	0.015



ID	LABEL	Longitud (m)	Nodo Inicio	Nodo Final	Diámetro (In)	Material	Hazen-Williams C	Darcy-Weisbach e (m)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Gradiente de Perdida (m/m)
769	T-153	153.1	N-182	N-118	1.5	PVC	150	0.000002	0.18	0.16	0.001
765	T-151	151.6	N-180	N-110	1.5	PVC	150	0.000002	0.8	0.7	0.015
759	T-147	141.6	N-178	N-159	1.5	PVC	150	0.000002	0.27	0.24	0.002
748	T-142	126.1	N-158	N-154	1.5	PVC	150	0.000002	0.42	0.37	0.005
746	T-141	144.6	N-111	N-172	1.5	PVC	150	0.000002	0.72	0.63	0.012
741	T-138	115.4	N-169	N-122	1.5	PVC	150	0.000002	0.39	0.34	0.004
738	T-137	117.2	N-168	N-169	1.5	PVC	150	0.000002	0.39	0.34	0.004
733	T-134	113	N-123	N-114	1.5	PVC	150	0.000002	0.38	0.33	0.004
730	T-133	112.4	N-164	N-165	1.5	PVC	150	0.000002	0.42	0.37	0.005
721	T-129	102.8	N-159	N-130	1.5	PVC	150	0.000002	0.26	0.22	0.002
719	T-128	98.2	N-156	N-158	1.5	PVC	150	0.000002	0.44	0.38	0.005
717	T-127	94	N-157	N-104	1.5	PVC	150	0.000002	0.33	0.29	0.003
715	T-126	92.6	N-97	N-156	1.5	PVC	150	0.000002	0.45	0.39	0.005
712	T-125	91.9	N-154	N-155	1.5	PVC	150	0.000002	0.41	0.36	0.004
698	T-118	68.4	N-119	N-144	1.5	PVC	150	0.000002	0.15	0.13	0.001
693	T-116	59.5	N-144	N-145	1.5	PVC	150	0.000002	0.14	0.12	0.001
680	T-110	54.2	N-67	N-137	1.5	PVC	150	0.000002	0.81	0.71	0.015
672	T-107	49.1	N-132	N-133	1.5	PVC	150	0.000002	0.36	0.32	0.003
669	T-106	48.9	N-130	N-131	1.5	PVC	150	0.000002	0.24	0.21	0.002
656	T-101	41.2	N-122	N-123	1.5	PVC	150	0.000002	0.38	0.33	0.004



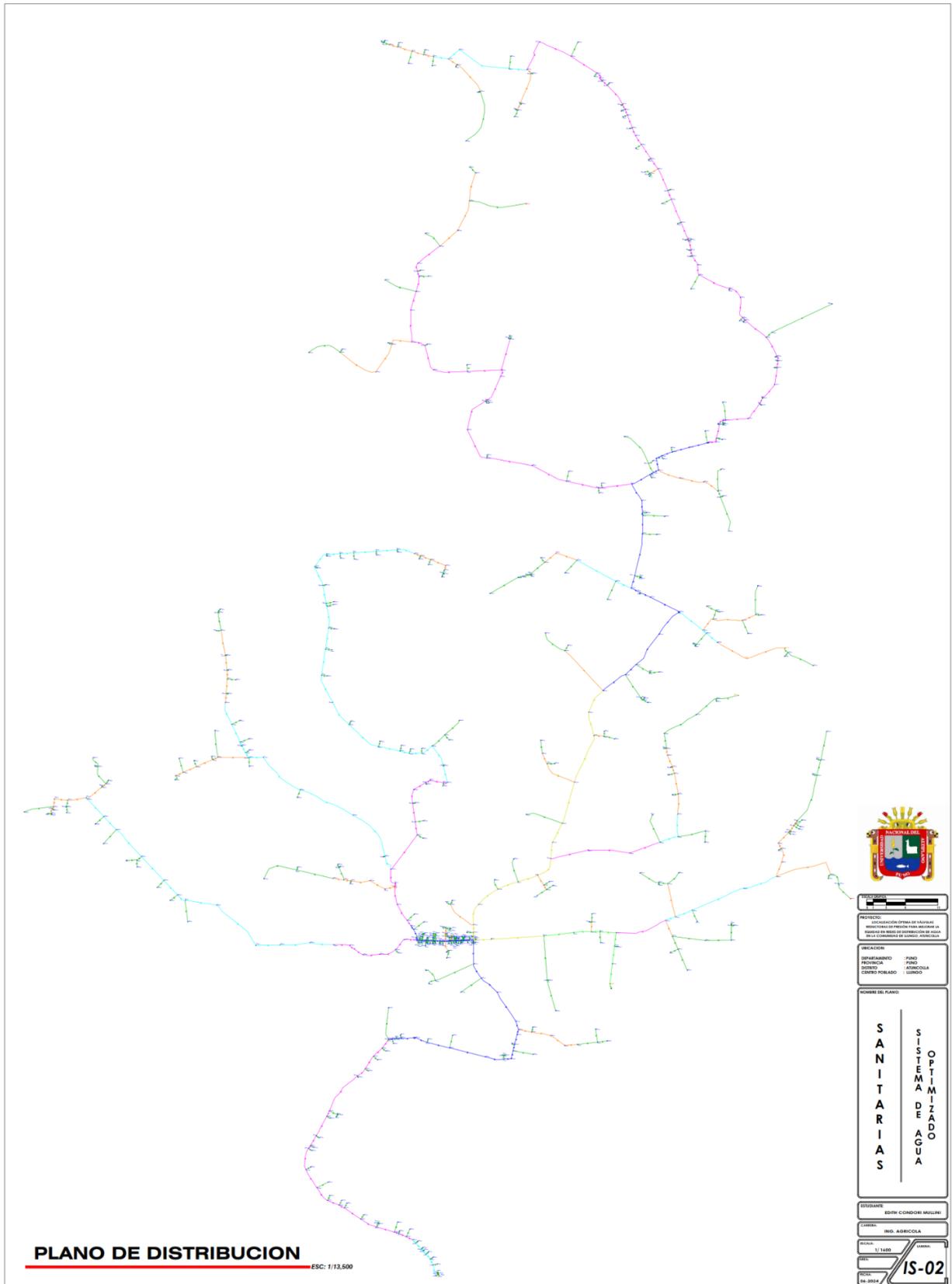
ID	LABEL	Longitud (m)	Nodo Inicio	Nodo Final	Diámetro (In)	Material	Hazen-Williams C	Darcy-Weisbach e (m)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Gradiente de Perdida (m/m)
650	T-99	36.8	N-118	N-119	1.5	PVC	150	0.000002	0.17	0.14	0.001
644	T-97	33.4	N-114	N-115	1.5	PVC	150	0.000002	0.36	0.32	0.003
638	T-95	30.3	N-110	N-111	1.5	PVC	150	0.000002	0.72	0.63	0.012
629	T-92	28.9	N-104	N-105	1.5	PVC	150	0.000002	0.32	0.28	0.003
618	T-88	2.9	N-62	N-97	1.5	PVC	150	0.000002	0.47	0.41	0.005
615	T-85	303.7	N-89	N-94	2	PVC	150	0.000002	0.54	0.27	0.002
614	T-84	288	N-93	N-76	2	PVC	150	0.000002	0.65	0.32	0.002
607	T-81	190.5	N-94	N-79	2	PVC	150	0.000002	0.53	0.26	0.002
605	T-80	179.9	N-86	N-93	2	PVC	150	0.000002	0.65	0.32	0.002
604	T-79	176.8	N-29	N-85	2	PVC	150	0.000002	0.69	0.34	0.003
595	T-75	159.3	N-75	N-89	2	PVC	150	0.000002	0.54	0.27	0.002
587	T-72	138.9	N-85	N-86	2	PVC	150	0.000002	0.66	0.33	0.003
577	T-69	104.9	N-79	N-80	2	PVC	150	0.000002	0.51	0.25	0.002
572	T-66	86.2	N-70	N-72	2	PVC	150	0.000002	0.6	0.3	0.002
569	T-64	75.5	N-76	N-69	2	PVC	150	0.000002	0.65	0.32	0.002
568	T-63	66.2	N-73	N-74	2	PVC	150	0.000002	0.57	0.28	0.002
565	T-62	58.6	N-74	N-75	2	PVC	150	0.000002	0.57	0.28	0.002
562	T-61	54.7	N-72	N-73	2	PVC	150	0.000002	0.59	0.29	0.002
557	T-59	46.6	N-69	N-70	2	PVC	150	0.000002	0.6	0.3	0.002
552	T-57	36.7	N-66	N-65	2	PVC	150	0.000002	0.5	0.24	0.002



ID	LABEL	Longitud (m)	Nodo Inicio	Nodo Final	Diámetro (In)	Material	Hazen-Williams C	Darcy-Weisbach e (m)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Gradiente de Perdida (m/m)
557	T-59	46.6	N-69	N-70	2	PVC	150	0.000002	0.6	0.3	0.002
552	T-57	36.7	N-66	N-65	2	PVC	150	0.000002	0.5	0.24	0.002
549	T-55	32.2	N-65	N-61	2	PVC	150	0.000002	0.48	0.24	0.001
543	T-53	30.5	N-61	N-62	2	PVC	150	0.000002	0.47	0.23	0.001
531	T-44	19.2	N-9	N-28	2	PVC	150	0.000002	0.72	0.36	0.003
477	T-21	4.5	N-28	N-29	2	PVC	150	0.000002	0.71	0.35	0.003



ANEXO 3: Plano del sistema de agua optimizado.





DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo EDITH CONDOR TULLUMI
identificado con DNI 47335395 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA AGRICOLA

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"LOCALIZACIÓN ÓPTIMA DE VÁLVULAS REGULADORAS DE PRESIÓN PARA
MEJORAR LA EQUIDAD EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN LA
COMUNIDAD DE TUNCO, AYACUCHO"

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 23 de SEPTIEMBRE del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo EDITH CONDORI TULLUANI
identificado con DNI 47335395 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA AGRICOLA

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

" LOCALIZACIÓN ÓPTIMA DE VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN PARA
MEJORAR LA EQUIDAD EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN LA
COMUNIDAD DE SANJOSE, ATUNQUELLA "

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 23 de SEPTIEMBRE del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella