

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA
POTABLE Y ANALISIS TÉCNICO – ECONÓMICO DE TUBERIAS
PVC-U Y HDPE EN EL DISTRITO DE ILABAYA, 2025”**

PARA OPTAR:
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

Bach. EDWIN ALONZO CCOILO CHURA
Bach. YONATAN WILSON VALVERDE NINA

TACNA – PERÚ
2025

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA
POTABLE Y ANALISIS TÉCNICO – ECONÓMICO DE TUBERIAS
PVC-U Y HDPE EN EL DISTRITO DE ILABAYA, 2025”**

Tesis sustentada y aprobada el 20 de diciembre del 2025; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE : Mtro. EDGAR HIPOLITO CHAPARRO QUISPE

SECRETARIO : Mtra. FREDY RICHARD CONDORI GOMEZ

VOCAL : Mtro. JIMMI YURY SILVA CHARAJA

ASESOR : Mtra. ROSALÍ CRISTINA ALANIA COTRADO

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, Edwin Alonzo Ccoillo Chura y Yonatan Wilson Valverde Nina, egresados, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado(s) con DNI 70675060 y 70076040 respectivamente, así como Rosalí Cristina Alania Cotrado con DNI 73668972; declaramos en calidad de autores y asesor que:

1. Somos los autores de la tesis titulada “*Diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable y análisis técnico – económico de tuberías PVC – HDPE en la asociación Virgen del Carmen – Ilabaya, 2025*” la cual presentamos para optar el Título Profesional de Ingeniero de *Civil*
2. La tesis es completamente original y no ha sido objeto de plagio, total ni parcialmente, habiéndose respetado rigurosamente las normas de citación y referencias para todas las fuentes consultadas.
3. Los datos presentados en los resultados son auténticos y no han sido objeto de manipulación, duplicación ni copia.

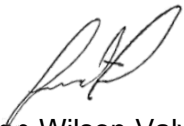
En virtud de lo expuesto, asumimos frente a *La Universidad* toda responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la *tesis*, así como por los derechos asociados a la obra.

En consecuencia, nos comprometemos ante a *La Universidad* y terceros a asumir cualquier perjuicio que pueda surgir como resultado del incumplimiento de lo aquí declarado, o que pudiera ser atribuido al contenido de la tesis, incluyendo cualquier obligación económica que debiera ser satisfecha a favor de terceros debido a acciones legales, reclamos o disputas resultantes del incumplimiento de esta declaración.

En caso de descubrirse fraude, piratería, plagio, falsificación o la existencia de una publicación previa de la obra, aceptamos todas las consecuencias y sanciones que puedan derivarse de nuestras acciones, acatando plenamente la normatividad vigente.

Tacna, 20 de diciembre de 2025


Edwin Alonzo Ccoillo Chura
DNI: 70675060


Yonatan Wilson Valverde Nina
DNI: 70076040

Mtra. Rosalí Cristina Alania Cotrado
DNI: 73668972

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios, por su guía en cada paso de este camino, a la familia por su amor, paciencia enseñarme el valor del esfuerzo.

Edwin Alonzo Ccoilo Chura

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a mis padres Calixto y Sofia, por su apoyo constante para poder culminar mi carrera profesional.

A mi esposa quien me da su aliento para seguir adelante, a mi hijo por ser el motivo para seguir superándome.

Yonatan Wilson Valverde Nina

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi agradecimiento a mi asesor, por su dedicación y paciencia.

Edwin Alonzo Ccoilo Chura

Yonatan Wilson Valverde Nina

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.1. Descripción del problema	2
1.1.1. A nivel Internacional	2
1.1.2. A nivel Nacional	2
1.1.3. A nivel Local	2
1.2. Formulación del problema	5
1.2.1. Problema general	5
1.2.2. Problemas específicos	5
1.3. Justificación del problema	5
1.3.1. Desde el punto de vista social	5
1.3.2. Desde el punto de vista ambiental	5
1.3.3. Desde el punto de vista económico	6
1.4. Objetivos	6
1.4.1. Objetivo general	6
1.4.2. Objetivos específicos	6
1.5. Hipótesis	6
1.5.1. Hipótesis general	6
1.5.2. Hipótesis específicas	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1. Antecedentes de la investigación	8
2.1.1. Antecedentes locales	8
2.1.2. Antecedentes nacionales	9
2.1.3. Antecedentes internacionales	10
2.2. Bases teóricas	11

2.2.1.	Parámetro de diseño	11
2.2.2.	Modelamiento hidráulico.....	15
2.2.2.1.	Principios Teóricos Fundamentales.....	15
2.2.2.2.	Herramientas de Software para modelamiento hidráulico	17
2.2.3.	Gradiente Hidráulico.....	22
2.2.4.	Manejo del Aire en la Líneas de conducción	22
2.2.5.	Características de los materiales de tuberías.....	23
2.2.6.	Bases legales y normativas.....	23
2.3.	Definición de términos	24
2.3.1.	Redes de distribución	24
2.3.2.	Línea de conducción	24
2.3.3.	Gradiente Hidráulico.....	24
2.3.4.	Pérdida de Carga	24
2.3.5.	Reservorio	24
2.3.6.	Golpe de ariete.....	24
2.3.7.	Válvula rompe presión.....	25
2.3.8.	Válvula de aire.....	25
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO		26
3.1.	Diseño de la investigación.....	26
3.2.	Acciones y actividades	26
3.3.	Materiales y/o instrumentos.....	27
3.4.	Población y/o muestra de estudio.....	27
3.5.	Operacionalización de variables	28
3.6.	Procesamiento y análisis de datos	29
3.6.1.	Procesamiento de datos	29
3.6.1.1.	Periodo de Diseño.....	29
3.6.1.2.	Crecimiento poblacional - Ilabaya.....	30
3.6.1.3.	Método geométrico.....	32
3.6.1.4.	Cálculo de la dotación	34
3.6.1.5.	Variación de consumo	34
3.6.1.5.1.	Caudal promedio (QP).....	34
3.6.1.5.2.	Consumo máximo diario (QMD)	35
3.6.1.5.3.	Consumo máximo horario (QMH).....	35
3.6.1.6.	Consumo doméstico.....	36
3.6.1.7.	Consumo no doméstico	37
3.6.1.8.	Establecimientos estatales	38

3.6.1.9.	Establecimientos sociales.....	39
3.6.1.10.	Establecimientos comerciales	39
3.6.1.11.	Establecimientos especiales.....	40
3.6.1.12.	Establecimientos industriales	40
3.6.1.13.	Consumo promedio diario anual (Año 2047)	41
3.6.1.14.	Consumo máximo diario	41
3.6.1.15.	Consumo máximo horario.....	42
3.6.1.16.	Selección del material	42
3.6.1.16.1.	Capacidad hidráulica	42
3.6.1.16.2.	Peso de tuberías	43
3.6.1.17.	Diámetro mínimo y máximo de la tubería	45
3.6.1.18.	Modelamiento de la red de distribución	46
3.6.1.19.	Diseño hidráulico con tuberías PVC-U	49
3.6.1.19.1.	Diseño con el software QGIS	49
3.6.1.19.2.	Modelamiento en software EPANET	57
3.6.1.19.3.	Diseño hidráulico con tuberías HDPE.....	63
3.6.2.	Análisis de datos	68
3.6.2.1.	Análisis técnico.....	68
3.6.2.2.	Análisis económico.....	77
CAPÍTULO IV: RESULTADOS		79
4.1.	Presiones y velocidades de tuberías HDPE y PVC-U.....	79
4.1.1.	Presiones y Velocidades en Tuberías HDPE.....	79
4.1.2.	Presiones y Velocidades en Tuberías PVC-U	81
4.1.3.	Gráfico comparativo entre tubería PVC-U vs HDPE	83
4.2.	Presupuesto de suministro e instalación con tuberías HDPE y PVC-U	85
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....		86
CONCLUSIONES		88
RECOMENDACIONES.....		90
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		91
ANEXOS.....		93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coeficientes de fricción “C” en la fórmula de Hazen William	12
Tabla 2. Periodos de diseño máximos para sistemas de abastecimiento de agua potable y alcantarillado sanitario	13
Tabla 3. Dotación de Agua	14
Tabla 4. Coeficientes de Rugosidad de Tuberías	15
Tabla 5. Tipos de Válvulas en EPANET	21
Tabla 6. Operacionalización de variables de investigación	28
Tabla 7. Periodos de diseño	29
Tabla 8. Redes de distribución a elección.....	30
Tabla 9. Censos por año.....	32
Tabla 10. Cálculo de razones	32
Tabla 11. Población de diseño.....	33
Tabla 12. Dotación según tipo de clima	34
Tabla 13. Coeficientes de variación de consumo según RNE.....	35
Tabla 14. Coeficientes de variación de consumo según RNE.....	36
Tabla 15. Resultados de caudal.....	37
Tabla 16. Establecimiento estatales - Educación.....	38
Tabla 17. Establecimientos estatales - Salud	38
Tabla 18. Establecimiento estatales - PNP	39
Tabla 19. Establecimiento sociales	39
Tabla 20. Establecimientos comerciales	40
Tabla 21. Establecimientos especiales	40
Tabla 22. Establecimientos Industriales.....	41
Tabla 23. Consumo promedio diario anual	41
Tabla 24. Comparación de características hidráulicas entre tubería pvc y hdpe.....	43

Tabla 25. Peso de tuberías	44
Tabla 26. Parámetros físicos y mecánicos ingresados en el software QGIS	51
Tabla 27. Áreas en cada nodo con el Software QGIS.....	53
Tabla 28. Áreas por cada nodo exportado a Excel	54
Tabla 29. Demanda por cada nodo.....	55
Tabla 30. Demanda importada a QGIS.....	56
Tabla 31. Tabla de resultados de Presiones en tuberías PVC-U	75
Tabla 32. Tabla de resultados de Presiones en tuberías HPDE	76
Tabla 33. Presupuesto de redes de distribución en el distrito de Ilabaya.....	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Reservorio de la Asociación Virgen del Carmen.....	3
Figura 2. Red de distribución de agua	4
Figura 3. Red de Distribución de Agua existente	4
Figura 4. Embalse.....	18
Figura 5. Nudo	19
Figura 6. Tubería	19
Figura 7. Depósito.....	20
Figura 8. Bomba	21
Figura 9. Válvula.....	22
Figura 10. Plano de Distrito de Ilabaya	47
Figura 11. Plano de curvas de nivel del Distrito de Ilabaya.....	48
Figura 12. Red de distribución de Ilabaya.....	49
Figura 13. Red de distribución con el software QGIS	50
Figura 14. Método de Áreas en red de distribución con el software QGIS.....	52
Figura 15. Configuración de parámetros en el software EPANET.....	57
Figura 16. Modelado del software EPANET.....	58
Figura 17. Modelo Hidráulico con tuberías PVC-U.....	59
Figura 18. Insertar Cámara Reguladora de presión	60
Figura 19. Propiedades de la Cámara reguladora de presión.....	60
Figura 20. Procesamiento de datos con cámara reguladora de presión	61
Figura 21. Modelo hidráulico de válvula reductora de presión (VRP).....	62
Figura 22. Modelo de velocidades en tuberías PVC-U	63
Figura 23. Configuración del cambio de diámetro en el EPANET	64
Figura 24. Modelo Hidráulico con Tuberías HDPE.....	65
Figura 25. Ubicación y configuración de la cámara reguladora de presión	66

Figura 26. Modelo hidráulico con válvula de presión (VPR).....	67
Figura 27. Modelo de velocidades en tuberías HDPE.....	68
Figura 28. Modelo Hidráulico con tuberías PVC-U.....	69
Figura 29. Modelo de velocidades en tuberías PVC-U	70
Figura 30. Modelo Hidráulico con Tuberías HDPE.....	71
Figura 31. Modelo Hidráulico de velocidades con Tuberías HDPE	72
Figura 32. Válvula reductora de presión (VRP) en tubería HDPE	73
Figura 33. Válvula reductora de presión (VRP) en tuberías PVC-U	74
Figura 34. Gráfica de cantidades de nodos vs presiones en tuberías HDPE	79
Figura 35. Trazo de la red – Presiones en tubería HDPE	80
Figura 36. Gráfica de cantidad de nodos vs velocidades en tuberías HDPE	81
Figura 37. Gráfica de cantidad de nodos vs presiones en tuberías PVC-U.....	81
Figura 38. Trazo de la red – presiones en tubería PVC-U	82
Figura 39. Grafica de cantidad de nodos vs velocidades en tuberías PVC-U	83
Figura 40. Grafica de presiones entre tubería PVC-U vs HDPE	83
Figura 41. Grafica de velocidades entre tubería HDPE vs PVC-U	84
Figura 42. Gráfica de barra comparativa de precios	85

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia	94
Anexo 2. Cotización de tuberías PVC y HDPE	95
Anexo 3. Análisis de costos unitarios tubería HDPE	96
Anexo 4. Análisis de costos unitarios tubería PVC	99

RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado “Diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable y análisis técnico – económico de tuberías PVC-U y HDPE en el distrito de Ilabaya”, cuyo objetivo fue determinar la alternativa más adecuada para la implementación de un sistema de abastecimiento de agua potable eficiente. El estudio realizado examinó la parte económica y técnica. En la parte económica la tubería PVC tiene menor costo que la tubería HDPE, ya que la tubería HDPE sale un presupuesto de S/.98 454,37 y tubería PVC S/.69 591,82. En la parte técnica la metodología utilizada fue la realización del diseño de agua potable utilizando los software especializados EPANET y QGIS dio como resultado: que la presión máxima del fluido en el punto más bajo en tubería HDPE es 3,26 mca y tubería PVC-U es 54,12, mca y la presión mínima del fluido en el punto más alto en tubería HDPE es 10.01 mca y tubería PVC-U es 10,14 mca, con respecto a las velocidades obtuvimos que: la velocidad máximo del fluido en la tubería-146 es de 2,64m/S para tubería PVC-U y 2,79m/s para tubería HDPE, y la velocidad mínima del fluido en la tubería-114 es de 0,0117 m/s para tubería PVC-U y 0-0124 m/s para tubería HDPE., se puede mencionar de los resultados obtenidos de la parte técnica que la tubería PVC-U presentan mejores presiones y la tubería HDPE presenta mayores velocidades. Sin embargo, dado la topografía del terreno, durabilidad se ve conveniente la utilización de la tubería HDPE como mejor opción en cuanto la parte técnica y económica para un periodo de diseño por 20 años.

Palabras clave: Modelamiento hidráulico; análisis económico; análisis técnico; tubería HDPE; tubería PVC-U.

ABSTRACT

The present research work, entitled “Design of a Potable Water Supply System and Technical–Economic Analysis of PVC-U and HDPE Pipes in the Ilabaya District,” aimed to determine the most suitable alternative for implementing an efficient potable water supply system. The study examined the economic and technical aspects. In terms of cost, PVC pipe is less expensive than HDPE pipe, with HDPE costing S/.98 454,37 and PVC costing S/.69 591,82. In the technical section, the methodology used—designing the potable water system with the specialized software EPANET and QGIS—yielded the following results: the maximum fluid pressure at the lowest point in the HDPE pipe is 3,26 mca, and in the PVC-U pipe it is 54,12 mca; the minimum fluid pressure at the highest point in the HDPE pipe is 10.01 mca, and in the PVC-U pipe it is 10,14 mca. Regarding velocities, we found that the maximum fluid velocity in pipe 146 is 2,64 m/s for PVC-U and 2,79 m/s for HDPE, while the minimum fluid velocity in pipe 114 is 0.0117 m/s for PVC-U and 0,0124 m/s for HDPE. From the technical results, it can be noted that PVC-U pipe exhibits better pressures, while HDPE pipe exhibits higher velocities. However, given the terrain’s topography and durability requirements, HDPE pipe is deemed the best option from both a technical and economic standpoint for a 20-year design period.

Keywords: Hydraulic modeling; economic analysis; technical analysis; HDPE pipe; PVC-U pipe.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso fundamental para la vida y el desarrollo de las comunidades, por lo que su gestión eficiente constituye una prioridad en zonas con disponibilidad limitada, el agua es importante para la vida y el desarrollo de las comunidades.

En la región de Tacna, la problemática del agua se manifiesta en diversos aspectos: la escasez del recurso por sequías, la disminución de su calidad debido a la minería, capacidad de tratamiento insuficiente y deficiencias en el servicio de suministro en zonas rurales y urbanas.

El distrito de Ilabaya, ubicado en a la provincia de Jorge Basadre, a una altitud de 1 425 m.s.n.m, presenta un sistema de abastecimiento de agua potable con más de 10 años de antigüedad, cuyas tuberías se encuentran desgastadas y deterioradas. Esta situación ha afectado la continuidad y calidad del servicio, evidenciando la necesidad de renovar y mejorar el sistema de agua potable para el beneficio de la población del distrito de Ilabaya.

Por ello, la presente investigación tuvo como finalidad analizar y comparar el comportamiento hidráulico (presión y velocidad) entre las tuberías PVC-U y HDPE, considerando la demanda poblacional, la topografía del distrito y criterios establecidos en la normativa técnica.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

1.1.1. A nivel Internacional

Vidal et al. (1994) menciona que, durante el tiempo que el agua permanece en la red, las sustancias más reactivas contenidas en la misma, como por ejemplo el cloro utilizado como desinfectante, reaccionan o se combinan con otras sustancias presentes en el seno del agua o adheridas a las paredes de las tuberías, incluso el propio material de las tuberías puede afectar a la calidad del agua.

Consejo Nacional de Investigación (2007) señala que la integridad física de los sistemas de distribución está en constante deterioro. El envejecimiento de estas infraestructuras representa una preocupación creciente, ya que incrementa el riesgo de ingreso de contaminantes externos y la pérdida de calidad del agua potable. Esta situación evidencia la necesidad de implementar acciones de mantenimiento, rehabilitación o reemplazo del sistema para garantizar un adecuado funcionamiento.

1.1.2. A nivel Nacional

Barzola Choque (2024) menciona que, al correr de los años el avance de la industria ha conllevado a mejorar las condiciones de vida de las personas, pero también ha significado un mayor uso del agua y una mayor contaminación de los sistemas acuáticos, en consecuencia, el control de la contaminación y la gestión integrada de sus recursos se ha vuelto un tema de prioridad mundial.

1.1.3. A nivel Local

Actualmente los servicios de saneamiento en zonas rurales continúan presentando deficiencias, con respecto al acceso de agua potable. Frente a esta problemática, se plantea realizar un análisis comparativo entre un sistema de abastecimiento utilizando tuberías de PVC y otro con tuberías de HDPE en la Asociación de Vivienda Virgen del Carmen, con el fin de determinar la alternativa más adecuada desde un enfoque técnico y económico.

Existe dos reservorios de agua, cada una con capacidad de 5m³, la cual es el sistema de abastecimiento de agua en Ilabaya, los reservorios se presentan en la Figura 1, donde se observa que no están en óptimas condiciones y sus accesorios están en mal estado, dando como resultado un desbordamiento de agua, la cual podría producir la desestabilización o erosión por humedad en el suelo. Estos reservorios cumplen un periodo de 10 años de vida, por tanto, es necesario realizar un proceso de cambio en sus elementos. de vida.

Figura 1
Reservorio de la Asociación Virgen del Carmen



Nota. Vista frontal de los reservorios, desbordamiento de agua.

En la actualidad, las redes de distribución de agua están instaladas con tuberías HDPE, este sistema de distribución presenta fallas debido al desgaste de sus instalaciones que han llegado a un punto crítico por la antigüedad, además, algunos tramos están expuestas a la intemperie haciendo que estas estén vulnerables a peligros como el pase de los vehículos por encima de las tuberías. Existen algunos tramos que tienen reparaciones provisionales, estas reparaciones pueden producir agentes contaminantes para el agua que está dentro de la red de distribución la cual tiene como destino llegar a cada domicilio. La asociación virgen del Carmen presento su solicitud para la instalación de la red de distribución de agua potable desde hace varios años, sin embargo, la entidad no contaba con presupuesto suficiente como para financiarlo.

Estas circunstancias afectan la calidad de vida de los pobladores, incluso existe la presencia de animales (perros y roedores) que están en contacto directo con las redes de distribución, debido a esto, en la presente investigación se plantea realizar un análisis comparativo en diferencias de vida útil, presupuesto y calidad entre la tubería PVC y

HDPE para una red de distribución de agua potable y de esta manera evaluar la alternativa más soluble para la población.

Las tuberías existentes presentadas en la figura 2, muestran la falta de mantenimiento y reubicación de estas, siendo una de las problemáticas a resolver.

Figura 2
Red de distribución de agua



Nota. La red de distribución está dañada y vulnerable.

Las redes de distribución se presentan en la Figura 3, donde claramente se observa el deterioro de las redes de distribución, inclusive están expuesta a la intemperie, acortando así su vida útil.

Figura 3
Red de Distribución de Agua existente



Nota. Tubería expuesta a la intemperie.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es la alternativa más adecuada para la implementación de un sistema de abastecimiento de agua potable eficiente, entre tuberías PVC y HDPE en el distrito de Ilabaya, 2025?

1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿Cómo varía el diseño del sistema de abastecimiento de agua potable al emplear tuberías PVC frente a tuberías HDPE, considerando la demanda, topografía y normativa técnica?
- b. ¿Cómo varía los costos para la implementación de un sistema de abastecimiento de agua potable, utilizando tuberías PVC ante HDPE?
- c. ¿Qué diferencias hidráulicas existen entre ambos sistemas en términos de presión, velocidad?

1.3. Justificación del problema

1.3.1. Desde el punto de vista social

La presente investigación aportara el análisis de los presupuestos y características de las tuberías. Las instituciones correspondientes al tener un conocimiento general podrán evaluar la opción más adecuada para la población, además de cubrir la brecha de la necesidad de implementar un sistema de abastecimiento de agua potable.

1.3.2. Desde el punto de vista ambiental

La presente investigación pretende ayudar a optar la alternativa más eficiente con respecto a las tuberías y de esta manera reducir las fugas y pérdidas de agua, permitiendo un uso más responsable del recurso hídrico, además de proteger la biodiversidad. Por otro lado, busca reducir el consumo de combustible en el transporte de las tuberías, ya que hay materiales que son mucho más flexibles y pueden entrar más cantidad en un camión a comparación de otros materiales que son más rígidos y se necesitaría más viajes para transportar la misma cantidad de tuberías, por lo tanto,

el tipo de material influye en el gasto de combustible y por ende la contaminación que genera.

1.3.3. Desde el punto de vista económico

La presente investigación pretende dar a conocer las características y propiedades físicas de las tuberías, y optar por la alternativa más adecuada donde también reduzcan costos de mantenimiento, las fugas y la necesidad de reparaciones generando ahorros a largo plazo.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar la alternativa más adecuada para la implementación de un sistema de abastecimiento de agua potable eficiente utilizando tuberías PVC-U y HDPE en el distrito Ilabaya, 2025

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Diseñar dos sistemas de abastecimiento de agua potable, uno con tuberías PVC-U y otro con tuberías HDPE en el distrito de Ilabaya, 2025.
- b. Realizar análisis económico para la implementación de un sistema de abastecimiento de agua potable, utilizando tuberías PVC-U ante HDPE en el distrito de Ilabaya, 2025.
- c. Realizar análisis comparativo del comportamiento hidráulico de ambos diseños, evaluando las variables de presión, velocidad y pérdidas de carga.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

Las tuberías de HDPE son la alternativa más adecuada para la implementación de un sistema de abastecimiento de agua potable en comparación con las tuberías de PVC.

1.5.2. Hipótesis específicas

- a. El sistema de abastecimiento de agua potable diseñado con tuberías HDPE se ajusta mejor a las condiciones de demanda, topografía del terreno y cumplimiento normativo en comparación con el diseño con tuberías PVC.
- b. La implementación de un sistema de abastecimiento de agua potable con tuberías HDPE se ajusta mejor considerando un análisis económico.
- c. El diseño de agua potable utilizando tuberías HDPE, presenta un mejor comportamiento hidráulico evaluando las variables de presión, velocidad y pérdidas de carga.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes locales

En la región de Tacna se han desarrollado diferentes investigaciones orientadas a la mejora y al diseño de los sistemas de agua potable. Como ejemplo se tiene la tesis de Mayta y Rosado (2025), cuyo título es Optimización de la línea de Conducción para mejorar el suministro de agua potable en el Fuerte Arica - Villa El Edén distrito de Ite, 2024, realizada en la Universidad Privada de Tacna. Esta investigación replanteó el diseño hidráulico, con tuberías PVC-O, utilizando el software HAMMER, donde los resultados mostraron una reducción en las pérdidas de carga y garantizar un abastecimiento continuo y eficiente, al representar menos del 75% de la presión nominal de fabricación de la tubería clase PN 12,5.

De manera similar, Choque (2020), en su tesis Mejoramiento de la Línea de Conducción de Agua Potable en el Anexo de La Yarada, Tacna, desarrollada en la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, efectuó el rediseño de una línea de conducción deteriorada, sustituyendo las tuberías de asbesto cemento por HDPE y colocando válvulas de aire en puntos críticos. Entre los resultados más relevantes, se reportó un incremento del caudal disponible en un 18 % y una disminución de las fallas por sobrepresiones en un 40 %.

Por otro lado, Apaza y Ramos (2022), en su tesis titulada “Diseño de una red de distribución de agua potable para mejorar la continuidad de servicio en el Distrito de Pachía, Provincia y Región de Tacna” para optar el título de Ingeniero Civil, determinaron que el diseño propuesto mejora el diseño actual, con mayor desempeño

De manera similar, Justo y Conde (2024), en su tesis para optar el título de Ingeniero Civil, titulada “Análisis en la red de distribución de agua debido a la variación de la presión en la localidad de Tacna”, donde compararon las presiones de agua del subsector 11 con los estándares recomendados para la distribución, donde concluyeron que las zonas altas no cumplen con estos requisitos, ya que, en su mayoría, no superan los 10 mca establecidos en el reglamento.

A su vez, en la Localidad de Tacna Navarro y Gonzalo (2021), en su tesis titulada “Mejoramiento del Modelamiento Hidraulico para la sectorización de redes de agua

potable de la ciudad de Ilo”, realizaron una modelación hidráulica a partir de una sectorización calculada en gabinete con el fin de verificar las presiones aceptables de acuerdo a la Normativa O.S.050.

2.1.2. Antecedentes nacionales

A nivel nacional, Condori y Asqui (2018), en su tesis que lleva por nombre: “Evaluación de la dotación de agua para el proyecto: Mejoramiento de servicios de agua y saneamiento en la comunidad de Kunurana del Distrito de Santa Rosa – Melgar – Puno”, se realizó la evaluación para determinar la dotación real para uso doméstico, así como el coeficiente de variación diaria. Gracias a este estudio se pueden determinar valores más reales en cuanto a la dotación por persona se requiere para satisfacer sus necesidades primordiales. Por ello se realizó este estudio con una población muestra de 59 viviendas, siendo analizadas y registrados sus consumos por un periodo de 04 años. De esa forma se determinó la dotación para uso doméstico de 35.80 litros/habitantes/día.

Cotrado y Gutiérrez (2019), en su tesis titulada: “Evaluación de la red existente de agua potable del subsector de distribución 24 en el distrito de coronel Gregorio Albarracín Lanchipa, provincia y región Tacna”, donde realizaron una evaluación para la verificación de la efectividad de la red de distribución mediante el modelamiento hidráulico de las redes principales, cotejó caudales, presiones y velocidades presentes en la red de distribución, debido a que, por el paso del tiempo, la red de distribución no tendría la misma efectividad que en el día de su inauguración y posterior puesta en funcionamiento..

Álvarez (2017), en su tesis titulada “Modelación Hidráulica para la Optimización de Redes de Agua Potable en el Distrito de San Juan de Miraflores, Lima”, desarrollada en la Universidad Nacional de Ingeniería. En esta investigación se utilizó el software WaterGEMS para modelar la red existente y detectar zonas críticas de presión. El rediseño planteado permitió mejorar la distribución de presiones dentro de un rango óptimo de 20 a 40 m.c.a., además de reducir en un 25 % las pérdidas de agua no contabilizada.

Cueva y Saavedra (2013), en su tesis titulada “Diseño, ampliación y mejoramiento del sistema de agua potable y alcantarillado en el mirador II, la esperanza, Trujillo, La Libertad”, debido al crecimiento de la población carecen de agua potable y alcantarillado, en esta investigación utilizaron programas de simulación de fluidos como

el WATERCAD y el SEWERCAD, que les permitió tener una mejor percepción del diseño realizado.

Rivera y Rivera (2015), en su tesis “diseño del mejoramiento del sistema de agua potable y alcantarillado del sector cerro colorado, Pacanga-Chepén – La Libertad”, donde menciona la deficiencia que presentan los servicios de saneamiento, ocasionando distintos problemas en los habitantes de la zona, Además hace mención que el sarro presente en las tuberías ha disminuido el diámetro de estas, lo que ocasiona que el agua se distribuya de manera ineficiente, por lo que es necesario hacer un mejoramiento de estos sistemas. En esta investigación se consideró como indicadores principales a los caudales de diseño, la población, las pendientes, presiones y diámetros, además se realizó el diseño de un reservorio cuya capacidad es de 80m³.

2.1.3. Antecedentes internacionales

Tan y Lim (2020), en su tesis titulada: " Hydraulic Modeling of pressure variability in Singapore's water distribution system", donde realizaron un análisis sobre cómo se ve influenciada la presión en la red de distribución de agua por cambios en la demanda, a través de simulaciones en programas avanzados, donde lograron predecir los puntos más críticos, donde la presión era más inestable, lo que podría conllevar a fallos en el suministro, donde su estudio ayudó a mejorar el diseño de la red y proporcionó estrategias alternativas para asegurar un suministro continuo y eficiente en la red de distribución.

Kaya y Yildirim (2019) en su tesis titulada "Seasonal and urban growth impacts on water distribution system pressure in Istanbul", donde evaluaron cómo los cambios en el crecimiento urbano impactaban en la presión en la red de distribución y a través de su estudio concluyeron que era indispensable mejorar la gestión de la presión para contratiempos en el abastecimiento de agua.

Martínez (2015), en su tesis titulada “Optimization of Water Distribution Networks Using GIS and EPANET”, desarrollada en la Universidad de Texas, donde el tesista aplicó técnicas de modelamiento hidráulico integradas a Sistemas de Información Geográfica (GIS) para optimizar redes de distribución urbana. La investigación demostró a través de sus resultados que el rediseño hidráulico permitió reducir en un 30 % el consumo energético del sistema gracias a una adecuada distribución de presiones, e identificó que aproximadamente un 25 % de los tramos existentes requerían rediseño para alcanzar condiciones óptimas de operación.

Tumbaco (2007), en su tesis titulada “Diseño del sistema de Alcantarillado Sanitario de la Comunidad MANANTIALES DEL Cantón Montecristi – Provincia de Manabí- Ecuador”., donde el tesista aplica métodos para solucionar la carencia de la comunidad del servicio de alcantarillado sanitario, y agua potable muy deficiente ya que era extraída de pozos profundos mediante sistema de bombeo, sin un tratamiento de purificación previo. La investigación demostró que mediante el programa SEWERCAD realizo una simulación de los fluidos, para obtener una propuesta para el tratamiento de aguas residuales, que comprende la decantación primaria y la degradación biológica anaerobia.

Rodriguez (2010), en su tesis titulada “Diseño del sistema de alcantarillado sector San Antonio y diseño del sistema de agua potable población 12 de octubre, comuna de Quellón -Chile”, donde el tesista aplica métodos para abastecer de agua potable en dicho sector y la evacuación de las aguas servidas de otro. La investigación demostró que el alcantarillado se solucionara mediante la conducción de dos colectores, una planta elevadora y una tubería de impulsión, para evitar el colapso de las tuberías. Asimismo, dar la solución a los servicios de agua potable, mediante la instalación de tuberías de PVC y con un diámetro igual a 4” y 6”.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Parámetro de diseño

a. Sistema de abastecimiento de agua potable

De acuerdo con la O.S. 050 Redes de Distribución de Agua para Consumo Humano (2016), las redes de distribución deberán proyectarse, en principio y siempre que sea posible en circuito cerrado formando mallas. El dimensionamiento se realizará en base a cálculos hidráulicos que aseguren caudal y presión adecuada en cualquier punto de la red debiendo garantizar en lo posible una mesa de presiones paralela al terreno. Para el análisis hidráulico del sistema de distribución, podrá utilizarse el método de Hardy Cross o cualquier otro equivalente. Para el cálculo hidráulico de las tuberías, se utilizarán fórmulas racionales. En caso de aplicarse la fórmula de Hazen y Williams, se utilizarán los coeficientes de fricción que se establecen en la Tabla – Coeficientes de fricción “C” en la fórmula de Hazen Williams. Para el caso de tuberías no contempladas, se deberá justificar técnicamente el valor utilizado del coeficiente de fricción. Las tuberías y accesorios que utilizar deberán cumplir con las normas técnicas peruanas vigentes y aprobadas por el ente respectivo.

Los coeficientes de fricción “C” de la formula Hazen William, se presentan en la Tabla 1, indican que por cada tipo de material los coeficientes de fricción cambian, el policloruro de vinilo (PVC) es uno de los materiales que tiene más alto coeficiente, por consiguiente, menor pérdida de carga.

Tabla 1
Coeficientes de fricción “C” en la fórmula de Hazen William

Tipo de Tubería	“C”
Acero sin costura	120
Acero soldado en espiral	100
Cobre sin costura	150
Concreto	110
Fibra de vidrio	150
Hierro fundido	100
Hierro fundido dúctil con revestimiento	140
Hierro galvanizado	100
Polietileno	140
Policloruro de vinilo (PVC)	150

Nota. Obtenido de Norma OS.050 Redes De Distribución De Agua

El valor mínimo del diámetro efectivo en un ramal distribuidor de agua será el determinado por el cálculo hidráulico. Cuando la fuente de abastecimiento es agua subterránea, se adoptará como diámetro nominal mínimo de 38 mm o su equivalente. En los casos de abastecimiento por piletas el diámetro mínimo será de 25 mm.

b. Periodo de diseño

El periodo de diseño se determinará considerando las siguientes fases: - Vida útil de los equipos - Grado de dificultad para realizar la ampliación de infraestructura - Crecimiento poblacional - Capacidad Económica para la ejecución de obras - Situación geográfica (Norma Técnica “Guía de Diseños Estandarizados para Infraestructura Sanitaria Menor en Proyectos de Saneamiento en el Ámbito Urbano - Etapa 1 y sus Anexos”,2019)

Los periodos de diseño máximo para los sistemas de abastecimiento de agua potable y alcantarillado sanitario se presentan en la tabla 2, indican que el diseño de un componente (reservorio, planta, redes de distribución, etc.) se debe realizar para un periodo de vida asignado, asimismo para las tuberías de distribución se debe diseñar con un periodo de 20 años.

Tabla 2

Periodos de diseño máximos para sistemas de abastecimiento de agua potable y alcantarillado sanitario

Componente	Tiempo (años)
Fuente de abastecimiento	20
Obras de Captación	20
Pozos	20
Planta de Tratamiento de agua para consumo humano	20
Reservorio	20
Tuberías de conducción. Impulsión y distribución	20
Estación de bombeo de agua	20
Equipo de bombeo	10
Estación de bombeo de aguas residuales	20
Colectores, emisores e interceptores	20
Plantas de Tratamiento de aguas residuales	20

Nota. Fuente: Programa Nacional de Saneamiento Urbano (PNSU)

c. Dotación de Agua

La dotación o la demanda per capita, es la cantidad de agua que requiere cada persona de la población, expresada en l/hab/día. Conocida la dotación, es necesario estimar el consumo promedio diario anual, el consumo máximo diario, y el consumo máximo horario. El consumo promedio diario anual, servirá para el cálculo del volumen del reservorio de almacenamiento y para estimar el consumo máximo diario y horario.

La dotación de agua se presenta en la Tabla 3, donde indica el consumo de agua en litros por habitante al día, en función al clima.

Tabla 3
Dotación de Agua

Clima	Dotación
Clima frío	180
Clima templado y cálido	220

Nota. Fuente: Programa Nacional de Saneamiento Urbano (PNSU)

d. Población

Se deberá determinar la población y la densidad poblacional para el periodo de diseño adoptado. La determinación de la población final para el periodo de diseño adoptado se realizará a partir de proyecciones, utilizando la tasa de crecimiento distrital y/o provincial establecida por el organismo oficial que regula estos indicadores (Norma OS.050,2016).

e. Caudal de diseño

La red de distribución se calculará con la cifra que resulte mayor al comparar el gasto máximo horario con la suma del gasto máximo diario más el gasto contra incendios para el caso de habilitaciones en que se considere demanda contra incendio (Norma OS.050,2016).

f. Velocidad

La velocidad máxima será de 3 m/s. En casos justificados se aceptará una velocidad máxima de 5 m/s (Norma OS.050,2016).

g. Presión

La presión estática no será mayor de 50 m en cualquier punto de la red. En condiciones de demanda máxima horaria, la presión dinámica no será menor de 10 m. En caso de abastecimiento de agua por piletas, la presión mínima será 3,50 m a la salida de la pileta (Norma OS.050,2016).

h. Pérdidas de Carga

Los acelerados cambios a nivel mundial —como el aumento de la población, el progreso económico, la migración y la creciente urbanización— están generando nuevas exigencias sobre los recursos hídricos y sobre la infraestructura encargada de proveer agua potable a la población, las empresas, las industrias y las instituciones. Las

pérdidas físicas de agua, originadas por fugas en las redes de distribución urbana, sumadas a los volúmenes de agua suministrados sin ser registrados o facturados, dificultan aún más la gestión del suministro, especialmente en los países en desarrollo o en proceso de transición. (GIZ, 2011).

i. Coeficientes de Rugosidad

El coeficiente de rugosidad de Manning es un indicador que define la resistencia que ofrece un flujo dentro de un canal. Debido a su importancia y a la posibilidad de calcularlo, se busca establecer cómo la pendiente del canal influye en el valor de dicho coeficiente.

Los coeficientes de rugosidad en tuberías se presentan en la Tabla 4, indica que por cada tipo de tubería el valor de “n”(coeficiente de rugosidad) es variable respectivamente.

Tabla 4
Coeficientes de Rugosidad de Tuberías

Descripción	Dotación	“n” diseño recomendado
Hormigón	0.009-0.011	Red alcantarillado: 0.011-0.012
		Red a. residual: 0.012-0.013
HDPE	0.009-0.015	Red alcantarillado: 0.012-0.020
PVC	0.009-0.011	Red alcantarillado/Res. A.
		Residual: 0.011 - 0.013
Corrugada	0.012-0.030	0.021 – 0.029

Nota. Fuente: Norma ISO 4427.

2.2.2. Modelamiento hidráulico

2.2.2.1. Principios Teóricos Fundamentales

a. Conservación de la Masa (Ecuación de Continuidad):

La ecuación de continuidad o conservación de la masa se presenta en la Ecuación 1, indica que la cantidad de agua que entra a un nodo debe ser igual a la que sale (más o menos lo que se almacena o consume).

$$\sum Q \text{ entrada} = \sum Q \text{ salida} \quad (1)$$

b. Conservación de la Energía (Ecuación de Bernoulli):

La ecuación de Bernoulli se presenta en la Ecuación 2, indica la conservación de energía en un fluido en movimiento.

$$constante = P + \left(\frac{1}{2}\right)pv^2 + pgh \quad (2)$$

P: presión del fluido

P: Densidad del fluido

V: velocidad del fluido

G: aceleración de la gravedad

H: altura sobre un nivel de referencia

c. Pérdida de Carga (Fórmulas de Darcy – Weisbach o Hazen Williams)

La ecuación de Darcy Weisbach, Permite el cálculo de la pérdida de carga debida a la fricción dentro una tubería llena. Permite la evaluación apropiada del efecto de cada uno de los factores que inciden en la pérdida de energía en una tubería. Es una de las pocas expresiones que agrupan estos factores. La ventaja de esta fórmula es que puede aplicarse a todos los tipos de flujo hidráulico (laminar, transicional y turbulento), debiendo el coeficiente de fricción tomar los valores adecuados, según corresponda (Garcia, 2022).

La ecuación de Darcy-weisbach o hazen williams se presenta en la Ecuación 3, indica la perdida de carga causada por la fricción de la parte interna de la tubería.

$$hf = \frac{Lv^2}{2Dg} \quad (3)$$

La ecuación para régimen turbulento se presenta en la ecuación 4, indica el coeficiente de fricción.

$$f = \frac{64}{Re} \quad (4)$$

Y para flujo turbulento se usará un Diagrama llamado Moody

Donde:

hf es la perdida de carga o de presión por fricción(m).

L es la longitud del tramo de tubo a examinar(m).
 V es la velocidad del fluido (metro/segundo)
 F es el coeficiente de fricción (adimensional)
 D es el diámetro de la tubería (metros)
 G es la gravedad (metros/segundos al cuadrado)
 Re número de Reynolds

La ecuación de Hazen-William, sirve para el diseño y análisis de sistema hidráulicos, su uso se limita al flujo de agua en tuberías con diámetros mayores a 2.0 pulgadas y menos a 6.0 pies. La velocidad del flujo no debe exceder los 10.0 pies/s. De igual manera, está elaborada para agua a 60°F. Su empleo con temperaturas mucho más bajas o altas ocasionaría cierto error. (Ricardo ,2019).

La ecuación de Hazen-William, se presenta en la ecuación 5, donde indica que la pérdida por fricción interna está en función del caudal, características del tubo y coeficiente C.

$$J = K \left(\frac{Q}{C} \right) 1852 (D^{-4.87}) L \quad (5)$$

Donde:

J : pérdida por fricción interna m(pies)

K: constante

Q: caudal L/s (gpm)

C: coeficiente "C" de Hazen Williams

D: diametro interno del tubo, mm (pulg)

L : longitud de la tubería (m)

2.2.2.2. Herramientas de Software para modelamiento hidráulico

EPANET es un programa de ordenador que realiza simulaciones en período extendido del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en redes de distribución a presión (Rossman, 2000).

La metodología utilizada por el software calcula los caudales en las tuberías y alturas piezométricas en los nudos bajo la consideración de conservación de masa y energía. Las ecuaciones que se generan en el proceso son conocidas por su no linealidad, por lo cual se hace uso del método del gradiente para su solución (Todini y Pilati, 1987).

Una red hidráulica presurizada posee diferentes elementos de acuerdo con la geometría utilizada y la complejidad del sistema. Las redes a presión, sin importar su tipo ni su geometría, requieren de elementos físicos que permitan su implementación, tales como tuberías, conexiones o nudos, válvulas, fuentes de abastecimiento, bombas y emisores. (Plaza,2017).

a. Embalse o reservorio

El embalse es el elemento físico que suministra el fluido a la red que se desea simular. Se caracteriza por tener capacidad infinita para almacenar un fluido; así mismo, su cota piezométrica se mantiene constante a través del tiempo de simulación, permitiendo tener una energía constante en todo el período de análisis (Plaza,2017).

El tanque de agua se presenta en la Figura 4, indica el signo del tanque de agua en el software EPANET.

Figura 4
Embalse



Nota. EPANET 2. User's Guide 1. Fuente; Software EPANET.

b. Nudos

Son elementos físicos utilizados para unir las tuberías. Los nudos o uniones sirven también como punto hidráulico de ex - tracción o inyección de agua en la red. Para dibujar un tramo de tubería es indispensable el uso de las conexiones o embalses; si se requiere dibujar una tubería simple, se introduce un nudo fuente (embalse) que funciona como punto inicial y luego se coloca un nudo final (conexión) o un embalse (Plaza,2017).

El nodo en una red de distribución de agua se presenta en la Figura 5, indica el signo del nodo en el software EPANET.

Figura 5
Nudo



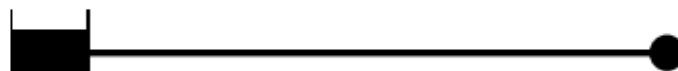
Nota. EPANET 2. User's Guide
1. Fuente; Software EPANET.

c. Tuberías

Son elementos que permiten el transporte de agua en una red dada. Para el caso de EPANET, las tuberías se encuentran siempre a presión y la dirección del flujo obedece al principio del gradiente hidráulico; por lo tanto, el agua se mueve de un punto de mayor a menor energía. (Plaza,2017).

La tubería de agua se presenta en la Figura 6, indica el signo de la tubería de agua uniendo un tanque de agua y un nodo en el software EPANET.

Figura 6
Tubería



Nota. EPANET 2. User's Guide 1. Fuente; Software EPANET

d. Depósitos

Los depósitos o tanques son elementos físicos que suministran agua a una red dada. Su principal característica es la limitación en la producción de agua, mientras que los embalses tienen agua ilimitada para suministrar. Los tanques requieren de una fuente que los abastezca, ya sea a gravedad (utilizando un embalse) o a presión (utilizando una bomba). EPANET inicia la simulación de un modelo con una altura pie - zométrica dentro del tanque según la necesidad del usuario.

El depósito de agua se presenta en la Figura 7, indica el signo del tanque de agua en el software EPANET.

Figura 7
Depósito



Nota. EPANET 2. User's Guide 1.

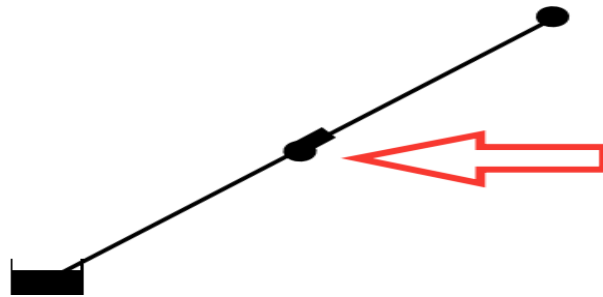
Fuente; Software EPANET

e. Bombas

Son elementos físicos para suministrar energía al fluido con el fin de desplazarlo de un punto 1 a un punto 2, con lo cual se vencen las pérdidas de energía presentes en el circuito y la diferencia de altura topográfica. A la sumatoria de las alturas que debe vencer una bomba se le denomina altura manométrica o altura dinámica total. Para EPANET, las bombas son de flujo unidireccional, de velocidad constante o variable. Para que una bomba pueda funcionar requiere de una serie de curvas que en su mayoría relacionan el caudal con la altura manométrica o altura dinámica total.

La bomba de agua se presenta en la Figura 8, indica el signo de la bomba de agua en una tubería entre un tanque de agua y un nodo en el software EPANET.

Figura 8
Bomba



Nota. EPANET 2. User's Guide 1. Fuente: Software EPANET

f. Válvulas

Las válvulas son elementos que principalmente controlan el flujo o caudal dentro de un tramo de tubería específico. Los diferentes tipos de válvulas varían con base en los tipos de mecanismos que utilizan para estrangular el flujo.

Dentro de los objetos físicos, en EPANET es posible modelar diferentes tipos de válvulas de alta complejidad utilizadas especialmente en acueductos para grandes ciudades. Las válvulas que se pueden modelar con EPANET se identifican en la tabla.

Las válvulas que se pueden modelar con EPANET se presentan en la Tabla 5, indican la nomenclatura correspondiente al tipo de válvula que se presenta en el programa.

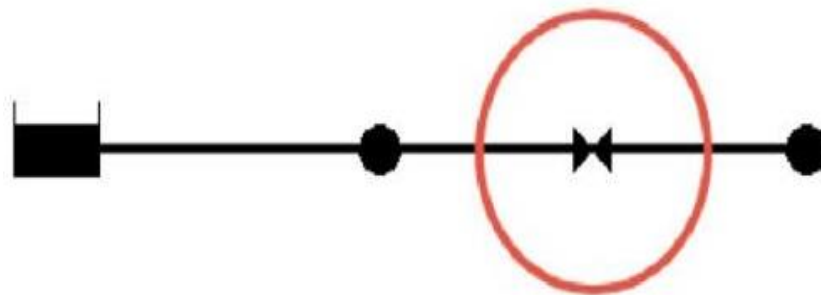
Tabla 5
Tipos de Válvulas en EPANET

Tipo de Válvula	Nomenclatura
Válvula reductora de presión	PRV
Válvula sostenedora de presión	PSV
Válvula de rotura de carga	PBV
Válvula controladora de caudal	FCV
Válvula reguladora por estrangulación	TCV
Válvula de propósito genera	GPV

Nota. Fuente: Ejercicios básicos de mecánica de fluidos e hidráulica aplicados a través del software de distribución gratuita EPANET 2.0. Plaza (2017).

La válvula reductora de presión se presenta en la Figura 9, indica el signo de la válvula correspondiente al PRV (válvula reductora de presión) en la tubería entre dos nodos aguas abajo del tanque.

Figura 9
Válvula



Nota. EPANET 2. User's Guide 1. Fuente: Software EPANET

2.2.3. Gradiente Hidráulico

El gradiente hidráulico representa la línea que une los puntos de igual carga piezométrica (presión más altura) en un sistema a presión. Permite visualizar la variación de energía disponible en el fluido a lo largo del recorrido de la tubería. Un 16 gradiente descendente indica pérdidas de energía, mientras que un gradiente horizontal o ascendente puede implicar riesgos de sobrepresión o golpe de ariete si no se controla adecuadamente (Tixe, 2004).

2.2.4. Manejo del Aire en la Líneas de conducción

Durante la operación de los sistemas de conducción, la acumulación de aire puede formar bolsas que reducen la sección efectiva de paso del agua, generando pérdidas de carga adicionales y potenciales daños por sobrepresión. Según Falvey (1980), el control del aire se realiza mediante válvulas de purga automática y dispositivos de entrada-salida ubicados estratégicamente en los puntos altos y cambios de pendiente.

2.2.5. Características de los materiales de tuberías

a. Tuberías de PVC-U

También conocido como (policloruro de vinilo no plastificado) ofrece buena resistencia química y facilidad de instalación, aunque su resistencia mecánica es moderada, presenta un comportamiento ideal en las redes colectoras, por lo que la durabilidad del material es prácticamente ilimitada, lo que reduce los costos de reparación y mantenimiento del sistema (INACAL, 2017).

b. Tuberías de HDPE

La tubería HDPE (Polietileno de Alta Densidad) es un tipo de tubería plástica muy resistente, flexible y liviana, ampliamente utilizada en sectores como agua potable, alcantarillado, gas, riego agrícola, minería y telecomunicaciones. Se caracteriza por su alta resistencia química y térmica, durabilidad (más de 50 años), resistencia al impacto y a la abrasión, además de ser fácil de transportar e instalar (IGC Perú, 2016).

2.2.6. Bases legales y normativas

RNE NORMA OS.050

La norma técnica OS.050 “Redes de distribución de agua para consumo humano” fija las condiciones exigibles en la elaboración de los proyectos hidráulicos de redes de agua para consumo humano.

RNE NORMA OS.010

La norma técnica OS.010 “Captación y conducción de agua para consumo humano” fija las condiciones para la elaboración de los proyectos y conducción de agua para consumo humano.

NTP – ISO 21138-1:2010.

Determina el sistema de tuberías plásticas para drenaje y alcantarillado subterráneo sin presión. Tubos y conexiones de pared estructurada de poli (cloruro de vinilo) (PVC-U) polipropileno (PP) y polietileno (PE).

2.3. Definición de términos

2.3.1. Redes de distribución

Conjunto de tuberías principales y ramales distribuidores que permiten abastecer de agua para consumo humano a las viviendas. (Norma OS.050,2016)

2.3.2. Línea de conducción

Una línea de conducción es un conjunto de tuberías destinadas a transportar agua desde un punto de captación o almacenamiento hasta un sistema de distribución o consumo final (Agüero Pittman, 1997)

2.3.3. Gradiente Hidráulico

El gradiente hidráulico representa la variación de la energía del agua a lo largo de una conducción, expresada como una altura de carga (m.c.a.) Según Tixe (2004)

2.3.4. Pérdida de Carga

La pérdida de carga corresponde a la reducción de energía En el flujo de agua a medida que se desplaza dentro de una tubería, debida principalmente a la fricción interna y a obstáculos como válvulas o codos. (Lossio, 2012).

2.3.5. Reservorio

Un reservorio es el origen artificial que es designado a almacenar la conducción del agua, aunque también podría ser utilizada para otros fluidos Según (Solórzano, 2017, pág. 22)

2.3.6. Golpe de ariete

El golpe de ariete es un fenómeno hidráulico que se produce cuando un fluido en movimiento es obligado a detenerse o cambiar de velocidad bruscamente, generando sobrepresiones que pueden dañar la infraestructura de la conducción. (Walski et al., 2003).

2.3.7. Válvula rompe presión

Una válvula rompe presión es un dispositivo hidráulico utilizado para controlar y limitar la presión excesiva en una conducción de agua, disipando la energía hidráulica mediante la liberación parcial del caudal. Según la organización panamericana de la salud (OPS,2004)

2.3.8. Válvula de aire

La válvula de aire es un accesorio instalado en las líneas de conducción para evacuar el aire acumulado y permitir su entrada cuando la tubería se vacía, evitando daños por presión negativa o cavitación. (Falvey, 1980).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es no experimental, La presente investigación busca realizar la obtención de datos sin alterarlas, para posteriormente analizarlos y describir las variables presentes de la investigación.

3.2. Acciones y actividades

Se realiza una serie de pasos para la investigación:

Paso 1: Recopilación de datos de la entidad

Se lleva a cabo la evaluación detallada del sistema de red de distribución actual, luego el análisis de la documentación técnica disponible, la cual se solicitará a la entidad:

- Planos topográficos del sistema de la red de distribución
- Plano de Catastro
- Plano de delimitación
- Datos de la población de estudio

Paso 2: Modelamiento hidráulico

Se desarrolla un modelo hidráulico, utilizando los softwares especializados EPANET y QGIS. A través de este modelado, se analizará el comportamiento del flujo en régimen permanente y transitorio, de esta manera poder identificar las deficiencias de presión, pérdidas excesivas de carga y posibles zonas de acumulación de aire.

Paso 3: Análisis Comparativo

Elaboración de cuadros comparativos de los resultados entre tubería HDPE y PVC, donde se realizará un análisis técnico y económico.

Paso 4: Propuesta

Con base en los resultados del diagnóstico y del modelamiento hidráulico, se formulará una propuesta de mejor alternativa para el sistema de red de distribución. Esta incluirá acciones como el cambio de materiales en las tuberías, el rediseño de los diámetros para mejorar la eficiencia hidráulica, y la incorporación de válvulas rompe presión y válvulas de purga de aire en puntos estratégicos, con el fin de controlar adecuadamente los fenómenos transitorios y prevenir daños a la infraestructura.

3.3. Materiales e instrumentos

Para trabajos en campo:

- Lapiceros
- Cámara fotográfica
- Planos de lotización
- Formatos
- Tablero

Para trabajos en gabinete:

- Software EPANET, Qgis y office
- Laptop
- Impresora Papel bond A4
- Útiles de escritorio.
- Expediente Técnico de la obra por ejecutar
- Ficha técnica de tubería HDPE
- Ficha técnica de tubería PVC
- Reglamento Nacional de edificaciones

3.4. Población y muestra de estudio

La obtención de la población y muestra se desarrolla teniendo en cuenta el último censo del INEI realizado en el año 2017. Se determina la población para luego calcular la población futura, considerando las definiciones de área urbana y rural según INEI, en función a estas se determina la fórmula para calcular la población futura considerando un periodo de diseño de 20 años. La asociación virgen del Carmen es considerada área rural, por tanto, el método para calcular la población futura es método aritmético.

3.5. Operacionalización de variables

Tabla 6

Operacionalización de variables de investigación

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicador	Escala	Técnicas o métodos
Tipo de tubería (PVC-U y HDPE) En el Anexo 01 se presenta el tipo de variable correspondiente	Se refiere a una clasificación específica de tubería basada en su material, presión de operación y otros factores que determinan su uso y aplicación	<ul style="list-style-type: none"> • Propiedades físicas y mecánicas • Propiedades mecánicas • Vida útil 	<ul style="list-style-type: none"> • Rugosidad • Diámetro nominal • Resistencia a la presión • Flexibilidad • Durabilidad en años 	Escala cuantitativa	-Revisión de fichas técnicas del fabricante
Análisis técnico – económico. En el Anexo 01 se presenta el tipo de variable correspondiente	Estudio del comportamiento de la tubería y su efecto sobre los costos (Ver Anexo 01).	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia hidráulica • Costo del sistema 	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de carga • Presión mínima y máxima. • Velocidad de flujo • Costo unitario de tubería. • Costo de accesorios 	Escala cuantitativa	-Simulación con software hidráulico. - Análisis de presupuesto

3.6. Procesamiento y análisis de datos

3.6.1. Procesamiento de datos

3.6.1.1. Periodo de Diseño

Para realizar el diseño hidráulico se necesita diversa información, como la cantidad de habitantes, considerando la tasa anual de crecimiento poblacional y el estrato socioeconómico al que pertenecen. Estos datos resultan fundamentales para llevar a cabo el modelado hidráulico.

Los periodos de diseño máximo para los sistemas de abastecimiento de agua potable se presentan en la Tabla 7, indican que el diseño de un componente (reservorio, planta, redes de distribución, etc.) se debe realizar para un periodo de vida asignado, asimismo para las tuberías de distribución se debe diseñar para un periodo de vida de 20 años.

Tabla 7
Periodos de diseño

Estructura	Periodo De Diseño
Fuente de abastecimiento	20 años
Obras de captación	20 años
Pozos	20 años
PTAP	20 años
Reservorio	20 años
Líneas de conducción, impulsión y aducción	20 años
Redes de distribución	20 años
Estaciones de bombeo	20 años
Equipos de bombeo	10 años
PTAR	20 años
Redes de alcantarillado	20 años

Nota. Obtenido de Guía de Orientación para elaboración de expedientes técnicos de proyectos de saneamiento 2016. Programa Nacional de Saneamiento Urbano

El periodo de diseño máximo para redes de distribución se presenta en la tabla 8, indica que para el diseño de redes de distribución se debe realizar con un periodo de 20 años.

Tabla 8
Redes de distribución a elección

Estructura	Periodo De Diseño
Redes de distribución	20 años

Nota. Obtenido de Guía de Orientación para elaboración de expedientes técnicos de proyectos de saneamiento 2016. Programa Nacional de Saneamiento Urbano

3.6.1.2. Crecimiento poblacional - Ilabaya

Con relación a la definición de lo que es área urbana y rural, INEI considera dos criterios cuantitativos:

Se considera área urbana de un distrito aquella formada por centros poblados urbanos. Un centro poblado urbano es aquel que cuenta con al menos 100 viviendas agrupadas de manera contigua; también se incluyen, de forma excepcional, todos los que son capitales de distrito, incluso si no cumplen con dicho requisito. Por su parte, el área rural está constituida por los centros poblados rurales, definidos como aquellos que no superan las 100 viviendas contiguas ni son capitales de distrito; o que, aun teniendo más de 100 viviendas, estas se encuentran dispersas y no conforman manzanas.

En cuanto a la definición de áreas urbanas y rurales, el INEI utiliza dos criterios cuantitativos:

a. Primer criterio (usado en censos)

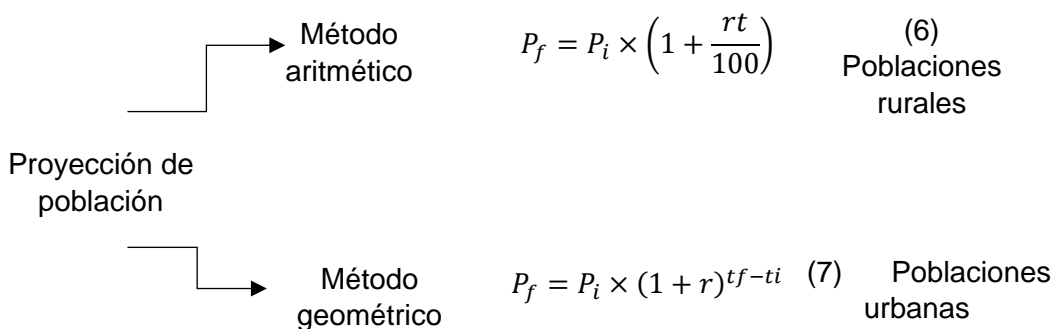
Se considera área urbana de un distrito aquella formada por centros poblados urbanos. Un centro poblado urbano es aquel que cuenta con al menos 100 viviendas agrupadas de manera contigua; también se incluyen, de forma excepcional, todos los que son capitales de distrito, incluso si no cumplen con dicho requisito. Por su parte, el área rural está constituida por los centros poblados rurales, definidos como aquellos que no superan las 100 viviendas contiguas ni son capitales de distrito; o que, aun teniendo más de 100 viviendas, estas se encuentran dispersas y no conforman manzanas.

b. Segundo criterio (utilizado en encuestas de hogares)

Se basa en el tamaño poblacional. El área urbana de un distrito está integrada por uno o más centros poblados urbanos que, en conjunto, tienen 2 000 o más habitantes, con viviendas agrupadas formando manzanas y calles. El área rural corresponde a centros poblados con menos de 2 000 habitantes, generalmente caracterizados por viviendas dispersas o distribuidas sin conformar manzanas.

Como Ilabaya es capital De Distrito, el Diseño se realiza con el primer criterio.

La ecuación de la población futura se presenta en la ecuación 6 y 7, indican que hay ecuación para poblaciones rurales y urbanas respectivamente.



Donde:

Pf = población futura

Pi = población inicial

r = razón de crecimiento

t = tiempo q se calcula la población

La población según censo se presenta en la Tabla 9, indica que a medida que los años pasan, la población aumenta, siendo el año más alto el 2025.

Tabla 9
Censos por año

Censo (Año)	Población (Habitantes)
1,981	-
1,993	181
2,007	400
2,017	301
2,025	500

Nota. Fuente (INEI, 2023)

3.6.1.3. Método geométrico

La ecuación del método geométrico para calcular la razón de crecimiento se presenta en la ecuación 8, indica que la razón de crecimiento estará en función de la población inicial y futura, asimismo del tiempo inicial y futuro respectivamente.

$$r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{\frac{1}{T_{uc} - T_{ci}}} - 1 \quad (8)$$

La aplicación del método geométrico para calcular la razón de crecimiento se presenta en la ecuación 9, indica que el valor de la razón de crecimiento es 1.06.

$$r = \left(\frac{400}{181} \right)^{\frac{1}{2007 - 1993}} - 1 \approx 1.06 \quad (9)$$

La razón de crecimiento se presenta en la Tabla 10, indica que a medida que los años pasan, la razón de crecimiento aumenta según aumenta la cantidad de población, asimismo se indica la razón promedio para fines de cálculo.

Tabla 10
Cálculo de razones

Años		Razón	Razón Promedio
1981	1993	1,06	1,03
1993	2007	0,97	1,03
2007	2017	1,07	1,03
2017	2025	1,07	1,03

Nota. Para tener la razón más exacta, tenemos la razón promedio.

La ecuación para calcular la población futura se presenta en la ecuación 10, indica que la población futura está en función a la población inicial, además de la razón promedio y el tiempo inicial y futuro.

$$P_f = P_i(1 + r)^{t_f - t_i} \quad (10)$$

La aplicación de la ecuación para calcular la población futura se presenta en la ecuación 11, indica que para el año 2026 la población será de 516 hab.

$$P_f = 500(1 + 0.03)^{2026 - 2025} \approx 516 \text{ hab} \quad (11)$$

La población futura hasta el año 2047 se presenta en la Tabla 11, indica que a medida que transcurre los años la población aumenta, siendo la población más alta de 998 habitantes para el año 2047.

Tabla 11
Población de diseño

(Año)	Población
2025	500
2026	516
2027	532
2028	549
2029	567
2030	585
2031	604
2032	623
2033	643
2034	663
2035	685
2036	706
2037	729
2038	752
2039	776
2040	801
2041	827
2042	853
2043	880
2044	908
2045	937
2046	967
2047	998

Nota. El periodo de diseño es para 20 años.

3.6.1.4. Cálculo de la dotación

Según la OS-100 del reglamento nacional de edificaciones, establece que para poblaciones que oscilan entre 2,000 y 10,000 habitantes en un clima templado, la dotación recomendada es de 220 litros por habitante al día (l/hab/día) para sistemas con conexiones. Este valor contempla todas las necesidades relacionadas con el suministro de agua para las actividades cotidianas de la población, según lo detallado anteriormente en el documento.

El consumo de agua por habitantes al día se presenta en la Tabla 12, indica que la dotación para clima cálido es de 220 l/Hab.día, considerando que el distrito de Ilabaya tiene un clima cálido.

Tabla 12
Dotación según tipo de clima

Región	Dotación según tipo de Opción Tecnológica (L/Hab.D)		
	Sistema con Conexiones	Lotes de Área menor o igual a 90m ²	Sistema de Abastecimiento por Surtidores, Camión Cisterna o Piletas Públicas
Clima Templado	220	150	30 - 50
Clima Frío	180	120	30 - 50
Clima Cálido	220	150	30 - 50

Nota. Ilabaya es un distrito de clima cálido

3.6.1.5. Variación de consumo

3.6.1.5.1. Caudal promedio (QP)

Se define como el promedio de los consumos diarios durante un año, esta expresado en lt/s.

$$Q_p = \frac{\text{Dotación} \times \text{Población}}{86400} \quad (12)$$

Donde:

Qp: caudal promedio diario anual en l/s

Dot: dotación en l/hab.d

P: población de diseño en habitantes (hab)

3.6.1.5.2. Consumo máximo diario (QMD)

La ecuación para calcular el consumo máximo diario se presenta en la ecuación 13, este consumo representa el consumo máximo diario dentro de los 365 días del año, la ecuación indica que el caudal máximo diario está en función del caudal promedio y coeficiente de variación diaria.

$$Q_{m\acute{a}x\ diario} = Q_p \times K_1 \quad (13)$$

Donde:

Qmd = gasto máximo diario expresado en l/s

Qp = gasto promedio expresado en l/s

K₁= coeficiente de variación diaria según RNE

Los coeficientes de variación de consumo de agua se presentan en la Tabla 13, indica los coeficientes que serán multiplicados por el caudal máximo diario y horario, los valores de la demanda máxima horaria tienen un mayor valor.

Tabla 13
Coefficientes de variación de consumo según RNE

Item	Coefficiente	Valor
1	Coefficiente Máximo Anual de la demanda Diaria(K1)	1,3
2	Coefficiente Máximo Anual de demanda Horaria (K2)	1,8 a 2,5

Nota. Se diseña con el coeficiente K2

3.6.1.5.3. Consumo máximo horario (QMH)

Se define como la hora de máximo consumo. el consumo máximo horario está relacionado respecto al caudal promedio, mediante el coeficiente k2.

$$Q_{\text{máx. horario}} = K_2 \times Q_p \quad (14)$$

Q_{md} = gasto máximo horario expresado en l/s

Q_p = gasto promedio expresado en l/s

K_2 = coeficiente de variación horaria que varía entre 1.8-2.5

Los coeficientes de variación de consumo de agua se presentan en la Tabla 14, indica los coeficientes que varían en función del caudal máximo diario y horario.

Tabla 14
Coefficientes de variación de consumo según RNE

Item	Coefficiente	Valor
1	Coefficiente Máximo Anual de la demanda	1,3
2	Coefficiente Máximo Anual de demanda	1,8 a 2,5

Nota. Se diseña con el coeficiente K_2 promedio

Por lo tanto, se define el K_2 de la siguiente manera: Criterio urbano y rural 2.0

3.6.1.6. Consumo doméstico

Población actual (caudal promedio)

$$Q_p = \frac{\text{Dotación} \times \text{Población}}{86400} \quad (12)$$

La aplicación de la ecuación para el caudal promedio se presenta en la ecuación 15, indica que el consumo promedio de agua es 110000 litros por día, para la población al año 2025.

$$Q_p = \frac{220l}{hab} \cdot dx \ 500hab = 110000 \frac{l}{d} \quad (15)$$

Población futura (caudal promedio)

$$Q_p = \frac{\text{Dotación} \times \text{Población}}{86400} \quad (12)$$

La aplicación de la ecuación para el caudal promedio se presenta en la ecuación 16, indica que el consumo promedio de agua es 219560 litros por día, para la población futura al año 2047.

$$Q_p = 220\text{l/hab/d} \times 998\text{hab} = 219560 \text{ l/d} \quad (16)$$

Los resultados de los caudales se presentan en la Tabla 15, indica las cantidades de caudal de consumo, para población actual y futura.

Tabla 15
Resultados de caudal

Descripción	Dato	Cantidad	Unidad	Resultado
Densidad poblacional	Dens:	2,44	hab/viv	
Número de viviendas	N° viv.	205	viv	Población
Población al año 0	Po	500	hab.	inicial
Población al año 20	Pf	998	hab.	Población final
Dotación	Dot	220	l/hab.día	
Caudal de consumo doméstico (AÑO 0)	Cd 1	110000	l/día	Caudal de consumo
Caudal de consumo doméstico (AÑO 20)	Cd 2	219560	l/día	doméstico

Nota. Población y caudal de diseño para 20 años

3.6.1.7. Consumo no doméstico

Cabe mencionar que el anterior subtítulo (1.2.5) es netamente para consumos domésticos, pero en una población también existen establecimientos comerciales, estatales como colegio y comisarias, también establecimientos sociales como parques estadios y demás. Por lo tanto, para hallar las dotaciones de estos establecimientos se

revisará el Reglamento nacional de Edificaciones (RNE) Norma IS.010 donde explica las dotaciones según el establecimiento presente.

3.6.1.8. Establecimientos estatales

El consumo diario de agua en establecimientos de educación se presenta en la Tabla 16, indica las cantidades parciales de consumo de agua diaria de las personas en los niveles de inicial primaria, secundaria y superior y también el total de caudal de consumo diario para sector educación que es 6500 litros.día.

Tabla 16

Establecimiento estatales - Educación

Cantidad	Descripción		Cantidad	Dotación (lt//día)	Consumo Diario (lts/día)
1	Inicial	Alumnos	20 per.	50	1000
		Profesores	5 per.	50	250
1	Primaria	Alumnos	97 per.	50	4850
		Profesores	8 per.	50	400
0	Secundaria	Alumnos	0 per.	50	0
		Profesores	0 per.	50	0
0	Superior	Alumnos	0 per.	50	0
		Profesores	0 per.	50	0
2	Totales				6500

Nota. Consumo solo para establecimiento de educación.

El consumo diario de agua en establecimientos de salud se presenta en la Tabla 17, indica las cantidades parciales de consumo de agua diaria de las personas en los diferentes centros, además el total de caudal de consumo diario para sector Salud, que es 6000 litros.día.

Tabla 17

Establecimientos estatales - Salud

Cantidad	Descripción		Cantidad	Dotación (l/día)
1	Essalud		4 consult.	500
1	Posta Médica		4 consult.	500
1	Centro de estimulación temprana		4 consult.	500
	Totales			6000

Nota. Consumo solo para establecimiento de salud.

El consumo diario de agua en establecimientos de PNP se presenta en la Tabla 18, indica la cantidad total de consumo de agua diaria de las personas, en la PNP, resultando un consumo diario de 2200 litros.día

Tabla 18
Establecimiento estatales - PNP

C) Pnp				
Cantidad	Descripción		Cantidad	Dotación (l/día)
1	Comisaria	10 per.	220	2200
1	Totales			2200

Nota. Consumo solo para establecimiento de PNP.

3.6.1.9. Establecimientos sociales

El consumo diario de agua en establecimientos sociales se presenta en la Tabla 19, indica las cantidades parciales de consumo de agua diaria de las personas en los diferentes centros, además el total de caudal de consumo diario para sector social, que es 9960 litros.día

Tabla 19
Establecimiento sociales

Cantidad	Descripción	Cantidad	Dotación (l/día)	Consumo Diario (lts/día)
1	Iglesia	50 asiento	3	150
1	Municipalidad	100 m ²	6	600
1	GIDUR	100 m ²	6	600
1	Centro Cultural	500 m ²	2	1000
1	Losa Deportiva	50 asiento	1	50
1	Plaza Ilabaya	280 m ²	2	560
1	EcoParque	1000 m ²	2	2000
1	Albergue Municipal	10 dormitorio	500	5000
Totales				9960

Nota. Consumo solo para establecimientos sociales.

3.6.1.10. Establecimientos comerciales

El consumo diario de agua en establecimientos comerciales se presenta en la Tabla 20, indica las cantidades parciales de consumo de agua diaria de las personas en los

diferentes centros, además el total de caudal de consumo diario para sector comercial, que es 31500 litros.día

Tabla 20
Establecimientos comerciales

Cantidad	Descripción	Cantidad	Dotación (l/día)	Consumo Diario (l/día)
1	Hospedaje	10 dormitorio	500	5000
1	Mercado	100 m ²	15	1500
5	Restaurante	10mmmmmm	50	25000
Totales				31500

Nota. Consumo solo para establecimientos comerciales.

3.6.1.11. Establecimientos especiales

El consumo diario de agua en establecimientos especiales se presenta en la Tabla 21, indica las cantidades parciales de consumo de agua diaria de las personas en los diferentes centros, además el total de caudal de consumo diario para sector especial, que es 7500 litros.día.

Tabla 21
Establecimientos especiales

Cantidad	Descripción	Cantidad	Dotación (l/día)	Consumo Diario (l/día)
1	PTAR	150 m ²	50	7500
0	bomberos	0 per.	150	0
0	FF.AA.	0 per.	150	0
0	INPE	0 per.	150	0
1	Totales			7500

Nota. Consumo solo para establecimientos especiales.

3.6.1.12. Establecimientos industriales

El consumo diario de agua en establecimientos industriales se presenta en la Tabla 22, indica la cantidad total de consumo de agua diaria de las personas, en establecimientos industriales, resultando un consumo diario de 6400 litros.día.

Tabla 22
Establecimientos Industriales

Cantidad	Descripción	Cantidad	Dotación (l/día)	Consumo diario (l/día)
1	Industrias	80 per.	80	6400
1		Totales		6400

Nota. Consumo solo para establecimientos industriales.

3.6.1.13. Consumo promedio diario anual (Año 2047)

El consumo promedio diario anual se presenta en la Tabla 23, indica el resumen del consumo diario doméstico y no doméstico de agua de las personas en los diferentes centros, además del total del caudal de consumo diario, que es 289,620 litros.día

Tabla 23
Consumo promedio diario anual

Descripción	Dotación	Consumo diario
Consumo Domestico	219560	l/día
Consumo Estatal	14700	l/día
Consumo Social	9960	l/día
Consumo Comercial	31500	l/día
Consumo Industrial	6400	l/día
Consumo Especiales	7500	l/día
Total	289620	l/día
Total	3,35	l/s

Nota. Consumo total de todos los establecimientos

3.6.1.14. Consumo máximo diario

$$Q_{\text{máx diario}} = Q_{\text{md}} \times K_1 \quad (13)$$

La aplicación de la ecuación para el consumo máximo diario se presenta en la ecuación 17, indica que el consumo máximo diario para el año 2047, es de 4.36 litros.seg.

$$Q_{m\acute{a}x \text{ diario}} = 3.35 \frac{l}{s} * 1.3 \approx 4.36 \text{ l/s} \quad (17)$$

3.6.1.15. Consumo máximo horario

$$Q_{m\acute{a}x. \text{ horario}} = K_2 \times Q_p \quad (14)$$

La aplicación de la ecuación para el consumo máximo horario se presenta en la ecuación 18, indica que el consumo máximo horario para el año 2,047, es de 6,70 litros.seg. El diseño se realizará con el caudal máximo horario.

$$Q_{m\acute{a}x. \text{ horario}} = 3.35 \times 2 \approx 6.70 \text{ l/s} \quad (18)$$

3.6.1.16. Selección del material

En el marco del diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable, se llevará a cabo un análisis comparativo de los materiales utilizados en tuberías, con el objetivo de analizar las diferencias en las propiedades físicas que caracterizan a cada uno de estos materiales, este análisis permitirá identificar cómo dichas propiedades influyen tanto en el diseño de redes de distribución de agua potable.

Se considerarán los materiales PVC-U y HDPE. A través de esta comparación, se determinará cuál de estos materiales presenta la mayor eficiencia técnica y económica para la instalación de redes de distribución de agua potable, contribuyendo así a una selección fundamentada, todas las comparaciones realizadas se registrarán únicamente a las fichas técnicas de cada material proporcionadas por el fabricante.

3.6.1.16.1. Capacidad hidráulica

Se refiere al caudal máximo de agua que una tubería es capaz de transportar de manera eficiente, en función de sus características físicas y operativas. En un análisis comparativo de caudal máximo de agua que una tubería es capaz de transportar de una manera eficiente entre dos tipos de tuberías HDPE y PVC-U, además de tener en cuenta su diámetro, se determinó un porcentaje relativo de desempeño hidráulico, Para la

comparación de las 2 tuberías, se ha procurado analizarlas en la mayor variedad posible de presiones nominales disponibles en el mercado. Esta estrategia busca garantizar una evaluación equitativa, permitiendo una comparación justa entre las alternativas consideradas, en función de sus características hidráulicas y su disponibilidad comercial.

Las características de las tuberías PVC-U y HDPE se presenta en la Tabla 24, indica los valores de espesor, diámetro interior y nominal según su diámetro correspondiente, además también se indica la clase de tubería, para el tipo de material PVC Y HDPE (si cotización, se aprecia en el anexo 2).

Tabla 24

Comparación de características hidráulicas entre tubería pvc y hdpe

Capacidad hidráulica entre tubería pvc-u y hdpe							
Pvc-U Ntp-Iso 1452				Hdpe Pe 100 Ntp-Iso 4427			
Pn 10 Bar (S10; Sdr 21)				Pn 10			
DN(mm)	Espesor (mm)	Diámetro int. (mm)	Sección hidráulica (cm2)	Espesor (mm)	Diámetro int. (mm)	Sección hidráulica (cm2)	Δ (%)
63	3	57	25,52	3,8	55,4	24,11	5,53
75	3,6	67,8	36,1	4,5	66	34,21	5,24
90	4,3	81,4	52,04	5,4	79,2	49,27	5,32
110	5,3	99,4	77,6	6,6	96,8	73,59	5,17
160	7,7	144,6	164,22	9,5	141	156,15	4,91
200	9,6	180,8	256,74	11,9	176,2	243,84	5,02
250	11,9	226,2	401,86	14,8	220,4	381,52	5,06
315	15	285	637,94	18,7	277,6	605,24	5,13
355	16,9	321,2	810,29	21,1	312,8	768,46	5,16
400	19,1	361,8	1028,08	23,7	352,6	976,46	5,02
450	21,5	407	1301	26,7	396,6	1235,37	5,04
500	23,9	452,2	1606,02	29,7	440,6	1524,68	5,06
630	30	570	2551,76	37,24	555,52	2423,76	5,02

Nota. Fuente. Ficha técnica NICOLL (2019) PVC-U y Ficha técnica PAVCO (2024) HDPE

3.6.1.16.2. Peso de tuberías

Al realizar una comparación detallada del peso entre las tuberías de PVC-U y HDPE, se observa una diferencia sustancial que favorece al HDPE, el cual presenta un peso significativamente menor. Esta reducción en masa no solo facilita considerablemente

las labores de transporte y manipulación en obra, sino que también representa un factor clave en la optimización de los procesos de instalación. Al ser más livianas, las tuberías de HDPE requieren menos esfuerzo físico, lo que se traduce en una mayor eficiencia operativa y cierta reducción de costos en manipulación de materiales.

Las características de las tuberías PVC-U y HDPE se presenta en la Tabla 25, indica los pesos (kg/tub) de las tuberías según su diámetro correspondiente, tanto para PVC-U y HDPE.

Tabla 25
Peso de tuberías

Peso De Tubería PVC-U Vs HDPE 100			
PVC-U NTP-ISO 1452		HDPE PE 100 NTP-ISO 4427	
PN 10 Bar		PN 10	
DN (mm)	Peso (kg/tub)	Peso (kg/tub)	Δ (%)
63	0,88	0,73	17,05
75	1,26	1,04	17,46
90	1,8	1,49	17,22
110	2,69	2,23	17,1
160	5,64	4,67	17,2
200	8,77	7,31	16,65
250	13,55	11,36	16,16
315	21,47	18,09	15,74
355	26,97	23	14,72
400	34,74	29,11	16,21
450	43,93	36,89	16,03
500	54,18	45,59	15,85
630	85,63	57,09	33,33

Nota. Fuente. Ficha técnica NICOLL (2019) PVC-U y Ficha técnica PAVCO (2024) HDPE

Tras analizar las diferencias entre las tuberías PVC-U y HDPE se puede ver que existe un rango de 17% a 34 % de diferencia de pesos, es posible destacar que el HDPE también ofrece ventajas en comparación con el PVC. Una ventaja es que presenta menor peso, la cual se debe a que tiene una menor densidad y esto permite una reducción considerable del peso total de cada unidad de tubería, lo que hace su transporte y manipulación más ligera, combinada con su flexibilidad, contribuye

directamente a una instalación más rápida y eficiente, optimizando los tiempos de ejecución del proyecto y reduciendo los costos asociados a la mano de obra.

3.6.1.17. Diámetro mínimo y máximo de la tubería

El diámetro máximo de una tubería permite optimizar el flujo y la presión del fluido, minimizando las pérdidas de energía por fricción y evitar problemas como la cavitación.

$$D_{max} = \left(\frac{4Qp}{\pi \cdot V_{min}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (19)$$

La aplicación de la ecuación del diámetro máximo se presenta en la Ecuación 20, indica que el diámetro interno máximo es 4,72pulg, para nuestro periodo de diseño de 20 años.

$$D_{max} = \left(\frac{4 \times 0.0067}{\pi \times 0.6} \right)^{\frac{1}{2}} \approx 0,12m \approx 4,72pulg \quad (20)$$

Por otro lado, el diámetro mínimo de una tubería permite asegurar un caudal y presión adecuados, optimizar la eficiencia del sistema y evitar problemas como la caída de presión excesiva.

La ecuación del diámetro mínimo de la tubería se presenta en la ecuación 21, indica el diámetro interno mínimo que puede tener una tubería para determinado diseño.

$$D_{min} = \left(\frac{4Qp}{\pi \cdot V_{max}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (21)$$

La aplicación de la ecuación del diámetro máximo se presenta en la Ecuación 22, indica que el diámetro interno mínimo es 1,97pulg, para nuestro periodo de diseño de 20 años.

$$D_{min} = \left(\frac{4Qp}{\pi \cdot V_{max}} \right)^{\frac{1}{2}} \approx 0,05m \approx 1,97pulg \quad (22)$$

Analizando los resultados, el rango del diámetro de la tubería debe encontrarse entre 50 mm y 120 mm para garantizar que el flujo de agua sea eficiente. Para determinar el diámetro más adecuado para nuestro diseño hidráulico, tendremos en cuenta las presiones, velocidades mínimas y máximas que nos indica la NTP OS.50.

3.6.1.18. Modelamiento de la red de distribución

El modelo será desarrollado en el software EPANET, incorporando todas las características técnicas previamente calculadas, las cuales serán introducidas al software para el modelamiento. Además, se ha utilizado otros softwares como el AutoCAD, Excel y QGIS, para poder modelar de una manera más eficiente.

En los cálculos anteriores analizamos las características técnicas de la tubería PVC-U y HDPE, estos dos materiales tienen algunas características similares, sin embargo, hay 2 características principales que las diferencian, la cual es el diámetro interior y el peso.

Por lo tanto, primero modelaremos para tuberías PVC-U con un diámetro interior de 57 mm, seguidamente para tuberías HDPE con diámetro interior de 55.4mm

Como datos previos al modelado tenemos el levantamiento topográfico sin duda es de suma importancia para poder realizar el modelamiento hidráulico de las redes de agua potable.

Se dispuso de la información necesaria para su elaboración, previa verificación de la altimetría, ya que estos datos son indispensables para el diseño hidráulico. Se contó con un plano en formato DWG con curvas de nivel definidas, lo que permitió obtener la cota de cada punto de la red y de las viviendas dentro del área de estudio.

La información recopilada provino tanto de archivos digitales proporcionados por la entidad como de datos obtenidos mediante trabajo de campo. Todo ello será de utilidad para el desarrollo del diseño hidráulico.

El plano del distrito de Ilabaya se presenta en la Figura 10, indica la lotización y vías por donde pasaran nuestras tuberías de redes de distribución.

Figura 10
Plano de Distrito de Ilabaya



Nota. Plano de catastro del distrito de Ilabaya

El plano de curvas de nivel del distrito de Ilabaya se presenta en la Figura 11, indica los niveles del terreno, las cuales nos servirán para obtener los niveles o cotas de los nodos.

Figura 11
Plano de curvas de nivel del Distrito de Ilabaya



Nota. Curvas de nivel en plano de catastro

La red de distribución modelada en el software QGIS se presenta en la Figura 12, donde se detalla el trazado proyectado de las tuberías y la ubicación georreferenciada de los nodos que conforman el sistema.

Figura 12
Red de distribución de Ilabaya



Nota. Trazo y nodos de la red de distribución.

3.6.1.19. Diseño hidráulico con tuberías PVC-U

3.6.1.19.1. Diseño con el software QGIS

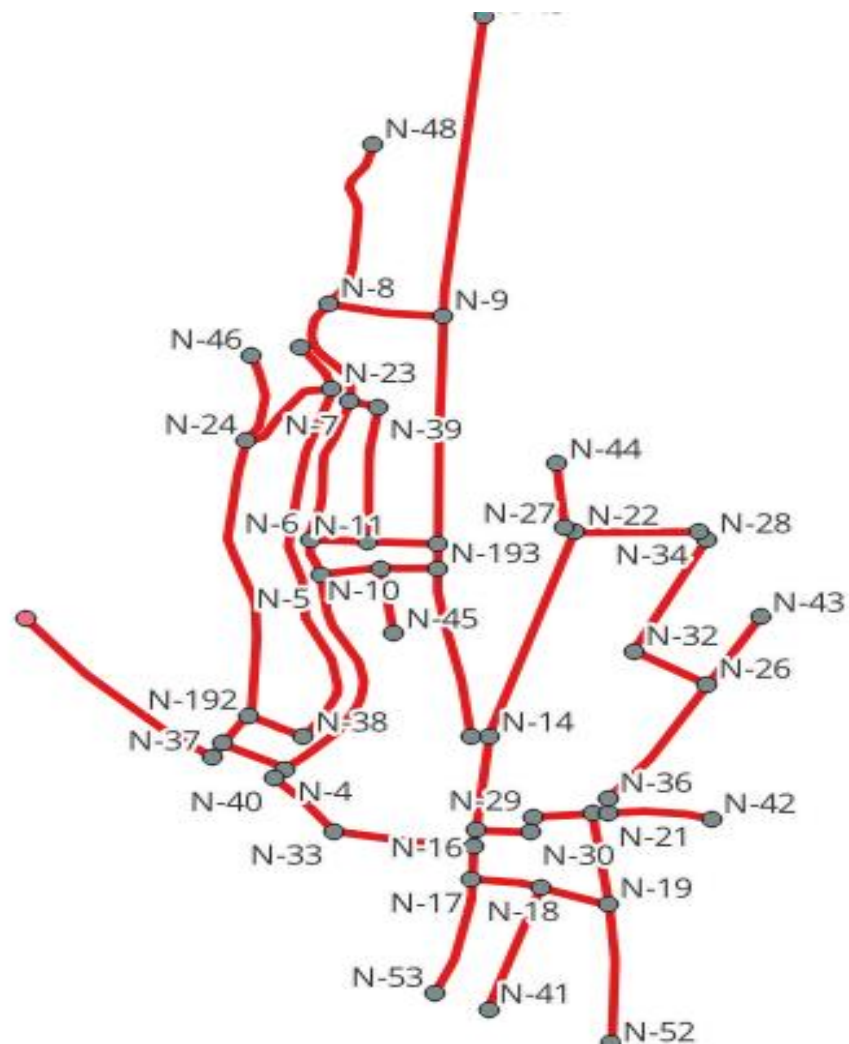
Los trazos y nodos del AutoCAD se exportó al software QGIS para luego realizar el ensamblado de tuberías con los nodos respectivamente a través de la creación de capas vectoriales, además, se realizó la digitalización de datos hidráulicos a través del complemento QWATER, así como la longitud, diámetro y rugosidad de la tubería.

El valor del coeficiente de rugosidad es según la fórmula Hazem-Williams, que para tuberías HDPE y PVC es de 150, por otro lado, el diámetro interior que utilizaremos será la que exista en el mercado y es 57 mm, además el valor de la longitud lo obtendré del mismo software QGIS ya que esta georreferenciado.

- Diámetro de la tubería = 57 mm
- Coeficiente de rugosidad = 150
- Longitud = del mismo software QGIS

La nomenclatura asignada a los nodos de la red de distribución en el software QGIS se presenta en la Figura 13, donde se detalla la interconexión de las tuberías con los respectivos nodos, garantizando la correcta configuración y operatividad del sistema.

Figura 13
Red de distribución con el software QGIS



Nota. Ensamblado de tuberías y nodos.

La asignación de la longitud, diámetro y rugosidad se presenta en la Tabla 26, el diámetro y la rugosidad son valores obtenidos de las F.T de la tubería PVC-U, y con respecto a la longitud, se obtuvo del mismo software Qgist,

Tabla 26

Parámetros físicos y mecánicos ingresados en el software QGIS

Nudo 1	Nudo 2	Longitud(m)	Diámetro(mm)	Rugosidad
N-20	N-21	5,76	57	150
N-7	N-8	55,09	57	150
N-19	N-52	67,65	57	150
N-30	N-29	7,69	57	150
N-10	N-193	22,07	57	150
N-17	N-18	27,016	57	150
N-10	N-45	32,19	57	150
N-18	N-19	27,85	57	150
N-21	N-36	6,91	57	150
N-29	N-20	23,40	57	150
N-18	N-41	62,03	57	150
N-20	N-19	44,14	57	150
N-16	N-15	7,30	57	150
N-15	N-30	20,99	57	150
N-31	N-14	7,18	57	150
N-4	N-40	6,36	57	150
N-25	N-4	27,25	57	150
N-37	N-25	7,64	57	150
N-25	N-192	16,94	57	150
N-40	N-33	34,85	57	150
N-9	N-49	146,00	57	150
N-14	N-22	104,83	57	150
N-28	N-32	60,96	57	150
N-12	N-9	5,76	57	150
N-14	N-15	55,09	57	150
N-1	N-37	67,65	57	150
N-33	N-16	7,69	57	150
N-38	N-23	22,07	57	150
N-26	N-32	27,02	57	150
N-17	N-53	32,19	57	150
N-11	N-12	27,85	57	150
N-36	N-26	6,91	57	150
N-26	N-43	23,40	57	150
N-8	N-9	62,03	57	150
N-6	N-11	44,14	57	150
N-39	N-11	7,30	57	150
N-16	N-17	20,99	57	150
N-21	N-42	7,18	57	150
N-27	N-44	6,36	57	150
N-6	N-7	27,25	57	150
N-5	N-10	7,64	57	150
N-193	N-31	16,94	57	150

Nota. La longitud se obtuvo del plano de trazo del software Qgist.

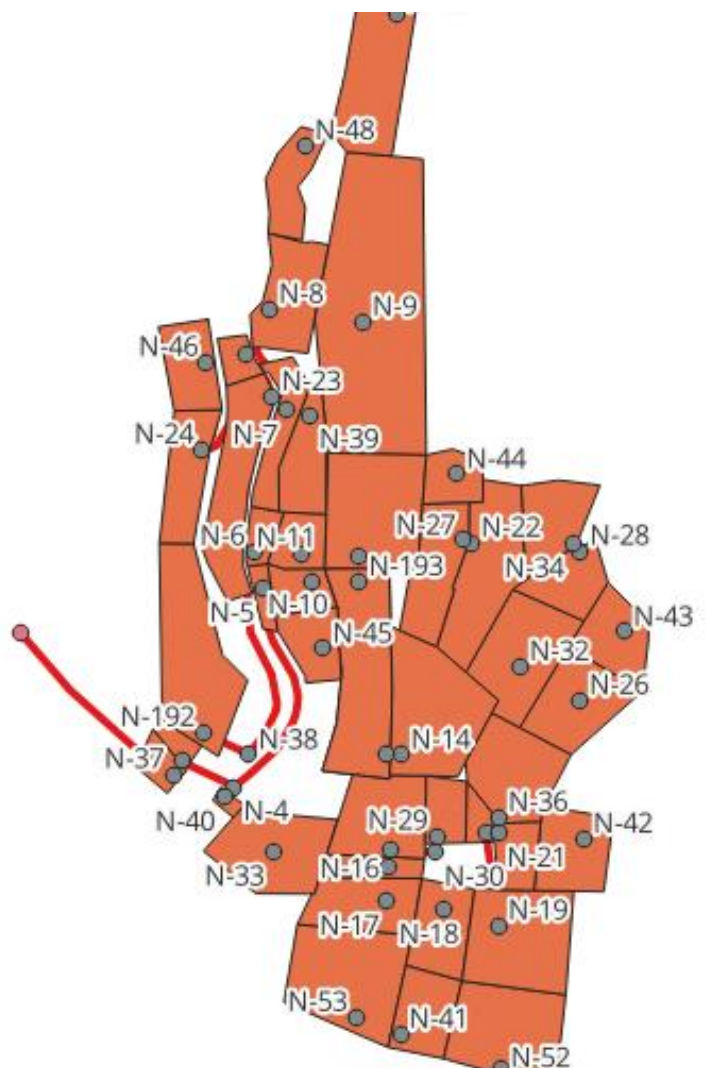
Existen diferentes métodos para calcular el gasto por cada nodo en las redes de distribución de agua potable, alguno de ellos es:

- Método de repartición longitudinal
- Método de repartición por áreas
- Método de repartición por densidades

La asignación de áreas por nodo en el software QGIS se presenta en la Figura 14, se indica el área alrededor de cada nodo, con el objetivo de obtener la demanda por cada nodo, si en el nodo alrededor no hay lotes o viviendas, no se considera esta área.

Figura 14

Método de Áreas en red de distribución con el software QGIS



Nota. Se considera toda el área habitada en cada nodo

Los resultados del área asignada en cada nodo en el software Qgist, se presenta en la Tabla 27, Indica el número de área en su respectivo N.º de nodo.

Tabla 27
Áreas en cada nodo con el Software QGIS

Nodo	Nº-Area	Área(m2)
9	16	6542,75
192	3	2584,92
192	20	2572,16
31	20	2572,16
193	32	2483,98
14	19	2441,12
12	22	2439,50
53	29	2227,90
19	28	2141,61
52	18	2098,36
49	43	2094,06
22	40	1873,65
32	7	1838,70
23	8	1819,77
33	37	1637,58
36	25	1544,21
15	38	1489,94
26	14	1410,96
8	44	1382,00
27	23	1273,50
17	23	1273,50
17	30	1257,93
42	4	1163,18
24	26	1163,58
18	42	1105,98
34	39	1073,26
43	27	1046,14
41	17	1020,24
39	5	964,07
46	41	908,72
28	15	868,21
48	13	856,51
7	21	792
45	31	649,43
44	36	628,14
21	11	622,10
11	34	590,18
29	12	577,56
10	24	480
16	1	358,70
37	10	350,57
6	6	331,72
47	35	269,56
20	9	256,22
5	2	223,70
25	2	99,50

Nota. Tabla de resultados de área por cada nodo.

Los resultados del área asignada en cada nodo se presentan en la Tabla 28, Indica las áreas de cada nodo exportados en el programa Excel para su respetiva suma.

Tabla 28
Áreas por cada nodo exportado a Excel

Nodo	Nº-Area	Área(m2)
37	1	358,7
25	2	223,7
192	3	2584,92
24	4	1163,18
46	5	964,07
47	6	331,72
23	7	1838,7
33	8	1819,77
5	9	256,22
6	10	350,57
11	11	622,1
10	12	577,56
7	13	856,51
8	14	1410,96
48	15	868,21
9	16	6542,75
39	17	1020,24
49	18	2098,36
12	19	2441,12
193	20	2572,16
31	20	2572,16
45	21	792
53	22	2439,5
17	23	1273,5
16	24	480
15	25	1544,21
18	26	1116,58
41	27	1046,14
52	28	2141,61
19	29	2227,9
42	30	1257,93
44	31	649,43
14	32	2483,98
40	33	99,5
29	34	590,18
20	35	269,56
21	36	628,14
36	37	1637,58
26	38	1489,94
43	39	1073,26
32	40	1873,65
28	41	908,72
34	42	1105,98
22	43	2094,06
27	44	1382
Suma total =		62079,03

Nota. El área se obtiene del software qgist exportado a Excel.

La aplicación de la ecuación del caudal unitario se presenta en la ecuación 23, indica que el caudal máximo horario dividido entre la sumatoria total de todas las áreas se obtiene el caudal por cada m², la cual es 0,00010793 (lt/s/m²)

$$Qu = \frac{6,7}{62079,03} \approx 0,00010793 \text{ (lt/s / m}^2\text{)} \quad (23)$$

Los resultados de las demandas por cada nodo se presentan en la Tabla 29, indica que al multiplicar el área de cada nodo por el caudal unitario se obtiene la demanda por cada nodo respectivamente, el nodo que tiene mayor demanda es el nodo 9, con una demanda de 0,71 l/s.

Tabla 29
Demanda por cada nodo

Nodo	Nº-Area	Area(m²)	Demanda (l/s)
37	1	358,7	0,04
25	2	223,7	0,02
192	3	2584,92	0,28
24	4	1163,18	0,13
46	5	964,07	0,1
47	6	331,72	0,04
23	7	1838,7	0,2
33	8	1819,77	0,2
5	9	256,22	0,03
6	10	350,57	0,04
11	11	622,1	0,07
10	12	577,56	0,06
7	13	856,51	0,09
8	14	1410,96	0,15
48	15	868,21	0,09
9	16	6542,75	0,71
39	17	1020,24	0,11
49	18	2098,36	0,23
12	19	2441,12	0,26
193	20	2572,16	0,28
31	20	2572,16	0,28
45	21	792	0,09
53	22	2439,5	0,26
17	23	1273,5	0,14
16	24	480	0,05
15	25	1544,21	0,17
18	26	1116,58	0,12
41	27	1046,14	0,11
52	28	2141,61	0,23
19	29	2227,9	0,24

Tabla 30 (Continuación)

Nodo	Nº-Area	Area(m²)	Demanda (l/s)
42	30	1257,93	0,14
44	31	649,43	0,07
14	32	2483,98	0,27
40	33	99,5	0,01
29	34	590,18	0,06
20	35	269,56	0,03
21	36	628,14	0,07
36	37	1637,58	0,18
26	38	1489,94	0,16
43	39	1073,26	0,12
32	40	1873,65	0,2
28	41	908,72	0,1
34	42	1105,98	0,12
22	43	2094,06	0,23
27	44	1382	0,15

Nota. Los resultados se exportan nuevamente al software QGIS.

Los resultados de las demandas por cada nodo, se presenta en la Tabla 30, indica las elevaciones de cada nodo obtenidos por las curvas de nivel, además, las demandas se importaron de excel en el software Qgist para su respectico modelado.

Tabla 31

Demanda importada a QGIS

Nº	Nodo	Elevación	Demanda (l/s)
1	N-192	1409,43	0,28
2	N-4	1391,869	Null
3	N-5	1392,180	0,03
4	N-6	1392,230	0,04
5	N-7	1391,759	0,09
6	N-8	1392,539	0,15
7	N-9	1375,579	0,71
8	N-10	1382,119	0,06
9	N-11	1384,190	0,07
10	N-12	1373,420	0,26
11	N-193	1373,559	0,28
12	N-14	1376,829	0,27
13	N-15	1377,059	0,17
14	N-16	1377,019	0,05
15	N-17	1376,809	0,14
16	N-18	1374,50	0,12
17	N-19	1373,559	0,24
18	N-20	1374,670	0,03
19	N-21	1373,970	0,07
20	N-22	1365,220	0,23
21	N-23	1396,279	0,2
22	N-24	1405,779	0,13

Tabla 32(Continuación)

Nº	Nodo	Elevación	Demanda (l/s)
23	N-25	1408,440	0,02
24	N-26	1362,519	0,16
25	N-28	1365,549	0,15
26	N-29	1360,460	0,1
27	N-30	1375,630	0,06
28	N-31	1375,529	NULL
29	N-32	1377,650	0,28
30	N-33	1363,490	0,2
31	N-34	1381,460	0,2
32	N-35	1360,619	0,12
33	N-36	1373,460	0,18
34	N-37	1408,420	0,04
35	N-38	1396,299	NULL
36	N-39	1387,730	0,11
37	N-40	1390,559	0,01
38	N-41	1373,690	0,11
39	N-42	1372,000	0,14
40	N-43	1378,000	0,12
41	N-44	1366,730	0,07
42	N-45	1384,750	0,09

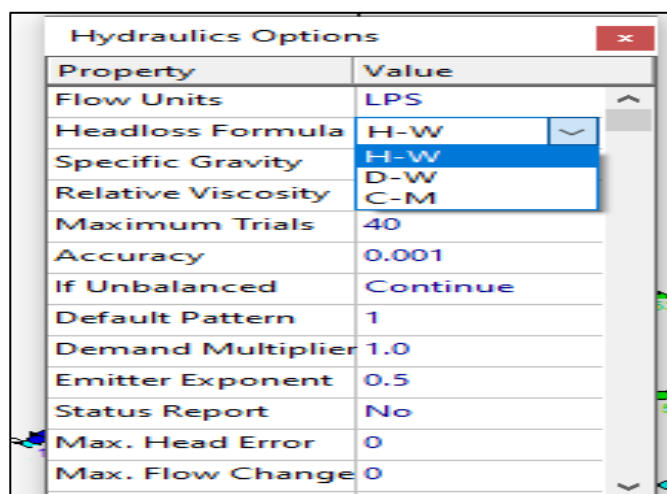
Nota. Demanda por cada nodo en el software QGIS.

3.6.1.19.2. Modelamiento en software EPANET

La configuración del software EPANET se presenta en la Figura 15, se programa indicando la fórmula de Hazen-Williams y unidad de Litros Por Segundo.

Figura 15

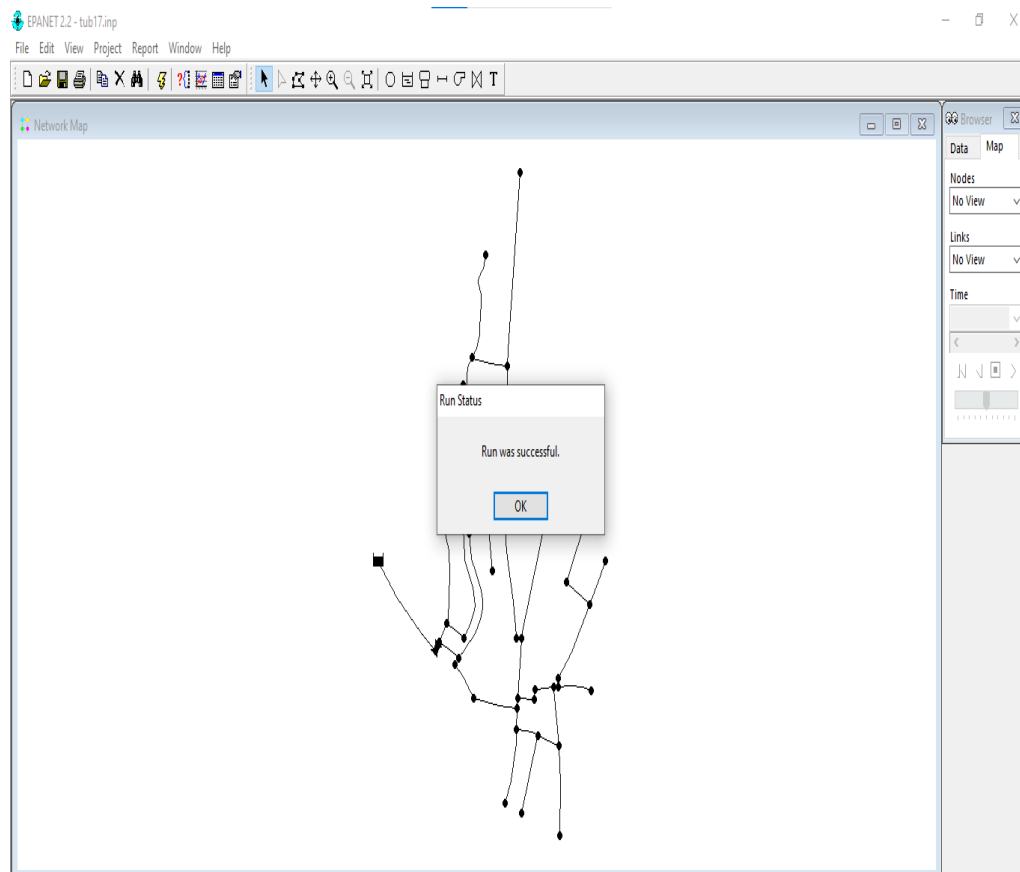
Configuración de parámetros en el software EPANET



Nota. Formula de Hazen-Williams.

El modelado en el software Epanet, se presenta en la Figura 16, las redes de distribución modeladas en el Software Qgist, se exporto al Epanet para obtener sus respectivos resultados.

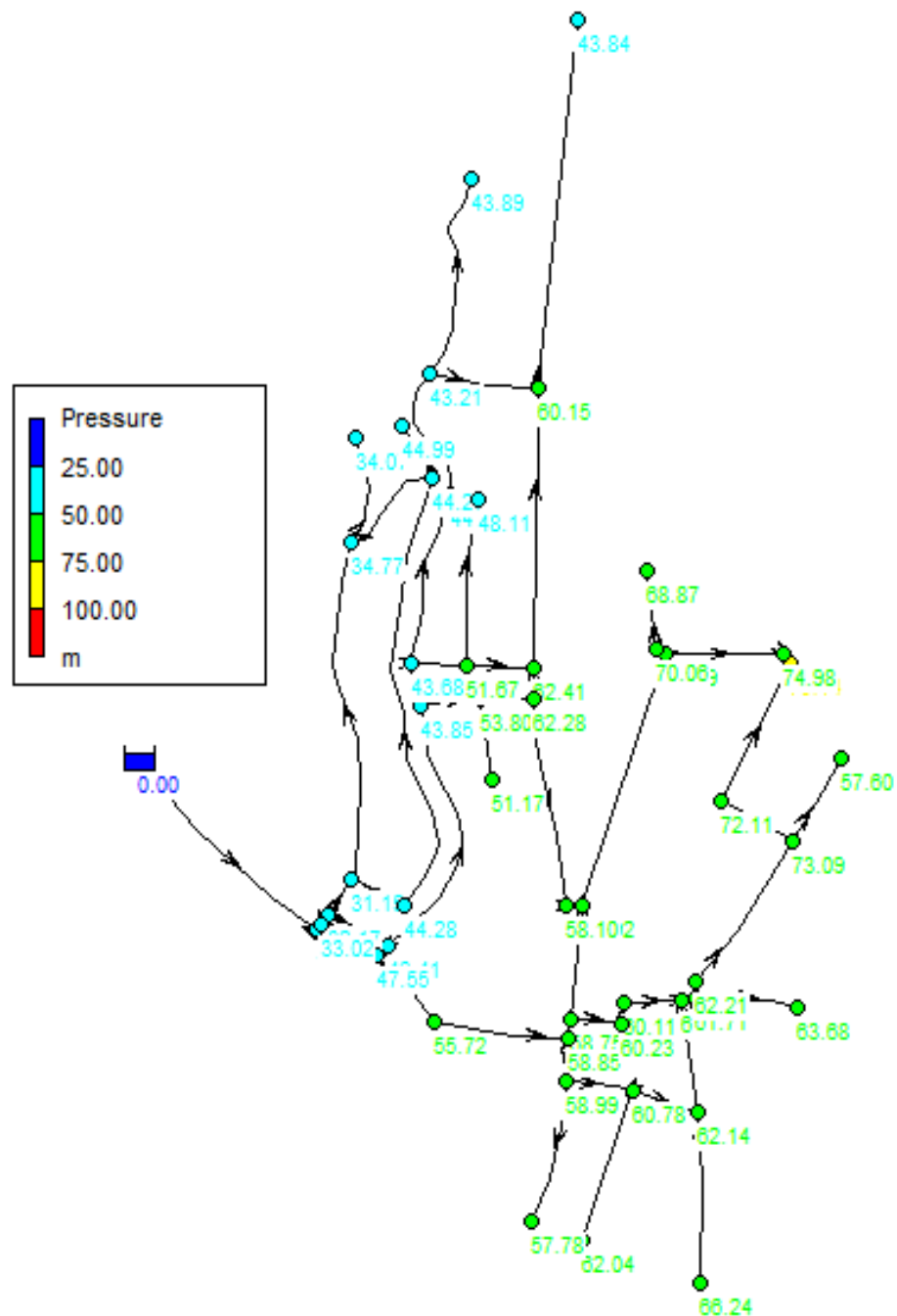
Figura 16
Modelado del software EPANET



Nota. Trazo y nodo de la red de distribución de Ilabaya

El resultado del modelado de las redes de distribución en el software EPANET se presenta en la Figura 17, se indica las presiones altas y bajas diferenciándolos con los colores de la leyenda (los colores verdes indican presiones que sobrepasan lo permitido según norma OS.50), teniendo como resultado presiones que llegan hasta 74,98mca. y una presión mínima de 31,13mca.

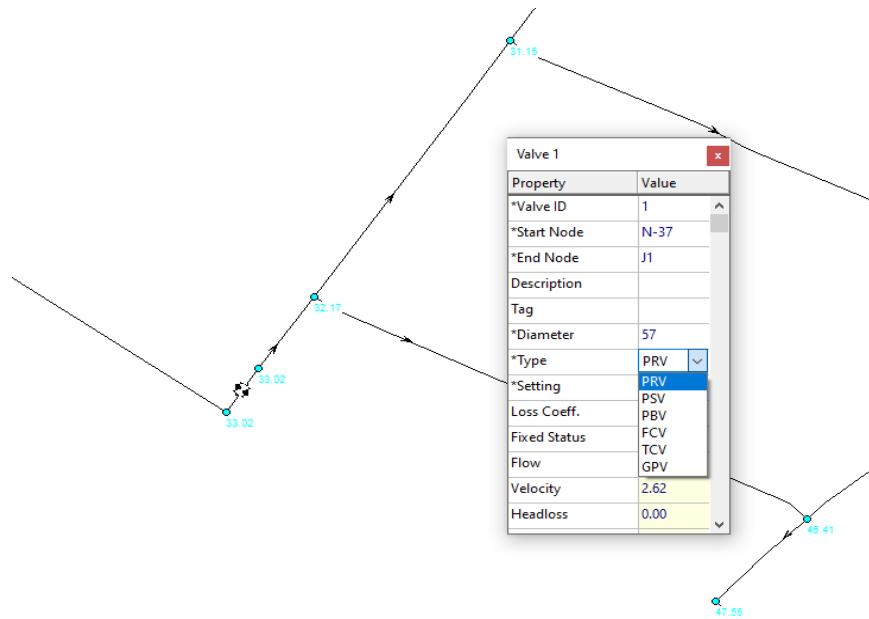
Figura 17
Modelo Hidráulico con tuberías PVC-U



Nota. Resultados de las presiones

La inclusión de una cámara reductora de Presión (PRV) en la tubería se presenta en la Figura 18, se indica la configuración de la PRV y se ubica aguas abajo del primer nodo de la red para reducir las presiones.

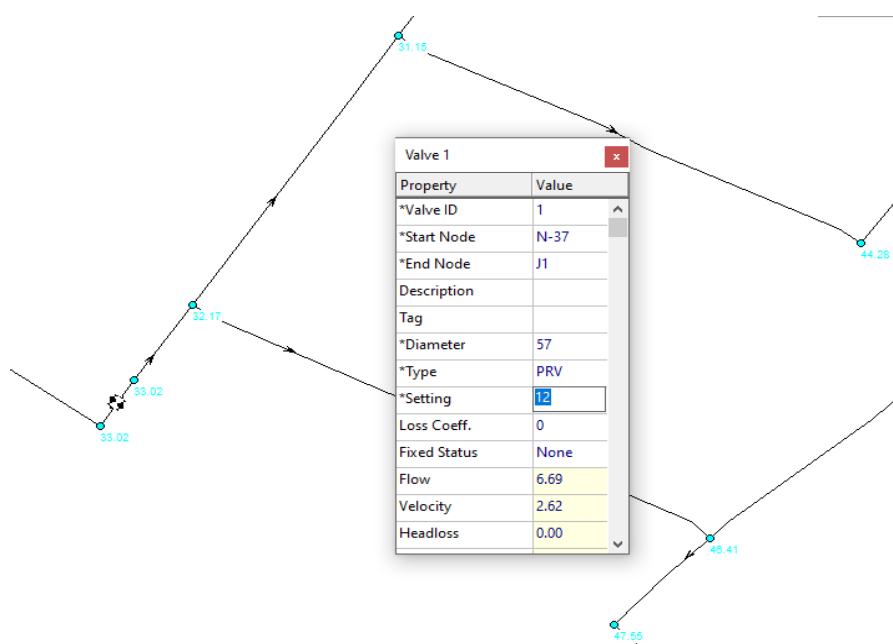
Figura 18
 Insertar Cámara Reguladora de presión



Nota. configuración de PRV (Pressure Reducing Valve).

La configuración de la Cámara reductora de Presión (PRV) en la tubería se presenta en la Figura 19, se indica la consigna para la PRV y asigna un valor menor al de la presión aguas arriba con el fin de regular las presiones aguas abajo de toda la red.

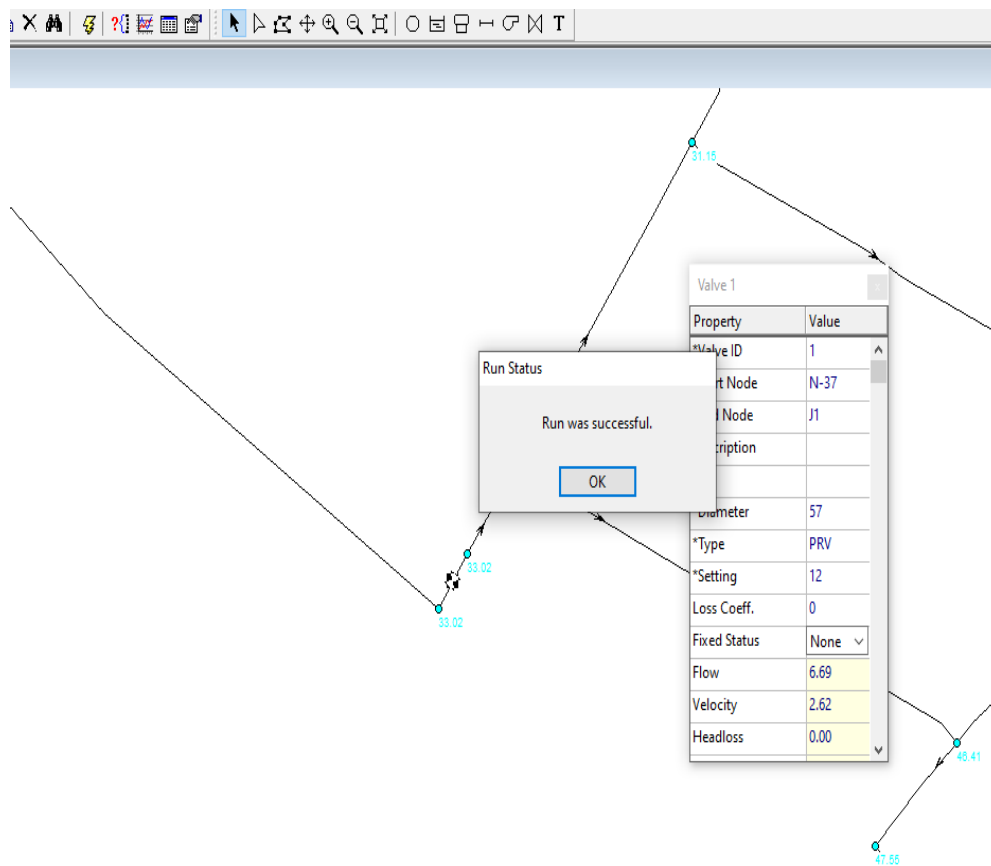
Figura 19
 Propiedades de la Cámara reguladora de presión



Nota. Regulación de la cámara reguladora de presión.

El estado de la cámara reguladora de presión (PRV) se presenta en la Figura 20, este cambio se realiza indicando que no hay ninguna restricción, ya que al dejarlo de esta manera nuestra PRV estaría trabajando correctamente en función a la consigna que se le asigna.

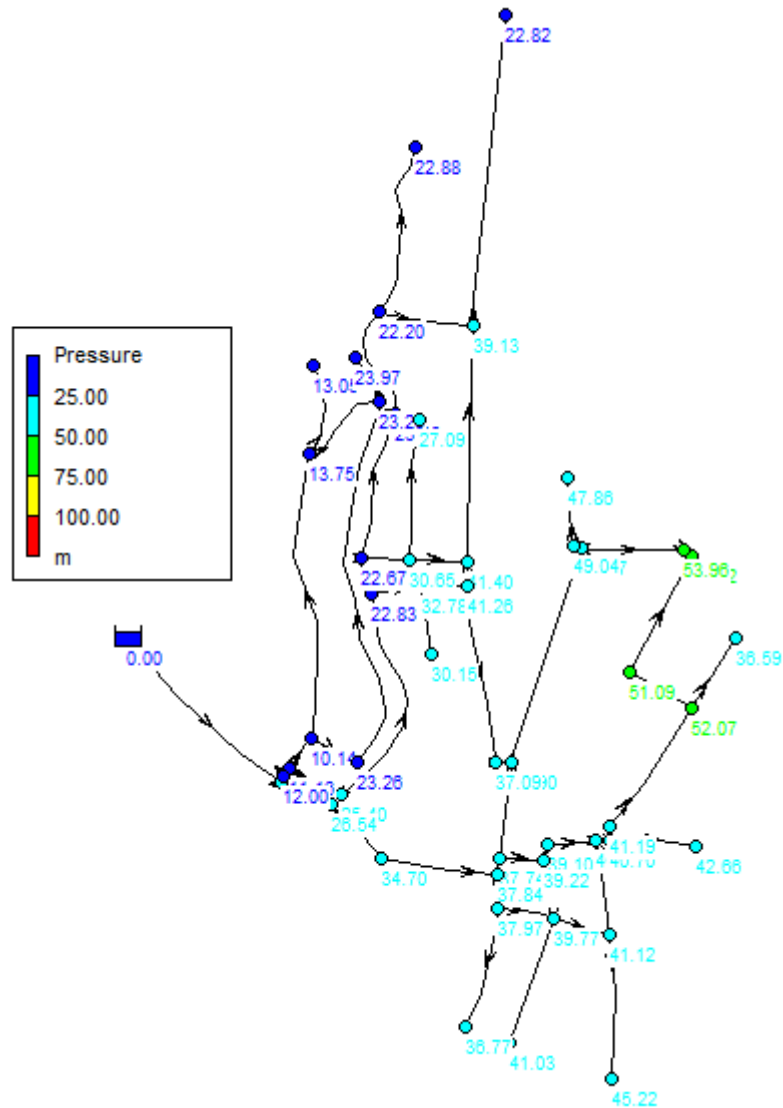
Figura 20
Procesamiento de datos con cámara reguladora de presión



Nota. Configuración finalizada en Cámara reguladora de presión.

El resultado del modelado con la válvula reductora de Presión (PRV) se presenta en la Figura 21, las presiones en los nodos se han reducido, los nodos de color celeste y azul alcanzan un valor de 50mca estando en el rango permitido, son presiones permitidas según norma OS.50.

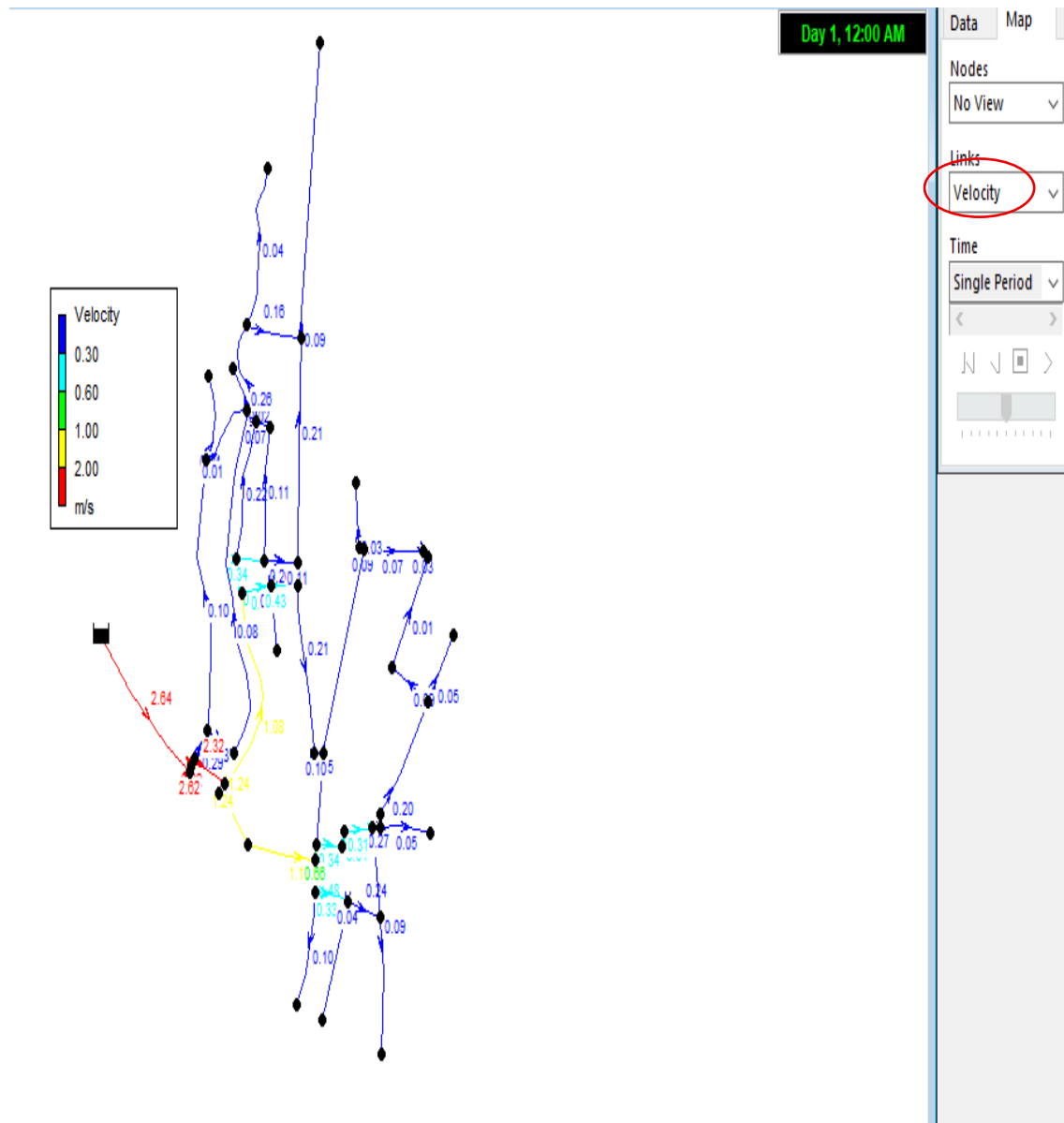
Figura 21
Modelo hidráulico de válvula reductora de presión (VRP)



Nota. Se muestran nuevas presiones en el modelamiento.

El resultado del modelado con respecto a las velocidades se presenta en la Figura 22, las velocidades se diferencian por la leyenda de colores que se indican, así mismo existe velocidades que llegan hasta 1,24 m/s y velocidades mínimas de hasta 0,01 m/s.

Figura 22
Modelo de velocidades en tuberías PVC-U



Nota. Se muestra las velocidades en las tuberías

3.6.1.19.3. Diseño hidráulico con tuberías HDPE

Para el modelado en el EPANET con tuberías HDPE, solo cambiamos la opción del diámetro ya que fórmula Hazem-Williams para tuberías HDPE y PVC es de 150, por otro lado, el diámetro interior que utilizaremos será la que exista en el mercado y es 55,4 mm, además el valor de la longitud lo obtendré del mismo software QGIS ya que esta georreferenciado.

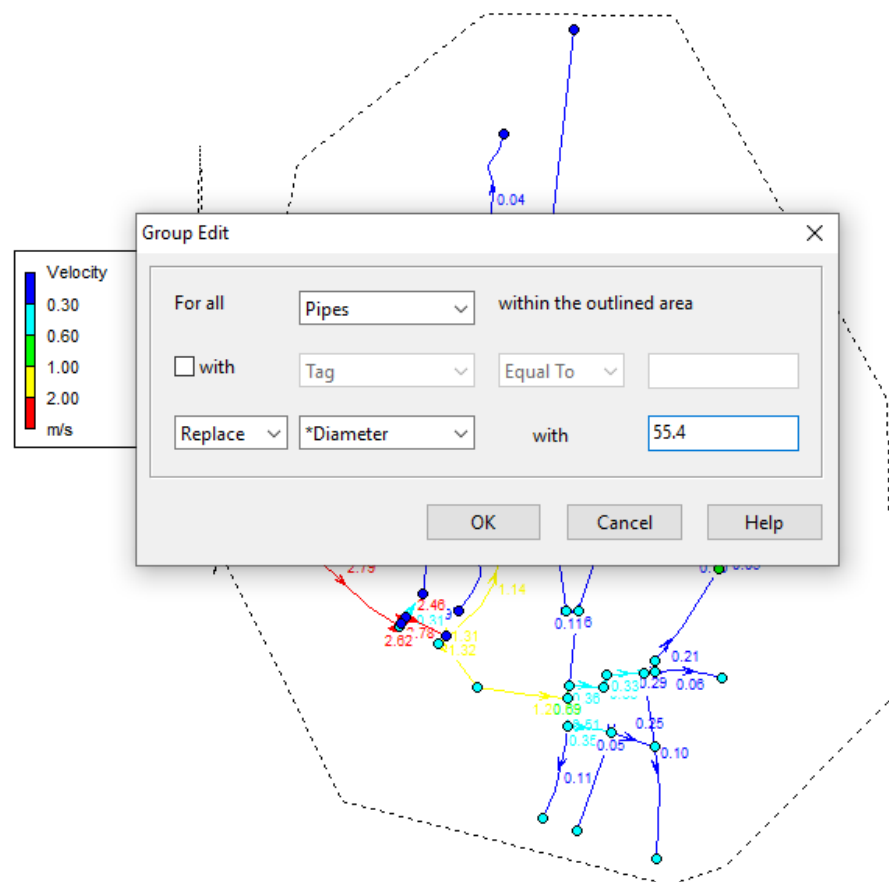
- Diámetro de la tubería = 55.4 mm
- Coeficiente de rugosidad = 150

- Longitud = del mismo software QGIST

El procedimiento para realizar el modelamiento con tuberías HDPE se presenta en la Figura 23, es similar al de la tubería PVC-U, solo cambiamos el diámetro de 57mm a 55,4mm, y modelamos.

Figura 23

Configuración del cambio de diámetro en el EPANET

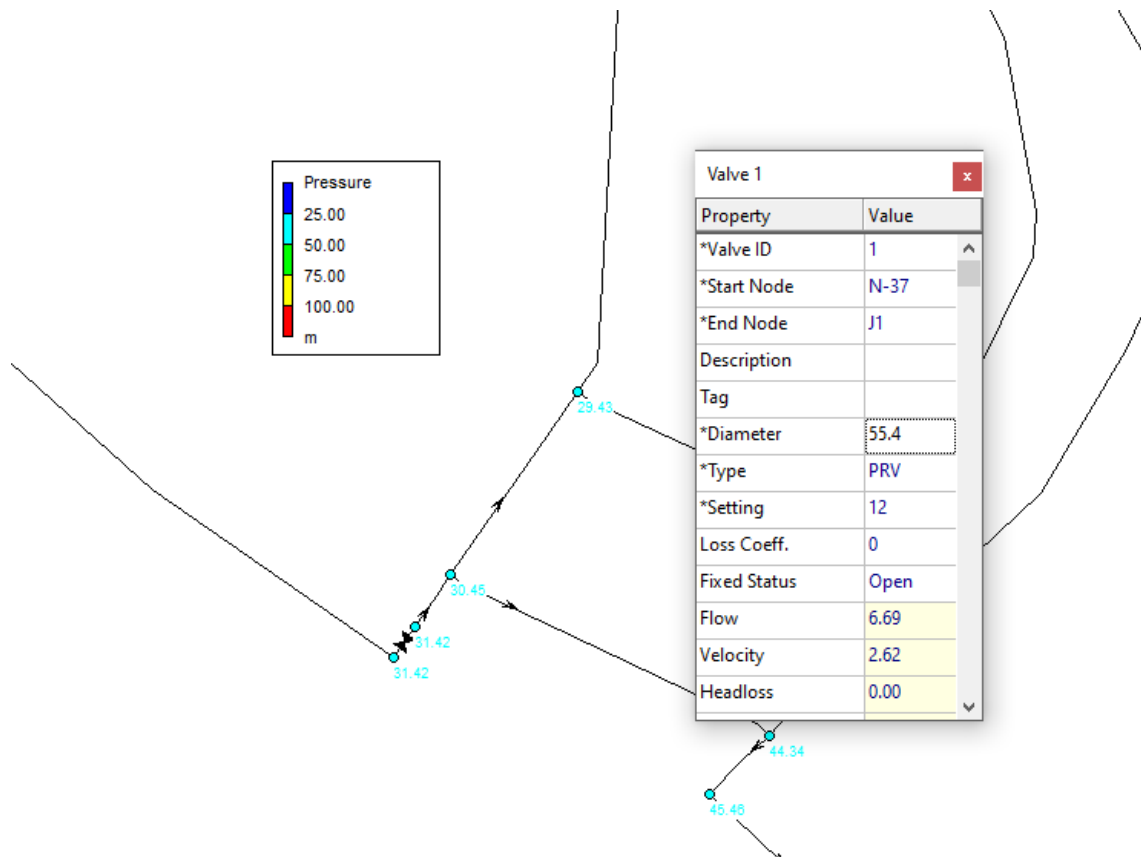


Nota. Diámetro interior de la tubería HDPE 55,4mm.

El resultado del modelamiento se presenta en la Figura 24, indica los valores mediante una leyenda de colores (que tienen intervalos de valores de presión de 0 a 100mca) y valores de presiones, que alcanzan una presión máxima de 72,51mca y una presión mínima de 29,43mca.

Figura 25

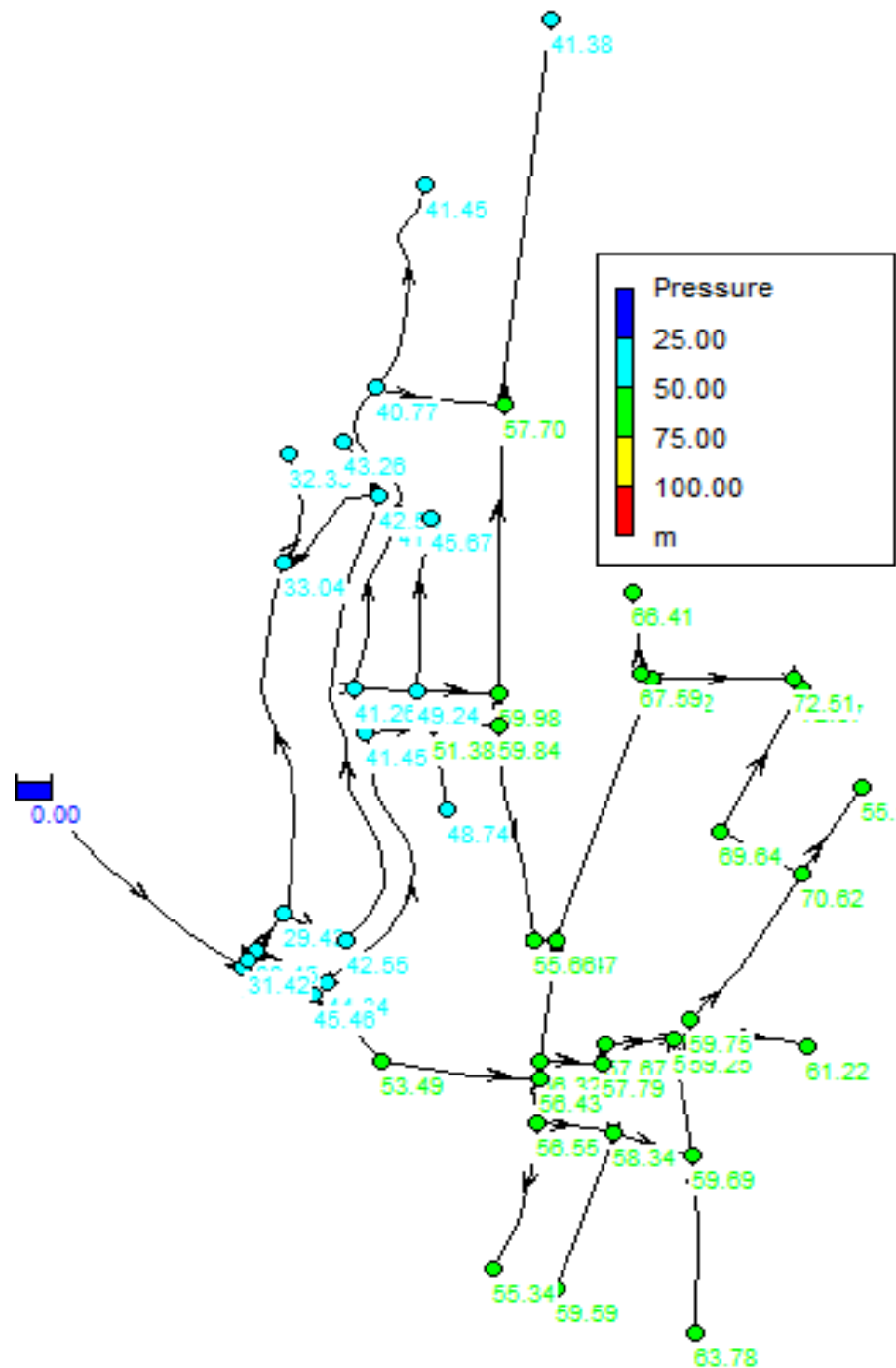
Ubicación y configuración de la cámara reguladora de presión



Nota. Cámara reguladora de presión en el punto más alto de la red.

Los resultados del modelamiento con Cámara reguladora de presión se presentan en la Figura 26, las presiones en los nodos se han reducido, los nodos de color celeste y azul alcanzan un valor de 50mca estando en el rango permitido, son presiones permitidas según norma OS.50.

Figura 30
Modelo Hidráulico con Tuberías HDPE



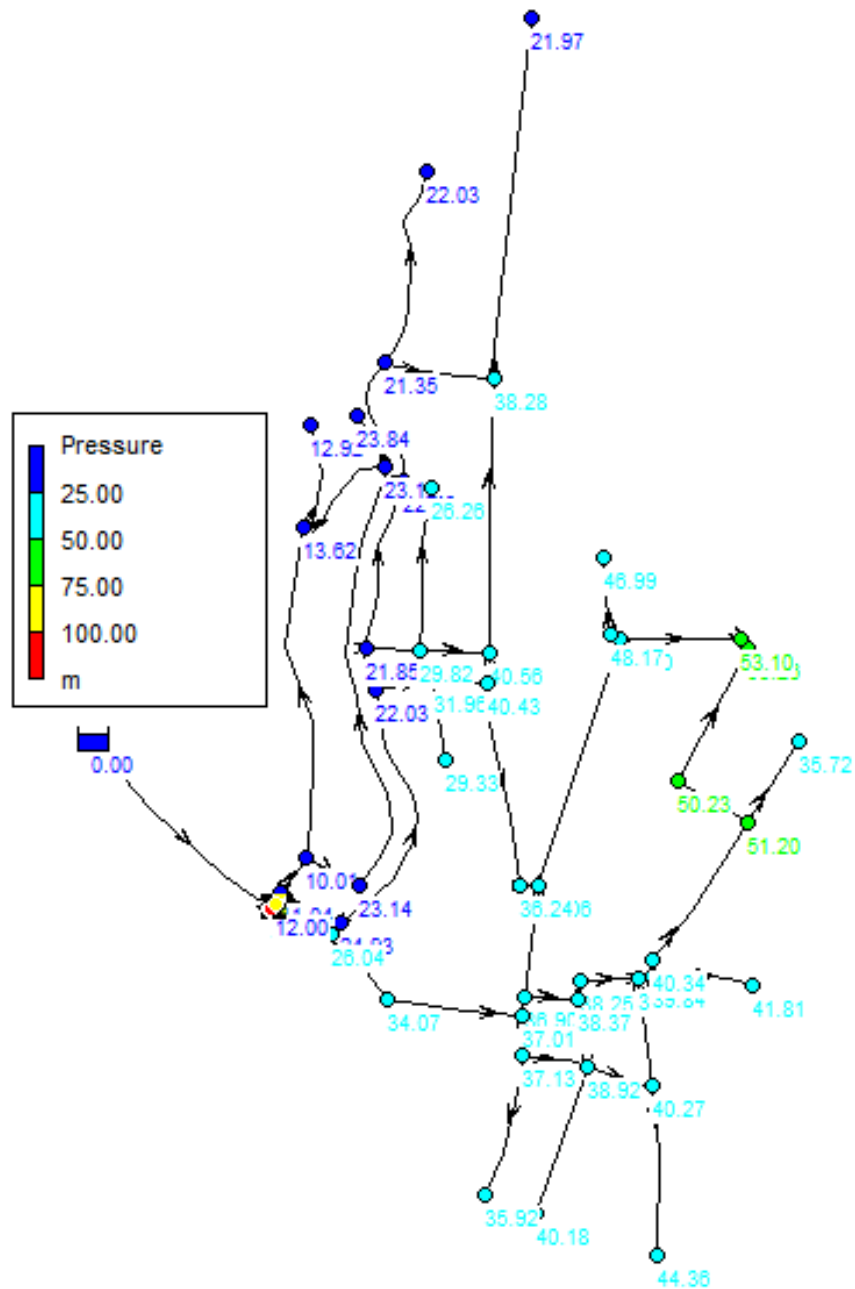
Nota. Las presiones exceden lo máximo permitido (50mca)

El resultado del modelado con respecto a las velocidades se presenta en la Figura 31, las velocidades se diferencian por la leyenda de colores que se indican, así mismo existe velocidades que llegan hasta 1,32 m/s y velocidades mínimas de hasta 0,01 m/s.

Los resultados del modelamiento con Cámara reguladora de presión para tubería HDPE, se presentan en la Figura 32, indica que las presiones en los nodos se han reducido, los nodos de color celeste y azul alcanzan un valor de 50mca estando en el rango permitido, son presiones permitidas según norma OS.50.

Figura 32

Válvula reductora de presión (VRP) en tubería HDPE



Nota. Las presiones se encuentran dentro del rango permitido

Tabla 33*Tabla de resultados de Presiones en tuberías PVC-U*

Nudo	Demanda(l/s)	Elevación(msnm)	Presión (mca)
N-192	0,28	1419,57	10,14
N-4	Null	1415,01	25,40
N-5	0,03	1414,90	22,83
N-6	0,04	1414,82	22,67
N-7	0,09	1414,74	23,06
N-8	0,15	1414,71	22,20
N-9	0,71	1414,71	39,13
N-10	0,06	1414,90	32,78
N-11	0,07	1414,84	30,65
N-12	0,26	1414,82	41,40
N-193	0,28	1414,82	41,26
N-14	0,27	1414,73	37,90
N-15	0,17	1414,80	37,74
N-16	0,05	1414,86	37,84
N-17	0,14	1414,78	37,97
N-18	0,12	1414,72	39,77
N-19	0,24	1414,68	41,12
N-20	0,03	1414,68	40,01
N-21	0,07	1414,67	40,70
N-22	0,23	1414,59	49,37
N-23	0,20	1419,53	23,25
N-24	0,13	1419,53	13,75
N-25	0,02	1419,53	11,16
N-26	0,16	1419,60	52,07
N-27	0,15	1414,59	49,04
N-28	0,10	1414,58	54,12
N-29	0,06	1414,73	39,10
N-30	0,00	1414,75	39,22
N-31	0,28	1414,74	37,09
N-32	0,20	1414,58	51,09
N-33	0,20	1416,16	34,70
N-34	0,12	1414,58	53,96
N-36	0,18	1441,44	41,19
N-37	0,00	1419,56	33,02
N-38	0,11	1414,82	23,26
N-39	0,01	1417,10	27,09
N-40	0,11	1414,72	26,54
N-41	0,14	1414,66	41,03
N-42	0,12	1414,59	42,66
N-43	0,07	1414,59	36,59
N-44	0,09	1414,59	47,86
N-45	0,11	1414,90	30,15
N-46	0,01	1419,53	13,05
N-47	0,11	1419,53	23,97
N-48	0,14	1414,74	22,88
N-49	0,12	1414,68	22,82
N-52	0,07	1414,67	45,22
N-53	0,26	1414,77	36,77
J-01	0,00	1420,42	12,00
Res-E-1	-6,73	1452,19	0,00

Nota. Las presiones cumplen los valores mínimos y máximos.

Los resultados de las presiones en tuberías HDPE por cada nodo, se presenta en la Tabla 32, indica las presiones, elevaciones y demanda de cada nodo, teniendo así una presión mínima de 10,01mca y una presión máxima de 53,26mca.

Tabla 34*Tabla de resultados de Presiones en tuberías HPDE*

Nudo	Demanda(l/s)	Altura(msnm)	Presión (mca)
N-192	0,28	1419,57	10,01
N-4	0,00	1415,01	24,93
N-5	0,03	1414,90	22,03
N-6	0,04	1414,82	21,85
N-7	0,09	1414,74	22,23
N-8	0,15	1414,71	21,35
N-9	0,71	1414,71	38,28
N-10	0,06	1414,90	31,96
N-11	0,07	1414,84	29,82
N-12	0,26	1414,82	40,56
N-193	0,28	1414,82	40,43
N-14	0,27	1414,73	37,26
N-15	0,17	1414,80	36,90
N-16	0,05	1414,86	37,01
N-17	0,14	1414,78	37,13
N-18	0,12	1414,72	38,92
N-19	0,24	1414,68	40,27
N-20	0,03	1414,68	39,16
N-21	0,07	1414,67	39,84
N-22	0,23	1414,59	48,85
N-23	0,20	1419,53	23,12
N-24	0,13	1419,53	13,62
N-25	0,02	1419,53	11,04
N-26	0,16	1419,60	51,20
N-27	0,15	1414,59	48,17
N-28	0,10	1414,58	53,26
N-29	0,06	1414,73	38,25
N-30	0,00	1414,75	38,37
N-31	0,28	1414,74	36,24
N-32	0,20	1414,58	50,23
N-33	0,20	1416,16	34,07
N-34	0,12	1414,58	53,10
N-36	0,18	1441,44	40,34
N-37	0,00	1419,56	31,42
N-38	0,11	1414,82	23,14
N-39	0,01	1417,10	26,26
N-40	0,11	1414,72	26,04
N-41	0,14	1414,66	40,18
N-42	0,12	1414,59	41,81
N-43	0,07	1414,59	35,72
N-44	0,09	1414,59	46,99
N-45	0,11	1414,90	29,33
N-46	0,01	1419,53	12,92
N-47	0,11	1419,53	23,84
N-48	0,14	1414,74	22,03
N-49	0,12	1414,68	21,97
N-52	0,07	1414,67	44,36
N-53	0,09	1414,77	35,92
J-01	0,00	1420,42	12,00
Res-E-1	-6,73	1452,19	0,00

Nota. Las presiones cumplen los valores mínimos y máximos.

En tuberías PVC-U existe presiones de 10,14mca hasta 54,12mca, sin embargo, en tuberías HDPE existe nodos con presiones de 10,01mca hasta 53, 26mca, La norma OS.50, indica que las presiones mínimas son de 10mca y las presiones máximas son de hasta 50mca. En el diseño se ha optado por una tubería de PVC-U de clase PN 10

y tubería HDPE de clase PN 12,5, considerando como ejemplo la tubería clase 10, la cual tiene una capacidad máxima de soportar hasta 145 psi que equivale a 101mca, es importante destacar que tanto el modelo hidráulico como los accesorios complementarios deben diseñarse considerando únicamente el 75% de la presión máxima admisible por la tubería. Esta práctica se realiza con el fin de garantizar un margen de seguridad adecuado que prevenga fallos estructurales o desgaste prematuro debido a presiones excesivas, entonces la tubería podría soportar hasta 75mca, por lo tanto, las presiones mínimas y máximas en el modelado con tuberías PVC-U y HDPE están dentro del rango establecido.

- La velocidad máxima del fluido en la tubería-146 es de 2,64m/s para tubería PVC-U,
- La velocidad máxima del fluido en la tubería-146 es de 2,79m/s para tubería HDPE
- La velocidad mínima del fluido en la tubería Tubería-114 es de 0,0117m/s para tubería PVC-U,
- La velocidad mínima del fluido en la tubería-114 es de 0,0124m/s para tubería HDPE

Se puede mencionar que la tubería PVC-U presentan mejores presiones con respecto a las tuberías HDPE. Por otro lado, la tubería HDPE presenta mayores velocidades con respecto a las tuberías de PVC-U.

3.6.2.2. Análisis económico

En el siguiente análisis se compara la economía del suministro e instalación de tuberías PVC-U y HDPE realizando un análisis de precios unitarios (ver anexo 3 y 4) teniendo referencia de cotizaciones de distintas empresas (ver anexo 2). Además, se realiza el metrado correspondiente para la presente investigación, para así obtener un presupuesto y posteriormente realizar un análisis comparativo económico

El presupuesto para la ejecución de las redes de distribución en el distrito de Ilabaya con tuberías PVC-U y HDPE, se presenta en la Tabla 33, indica las partidas, metrados (para toda la red) y los precios parciales y totales de cada partida.

Tabla 35

Presupuesto de redes de distribución en el distrito de Ilabaya

Presupuesto de Redes de Distribución en el Distrito de Ilabaya					
Descripción	Und	Cantidad (MI)	Precio S/.	Sub Total S/.	Total S/.
HDPE					98454,37
Suministro de tubería HDPE NTP-ISO 4427, PN-10, SDR 17, DN 63 mm	m	2493,8	6,82	17007,72	
Instalación de tubería HDPE NTP-ISO 4427, PN-10, SDR 17, DN 63 mm	m	2493,8	28,3	70574,54	
Sum. e Inst. de TEE HDPE 63 MM ISO 4427	und	24	82,66	1983,84	
Sum. e Inst. de CODO PVC-U 63mmX45° ISO 4427	und	5	132,9	664,5	
Sum. e Inst. de CODO HDPE 63mmX90° ISO 4427	und	9	136,6	1229,4	
Sum. e Inst. de UNION HDPE 63mmX90° ISO 4427	und	28	101,12	2831,36	
Sum. e Inst. de TAPON HDPE 63mm ISO 4427	und	11	133,01	1463,11	
Concreto F'C =140 KG/CM2 para anclaje de accesorios	und	49	55,1	2699,9	
PVC					69591,82
Sum. e Inst. de TUB. PVC-U/AGUA PN-10 ISO 1452 DN 63 MM	m	2493,8	25,62	63891,16	
Sum. e Inst. de TEE PVC-U ISO 4427 DN 63 MM	und	24	67,49	1619,76	
Sum. e Inst. de CODO PVC-U 63mmX45° ISO 4427	und	5	55,81	279,05	
Sum. e Inst. de CODO PVC-U 63mmX90° ISO 4427	und	9	54,96	494,64	
Sum. e Inst. de TAPON PVC-U 63mmX ISO 4427	und	11	55,21	607,31	
Concreto F'C =140 KG/CM2 para anclaje de accesorios	und	49	55,1	2699,9	

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Presiones y velocidades de tuberías HDPE y PVC-U

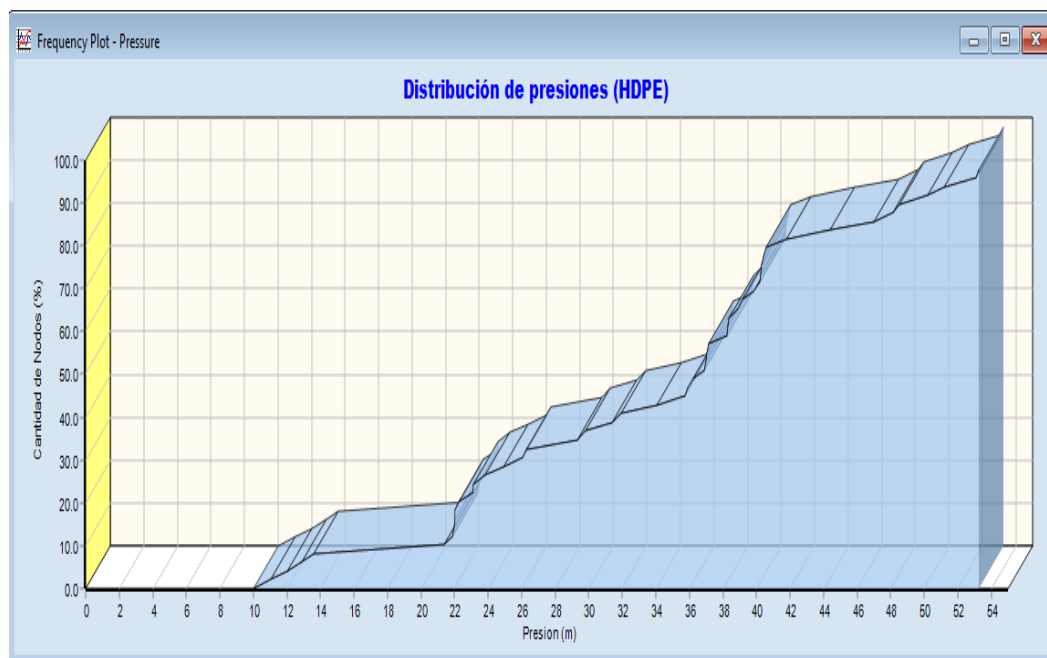
4.1.1. Presiones y Velocidades en Tuberías HDPE

La presión máxima del fluido en el punto más bajo es de 53,26 mca y la presión mínima del fluido en el punto más alto es de 10,01 mca para tuberías de HDPE. Por lo tanto, se verifica que los valores se encuentran dentro del rango establecido según la Norma Técnica Peruana OS.050.

El resultado de la cantidad de nodos (%) respecto al valor de las presiones mínimas y máximas, se presenta en la Figura 34, el 0% de los nodos tiene una presión ≤ 10 mca (ningún nodo es menor a 10mca), asimismo el 92% de los nodos tiene una presión ≤ 50 mca, entonces el 8% de los nodos tiene una presión > 50 mca.

Figura 34

Gráfica de cantidades de nodos vs presiones en tuberías HPDE

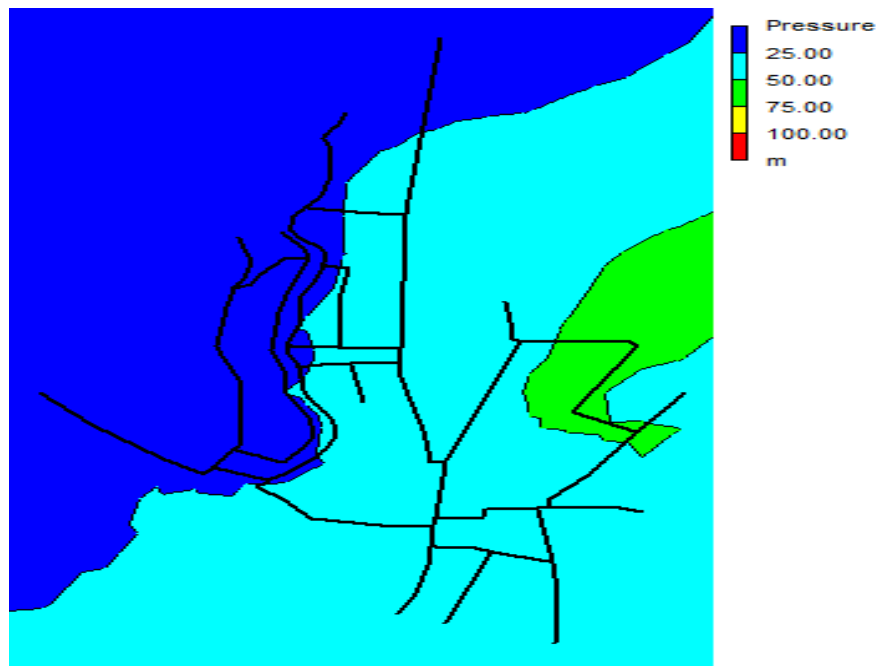


Nota. La presión máxima es de 53,26 mca.

El resultado de las presiones en nuestro plano de trazo se presenta en la Figura 35, el color celeste de la leyenda, indica que las presiones oscilan entre 25mca a 50mca, asimismo existe un pequeño sector donde las presiones superan los 50mca.

Figura 35

Trazo de la red – Presiones en tubería HDPE



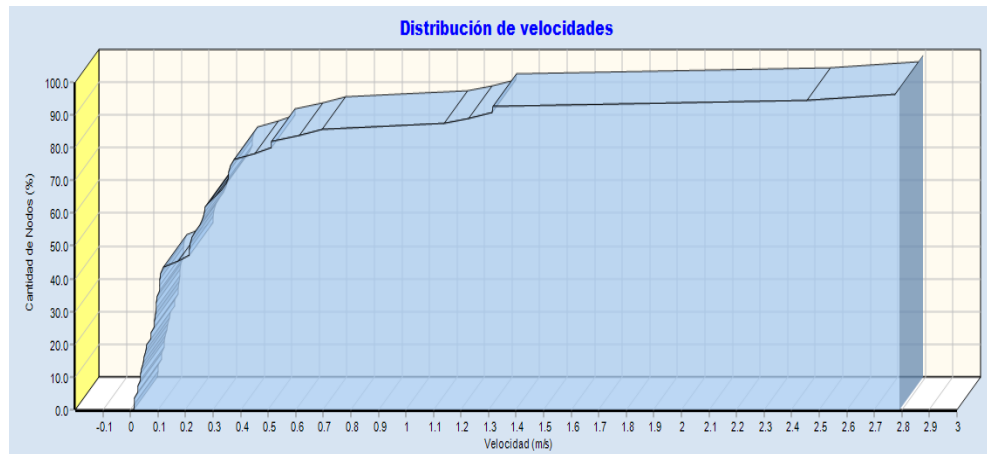
Nota. Los colores representan los sectores según los valores de las presiones

La velocidad máxima del fluido en la tubería-146 es de 2,79 m/s y la velocidad mínima del fluido en la tubería-114 es de 0,0124 m/s para tubería HDPE, en algunos nodos se cumple la velocidad máxima, sin embargo, en otros no se encuentra dentro del rango mínimo establecido en la Norma Técnica Peruana OS.50, debido al bajo caudal que presenta el distrito de Ilabaya.

El resultado de la cantidad de tuberías (%) respecto al valor de las velocidades mínimas y máximas, se presenta en la Figura 36, el 91% de los nodos tiene una velocidad $\leq 0.6\text{m/s}$, asimismo el 100% de los nodos tiene una presión $\leq 2,79\text{mca}$, entonces, no existe tuberías con velocidades que superan la velocidad máxima de 3m/s

Figura 36

Gráfica de cantidad de nodos vs velocidades en tuberías HDPE



Nota. La velocidad máxima es de 2.79m/s.

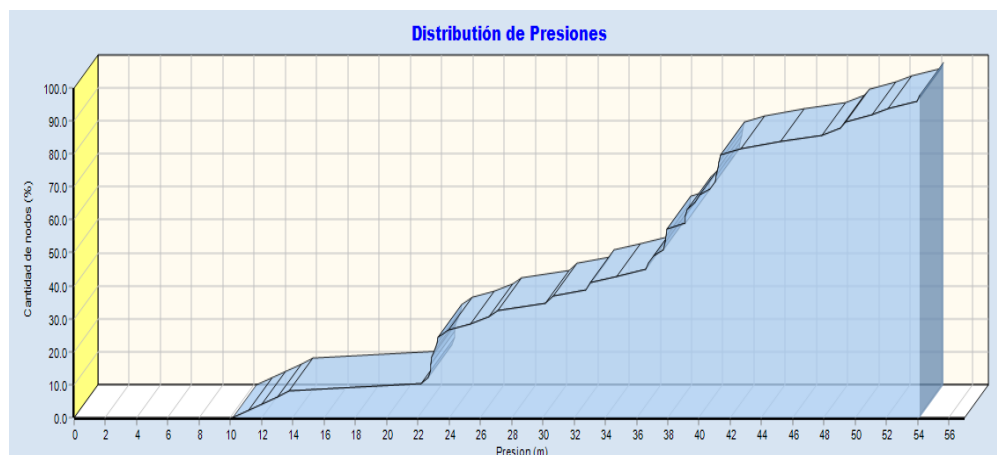
4.1.2. Presiones y Velocidades en Tuberías PVC-U

La presión máxima del fluido en el punto más bajo es de 54,12 mca y la presión mínima del fluido en el punto más alto es de 10,14 mca para tuberías de PVC-U, Por lo tanto, se verifica que los valores se encuentran dentro del rango establecido según la Norma Técnica Peruana OS.050.

Asimismo, el resultado de la cantidad de nodos (%) respecto al valor de las presiones mínimas y máximas, se presenta en la Figura 37, el 0% de los nodos tiene una presión ≤ 10 mca (ningún nodo es menor a 10mca), asimismo el 90% de los nodos tiene una presión ≤ 50 mca, entonces el 10% de los nodos tiene una presión > 50 mca.

Figura 37

Gráfica de cantidad de nodos vs presiones en tuberías PVC-U

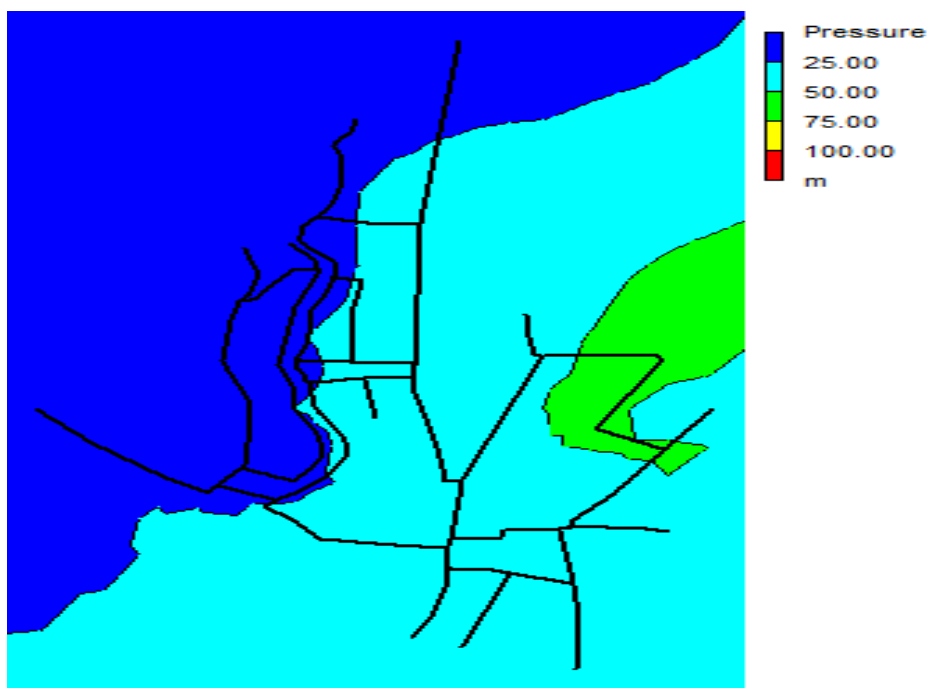


Nota. La presión máxima es de 54,12 mca.

El resultado de las presiones en nuestro plano de trazo se presenta en la Figura 38, el color celeste de la leyenda, indica que las presiones oscilan entre 25mca a 50mca, asimismo existe un pequeño sector donde las presiones superan los 50mca.

Figura 38

Trazo de la red – presiones en tubería PVC-U



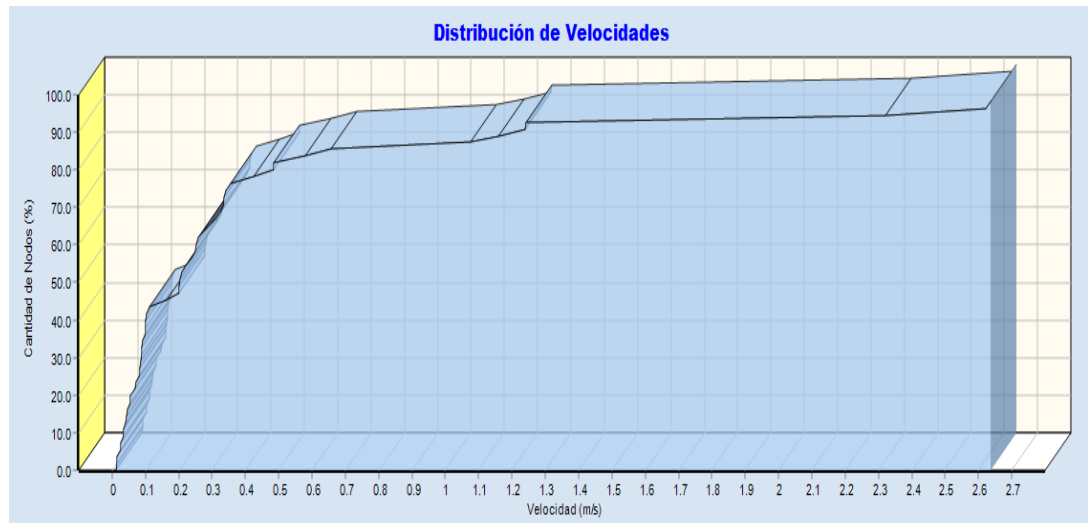
Nota. Los colores representan los sectores según los valores de las presiones.

La velocidad máxima del fluido en la tubería-146 es de 2,64 m/s y la velocidad mínima del fluido en la tubería-114 es de 0,0117 m/s para tubería PVC-U, en algunos nodos se cumple la velocidad máxima, sin embargo, en otros no se alcanza el rango mínimo establecido en la Norma Técnica Peruana OS.50, debido al bajo caudal que presenta el distrito de Ilabaya.

El resultado de la cantidad de tuberías (%) respecto al valor de las velocidades mínimas y máximas, se presenta en la Figura 39, el 93% de los nodos tiene una velocidad $\leq 0.6\text{m/s}$, asimismo el 100% de los nodos tiene una presión $\leq 2.79\text{mca}$, entonces, no existe tuberías con velocidades que superan la velocidad máxima de 3m/s

Figura 39

Grafica de cantidad de nodos vs velocidades en tuberías PVC-U



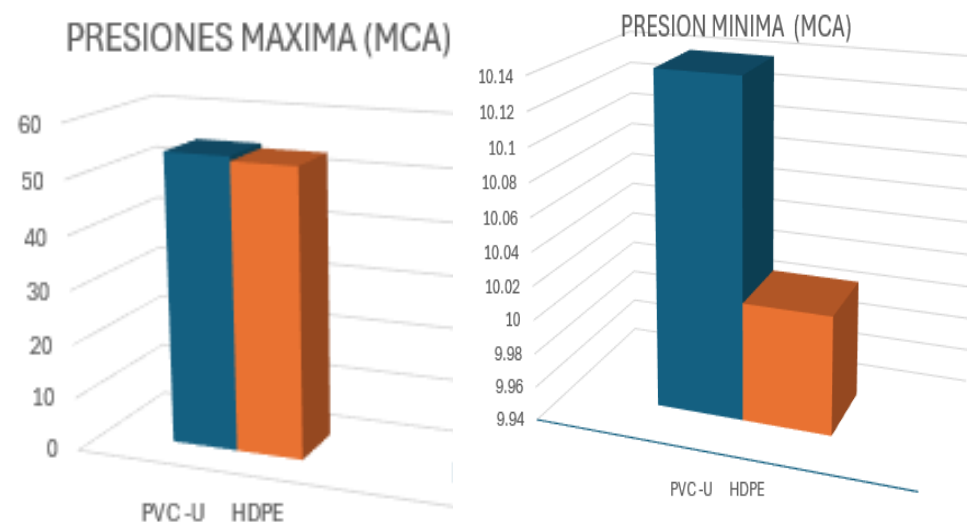
Nota. La velocidad máxima es de 2,64m/s.

4.1.3. Gráfico comparativo entre tubería PVC-U vs HDPE

La Figura 40 muestra el resultado de las presiones máximas y mínimas entre la Tubería PVC-U Y HDPE, asimismo, existe una ligera diferencia entre sus presiones, también cabe destacar que las presiones máximas y mínimas, oscilan entre el rango permitido según la norma OS.50 Redes de distribución de agua para consumo humano.

Figura 40

Grafica de presiones entre tubería PVC-U vs HDPE

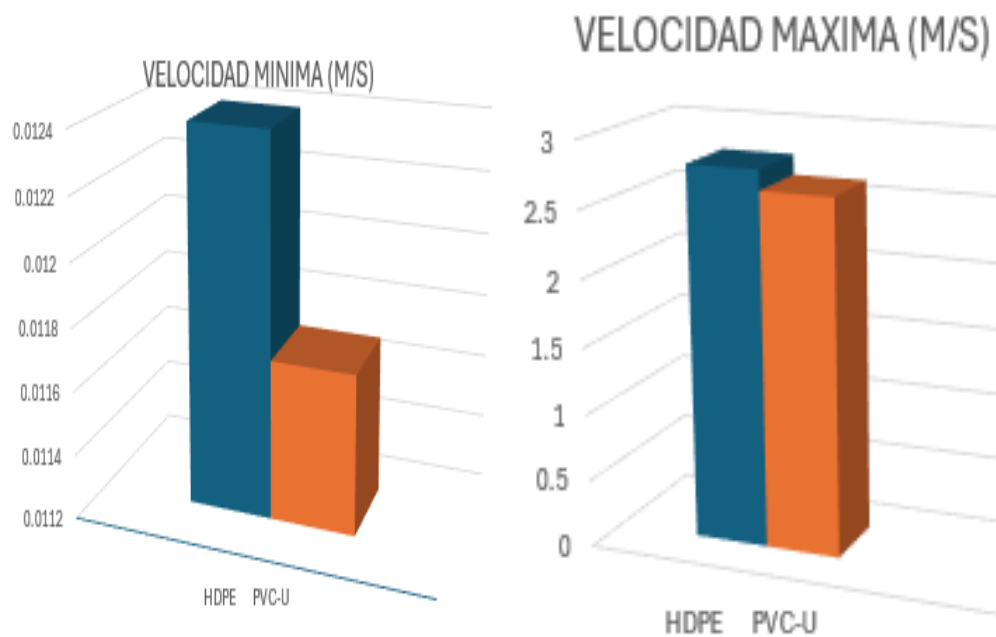


Nota. Las presiones con tubería PVC-U son mayores.

La Figura 41 muestra el resultado de las velocidades máximas y mínimas entre la Tubería PVC-U Y HDPE, cabe mencionar que, existe una ligera diferencia entre sus velocidades, así mismo, las velocidades máximas y mínimas, oscilan entre el rango permitido según la norma OS.50 Redes de distribución de agua para consumo humano.

Figura 41

Grafica de velocidades entre tubería HDPE vs PVC-U



Nota. Las velocidades con tubería HDPE son mayores.

De los resultados obtenidos se puede señalar que la tubería PVC-U presentan mejores presiones en comparación a las tuberías HDPE. Por otro lado, la tubería HDPE presenta mayores velocidades con respecto a las tuberías de PVC-U.

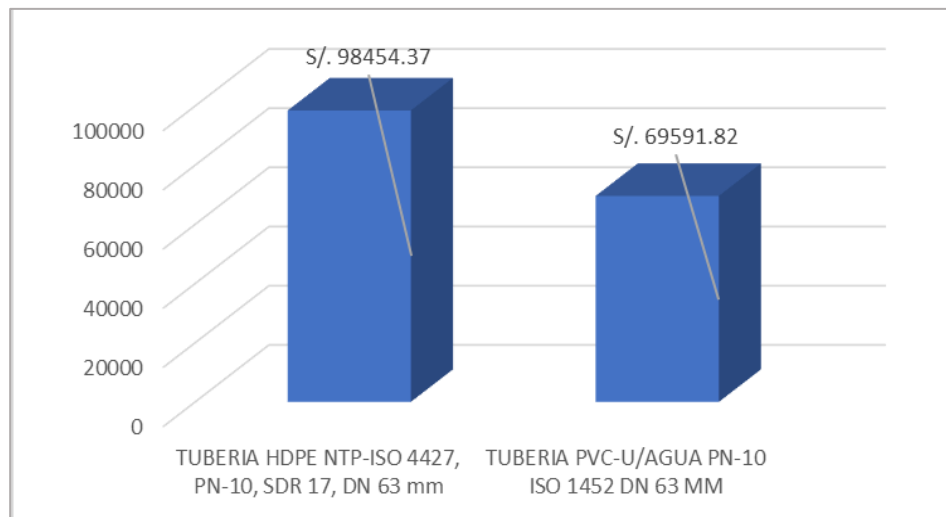
4.2. Presupuesto de suministro e instalación con tuberías HDPE y PVC-U

Los resultados del presupuesto de suministro e instalación entre la tubería HDPE y PVC-U están en la gráfica de barra comparativa, donde las tuberías de PVC-U son económicamente más beneficiosas que las tuberías de HDPE.

La Figura 42 muestra Los resultados del presupuesto de suministro e instalación entre la tubería HDPE y PVC-U, donde las tuberías de PVC-U son económicamente más beneficiosas que las tuberías de HDPE según la gráfica de barra comparativa.

Figura 42

Gráfica de barra comparativa de precios



Nota. Existe una diferencia de precios por material.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

La presente investigación tuvo como objetivo general determinar la alternativa más adecuada para la implementación de un sistema de abastecimiento de agua potable eficiente, utilizando tuberías PVC-U y HDPE en el distrito de Ilabaya. El diseño con ambos materiales resultó que tienen altas presiones, superando los 50 mca según la NTP Redes de distribución de agua para consumo humano OS.050. Para solucionar las excesivas presiones en la red, se implementó una válvula reductora de presión la cual mantiene constante la presión aguas abajo de la válvula independientemente de las variaciones de presión o caudal aguas arriba, dando, así como resultado presiones dentro del rango establecido por la normativa. Además, cabe mencionar que las velocidades en el modelamiento son relativamente bajas debido a que el gasto total es bajo. Se sabe por teoría que el caudal es directamente proporcional a la velocidad del agua, entonces, a un menor gasto obtendremos como resultado velocidades bajas.

En relación con las preguntas específicas de investigación, la variación del diseño del sistema de abastecimiento de agua potable al emplear tuberías PVC frente a HDPE en el modelamiento con el software EPANET, se obtuvieron resultados levemente diferentes, esto es debido porque la gran mayoría de propiedades físicas de las tuberías no pueden ser modificadas en el software EPANET a excepción del coeficiente de rugosidad ($C=150$ para ambos materiales) y diámetro. Los resultados del modelamiento muestran que las velocidades en las tuberías de HDPE tienen mayores valores con respecto a la tubería de PVC-U, esto es principalmente porque el diámetro de la tubería HDPE es menor con respecto a las tuberías de PVC-U. Por otro lado, las presiones en las tuberías de HDPE son levemente más bajas que las tuberías de PVC-U, esto pasa por la misma condición hidráulica ya mencionada anteriormente, a mayor diámetro mejora la presión, pero disminuye la velocidad y a menor diámetro aumenta la velocidad, pero disminuye la presión.

En general las diferencias observadas son mínimas y no afecta significativamente los valores de presión ni de velocidad, por ende, se tendría que tomar en cuenta otros factores como las condiciones del terreno y las irregularidades topográficas.

Los resultados han demostrado que la tubería PVC-U ante la tubería HDPE es más económica, encontrándose una diferencia de hasta 30% en presupuesto. Sin embargo, es necesario mencionar que en el distrito de Ilabaya existe varias zonas con

cambio de dirección, además, existe sectores donde hay presencia de rocas a 30 cm de la profundidad para la instalación de la tubería y espacios reducidos, esto a largo plazo podría generar el desgaste de la tubería PVC-U, ya que esta más próximo a la intemperie y su recubrimiento es bajo. La tubería PVC-U a pesar de que es más económica a corto plazo, podría ser más caro a largo plazo, ya que si tomamos en cuenta el terreno y los peligros que podrían surgir para las tuberías, la mejor alternativa para la instalación de redes de distribución de agua potable para el distrito de Ilabaya es la tubería HDPE. Esto responde directamente a la problemática general y resulta como alternativa más adecuada la tubería HDPE.

CONCLUSIONES

La alternativa más adecuada para la implementación de un sistema de agua potable en el distrito de Ilabaya es la tubería HDPE, considerando que la topografía del distrito presenta irregularidades en su terreno y por ende las tuberías quedan con poco recubrimiento en algunas zonas, dejándolas a la intemperie, produciendo así un desgaste prematuro. La tubería HDPE al tener características más resistentes, estas pueden estar a la intemperie, por ende, estas son más económicas a largo plazo ante las tuberías PVC-U.

El diseño del sistema de abastecimiento de agua potable con tuberías HDPE presentan comportamientos hidráulicos ligeramente diferentes con respecto al diseño con tuberías de PVC-U, debido a su diámetro de 55,4mm mientras que la tubería de PVC-U se diseña con tuberías de diámetro de 57mm.

Los resultados de los análisis económicos para la implementación de un sistema de abastecimiento de agua potable presentan una diferencia significativa. El presupuesto para la instalación con tuberías de HDPE es de S/.98 454,37, mientras que para tuberías de PVC-U es S/.69 591,82, por ende, se concluye que la tubería de PVC-U tiene un presupuesto menor de hasta un 30% con respecto a la tubería HDPE. La implementación de un sistema de abastecimiento de agua potable con tuberías PVC-U se ajusta mejor considerando un análisis económico a corto plazo, mientras que la tubería de HDPE se ajusta mejor considerando un análisis económico a largo plazo. Las tuberías de PVC-U a pesar de presentar una diferencia significativa más económica frente a las tuberías HDPE, no son la alternativa más adecuada para la implementación de un sistema de abastecimiento de agua potable en el distrito de Ilabaya, ya que la topografía del terreno como sus irregularidades y sus pasajes muy angosto dificultan su instalación y por ende requieren de más quiebres y flexibilidad, así como también mejores propiedades físicas como la resistencia a la intemperie.

Los análisis comparativos del comportamiento hidráulico de ambos diseños, evaluando las variables de presión y velocidad, resulta que la tubería PVC-U presentan mejores presiones con respecto a las tuberías HDPE. Por otro lado, la tubería HDPE presenta

mayores velocidades con respecto a las tuberías de PVC-U. La presión máxima del fluido en el punto más bajo es de 53,26mca para tubería HDPE. La presión máxima del fluido en el punto más bajo es de 54,12mca para tubería PVC-U. La presión mínima del fluido en el punto más alto es de 10,01mca para tubería HDPE. La presión mínima del fluido en el punto más alto es de 10,14mca para tubería PVC-U. Por otro lado, la velocidad máxima del fluido en la tubería-146 es de 2,64m/s para tubería PVC-U. La velocidad máxima del fluido en la tubería-146 es de 2,79m/s para tubería HDPE. La velocidad mínima del fluido en la tubería Tubería-114 es de 0,0117m/s para tubería PVC-U. La velocidad mínima del fluido en la tubería-114 es de 0,0124m/s para tubería HDPE .

RECOMENDACIONES

Se recomienda a la Municipalidad Distrital de Ilabaya ampliar las aplicaciones de herramientas de modelamiento hidráulico, Actualizar datos de la población más recientes y datos topográficos, Además, Concientizar una inspección más responsable de los proyectos antes de su aprobación en la etapa final, la implementación de inspección para garantizar la calidad durante el trabajo en estudios, garantizan un diseño óptimo de acuerdo con la realidad de la población y del terreno.

También se recomienda a la municipalidad del distrito de Ilabaya llegar a un acuerdo con los usuarios o la población, para poder realizar las instalaciones correspondientes sin paralizaciones por posibles problemas de propiedades privadas. Por otro lado, se hace un llamado de concientización a los encargados de la manipulación del agua del sistema de la red de distribución que al inicio del cierre de una válvula compuerta, sea de manera lenta y progresiva, permitiendo que el flujo se estabilice gradualmente y evitando así el golpe en las tuberías las cuales podrían causar fugas en los accesorios o uniones.

A los profesionales en el área de ingeniería hidráulica, se recomienda abordar el diseño de sistemas de distribución de agua potable desde una perspectiva con criterios sociales, técnicos y operativos. Es de suma importancia seguir investigando y no limitarse a los cálculos hidráulicos básicos, sino también considerar investigaciones referido al área de hidráulica para así tener la calidad y actualización de los métodos para el diseño, además, tener conocimiento de las actualizaciones de las fichas técnicas de los diferentes materiales y dispositivos de control. El dominio de herramientas de simulación hidráulica avanzada, como Watercad, Iber, Matlab u otros softwares especializados, es clave para resolver problemas más complejos y automatizar procesos. Así mismo, se debe dar hincapié al trabajo en oficina, asegurando que los proyectos cuenten con planos y especificaciones técnicas de calidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez. (2017). *Modelación hidráulica para la optimización de redes de agua potable en el distrito de San Juan de Miraflores, Lima.*
- Apaza, & Ramos. (2022). *Diseño de una red de distribución de agua potable para mejorar la continuidad de servicio en el distrito de Pachía, provincia y región de Tacna.*
- Barzola Choque, C. J. (2024). Modelos matemáticos de demanda de cloro en aguas superficiales: Una revisión sistemática. *TECNIA*, 34(1), 26–41. <https://doi.org/10.21754/TECNIA.V34I1.1635>
- Choque. (2020). *Mejoramiento de la línea de conducción de agua potable en el anexo de La Yarada, Tacna.*
- Condori, & Asqui. (2018). *Mejoramiento de servicios de agua y saneamiento en la comunidad de Kunurana del distrito de Santa Rosa – Melgar – Puno.*
- Consejo Nacional de Investigación. (2007). *Drinking water distribution systems: Assessing and reducing risks.* Drinking Water Distribution Systems: Assessing and Reducing Risks, 1–391. <https://doi.org/10.17226/11728>
- Cotrado, & Gutiérrez. (2019). *Evaluación de la red existente de agua potable del subsector de distribución 24 en el distrito de Coronel Gregorio Albarracín Lanchipa, provincia y región Tacna.*
- Cueva, & Saavedra. (2013). *Diseño, ampliación y mejoramiento del sistema de agua potable y alcantarillado en el Mirador II, La Esperanza, Trujillo, La Libertad.*
- Justo, & Conde. (2024). *Análisis en la red de distribución de agua debido a la variación de la presión en la localidad de Tacna.*
- Kaya, & Yildirim. (2019). Seasonal and urban growth impacts on water distribution system pressure in Istanbul.
- Martínez. (2015). *Optimization of water distribution networks using GIS and EPANET.*

- Mayta, & Rosado. (2025). *Optimización de la línea de conducción para mejorar el suministro de agua potable en el Fuerte Arica - Villa El Edén, distrito de Ite, 2024.*
- Navarro, & Gonzalo. (2021). *Mejoramiento del modelamiento hidráulico para la sectorización de redes de agua potable de la ciudad de Ilo.*
- NTP – ISO 21138-1. (2010). *Norma técnica de tuberías plásticas: Drenaje y alcantarillado.*<https://studylib.es/doc/9447858/33036-ntp-iso-21138-1--revisada-el-2021->
- OS.010. (2016). *Captación y conducción de agua para consumo humano.*
<https://www.gob.pe/institucion/munisantamariadelmar/informes-publicaciones/2619682-os-010-captacion-y-conduccion-de-agua-para-consumo-humano>
- OS.050. (2009). *Redes de distribución de agua para consumo humano.*
<https://www.gob.pe/institucion/munisantamariadelmar/informes-publicaciones/2619686-os-050-redes-de-distribucion-de-agua-para-consumo-humano-ds-n-010-2009>
- Plaza. (2022). *Ejercicios básicos de mecánica de fluidos e hidráulica aplicados a través del software de distribución gratuita EPANET 2.0.*
- Rivera, & Rivera. (2015). *Diseño del mejoramiento del sistema de agua potable y alcantarillado del sector Cerro Colorado, Pacanga-Chepén – La Libertad.*
- Rodríguez. (2010). *Diseño del sistema de alcantarillado sector San Antonio y diseño del sistema de agua potable población 12 de Octubre, comuna de Quellón - Chile.*
- Tan, & Lim. (2020). Hydraulic modeling of pressure variability in Singapore's water distribution system.
- Tumbaco. (2007). *Diseño del sistema de alcantarillado sanitario de la comunidad Manantiales del cantón Montecristi – provincia de Manabí, Ecuador.*
- Vidal, R., Martínez, F., & Ayza, M. (1994). Aplicaciones de los modelos de calidad en la simulación de las redes de distribución de agua potable. *Ingeniería del Agua*, 1(3). <https://doi.org/10.4995/IA.1994.2644>

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE Y ANALISIS TÉCNICO – ECONÓMICO DE TUBERIAS PVC Y HDPE EN LA ASOCIACIÓN VIRGEN DEL CARMEN – ILABAYA, 2025”

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicador	Metodología
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variable independiente		
- ¿Cuál es la alternativa más adecuada para la implementación de un sistema de abastecimiento de agua potable eficiente, entre tuberías PVC y HDPE en la asociación virgen del Carmen – Ilabaya, 2025?	<ul style="list-style-type: none"> Determinar la alternativa más adecuada para la implementación de un sistema de abastecimiento de agua potable eficiente utilizando tuberías PVC y HDPE en la asociación virgen del Carmen – Ilabaya, 2025. 	<ul style="list-style-type: none"> Las tuberías de HDPE son la alternativa más adecuada para la implementación de un sistema de abastecimiento de agua potable en comparación con las tuberías de PVC 	- Tipo de tubería	<ul style="list-style-type: none"> Rugosidad Diámetro nominal Resistencia a la presión Flexibilidad Durabilidad en años 	Tipo de investigación: - Investigación aplicada
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Variable dependiente		
a) ¿Cómo varía el diseño del sistema de abastecimiento de agua potable al emplear tuberías PVC frente a tuberías HDPE, considerando la demanda, topografía y normativa técnica?	a) Diseñar dos sistemas de abastecimiento de agua potable, uno con tuberías PVC y otro con tuberías HDPE en la asociación virgen del Carmen – Ilabaya, 2025.	a) El sistema de abastecimiento de agua potable diseñado con tuberías HDPE se ajusta mejor a las condiciones de demanda, topografía del terreno y cumplimiento normativo en comparación con el diseño con tuberías PVC.	- Análisis técnico-económico	<ul style="list-style-type: none"> Perdida de carga Presión mínima y máxima Velocidad de flujo Costo unitario de tubería Costo de accesorios 	Nivel de investigación: - Descriptivo
b) ¿Cómo varía los costos para la implementación de un sistema de abastecimiento de agua potable, utilizando tuberías PVC ante HDPE?	b) Realizar análisis económico para la implementación de un sistema de abastecimiento de agua potable, utilizando tuberías PVC ante HDPE en la asociación virgen del Carmen – Ilabaya, 2025.	b) La implementación de un sistema de abastecimiento de agua potable con tuberías HDPE se ajusta mejor considerando un análisis económico.			Diseño de investigación - No experimental
c) ¿Qué diferencias hidráulicas existen entre ambos sistemas en términos de presión, velocidad y pérdidas de carga?	c) Realizar análisis comparativo del comportamiento hidráulico de ambos diseños, evaluando las variables de presión, velocidad y pérdidas de carga.	c) El diseño de agua potable utilizando tuberías HDPE, presenta un mejor comportamiento hidráulico evaluando las variables de presión, velocidad y pérdidas de carga.			

Anexo 2: Cotización de tuberías PVC y HDPE

El presente Anexo 2 muestra las cotizaciones recopiladas de materiales para el suministro e instalación de tuberías de polietileno de alta densidad (HDPE) y cloruro de polivinilo (PVC-U), materiales considerados para la ejecución del proyecto desarrollado en esta investigación.



COMERCIAL BETHOVEN S.A.C.
 PROLONGACION LUCANAS 1010
 LA VICTORIA LIMA LIMA
 Email: comer_betho@gmail.com
 Teléf: 5441512 Cel: 998520545

RUC 20615042880
COTIZACIÓN
 C001-1

Cliente: MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE ILABAYA RUC: 20171895147 CAL. SIMON BOLIVAR NRO. 217 - Ubigeo: ILABAYA - JORGE BASADRE - TACNA	Fecha Emi.: 29/11/25 11:55 am Fecha Venc.: 29/11/25 11:55 am Condición: Contado Moneda: SOL
---	--

Código	Descripción	Cant	Psnt	Precio	Importe
PRXLM138	TUBERIA HDPE NTP-ISO 4427 PN-10 SDR 17 DN 63 mm	1	MT	S/ 6.30	S/ 6.30
PRXLM139	TEE HDPE 63mm ISO 4427	1	MT	S/ 29.00	S/ 29.00
PRXLM140	CODO HDPE 63mmX45° ISO 4427	1	UND	S/ 32.30	S/ 32.30
PRXLM143	CODO HDPE 63mmX90° ISO 4427	1	UND	S/ 38.00	S/ 38.00
PRXLM146	TAPON HDPE 63mm ISO 4427	1	UND	S/ 28.20	S/ 28.20
URXLM458	UNION HDPE 63mm ISO 4427	1	UND	S/ 52.00	S/ 52.00
URXLM460	CEMENTO PORTLAND TIPO IP (42.5KG)	1	BLS	S/ 22.58	S/ 22.58
URXLM466	ANILLO DE JEBE DE 63mm	1	UND	S/ 5.51	S/ 5.51
URXLM468	LUBRICANTE PARA TUB PVC	1	GAL	S/ 23.73	S/ 23.73
URXLM472	TUBERIA PVC-U/AGUA PN-10 ISO 1452 DN 63 MM INCL ANILLO	1	MT	S/ 21.00	S/ 21.00
URXLM475	TEE PVC-U 63mm ISO 4427	1	UND	S/ 34.00	S/ 34.00
CRXLM325	CODO PVC-U 63mmX45° ISO 4427	1	UND	S/ 18.10	S/ 18.10
CRXLM327	CODO PVC-U 63mmX90° ISO 4427	1	UND	S/ 17.25	S/ 17.25
CRXLM330	CODO PVC-U 63mmX11.25° ISO 4427	1	UND	S/ 17.50	S/ 17.50
CRXLM334	TAPON PVC-U 63mm ISO 4427	1	UND	S/ 15.40	S/ 15.40

Son: TRESCIENTOS SESENTA CON 87/100 SOLES

Afecto	S/ 305.82
Inafecto	S/0.00
ISC	S/0.00
IGV/IVA	S/ 55.05
Total Dctos	S/0.00
Total Documento	S/ 360.87
Percepción	S/ 0.00
Total a Pagar	S/ 360.87



Anexo 3: Análisis de costos unitarios tubería HDPE

El presente Anexo 3 muestra el desarrollo y análisis de costos unitarios (mano de obra, materiales y equipos) correspondientes a las partidas del presupuesto de redes de distribución de agua potable para tuberías de HDPE, consideradas en esta investigación.

SUMINISTRO DE TUBERIA HDPE NTP-ISO 4427, PN-10, SDR 17, DN 63 RENDIMIENTO				120 M/DIA
EQ.				120
DESCRIPCION DE INSUM UND	CUADRILA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
MATERIALES				
TUBERIA HDPE NTP-ISO · M		1	6.3	<u>6.3</u>
				6.3
COSTO UNITARIO POR M :				6.3

INSTALACION DE TUBERIA HDPE NTP-ISO 4427, PN-10, SDR 17, DN 63 RENDIMIENTO				50 M/DIA
EQ.				50
DESCRIPCION DE INSUM UND	CUADRILA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
MANO DE OBRA				
CAPATAZ	HH	0.1	0.016	32.97
OPERARIO	HH	1	0.16	27.48
PEON	HH	3	0.48	19.54
				<u>9.38</u>
				14.31
EQUIPO				
HERRAMIENTAS MANUALES %MO		3%	14.31	0.43
EQUIPO DE TERMOFUSION	HM	1	0.16	84.75
				<u>13.56</u>
				13.99
COSTO UNITARIO POR M :				28.3

SUM. E INST. DE TEE HDPE 63 MM ISO 4427				RENDIMIENTO	15 UND/DIA
				EQ.	15
DESCRIPCION DE INSUM UND	CUADRILA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL	
MANO DE OBRA					
CAPATAZ	HH	0.05	0.0267	32.97	
OPERARIO	HH	0.5	0.2667	27.48	
				<u>7.33</u>	
				8.21	
MATERIALES					
TEE HDPE 63 MM ISO 4427		1	29	<u>29</u>	
				29	
EQUIPO					
HERRAMIENTAS MANUALES %MO		3%	8.21	0.25	
EQUIPO DE TERMOFUSION	HM	1	0.53	84.75	
				<u>45.2</u>	
				45.45	
COSTO UNITARIO POR UND :				82.66	

SUM. E INST. CODO PVC-U 63mmX45° ISO 4427				RENDIMIENTO EQ.	8 UND/DIA 8
DESCRIPCION DE INSUM UND	CUADRILA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL	
MANO DE OBRA					
CAPATAZ	HH	0.05	0.0500	32.97	1.65
OPERARIO	HH	0.5	0.5000	27.48	13.74
					15.39
MATERIALES					
CODO PVC-U 63mmX45° ISO 4427		1		32.3	32.3
					32.3
EQUIPO					
HERRAMIENTAS MANUALE %MO			3%	15.39	0.46
EQUIPO DE TERMOFUSIOI HM		1	1.00	84.75	84.75
					85.21
COSTO UNITARIO POR UND :					132.9

SUM. E INST. DE CODO HDPE 63mmX90° ISO 4427				RENDIMIENTO EQ.	8 UND/DIA 8
DESCRIPCION DE INSUM UND	CUADRILA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL	
MANO DE OBRA					
CAPATAZ	HH	0.05	0.0500	32.97	1.65
OPERARIO	HH	0.5	0.5000	27.48	13.74
					15.39
MATERIALES					
CODO HDPE 63mmX90° ISO 4427		1		36	36
					36
EQUIPO					
HERRAMIENTAS MANUALE %MO			3%	15.39	0.46
EQUIPO DE TERMOFUSIOI HM		1	1.00	84.75	84.75
					85.21
COSTO UNITARIO POR UND :					136.6

SUM. E INST. DE UNION HDPE 63mmX90° ISO 4427				RENDIMIENTO EQ.	8 UND/DIA 8
DESCRIPCION DE INSUM UND	CUADRILA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL	
MANO DE OBRA					
CAPATAZ	HH	0.05	0.0500	32.97	1.65
OPERARIO	HH	0.5	0.5000	27.48	13.74
					15.39
MATERIALES					
UNION HDPE PARA ELECT PZA		0.01		52	0.52
					0.52
EQUIPO					
HERRAMIENTAS MANUALE %MO			3%	15.39	0.46
EQUIPO DE TERMOFUSIOI HM		1	1.00	84.75	84.75
					85.21
COSTO UNITARIO POR UND :					101.12

SUM. E INST. DE TAPON HDPE 63mm ISO 4427				RENDIMIENTO	12 UND/DIA
				EQ.	12
DESCRIPCION DE INSUM	UND	CUADRILA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
MANO DE OBRA					
CAPATAZ	HH	0.05	0.0333	32.97	1.1
OPERARIO	HH	0.5	0.3333	27.48	9.16
PEON	HH	2	1.33333333	27.48	36.64
					46.9
MATERIALES					
TAPON HDPE 63mm ISO 4427			1	28.2	28.2
					28.2
EQUIPO					
HERRAMIENTAS MANUALE %MO			3%	46.9	1.41
EQUIPO DE TERMOFUSIOI HM		1	0.67	84.75	56.5
					57.91
COSTO UNITARIO POR UND :					133.01

CONCRETO F'C =140 KG/CM2 PARA ANCLAJE DE ACCESORIOS				RENDIMIENTO	24 UND/DIA
				EQ.	24
DESCRIPCION DE INSUM	UND	CUADRILA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
MANO DE OBRA					
CAPATAZ	HH	0.1	0.0333	32.97	1.1
OPERARIO	HH	1	0.3333	27.48	9.16
OFICIAL	HH	1	0.3333	21.6	7.2
PEON	HH	1	0.3333	27.48	9.16
					26.62
EQUIPO					
HERRAMIENTAS MANUALE %MO			3%	26.62	0.8
					0.8
SUB PARTIDAS					
ENCOFRADO PARA ANCLAJE M2			0.2	60.36	12.07
CONCRETO F'C =140 KG/M3			0.046	339.36	15.61
					27.68
COSTO UNITARIO POR UND :					55.10

Anexo 4: Análisis de costos unitarios tubería PVC - U

El presente anexo 4 muestra el desarrollo y análisis de costos unitarios (mano de obra, materiales y equipos) correspondientes a las partidas del presupuesto de redes de distribución de agua potable para tuberías de PVC-U, consideradas en esta investigación.

SUM. E INST. DE TUB. PVC-U/AGUA PN-10 ISO 1452 DN 63 MM		RENDIMIENTO		180 M/DIA	
		EQ.		180	
DESCRIPCION DE INSUM	UND	CUADRILA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
MANO DE OBRA					
CAPATAZ	HH	0.1	0.004	32.97	0.15
OPERARIO	HH	1	0.044	27.48	1.22
PEON	HH	2	0.089	27.48	2.44
					3.81
MATERIALES					
LUBRICANTE PARA TUB. P/ GLN			0.015	46.5	0.7
TUBERIA PVC-U/AGUA PN- TUB			1	21	21
					21.7
EQUIPO					
HERRAMIENTAS MANUALE %MO			3%	3.81	0.11
					0.11
COSTO UNITARIO POR M :					25.62

SUM. E INST. DE TEE PVC-U ISO 4427 DN 63 MM		RENDIMIENTO		30 UND/DIA	
		EQ.		30	
DESCRIPCION DE INSUM	UND	CUADRILA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
MANO DE OBRA					
CAPATAZ	HH	0.1	0.027	32.97	0.88
OPERARIO	HH	1	0.267	27.48	7.33
					8.21
MATERIALES					
TEE PVC-U 63mm ISO 4427 UND			1	34	34
ANILLO DE JEBE DE 63mm UND			3	5.51	16.53
					50.53
EQUIPO					
HERRAMIENTAS MANUALE %MO			3%	8.21	0.25
					0.25
COSTO UNITARIO POR UND :					58.99

SUM. E INST. DE CODO PVC-U 63mmX45° ISO 4427			RENDIMIENTO	20 UND/DIA		
			EQ.	20		
DESCRIPCION DE INSUM	UND	CUADRILA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL	
MANO DE OBRA						
CAPATAZ	HH		0.1	0.040	32.97	1.32
OPERARIO	HH		1	0.400	27.48	10.99
					12.31	
MATERIALES						
CODO PVC-U 63mmX45° I	UND		1	18.1	18.1	
ANILLO DE JEBE DE 63mm	UND		3	5.51	16.53	
					34.63	
EQUIPO						
HERRAMIENTAS MANUALE	%MO		3%	12.31	0.37	
					0.37	
COSTO UNITARIO POR UND :					47.31	

SUM. E INST. DE CODO PVC-U 63mmX90° ISO 4427			RENDIMIENTO	20 UND/DIA		
			EQ.	20		
DESCRIPCION DE INSUM	UND	CUADRILA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL	
MANO DE OBRA						
CAPATAZ	HH		0.1	0.040	32.97	1.32
OPERARIO	HH		1	0.400	27.48	10.99
					12.31	
MATERIALES						
CODO PVC-U 63mmX90° I	UND		1	17.25	17.25	
ANILLO DE JEBE DE 63mm	UND		3	5.51	16.53	
					33.78	
EQUIPO						
HERRAMIENTAS MANUALE	%MO		3%	12.31	0.37	
					0.37	
COSTO UNITARIO POR UND :					46.46	

SUM. E INST. DE TAPON PVC-U 63mmX11.25° ISO 4427			RENDIMIENTO	20 UND/DIA		
			EQ.	20		
DESCRIPCION DE INSUM	UND	CUADRILA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL	
MANO DE OBRA						
CAPATAZ	HH		0.1	0.040	32.97	1.32
OPERARIO	HH		1	0.400	27.48	10.99
					12.31	
MATERIALES						
CODO PVC-U 63mmX11.2	UND		1	17.5	17.5	
ANILLO DE JEBE DE 63mm	UND		3	5.51	16.53	
					34.03	
EQUIPO						
HERRAMIENTAS MANUALE	%MO		3%	12.31	0.37	
					0.37	
COSTO UNITARIO POR UND :					46.71	

CONCRETO F'C =140 KG/CM2 PARA ANCLAJE DE ACCESORIOS		RENDIMIENTO	24 UND/DIA		
		EQ.	24		
DESCRIPCION DE INSUM	UND	CUADRILA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
MANO DE OBRA					
CAPATAZ	HH	0.1	0.0333	32.97	1.1
OPERARIO	HH	1	0.3333	27.48	9.16
OFICIAL	HH	1	0.3333	21.6	7.2
PEON	HH	1	0.3333	27.48	9.16
					26.62
EQUIPO					
HERRAMIENTAS MANUALE %MO			3%	26.62	0.8
					0.8
SUB PARTIDAS					
ENCOFRADO PARA ANCLAJE M2			0.2	60.36	12.07
CONCRETO F'C =140 KG/1 M3			0.046	339.36	15.61
					27.68
COSTO UNITARIO POR UND :					55.10