

“Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional”

**UNIVERSIDAD PERUANA DEL CENTRO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“MEJORA DEL DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE  
AGUA POTABLE EN UN CENTRO POBLADO EN LA  
REGIÓN JUNÍN”**

Para obtener el título profesional de  
INGENIERO CIVIL

Presentado por el bachiller:

**MIGUEL ANGEL GUEVARA GOYA**

Asesores:

DR. JOSÉ LUIS LEÓN UNTIVEROS  
DRA. EMILIA UNTIVEROS PEÑALOZA

HUANCAYO, 2022

## **DEDICATORIA:**

A mis queridos padres y docentes por haberme educado y llevado por el buen camino, por inculcarme valores invaluables que servirán para toda mi vida.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA:.....	viii
ÍNDICE GENERAL .....	ix
LISTA DE CUADROS.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE FOTOGRAFÍAS.....	xiv
RESUMEN .....	xv
ABSTRACT .....	xvi
CAPÍTULO 1 .....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Situación problemática .....	1
1.2. Formulación del problema .....	2
1.3. Justificación teórica .....	2
1.4. Justificación práctica .....	3
1.5. Objetivos .....	4
1.6. Hipótesis.....	4
CAPÍTULO 2 .....	6
MARCO TEÓRICO .....	6
2.1. Marco filosófico o epistemológico de la investigación .....	6
2.2. Antecedentes de investigación.....	7
2.3. Bases teóricas.....	12
2.4. Marco conceptual o glosario.....	29
CAPÍTULO 3 .....	30
METODOLOGÍA.....	30
3.1. Tipo y diseño de Investigación .....	30
3.2. Población de estudio .....	30
3.3. Tamaño de muestra .....	31
3.4. Técnica de recolección de datos .....	31
CAPÍTULO 4 .....	32
DESARROLLO DE TEMA .....	32
4.1. Descripción de la zona .....	32

4.2. Materiales y equipos.....	36
4.3. Fase de campo.....	36
4.4. Fase gabinete.....	38
CAPÍTULO 5 .....	49
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	49
5.1. Análisis, interpretación y discusión de resultados .....	49
5.2. Pruebas de hipótesis.....	89
5.3. Presentación de resultados .....	90
CAPÍTULO 6 .....	93
ANÁLISIS DE COSTOS.....	93
6.1. Presupuesto .....	93
CONCLUSIONES.....	95
RECOMENDACIONES .....	97
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	98
ANEXOS .....	103

## LISTA DE CUADROS

- Cuadro 1. Dotación de agua según número de habitantes
- Cuadro 2. Dotación de agua según clima
- Cuadro 3. Dotación de agua según región
- Cuadro 4. Clases de tuberías PVC y máxima presión de trabajo.
- Cuadro 5. Accesos desde la ciudad de Lima a Junín - Colca
- Cuadro 6. Dotación por número de habitantes
- Cuadro 7. Diámetro interior y nominal de las tuberías de PVC
- Cuadro 8. Características físicas del agua que circula en las tuberías
- Cuadro 9. Costo de las tuberías por metro lineal sin instalación y con Instalación
- Cuadro 10. Disponibilidad de agua en la captación
- Cuadro 11. Disponibilidad de agua que ingresa al reservorio R-1
- Cuadro 12. Elevaciones y niveles del reservorio R-1 en RDA
- Cuadro 13. Elevaciones y niveles del reservorio R-1 en RDOP
- Cuadro 14. Población total censada por años
- Cuadro 15. Población total censada, según sexo año 2017
- Cuadro 16. Tasa de crecimiento de la población y promedio de personas por Hogar del distrito de Colca
- Cuadro 17. Proyección de la población al año 2040
- Cuadro 18. Dotación en la zona del proyecto
- Cuadro 19. Resumen de cálculo del caudal para fines de uso doméstico
- Cuadro 20. Resumen de cálculo del caudal para conexiones públicas
- Cuadro 21. Detalle del cálculo del caudal para conexiones públicas
- Cuadro 22. Resumen final del cálculo del caudal de diseño
- Cuadro 23. Demanda de agua en cada nudo de la RDA
- Cuadro 24. Presión calculada en cada nudo de la RDA
- Cuadro 25. Velocidad calculada en cada tramo de la tubería de la RDA
- Cuadro 26. Diámetros mínimos interiores que requiere en cada tramo de la tubería de la RDA
- Cuadro 27. Demanda de agua en cada nudo de la RDOP
- Cuadro 28. Presión en cada nudo de la RDOP
- Cuadro 29. Velocidad en cada tramo de la RDOP

Cuadro 30. Diámetros internos optimizados en cada tramo de la RDOP

Cuadro 31. Las tres mejores soluciones de costos en la RDOP

Cuadro 32. Presión en cada nudo de la RDOP por *Lenhsnet*

Cuadro 33. Velocidad en cada tramo de la RDOP por *Lenhsnet*

Cuadro 34. Diámetros internos optimizados en cada tramo de la RDOP por *Lenhsnet*

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Representación del ciclo hidrológico.
- Figura 2. Esquema de una red abierta o ramificada.
- Figura 3. Esquema de una red cerrada o anillada.
- Figura 4. Representación de la línea gradiente hidráulica.
- Figura 5. Ubicación nacional, departamental y provincial.
- Figura 6. Ubicación distrital y localización del proyecto.
- Figura 7. Representación de la población del distrito de Colca (1993 – 2017).
- Figura 8. Proyección de la población y vivienda al año 2040.
- Figura 9. Trazado y sectorizado de la RDA.
- Figura 10. Representación de los caudales unitarios por puntos.
- Figura 11. Representación de variación de presiones en la RDA.
- Figura 12. Representación de variación de velocidad en la RDA.
- Figura 13. Representación de la línea gradiente hidráulica en cada nudo de la RDA.
- Figura 14. Línea de gradiente hidráulica en los tramos más críticos de la RDA.
- Figura 15. Costo de suministro instalación de la tubería por metro lineal y por diámetro.
- Figura 16. Trazado de la nueva RDOP.
- Figura 17. Representación de los caudales unitarios por puntos en RDOP.
- Figura 18. Representación de variación de presión en RDOP.
- Figura 19. Representación de variación de velocidad en la RDOP.
- Figura 20. Representación de la línea gradiente hidráulica en cada nudo de la RDOP.
- Figura 21. Línea de gradiente hidráulica en los tramos más críticos de la RDOP.
- Figura 22. Línea de gradiente hidráulica entre el reservorio R-1 y nudo 6.
- Figura 23. Costo beneficio de las tres mejores soluciones en la RDOP.
- Figura 24. Longitud de tuberías en la RDOP según el diámetro interior.
- Figura 25. Representación topológica final de las tuberías de la RDOP.
- Figura 26. Representación de presión y diámetro de tuberías de la RDOP de Epanet.
- Figura 27. Representación de variación de presión en RDOP por Lenhsnet.
- Figura 28. Representación de variación de velocidad en RDOP por Lenhsnet.

Figura 29. Línea gradiente hidráulica en cada nudo de la RDOP por Lenhsnet.

Figura 30. Representación de presión y diámetro de tuberías de la RDOP de Lenhsnet.

Figura 31. Costo de suministro e instalación de tuberías en cada modelo.

Figura 32. Costo de suministro e instalación de tuberías por cada modelo.

## **LISTA DE FOTOGRAFÍAS**

Fotografía 1. Localización satelital del proyecto.

Fotografía 2. Población del Centro Poblado Colca.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación pertenece a la línea de Ingeniería Hidráulica, encontrándose dentro de los lineamientos exigidos por la Universidad Peruana del Centro UPeCEN, en la Escuela Profesional de Ingeniería Civil y tiene como propósito realizar el diseño optimizado de redes de distribución de agua potable en el Centro Poblado de Colca, Región Junín, para condiciones de flujo permanente en función de las restricciones de operación impuestas por la norma OS.050 del Reglamento Nacional de Edificaciones (R.N.E.), obteniendo diámetros mínimos a costo mínimo, para una población actual de 732 habitantes, con un periodo de diseño de 20 años.

La investigación se desarrolla siguiendo la metodología de diseño para poblaciones rurales; para realizar la optimización se contempla en priorizar tuberías de diámetro mínimo, Es decir, aumentando el diámetro de tubería por el inmediato superior comercial y que tenga menor costo y mayor beneficio, hasta alcanzar una presión dinámica mínima de 10 metros de columna de agua (m.c.a.), y que la línea de carga dinámica se mantenga en niveles que garanticen una carga de presión adecuada en la localidad, Así mismo, para poder hacer seguimiento al análisis de cálculo hidráulico de las redes de distribución de agua potable, cumpliendo los parámetros establecidos por la Norma Técnica Peruana en los diseños hidráulicos.

Con este trabajo de investigación se busca responder a las deficiencias en las zonas rurales de nuestra región, y que a su vez permita mejorar la calidad de vida de la población y tenga sistemas de agua potable que garantice con los diseños hidráulicos óptimos y apropiados a costo mínimo de financiamiento y así poder cubrir las brechas en las zonas rurales del país.

**Palabra clave:** Redes de distribución; optimización; hidráulica

## ABSTRACT

This research work belongs to the line of Hydraulic Engineering, being within the guidelines required by the Peruvian University of the Center UPeCEN, in the Professional School of Civil Engineering and its purpose is to carry out the optimized design of drinking water distribution networks in the Populated Center of Colca, Junín Region, for permanent flow conditions based on the operating restrictions imposed by the OS.050 standard of the National Building Regulations (R.N.E.), obtaining minimum diameters at minimum cost, for a current population of 732 inhabitants, with a design period of 20 years.

The research is developed following the design methodology for rural populations; to perform the optimization, it is contemplated to prioritize pipes of minimum diameter, that is, increasing the diameter of the pipe by the immediate superior commercial one and that has lower cost and greater benefit until reaching a minimum dynamic pressure of 10 meters of water column (m.c.a.), and that the dynamic load line is maintained at levels that guarantee an adequate pressure load in the locality, and likewise to be able to follow up on the hydraulic calculation analysis of the drinking water distribution networks, complying with the parameters established by the Standard Peruvian technique in hydraulic designs.

This research work seeks to respond to the deficiencies in rural areas of our region, and that in turn allows to improve the quality of life of the population and have drinking water systems that guarantee optimal and appropriate hydraulic designs at cost minimum funding and thus be able to cover the gaps in rural areas of the country.

**Key words:** Distribution networks; optimization; hydraulics.

## CAPÍTULO 1

### INTRODUCCIÓN

#### 1.1. Situación problemática

En la actualidad el Centro Poblado de Colca cuenta con sistema de abastecimiento de agua potable, los servicios de agua potable no satisfacen la necesidad a la localidad, debido a que presenta el mal funcionamiento de las redes, la incorrecta distribución y la inconveniencia de los usuarios, que en muchas ocasiones provoca daños físicos a las tuberías; dejando algunos días sin agua a la población usuaria. El sistema abastecimiento de agua potable presenta diseños tradicionales de redes de distribución de agua potable, donde el proyectista diseñó sin tomar en cuenta los criterios de optimización en cuanto a costo y otros parámetros geométricos; el diseño inadecuado genera presiones bajas o pérdida de presiones, ocasionando en algunos tramos y sectores de la localidad malestar en la población; motivo por el cual, se ha planteado realizar el presente proyecto de trabajo de investigación: Diseño optimizado de redes de distribución de agua potable en el Centro Poblado de Colca, Región Junín.

Los problemas más comunes que originan este tipo de suministro son la distribución inequitativa del agua potable entre los usuarios de la localidad, las pérdidas y el desperdicio de agua potable por roturas, los costos a que hacen frente los usuarios, el funcionamiento incorrecto de las redes de distribución, que en muchas ocasiones provoca daños físicos a las tuberías; por ende, la inconveniencia para los usuarios.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema principal**

¿De qué manera se diseña de forma optimizada de redes de distribución de agua potable en el Centro Poblado de Colca, Región Junín?

### **1.2.2. Problema Específico**

- ¿De qué manera se puede determinar los parámetros geométricos para el diseño de las redes de distribución de agua potable del Centro Poblado de Colca?
- ¿De qué manera se puede calibrar y optimizar el diámetro interior para una adecuada presión en las redes de distribución de agua potable a costo mínimo a través del uso de la herramienta Darwin Designero del Software comercial WaterCAD en el Centro Poblado de Colca?
- ¿De qué manera se puede proponer el mejoramiento de diseño de forma óptima de las redes distribución de agua potable en flujo permanente en el Centro Poblado Colca?

## **1.3. Justificación teórica**

El presente proyecto de trabajo investigación logrará portar el conocimiento de diseño optimizado en redes de distribución, conforme a la normas vigentes de OS.050 del RNE (2016) y directivas, siendo de mucha importancia para la mejora de diseños de redes de distribución de agua potable y posterior construcción; El cual, permitirá mejorar el servicio de abastecimiento de agua en los diferentes sectores, principalmente a

los usuarios y además con ello se garantiza una vida útil más duradera de la red de distribución de potable.

#### **1.4. Justificación práctica**

Durante este tiempo, es más fácil el acceso a cada una de los paquetes y Software's. El avance en el tema de modelación computarizada ha permitido tener mayores facilidades para simular el comportamiento hidráulico en los sistemas de abastecimiento de agua potable. Estos programas tienen gran variedad de aplicaciones, facilitan los cálculos, reduciendo los errores, el tiempo y costos con constante mejoramiento de su efectividad. Si bien es cierto que la utilización de los programas computacionales puede ayudar en muchas formas, el criterio del diseñador es un rol primordial en el uso del programa, en sus resultados y en las decisiones.

Aportará en la mejora del servicio de abastecimiento de agua potable a los usuarios, llegando a cada uno de los las 24 horas del día, mejorando la calidad de vida de la población y; además, con ello se garantizará la vida útil de las redes de distribución a menor costo; permitirá una buena circulación de agua en todas las redes de distribución, evitando estancamientos de agua y malos olores en las redes, garantizando caudal equitativo a los usuarios; de esta manera se estaría resolviendo los problemas que viene aquejándose durante varios años en el Centro poblado. Y así poder contribuir de una manera más acertada e intentar cubrir las necesidades más importantes de los usuarios finales.

## 1.5. Objetivos

### 1.5.1. Objetivo general

Diseñar de forma optimizada las redes de distribución de agua potable en el Centro Poblado de Colca, Región Junín.

### 1.5.2. Objetivos específicos

- Determinar los parámetros geométricos para el diseño de las redes de distribución de agua potable del Centro Poblado de Colca.
- Calibrar y optimizar el diámetro interior para una adecuada presión en las redes de distribución de agua potable a costo mínimo a través del uso de la herramienta *Darwin Designer* del *Software* comercial *WaterCAD* en el Centro Poblado de Colca.
- Propuesta de mejoramiento de diseño de forma óptima de las redes de distribución de agua potable en flujo permanente en el Centro Poblado Colca.

## 1.6. Hipótesis

### 1.6.1. Hipótesis general

Si se realiza un buen diseño optimizado de las redes de distribución entonces se logrará tener un abastecimiento adecuado de agua potable en el Centro Poblado de Colca, Región Junín.

### 1.6.2. Hipótesis específicas

- Si se determina los parámetros geométricos entonces se logrará tener un adecuado diseño de las redes de distribución de agua potable del Centro Poblado de Colca.
- Si se calibra y optimiza el diámetro interior para una adecuada presión a costo mínimo a través del uso de la herramienta *Darwin Designer* del Software comercial *WaterCAD* entonces tendrá un diseño adecuado de las redes de distribución en el Centro Poblado Colca.
- Si se propone el mejoramiento de diseño de forma óptima de las redes distribución en flujo permanente entonces se logrará tener un adecuado abastecimiento de agua potable en el Centro Poblado Colca.

## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Marco filosófico o epistemológico de la investigación

Toda investigación es posible realizar, cuando el investigador cuenta con los recursos en su entorno, como indica Rojas, R. (2013) “la realización de la investigación es factible porque se cuenta con disponibilidad de materiales, recursos financieros y humanos, los cuales determinan los alcances de la investigación”.

Según Portillo, M. & Roque, E. (2003) argumenta que “el impacto de la investigación está relacionado con la trascendencia, alcance, y proyección de la investigación. Se evidencia de dos maneras: cuando busca dar un aporte para ampliar el conocimiento científico del problema y cuando la investigación busca contribuir al bienestar social del hombre”. La investigación se realiza generalmente por necesidad a resolver problemas y a su vez permite aportar los conocimientos como señala que “también aporta teóricamente al conocimiento científico por entender los problemas, con adaptaciones teóricas a nuevos contextos, entender problemas antiguos con nuevas formas creativas, ampliar conceptos o corregir ambigüedades en la teoría, nuevas aplicaciones de conceptos y teorías a otras realidades, etc.”, según Vara, A. (2012).

La importancia de la metodología de la investigación permite aportar nuevas técnicas de procedimiento de medición y análisis, como argumenta que “metodológicamente la investigación es importante por su aporte de nuevos instrumentos de medición, nuevas técnicas de análisis, herramientas de evaluación, manuales de procedimientos, adaptaciones a instrumentos previos, adaptaciones, innovaciones tecnológicas, nuevos esquemas de operaciones, modelos de capacitación, etc.”, según Vara, A. (2012).

## **2.2. Antecedentes de investigación**

### **2.2.1. A nivel Internacional**

La escasez de agua está afectando a más del 40 por ciento de la población mundial, que es una cifra alarmante que probablemente crecerá con el aumento de las temperaturas globales producto del cambio climático. Aunque 2100 millones de personas han conseguido acceso a mejores condiciones de agua y saneamiento desde 1990, la decreciente disponibilidad de agua potable de calidad es un problema importante que aqueja a todos los continentes, y más de 1100 millones de personas en el mundo carecen agua potable y 31 países padecen escasez de ella y dos de cada cinco personas no cuentan con instalaciones adecuadas de saneamiento. Según información del Programa Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD, (2019).

En América latina y el Caribe, de acuerdo a las estadísticas demuestran que 114 millones de personas se encuentran en situación sin acceso a saneamiento mejorado y más aún en las poblaciones rurales, y se estima que el acceso universal al saneamiento mejorado en el área urbana se daría en el año 2022, pero en el área rural solo se alcanzaría una cobertura del 88% en el año 2030 según MVCS, (2016).

Según Florián, P. (2017) en el trabajo de tesis “Propuesta de optimización del servicio de la red de distribución de agua potable – RDAP – del municipio de Madrid, Cundinamarca; indica que se quiere mostrar el proceso de optimización que se elaboró para la red de distribución de agua potable del municipio de Madrid, Cundinamarca, el proceso no fue fácil ya que hay que ser cuidadosos con los datos de entrada, cualquier dato erróneo afecta drásticamente el modelo digital, se desarrolló en el programa EPANET, ya que este es un programa gratuito que es dirigido para

comunidades vulnerables que no tiene RDAP, igualmente este programa fue diseñado para mejorar el saneamiento de las comunidades”.

Según Montalvo, A. (2008) en la tesis “Diseño óptimo de sistemas de distribución de agua mediante Particle Swarm; indica que el objetivo de la necesidad de hacer eficientes y económicamente viables las grandes inversiones necesarias para la construcción y el mantenimiento de las redes de abastecimiento de agua, hace que se preste especial atención al diseño de este tipo de redes. Concebir soluciones económicamente optimizadas y que garanticen un adecuado funcionamiento de los sistemas de distribución de agua (SDA), tomando en cuenta la fiabilidad de la red para ofrecer sus servicios, incluso ante posibles condiciones de fallo, es uno de los grandes retos que han tenido desde hace muchos años varios hombres y mujeres de ciencias que han trabajado el tema. Se impone obtener los mayores beneficios con los menores costes”.

Según Mora, M. (2012) en el trabajo de investigación de tesis “Diseño de redes de distribución de agua mediante algoritmos evolutivos. Análisis de eficiencia; indica que los modelos utilizados en el diseño de redes hidráulicas pueden ser muy variados, en función del objetivo que se pretende abordar. Este trabajo se centra fundamentalmente en el dimensionado hidráulico de redes de distribución de agua, de modo que se cumplan una serie de requerimientos de servicio, entre los que se incluyen condiciones mínimas de presión, velocidad, etc.; el diseño de redes de distribución de agua es un problema de difícil resolución y el mayor problema radica en la elección de los diámetros como variables de decisión; puesto que en este caso las restricciones son función es implícitas de estos mismos diámetros, el espacio de soluciones se convierte en no convexo y la función objetivo en multimodal. En

este punto, los métodos tradicionales basados en técnicas matemáticas quedan limitados a la localización de mínimos locales de la función objetivo, que depende del punto de inicio del proceso de convergencia”.

### **2.2.2. A nivel nacional**

En el Perú al primer semestre del año 2016, se estima que existen en el país 31 millones 488 mil 600 personas. De este total, el 86,1% acceden a agua por red pública, (67,1% agua potable y el 19,0% agua no potable) y el 13,9% consumen agua no potable proveniente de río, manantial, lluvia. Camión cisterna o pilón de uso público. Es decir, el 5,4% de la población del área urbana y el 36,6% del área rural consumen agua proveniente de pozo, manantial, río, lluvia o de camión cisterna. Según la Encuesta Nacional de Hogares INEI, (2016).

Según Yanapa, O. (2015) manifiesta en el trabajo de tesis “Optimización de redes de distribución de agua potable en cuatro comunidades del distrito de Pisacoma; investigación se realizó en el departamento de Puno, Provincia de Chucuito, distrito de Pisacoma, específicamente en cuatro comunidades de: Bajo Vilcallamas, Chambalaya Arriba, Quenta y Bajo Chambalaya; donde se requiere dotar optimizando el agua dulce, para lo cual ya se cuenta con software y herramientas con los que se puede realizar las modelaciones y obtener un costo de financiamiento mínimo con una eficiencia hidráulica, planteando optimización de agua potable en las comunidades mencionadas, de la modelación (A, B, C y D respectivamente) con diferentes diámetros de tubería, se obtiene el cuadro de cálculos, de los mismos se tomó una muestra aleatoria de los siguientes tramos, cada uno cuenta con cuatro tipos de medición o modelación”.

Según Zapata, N. (2014) da a conocer sobre la investigación “Diseño óptimo de redes cerradas de tuberías presurizadas para abastecimiento de agua potable en flujo permanente y aplicación al centro poblado campanita ubicado en San José Pacasmayo – La Libertad; tiene el objetivo de la presente tesis es diseñar en forma óptima redes cerradas de tuberías presurizadas para abastecimiento de agua potable, para lo cual se plantea una metodología basadas en algoritmos ingeniosos, lógicos y relativamente sencillos. La metodología propuesta tiene como objetivo el encontrar un diseño óptimo de una red de tuberías; es decir, un diseño que sea eficiente hidráulicamente al menor costo posible”.

Según Vera, P. (2018) en el trabajo de tesis “Evaluación del comportamiento hidráulico de redes de distribución de agua potable, mediante métodos computacionales convencionales en distrito de Chupaca, indica que se utilizó un tipo de investigación aplicada, nivel de investigación explicativa, método de investigación científico, diseño de investigación no experimental transversal, de igual manera se consideró como población y muestra, la red de distribución de agua potable del distrito de Chupaca. Desarrollada la investigación se obtuvo los siguientes resultados: los 3 métodos computacionales convencionales son útiles para el análisis del comportamiento hidráulico, los cuales coinciden en resultados y demuestran que la red de distribución de agua potable de Chupaca presenta tuberías y nudos que no satisfacen los requerimientos hidráulicos que exige la normativa y por ende tiene mal funcionamiento como sistema integrado, estos efectos negativos pueden ser corregidos a través de un diseño optimizado. Solo el software WaterCAD posee algoritmos directos para plantear un diseño óptimo; sin embargo, Epanet y WatDIS también pueden presentar un diseño óptimo, pero con herramientas adicionales no propias del programa. La variación

porcentual promedio comparativa en resultados de cálculos es de 3.92% en relación de WaterCAD y Epanet, y de 0.53% entre WaterCAD y Watdis, lo cual demuestra que los resultados son muy próximos y validos entre sí”.

### **2.2.3. A nivel local**

El 71.89 % de la población cuenta con algún tipo de abastecimiento de agua, pero sin el tratamiento adecuado de potabilización. En el distrito de Colca el 16.17 % de las viviendas cuentan con una conexión domiciliaria el resto de la población obtienen agua de pilones de uso público (8.18 %), de pozos (1.29 %), y la gran mayoría consume agua de ríos, acequias y manantes (28.11%).

Según la Encuesta Nacional de Hogares INEI, (2007). Según Prado, T. (2016) en el trabajo de tesis denominado “Mejoramiento del Sistema de Agua Potable en las Comunidades de Veracruz y Totos Ubicado en Totos, Cangallo-Ayacucho”, indica que “se hará uso del método del gradiente para el cálculo hidráulico y para la optimización del diámetro se hará uso de la superficie óptima de gradiente hidráulico cuyo cálculo será mediante el programa Matlab y para los resultados nos restringirán lo dicho en el reglamento respecto a la presión, velocidad y los diámetros que existen en el mercado que son regidos por la norma peruana, estas combinaciones de diámetros en la red que optimizaran y se verificara los resultados del Matlab con un programa comercial el cual será el Watercad V8.i, discutiendo los resultados y así concluir según estos”.

## 2.3. Bases teóricas

### 2.3.1. Agua potable

Según el INEI, (2010) señala que “agua potable es aquella que cumple con normas de calidad y que es apta para el consumo humano. Con respecto al agua para uso en viviendas, esta es transportada por el suministro público y que vienen de una captación y almacenamiento propios pal consumo humano”.

### 2.3.2. Ciclo hidrológico

Según Ordoñez, G. (2011) refiere que “el ciclo hidrológico que es la sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la tierra a la atmósfera y volver a la tierra: evaporación desde el suelo, mar o aguas continentales, condensación de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o masas de agua y reevaporación”.

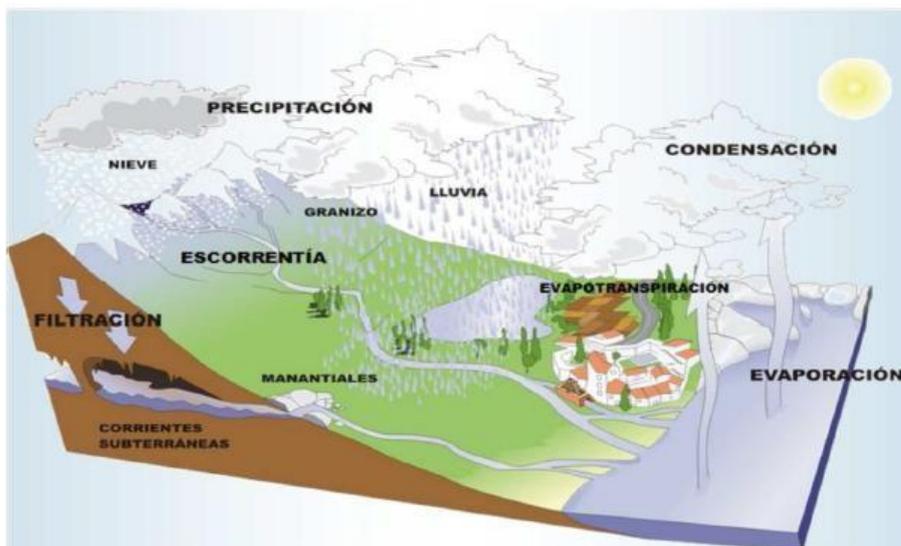


Figura 1. Representación del ciclo hidrológico

**Fuente:** Ordoñez, G. (2011).

### 2.3.3. Sistema de abastecimiento de agua potable.

Según Agüero, R. (1997) considera que “un sistema de abastecimiento de agua potable es el conjunto de obras de captación, tratamiento, conducción, regulación, distribución y suministro intradomiciliario de agua potable”.

#### 2.3.3.1. Tipos de sistemas de abastecimiento.

Según Agüero, R. (1997) menciona que los sistemas clasifican en dos grandes grupos:

- a) Sistema por gravedad (sin tratamiento y con tratamiento).
- b) Sistema por Bombeo (sin tratamiento y con tratamiento).

#### 2.3.3.2. Importancia del abastecimiento de agua potable:

Según Agüero, R. (1997) menciona que “las comunidades campesinas tienen una organización social formal, e informal con respecto al uso del agua y con respecto al uso de costos y cultura. Por lo tanto, en la planificación del sistema de una fuente pública deberá incluirse el desarrollo de una organización mucho más formal que logre la operación y mantenimiento correcto del sistema, y para ello se necesitará el adiestramiento del personal en las habilidades administrativas y técnicas necesarias”.

### 2.3.4. Red de abastecimiento de agua potable

Para cuantificar la cantidad de suministro que se distribuye, se calcula la población concentrada y la población servida:

La población concentrada, es aquella que es factible de suministrarle el agua potable por medio de un sistema central y que

corresponde a la población de las cabeceras cantonales y parroquiales. La población servida, es aquella que se encuentra abastecida por medio de una red pública a través de conexiones interdomiciliarias.

### **2.3.5. Red de distribución**

Según Vierendel, (2005) sostiene que “es el conjunto de tuberías que partiendo del reservorio de distribución y siguiendo su desarrollo por las calles sirven para llevar el agua potable al consumidor”.

#### **2.3.5.1. Sistema de circuito abierto**

##### **a) Espina de pescado**

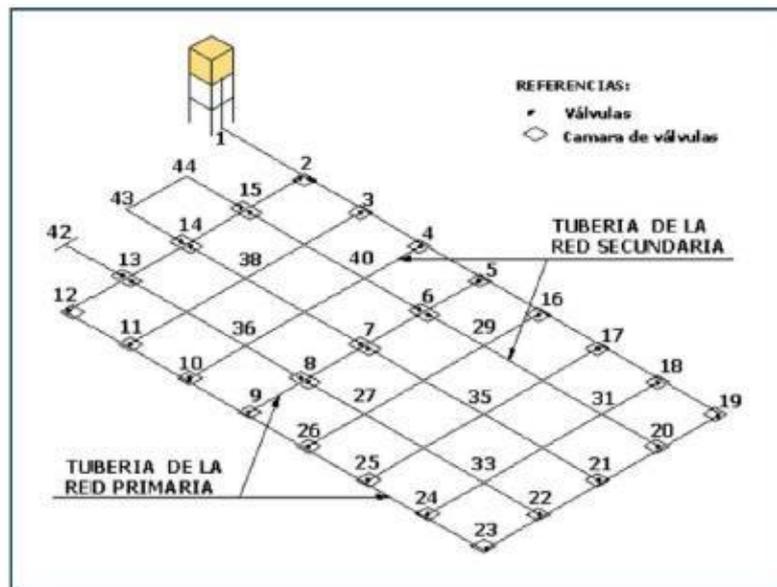
Según Vierendel, (2005) relaciona que “consiste de un conducto principal que corre por la calle principal de la población; el cual va disminuyendo de diámetro a medida que avanza y que alimenta conductos laterales que se despenden de él. Es adecuada para poblaciones pequeñas de trazo longitudinal y tiene el inconveniente de no dar buenas distribuciones de presiones y requerir mayores diámetros porque todo el flujo es a través de un conducto principal”.

##### **b) Parrilla**

Según Vierendel, (2005) menciona que “tiene conductos de mayor diámetro en el sentido longitudinal y transversal de trecho en trecho que alimentan a una red de menores diámetros. Es conveniente para poblaciones pequeñas no muy extendidas con calles principales según dos ejes.



Figura 3. Esquema de una red cerrada o anillada



Fuente: Magne, F. (2008).

### 2.3.6. Diseño de redes de distribución de agua potable

Según Minsa, (1994) menciona que “las redes deberán ser diseñadas para el caudal máximo horario y para el abastecimiento por conexiones domiciliarias; sin embargo, como un sistema progresivo se podrá considerar la instalación de piletas públicas”.

### 2.3.7. Período de diseño

Según Agüero, R. (1997) describe que “el periodo de diseño es el tiempo en el cual se considera que el sistema funcionara en forma eficiente cumpliendo los parámetros, respecto a los cuales se ha diseñado; el periodo de diseño puede definirse como el tiempo en el cual el sistema será 100% eficiente, ya sea por capacidad en la conducción del gasto deseado o por la existencia física de las instalaciones”.

### 2.3.8. Métodos de cálculo de población futura

Según Agüero, R. (1997) considera que “el cálculo de la población para una región dada es ajustable a una curva matemática y es evidente que este ajuste dependerá de las características de los valores de población censada, así como de los intervalos de tiempo en que estos se han medido”. Menciona que los métodos de estimación de población futura son:

#### 2.3.8.1. Métodos analíticos

Según Agüero, R. (1997) indica que “es evidente que este ajuste dependerá de las características de los valores de población censada, así como de los intervalos de tiempo, en que estos se han medido”. El método que más ha sido utilizado en las zonas rurales para el cálculo de la población futura es el analítico y con más frecuencia el de crecimiento aritmético. Es el método que se utiliza para el cálculo de poblaciones con la única consideración de que estas cambian de forma de una progresión aritmética y por ende se encuentran muy cercano del límite de saturación”.

Los métodos analíticos son:

- Método aritmético.
- Método geométrico.
- Método de la curva normal logística.
- Método de la ecuación de segundo grado.
- Método exponencial.
- Método de los incrementos de variable. Método de los mínimos  $\square$  cuadrados.

### Método aritmético:

En la estimación de la población de diseño, a través de este método, solo se necesita el tamaño de la población en dos tiempos distintos. La población futura a través de este método aritmético se puede calcular mediante la fórmula:

$$P_f = P_o \left[ 1 + \frac{r}{100} (\Delta t) \right]$$

$$P_f = P_o + r(t_f - t_o)$$

$$r = \frac{P_{i+n} - P_i}{t_{i+n} - t_i}$$

Dónde:  $P_f$  es la población futura o proyectada (hab.),  $P_o$  es la población actual o inicial (hab.),  $r$  es el coeficiente de crecimiento anual por 1000 habitantes,  $\Delta t$  es la variación de tiempo (años),  $t_f$  es el tiempo futuro (años) y  $t_o$  es el tiempo inicial (años).

#### 2.3.8.2. Métodos comparativos.

Según Agüero, R. (1997) menciona que “son aquellos que mediante procedimientos gráficos se estiman valores de población, ya sea en función de datos censales anteriores de la región o considerando los datos de poblaciones de crecimiento similar al que se está estudiando”.

#### 2.3.8.3. Método racional.

Según Agüero, R. (1997) da conocer “que en este caso para determinar la población, se realiza un estudio socioeconómico del lugar, se toma en cuenta

el crecimiento vegetativo que es función de los nacimientos, defunciones, inmigraciones, emigraciones y población flotante”.

### **2.3.9. Dotación y consumo**

MINSA (1984), indica que “las normas basadas en algunas investigaciones propias y apoyadas en los de otros países, asignan cifras para las dotaciones de agua tomando en cuenta los factores y las variaciones periódicas que afectan el consumo de agua en un centro poblado”. El valor del consumo máximo diario (Qmd) sirve para el cálculo del diseño hidráulico de la línea de conducción y mientras que el consumo máximo horario (Qmh) sirve para el diseño hidráulico de la línea de aducción.

#### **Variaciones del consumo**

Según Agüero, R. (1997) manifiesta que “para suministrar eficientemente agua a la comunidad, es necesario que cada una de las partes que constituyen el sistema satisfaga las necesidades reales de la población; diseñando cada estructura de tal forma que las cifras de consumo y variaciones de las mismas, no desarticulen todo el sistema, sino que permitan un servicio de agua eficiente y continuo”.

#### **Variaciones del consumo diarias**

Las variaciones de consumo diario están en función a la curva de variación promedio anual y de las variaciones climatológicas, del mismo para el máximo consumo diario los valores oscilan entre el 120% y 150%, y para el mínimo fluctúa entre el 80% y 90% del promedio diario anual.

En el caso de las localidades pequeñas o centros poblados el máximo diario es el factor que determina el diseño de línea de conducción y de obras de captación y reservorio.

### Variaciones horarias

Las variaciones de consumo horario durante un día cualquiera, los consumos de agua en una comunidad presentaran variaciones hora a hora dependiendo de los hábitos y actividades de la población.

### Nivel de vida en la población

Cuadro 1. Dotación de agua según número de habitantes

Población (habitantes)	Dotación (l/hab./día)
Hasta 500	60
500 - 1000	60 - 80
1000 - 2000	80 - 100

Fuente: Ministerio de salud (1962)

Cuadro 2. Dotación de agua según clima

Población	Clima	
	Frio (l/hab./día)	Templado – Cálido (l/hab./día)
Rural	100	100
2 000 – 10 000	120	150
10 000 – 50 000	150	200
Más de 50 000	200	250

Fuente: García (2009)

Cuadro 3. Dotación de agua según región

Región	Dotación (l/hab./día)
Selva	70
Costa	60
Sierra	50

Fuente: Ministerio de salud (1984)

### 2.3.10. Caudales del sistema

#### 2.3.10.1. Caudal medio diario anual (Qm)

Según Agüero, R. (1997) indica que “es la cantidad de agua que consume en una población durante un período de 24 horas. Dicho caudal también se puede definir como el promedio de los consumos diarios en un período de un año”. El caudal medio diario anual es el resultado de una estimación del consumo per cápita para una población futura del periodo de diseño, con unidades en litros por segundo (l/s) y se denota por la siguiente relación:

$$Q_m = \frac{P_f * Dot}{86400 \text{ s/día}}$$

Donde:

Qm=Consumo promedio diario (l/s).

Pf= Población futura (hab.).

Dot = Dotación (l/hab/día).

El consumo promedio diario anual (Qm) sirve y nos permitirá para el cálculo del volumen del reservorio de almacenamiento y así también para estimar el consumo máximo diario y horario.

#### 2.3.10.2. Caudal máximo diario (Qmd)

Según Agüero, R. (1997) manifiesta que “el consumo máximo diario se define como el día de máximo consumo de una serie de registros observados durante los 365 días del año”.

Para el consumo máximo diario ( $Q_{md}$ ) se considerará entre el 120% y 150% del consumo promedio diario anual ( $Q_m$ ), recomendándose el valor promedio de 130%. Es decir:  $k_1 = 1.2$  a  $1.5$ ; recomendable  $k_1 = 1.3$

$$Q_{md} = Q_m * k_1$$

Donde:

$Q_{md}$  = Consumo promedio diario (l/s).

$Q_m$  = Consumo promedio diario (l/s).  $k_1$   
= 1.3 recomendable.

El consumo máximo diario servirá para diseñar la captación, línea de conducción, reservorio y planta de tratamiento de agua potable.

### 2.3.10.3. Caudal máximo horario ( $Q_{mh}$ )

Según Agüero, R. (1997) indica que “como la hora de máximo consumo del día de máximo consumo y se considera como el 100% del promedio diario ( $Q_m$ )”.

Se recomienda para poblaciones cercanas a poblaciones urbanas o para poblaciones concentradas tomar valores que no superen al 150%.

Es decir:  $K_2 = 1.5$ ; recomendable  $k_2 = 1.5$

$$Q_{mh} = Q_m * k_2$$

Donde:

$Q_{mh}$  = Consumo promedio horario (l/s).

$Q_m$  = Consumo promedio diario (l/s).  $k_1$   
= 1.5 recomendable.

El consumo máximo horario servirá para diseñar línea de aducción, sistema de distribución, y planta de tratamiento de aguas residuales.

#### **2.3.10.4. Caudal instantáneo**

Es el caudal tomado en cuenta de que se empleen al mismo tiempo las conexiones domiciliarias de un ramal.

#### **2.3.10.5. Caudal de vivienda**

El caudal de vivienda es el valor requerido del caudal que le corresponde a cada vivienda o domicilio y se obtiene multiplicando el número de viviendas por el caudal de vivienda unitario; y el caudal de vivienda unitario se calcula dividiendo el caudal de máximo horario dentro del número de viviendas.

#### **2.3.11. Cálculo hidráulico de la red de distribución**

El cálculo hidráulico se refiere al caudal de diseño del tramo y que se debe hacer una comparación entre el caudal instantáneo y el caudal de vivienda, y se calcula sumando el caudal actual del tramo más los caudales acumulados de los ramales que salen del tramo tomando siempre el mayor.

##### **2.3.11.1. Diseño hidráulico.**

El diseño hidráulico es el análisis del diseño y elección de tuberías en diferentes diámetros y así como la ubicación de las válvulas de purga, de control, de aire y cámaras rompe-cargas o rompe-presiones.

### 2.3.11.2. Carga disponible

La carga disponible es la representación por la diferencia de elevación estática entre la captación del agua (nivel mínimo de agua) y el reservorio de almacenamiento o de regulación (nivel máximo de agua) y así mismo entre el reservorio y en los nudos de la red de distribución.

### 2.3.11.3. Gasto de diseño

El gasto de diseño es el consumo máximo diario ( $Q_{md}$ ) y que se estima en consideración del caudal medio de la población para el periodo de diseño seleccionado ( $Q_m$ ). Siendo el caudal o gasto de diseño:  $Q_{md} = K \cdot Q_m$ .

### 2.3.11.4. Clase de tubería

Según Agüero, R. (1997) manifiesta que “la clase de tubería a seleccionarse estarán definidas por las máximas presiones que ocurran en la línea representada por la línea de carga estática y que además incluyen diámetros comerciales menores a dos pulgadas, que fácilmente se encuentra en el mercado y sus cargas de presión”. A continuación, se presenta en los cuadros y son:

Cuadro 4. Clases de tuberías PVC y máxima presión de trabajo.

CLASE	PRESION MAXIMA DE PRUEBA (m.)	PRESION MAXIMA DE TRABAJO (m.)
5	50	35
7.5	75	50
10	105	70
15	150	100

Fuente: Agüero (1997).

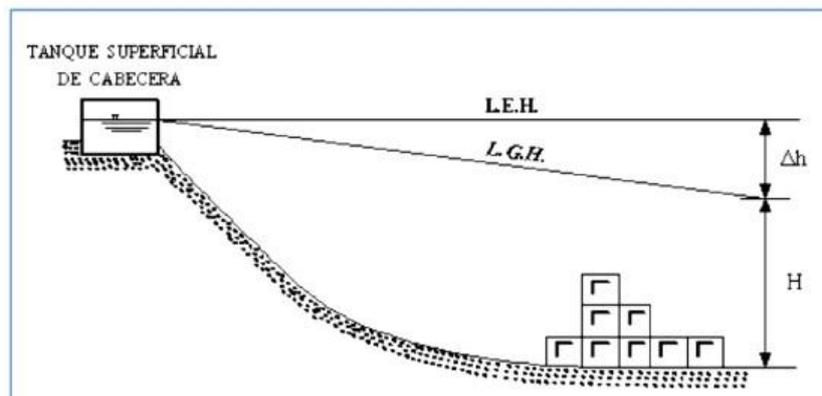
### 2.3.11.5. Diámetros

Según Agüero, R. (1997) indica que “para determinar los diámetros se consideran diferentes soluciones y se estudian diversas alternativas desde el punto de vista económico”.

### 2.3.11.6. Línea de gradiente hidráulico.

Según Agüero, R. (1997) indica que “la gradiente hidráulica (L.G.H.) es la presión de agua a lo largo de la tubería bajo condiciones de operación”.

Figura 4. Representación de la línea gradiente hidráulica.



Fuente: Magne, F. (2008).

### 2.3.11.7. Pérdida de carga

Un sistema tiene una cantidad específica de energía gravitacional, determinadas por las alturas relativas de los puntos del sistema y que conforme el agua fluye a través de la tubería se pierde la energía por la fricción del flujo contra las paredes del tubo, o a través

de los acoplamientos como de reducciones, codos, válvulas de control, etc.

### 2.3.12. Ecuaciones que gobiernan el flujo

#### 2.3.12.1. Ecuación de continuidad

Mott, L. (1996) manifiesta que “para todo flujo, el caudal en una sección transversal, dirección del flujo y para un flujo continuo permanente”. Se expresa la ecuación por:

$$Q = V_1 * A_1 = V_2 * A_2$$

Donde:

V: es la velocidad media flujo y A:  
es el área de la sección.

#### 2.3.12.2. Ecuación de la energía de Bernoulli

Mott, L. (1996) manifiesta que “cuando se analizan problemas de flujo en conductos existe tres formas de energía como la energía potencial, energía cinética y la energía de flujo, a los fluidos están sujetos a la acción de la gravedad y en movimiento permanente; y que un fluido real al desplazarse de una posición a otra pierde energía en dicho trayecto, por tanto, para un movimiento real, en el caso de fluido incompresible se reduce a la ecuación de Bernoulli” a la siguiente ecuación:

$$Z_1 + \frac{\rho_1}{\gamma} + \alpha \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{\rho_2}{\gamma} + \alpha \frac{V_2^2}{2g} + H_{1-2}$$

Dónde:

$Z$	: es la energía de posición o potencial (m).
$\rho 1 \gamma'$	: es la energía de presión o piezométrica (m).
$\alpha V_1^2 / 2g$	: es la energía cinética (m).
$\alpha$	: es el peso específico del agua (kg/m <sup>3</sup> ) y
$H_{1-2}$	: es la pérdida de carga producido en el tramo de 1 a 2 (m).

### 2.3.13. Ecuaciones de resistencia al flujo

Según López, A. (2006) manifiesta que “el método del cálculo de Hazen –Williams o Darcy – Weisbach está relacionada netamente con la experiencia del profesional en el diseño y la adecuación al grado de aproximación buscado, según el lugar, la importancia de la obra, temperaturas, altitud, etc., lo que más importa es realizar una correcta elección de los modelos ya existentes sin limitar en gastos y ni en tiempo de estudio, con el objetivo de llevar a la construcción el mejor diseño posible para su correcto funcionamiento”.

#### 2.3.13.1. Ecuación La ecuación de Darcy – Weisbach

Según López, A. (2006) indica que “Weisbach propuso el uso del coeficiente adimensional 0, mientras que Darcy llevó a cabo numerosos experimentos con flujo de agua y del mismo la ecuación tiene fundamentación física y proporciona una base racional para el análisis y cálculo de las pérdidas por fricción durante el movimiento de los fluidos en tuberías”. Y se tiene la ecuación así:

$$h_f = f x \frac{L}{D} x \frac{V^2}{2g}$$

Dónde:

$h_f$ : es la pérdida de carga,

$f$ : es el coeficiente de fricción =  $f(\text{Re}, \epsilon/D)$ ,

$D$ : es el diámetro de la tubería (m),

$V$ : es la velocidad media del fluido (m/s),

$L$ : es la longitud de la tubería entre las secciones S1 y S2,

$\epsilon$ : es el coeficiente de rugosidad absoluta y  $\text{Re}$  es el Reynolds.

Y el valor de  $f$  se obtiene mediante la fórmula de Colebrook con aproximaciones sucesivas.

### 2.3.13.2. La ecuación de Hazen – Williams

Según Saldarriaga, V. & Juan G, (1998) indica que “la fórmula de Hazen – Williams es una de las más populares para el diseño y análisis de los sistemas de agua y tiene la ventaja de ser explícita para la velocidad y siendo que las pérdidas de altura por fricción son proporcionales a la velocidad media elevada a la potencia”. Se tiene la formula en sistema métrico:

$$h_f = \frac{k \times 10^{10}}{C^{1.85} \times D^{4.87}} \times L \times Q^{1.85}$$

Dónde:

$h_f$ : es la pérdida de carga debido a la fricción en la tubería (m).

$k$ : es la constante de conversión ( $1.21957 \times 10^{10}$  unidades métricas).

$C$ : es el coeficiente de fricción que depende del material.

$D$ : es el diámetro de la tubería (mm).

$L$ : es la longitud de la tubería (m).

$Q$ : es el caudal en la tubería (l/s).

### 2.3.14. Diseño óptimo de redes de distribución de agua

Según Saldarriaga, V. & Juan G, (1998) manifiesta que es “un conjunto de diámetros comerciales de un determinado material y un número total de tuberías en una red bajo diseño, el número de formas de combinar diámetros-tuberías es extraordinariamente alto, significa que una red puede diseñarse en diferentes formas, pero solamente algunas de ellas podrán cumplir con las restricciones hidráulicas. A pesar de esto, el número de soluciones de diseño factibles sigue siendo muy alto. Una buena metodología de diseño sería aquella que, dentro del conjunto de soluciones de diseño factibles, permitiera escoger la del mínimo costo”. La técnica de inteligencia artificial mediante software ha permitido llegar al diseño muy cercano al óptimo teórico y que el diseño optimizado de una red de agua potable es un problema resuelto. Lo más interesante de los diseños optimizados es que, los diámetros resultantes no se someten a reglas prefijadas.

#### 2.3.14.1. Método del gradiente

##### Descripción matemática

Saldarriaga (1998), sostuvo que el método del gradiente para el cálculo de redes de distribución de agua, desarrollado por los profesores E.Todini y Conell (1987) en la Universidad de Newcastle Upon Tyne.

### 2.4. Marco conceptual o glosario

**Gradiente hidráulico:** Es la pérdida de energía experimentada por unidad de longitud recorrida por el agua.

**Perdida de carga:** Es el gasto de energía necesario para vencer las resistencias que se oponen al movimiento del fluido de un punto a otro en una sección de la tubería.

**Presión:** Es la cantidad de energía gravitacional contenida en el agua.

## CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA

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

#### **3.1.1. Tipo de investigación**

Por la naturaleza de los datos y el alcance es una investigación es de tipo cualitativa de nivel de Investigación descriptiva – comparativa, ya que describe de acuerdo a las características del objetivo. Es una investigación cualitativa, descriptiva y comparativa que se basa en el análisis de los resultados de los diferentes datos calculados del diseño de redes de distribución de agua potable.

#### **3.1.2. Tipo de análisis**

El tipo de análisis que se desarrolla es no experimental; debido a que se basa en un análisis descriptivo, comparativo, normativo y teórico.

#### **3.1.3. Diseño**

El diseño de investigación es comparativo, descriptivo no experimental, realizado un análisis de cumplimiento de la normativa vigente para luego procesar la información. La metodología que se utilizó para el desarrollo del proyecto de investigación es con finalidad de dar cumplimiento a los objetivos planteados, como la recopilación de datos bibliográficos.

### **3.2. Población de estudio**

En el caso de población y muestra la unidad de observación, se trata de un estudio de caso único, porque se seleccionó intencionalmente los

nudos en el diseño de las redes de distribución optimizada de agua potable en el Centro Poblado de Colca, Región Junín.

### **3.3. Tamaño de muestra**

El presente trabajo de investigación se trata de una investigación cualitativa y de un diseño descriptivo, no pretende que los casos sean estadísticamente representativos; sino se consideró nudos de toda la red de distribución de agua.

### **3.4. Técnica de recolección de datos**

Las técnicas de recolección de datos son: la observación, el cual permitirá reconocimiento de campo para realizar el trabajo topográfico, el análisis del contenido y la recopilación de la información a la población usuaria, autoridades del Centro Poblado de Colca y entre otros.

#### **3.4.1. Técnicas**

Las técnicas de recolección de datos se emplearon la técnica de observación y técnicas de procesamiento de información sobre los trabajos de campo en los puntos específicos de la red de distribución de agua y así mismo se utiliza el análisis de textos bibliográficos, relacionado a la optimización de redes de distribución de agua.

#### **3.4.2. Fuentes**

La técnica de recolección de fuentes es mediante trabajos de campo y es bibliográfico

## CAPÍTULO 4

### DESARROLLO DE TEMA

El diseño de red de distribución es muy importante para la mejora de la calidad de vida de los beneficiarios, y que suministro de agua llegue a cubrir a la población de las localidades a nivel nacional, por ello es bastante importante desarrollar dicho proyecto de acuerdo a las normas y directivas que regula el Ministerio de vivienda Construcción y Saneamiento del gobierno nacional, los cuales permiten el correcto diseño según los cálculos requeridos para cada tipo de los componentes, siendo un rol fundamental y necesario realizar los diseños con los *software's* de ingeniería como es el caso *Watercad* para modelamientos de agua, los cuales nos permiten realizar los diseños de manera eficiente y en menor tiempo.

#### 4.1. Descripción de la zona

##### 4.1.1. Ubicación política

Políticamente la zona de estudio se encuentra:

- Región: Junín
- Provincia: Huancayo
- Distrito: Colca

##### 4.1.2. Ubicación geográfica

Geográficamente se encuentra las Coordenadas 12°19'4.22" S, 75°13'22.44" W.

El distrito de Colca es uno de los veintiocho que conforman la Provincia de Huancayo, ubicada en el Departamento de Junín, bajo la administración del Gobierno Regional de Junín, en el Perú.



Figura 5. Ubicación nacional, departamental y provincial

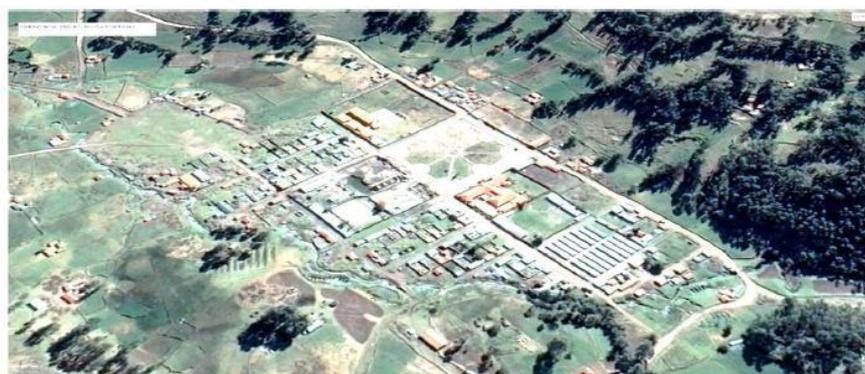


Figura 6. Ubicación distrital y localización del proyecto

Fuente: Google Earth Pro

#### 4.1.3. Límites

Limita por el norte con la Provincia de Chupaca y el distrito de Chupuro; por el este con el Distrito de Cullhuas; por el sur con el Departamento de Huancavelica; y, por el oeste con los distritos de Chicche, Chacapampa y Carhuacallanca.

#### 4.1.4. Vías de comunicación

El acceso al Centro Poblado de Colca es por la vía terrestre vía Carretera Central, desde la ciudad de Lima, aeropuerto Jorge Chávez, con los tiempos que se muestran a continuación.

Cuadro 5. Accesos desde la ciudad de Lima a Junín - Colca

Desde	Hacia	Distancia (Km)	Tiempo	Transporte
LIMA	COLCA	358	8h27m	Vehículo, bus
HUANCAYO	COLCA	49.2	1h30m	Vehículo, bus

#### 4.1.5. Climatología e hidrografía

##### 4.1.5.1. Clima

El clima es templado seco con una temperatura de promedio anual máxima de 12.9 °C con variaciones de 10 °C entre el día y la noche, el sol y la sombra; y la media anual mínima es de 6.5 °C.

La zona corresponde a las regiones Quechua (Sierra) comprendidas entre los 2500 m y 3600 m y la región Suni que se localiza entre los 3600 m y 4100 m. El clima en las partes altas del lugar está sobre los 3200 m.s.n.m. donde se encuentran el límite inferior de las heladas invernales, que se produce por las alteraciones de días con fuerte insolación y noches serenas de cielo transparente.

#### **4.1.5.2. Temperatura**

La temperatura media anual máxima es de 12.9 °C y la media anual mínima es de 6.5 °C. En las estaciones de verano la temperatura puede alcanzar máximas de 18 °C y 22 °C durante el día y promedio de 20 °C. En las estaciones de invierno la temperatura diurna alcanza 16 °C pudiendo descender en las noches de 4 °C y bajo 0 °C.

#### **4.1.5.3. Precipitación y humedad relativa**

La precipitación pluvial, como expresión del comportamiento de los fenómenos de la naturaleza inicia en el mes de setiembre y concluye en el mes de abril, mostrándose con mayor intensidad en los meses de enero, febrero y marzo; la precipitación promedio máximo total del año es de 1119 mm y promedio mínimo de 410 mm en los meses de enero, febrero y marzo, época donde se incrementa el caudal de los ríos y riachuelos. La humedad relativa más elevada se presenta en el mes de marzo con 70.6% y la más baja se presenta en los meses de junio y julio.

#### **4.1.5.4. Hidrografía**

Los riachuelos nacen de una serie de tributarios alimentados por quebradas de caudal perenne y otros temporales cuyo escurrimiento se produce sólo en los meses de precipitación, existiendo aportes sub superficiales.

## **4.2. Materiales y equipos**

Los materiales, equipos y software que fueron utilizados en la elaboración del trabajo de Investigación son las siguientes:

### **4.2.1. Materiales**

- Wincha de 50 m.
- Flexómetro
- Calculadora
- Balde 20 l.

### **4.2.2. Equipos**

- GPS Garmin
- Computadora personal
- Plotter
- Impresoras
- Estación total TOPCON ES-105

### **4.2.3. Software empleado**

- AutoCAD 2016
- AutoCAD civil 3D 2016
- Excel y Word 2013
- S10 presupuestos 2005.
- WaterCAD 10.00.00.05
- ArcMap 10.3
- Epanet 2.0 Brasil

## **4.3. Fase de campo**

### **4.3.1. Recopilación de la información existente y reconocimiento del terreno**

Se realizó el diagnóstico in situ, recolección de datos de la población y vivienda e identificación de las calles; este trabajo

permitió obtener la población actuar y número de conexiones a considerar. Por otra parte, también se acudió a la información gráfica existente como el plano topográfico y planos catastrales que cuenta la municipalidad del Centro Poblado de Colca.

El reconocimiento del terreno consistió en verificar los lugares y/o calles por donde pasa las redes de distribución y así como también las ubicaciones líneas de aducción y reservorio.

#### **4.3.2. Levantamiento topográfico**

El trabajo de levantamiento topográfico consistió desde el reservorio R-1 y toda la línea aducción y red de distribución. Los datos obtenidos del levantamiento topográfico son las coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator), norte, este, cota y descripción. Se estableció puntos estratégicos para dejar Bench Mark (BM) para la posterior verificación. Y con los datos obtenidos se elaboró los planos topográficos y diseños de la red de distribución de agua potable en la localidad de Colca.

#### **4.3.3. Aforo de agua en la captación y en el reservorio**

El aforo se realizó por el método volumétrico que se basa en medir el tiempo que se demora en llenar en un recipiente con volumen conocido. Al dividir la capacidad del recipiente, en litros; por el tiempo que se demora en llenarse, en segundos, se obtiene el caudal en l/s. El aforo se realizó en la captación y en la entrada del reservorio R-1; donde el reservorio R-1 es de capacidad de 40 m<sup>3</sup> y está abastecida por la captación denominada Timpucc Puquio.

#### **4.3.4. Elevaciones y niveles del reservorio**

La obtención de las elevaciones y niveles internos del reservorio R1, consistió en medir elevaciones desde la base, nivel mínimo,

nivel inicial, nivel máximo y diámetro interior del reservorio; con fin de evaluar los parámetros geométricos de funcionamiento de la red de distribución actual y proponer nueva red de distribución de diseño en forma óptima.

#### **4.4. Fase gabinete**

Se realizó mediante el uso de hojas de cálculo y software especializado *Water Cad* y *Epanet*.

##### **4.4.1. Periodo de diseño y estudio de población**

###### **4.4.1.1. Periodo de diseño**

El periodo de diseño es el que el sistema será 100% eficiente en el tiempo determinado, y según la recomendación de las normas generales para proyectos de abastecimiento de agua potable en el sector rural, DIGESA (1994) del Ministerio de Salud se considera para un periodo de diseño de 20 años.

###### **4.4.1.2. Población de diseño**

En la localidad de Colca posee con una población total de 732 habitantes en el año 2020, todos ellos agrupados en 183 familias de acuerdo a la información de padrón de Juntas Administradoras de Servicio y Saneamiento (JASS). En el Censos Nacionales XII de Población, VII de Vivienda y III de comunidades indígenas INEI, (2017) del distrito de

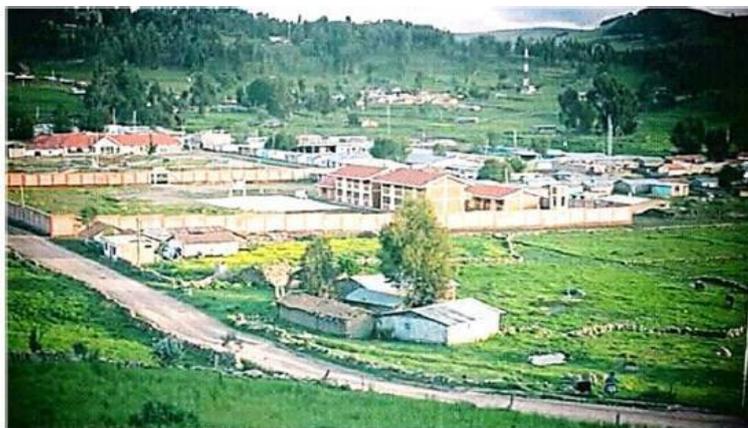
Colca la población el 47.70% son varones y el 52.30% son mujeres.

Según INEI (2017), la tasa de crecimiento anual es negativa; debido a cuál se toma la tasa de crecimiento anual de 1.56% según INIE (2007), y se calcula la población futura con el Método aritmético:

$$P_f = P_o \left[ 1 + \frac{r}{100} (\Delta t) \right]$$

$$r = \frac{P_{i+n} - P_i}{t_{i+n} - t_i}$$

Dónde:  $P_f$  es la población futura o proyectada (hab.),  $P_o$  es la población actual o inicial (hab.),  $r$  es el coeficiente de crecimiento anual por 1000 habitantes,  $\Delta t$  es la variación de tiempo (años),  $t_f$  es el tiempo futuro (años) y  $t_o$  es el tiempo inicial (años).



Fotografía 2. Población del Centro Poblado Colca

#### 4.4.2. Demanda de agua

##### 4.4.2.1. Dotaciones

La dotación de agua por habitante se estima en base a usos y costumbres de la localidad, en diferentes localidades rurales, la dotación de agua según Ministerio de Salud, recomienda tomar de 80 l/hab./día. En el cuadro 6, muestra la dotación por número de habitantes.

Cuadro 6. Dotación por número de habitantes

Población (habitantes)	Dotación (l/hab./día)
Hasta 500	60
500-1000	60-80
1000-2000	80-100

Fuente: Ministerio de salud (1962)

##### 4.4.3. Variaciones de consumo

Las variaciones del consumo son las siguientes:

#### **Caudal medio diario anual (Qm)**

El consumo promedio diario anual esta expresada en litros por segundo (l/s) y se determina mediante la siguiente relación:

$$Q_m = \frac{P_f * Dot}{86400} \text{ l/s}$$

El consumo promedio diario anual sirve para el cálculo o para estimar el consumo máximo diario y horario.

#### **Caudal máximo diario (Qmd)**

Para el consumo máximo diario, se considerara el 130% del consumo promedio diario anual (Qm). Es decir:  $k_1 = 1.3$

$$Q_{md} = Q_m * k_1$$

El consumo máximo diario sirve para diseñar la captación, línea de conducción y reservorio de agua potable.

#### **Caudal máximo horario (Qmh)**

El consumo máximo horario, se considera como el 200% del promedio diario.  $k_2$  varía entre 1.8 a 2.5. García, (2009), recomienda  $k_2 = 2.0$ , para poblaciones menores a 2000 habitantes.

$$Q_{mh} = Q_m * k_2$$

El consumo máximo horario sirve para diseñar línea de aducción y sistema de distribución.

#### **4.4.4. Cálculo de la capacidad del reservorio de almacenamiento**

El volumen de almacenamiento está conformado por volumen de regulación, volumen contra incendio y volumen de reserva.

$$V_t = V_{REG} + V_{CI} + V_{RE}$$

Dónde: el  $V_t$  es el volumen total de almacenamiento,  $V_{REG}$  volumen de regulación,  $V_{CI}$  volumen contra incendio y  $V_{RE}$  volumen de reserva, todas las unidades en metro cúbico. El

volumen de regulación se obtiene como un porcentaje del consumo promedio anual de 25%.

#### **4.4.5. Cálculo y diseño hidráulico de redes de distribución**

##### **4.4.5.1. Método empleado en la modelación**

Para el cálculo hidráulico se realizó con el *Software WaterCAD* y *Darwin Designer* de la empresa *Bentley Systems, Incorporated*. Este programa permite realizar análisis hidráulicos de tuberías con flujos a presión. Para el modelo matemático los elementos son organizados en tres categorías: nudos con condiciones de gradiente conocidas (tanques, reservorios), nudos de conexión (interconexión de tuberías, cambio de diámetro de tuberías, asignación de demandas) y tramos conectados por nudos que incluyen tuberías, válvulas. (*Bentley Systems, Incorporated, 2008*).

La simulación de análisis hidráulico se realizó en periodo estático (análisis bajo condiciones de flujo uniforme permanente), la metodología utilizada por el *software* para determinar la distribución de caudales y presiones es por el Método del Gradiente desarrollado por Todini-Pilati en 1989.

*Darwin Designer* es un método eficiente de diseño de nuevos diseños de tuberías y proyectos de rehabilitación de tuberías. Permite diseñar tuberías para un modelo utilizando algoritmos genéticos en calibración y diseño óptimo eficientes, de una manera más automatizada. Permite la presentación de

múltiples candidatos de diseño para que se encuentre la mejor solución posible para un sistema de agua. *Darwin Designer* prueba diferentes tamaños de tubería o acciones de rehabilitación que estén dentro de las restricciones ingresadas de diseño hasta que se encuentre la mejor solución según el tipo de objetivo.

#### **4.4.5.2. Modelado de la red de distribución de agua potable**

La simulación consta tanto de la red de distribución actual (RDA) y la red de distribución optimizada propuesta (RDOP); el diseño de redes de distribución se ha fundamentado en los criterios de la norma OS.050 Redes de distribución de agua para consumo humano que fija unos criterios mínimos que ha de cumplir la red. Para este modelo de simulación hidráulico se ha establecido una red y la distribución de las demandas por nudos.

contempla priorizar tuberías de diámetros mínimas, aumentando el diámetro de tubería por el inmediato superior comercial de opción por iteración que tenga mayor beneficio/costo hasta alcanzar carga de presión mínima 10 m.c.a. al menor costo, permitiendo también dar seguimiento al análisis de cálculo hidráulico desde un punto de vista físico identificando las tuberías principales.

La fórmula de pérdida de carga que se utilizó en el *software* para el cálculo hidráulico es la de Hazen - Williams de acuerdo como recomienda a la norma OS.050 de RNE (2006), siendo el coeficiente de fricción "C" para tuberías de PVC de 150.

$$h_f = \frac{1.21957 \times 10^{10}}{C^{1.85} \times D^{4.87}} \times L \times Q^{1.85}$$

Dónde:  $h_f$  es la pérdida de carga debido a la fricción en la tubería (m),  $L$  es la longitud de la tubería (m),  $Q$  es el caudal en la tubería (l/s),  $C$  es el coeficiente de fricción que depende de la naturaleza del material y  $D$  es el diámetro de la tubería (mm).

La fórmula para calcular la velocidad se tiene:

$$V = \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2} \quad \text{ó} \quad V = 1.2732 \times \frac{Q}{D^2}$$

Dónde:  $V$  es la velocidad en la tubería (m/s),  $Q$  es el caudal en la tubería (m<sup>3</sup>/s) y  $D$  es el diámetro de la tubería (m).

### **Velocidades y presiones**

En el sistema de redes de distribución se establece los valores mínimos y máximos tanto de velocidades y diámetros como de presiones.

La norma OS.050 del RNE (2006), establece condiciones que seguiremos para la modelación:

La velocidad máxima será de 3 m/s 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.

### **Propiedades físicas de las tuberías**

En el modelo de la red será necesario tener en cuenta los diámetros comerciales que son fabricados según la norma peruana NTP-399:002 PVC-U y NTP-ISO 4422 PVC -UF; los diámetros nominales para el

proyecto son considerados los siguientes: 33, 48, 63, 75 y 90 mm, y para el cálculo hidráulico de tuberías se utilizó los coeficientes de fricción  $C=150$  y la fórmula de Hazen – Williams según la norma OS.050 de RNE (2006), para policloruro de vinilo (PVC). En el cuadro 7, muestra las tuberías de diferentes diámetros de clase 10 (C-10), así mismo el espesor, diámetro interior y diámetro nominal.

Cuadro 7. Diámetro interior y nominal de las tuberías de PVC

Espesor (mm)	Diámetro Interior (mm)	Diámetro nominal (mm)	Espesor (mm)	Diámetro Interior (mm)	Diámetro nominal (mm)
1.80	29.40	33.00	5.30	99.40	110.00
2.30	43.40	48.00	6.70	126.60	140.00
3.00	57.00	63.00	7.70	144.60	160.00
3.60	67.80	75.00	9.60	180.80	200.00
4.30	81.40	90.00	11.90	226.20	250.00

A continuación, en el cuadro 8, muestran las características físicas del líquido a ser transportado por las tuberías, en el diseño de la red de distribución de agua potable.

Cuadro 8. Características físicas del agua que circula en las tuberías

Descripción	Unidad	Valores
Temperatura	°C (°F)	4 (39)
Viscosidad cinemática	$m^2/s$	$1.5656 \times 10^{-6}$
Coefficiente de Fricción Hazen-Williams		150

### Trazo de la red de distribución actual y propuesta

En el trazado de la red de distribución se ha tenido en consideración el plano existente de la red de

distribución actual, el plano de lotización y el topográfico.

### **Demandas de agua en cada nudo**

Una vez identificada y trazada la red de distribución actual y red de distribución propuesta se procede a determinar los caudales de influencias en los nudos, para ello se ha aplicado el método de puntos de tubería más cercana. Para ingresar los caudales unitarios; primero se define los puntos y/o línea de conexiones domiciliarias y luego se procesa con el *software ArcMap* cada punto con su respectivo caudal unitario, tanto para conexiones domiciliarias y conexiones públicas; luego se ingresa a *Software WaterCAD* por el método antes señalada, ver el cuadro 23, demanda de agua en cada nudo de la red de distribución actual y en cuadro 27, demanda de agua en cada nudo de la red de distribución propuesta.

**Modelado de la red de distribución actual** La red de distribución actual (RDA) y red de distribución optimizada actual (RDOA) están constituidas de 56 tramos de tuberías unidas por 45 nudos, formando circuitos de tuberías, mediante las cuales se abastece de agua potable a las viviendas. Se muestran las características geométricas de la red, los diámetros comerciales establecidos en el diseño sin criterios de optimización y las longitudes de los tramos de tuberías. Ver Anexo 14. Planos de red de distribución actual (RDAP-A), y se aprecian los diámetros comerciales establecidos en el diseño con criterios de optimización y las

longitudes de los tramos de tuberías. Ver Anexo 3, resumen del cálculo hidráulico de la RDA a través de software comercial WaterCAD; y Anexo 4, cálculo de diámetros mínimos de la tubería de la RDA y verificación de diámetros calculados en WaterCAD.

### **Modelado de la red de distribución optimizada propuesta**

La red de distribución optimizada propuesta (RDOP) está constituida de 56 tramos de tuberías unidas por 45 nudos, formando circuitos de tuberías, mediante las cuales se abastece de agua potable a las viviendas. Las características geométricas de la red, se aprecian los diámetros comerciales establecidos en el diseño con criterios de optimización y las longitudes de los tramos de tuberías. Ver Anexo 6, resumen del cálculo hidráulico de la RDOP a través de la herramienta *Darwin Designer*; y anexo 14. Planos (RDAP-OP).

Así mismo los resultados obtenidos del modelado hidráulico con *Darwin Designer* de la RDOP se verifico con *software Epanet*. Y luego se realiza un nuevo modelado optimizado de la RDOP utilizando la herramienta *Lenhsnet*, y esta herramienta es desarrollada por el Laboratorio de Eficiencia Energética de la UFPB de Brasil. El objetivo de esta verificación es realizar un análisis comparativo del dimensionado por estas herramientas, con la finalidad de determinar cuáles ofrecen mejores resultados según los indicadores de los costos de tuberías y homogeneidad de la red.

#### 4.4.6. Costo de la red

Lo que se busca es el menor costo de la red, permite determinar los diámetros comerciales óptimos bajo el punto de vista económico, al balancear redes de distribución, manteniendo el orden de presiones mínimas, pero para un mejor entendimiento y representación es necesario generar límites mínimos y máximos. Por lo que se procede al cálculo del costo mínimo de la red, asignando tuberías de diferentes diámetros con el costo por metro lineal por diámetro (ver anexo 10) en todos los tramos de tuberías. A continuación, muestra en el cuadro 9, el costo de las tuberías por metro lineal sin instalación y con instalación.

Cuadro 9. Costo de las tuberías por metro lineal sin instalación y con  
Instalación

Diámetro nominal (mm)	Diámetro interior (mm)	Costo sin instalación (S./ml)	Costo con instalación (S./ml)
33	29.40	4.80	15.65
48	43.40	7.00	17.19
63	57.00	10.83	22.78
75	67.80	13.50	25.86
90	81.40	16.33	33.85

## CAPÍTULO 5

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 5.1. Análisis, interpretación y discusión de resultados

##### 5.1.1. Aforo de agua en la captación y en los reservorios

El aforo se realizó en la captación y en la tubería de entrada del reservorio R-1; donde el reservorio R-1 de capacidad de 40 m<sup>3</sup> está abastecida por la captación denominada Timpucc Puquio.

Se muestra caudales de la captación y reservorio en el cuadro 10 y en el cuadro 11.

Cuadro 10. Disponibilidad de agua en la captación

Captación Timpucc Puquio		
Descripción	Unidad	Caudal
Captación	m <sup>3</sup> /s	0.009651
tipo fondo	l/s	9.651

Cuadro 11. Disponibilidad de agua que ingresa al reservorio R-1

Abastecido de la captación Timpucc Puquio		
Descripción	Unidad	Caudal
Reservorio	m <sup>3</sup> /s	0.002416
R-1	l/s	2.416

##### 5.1.2. Elevaciones y niveles del reservorio

La obtención de las elevaciones y niveles internas del reservorio R1, consistió en medir elevaciones desde la base, nivel mínimo,

nivel inicial, nivel máximo y diámetro interior del reservorio para el caso RDA. En el cuadro 12, se presenta las elevaciones y niveles del reservorio R-1 en RDA, y en cuadro 13, muestra las elevaciones y niveles en RDOP.

Cuadro 12. Elevaciones y niveles del reservorio R-1 en RDA

Descripción	Nivel	Elevación	Unidad
Reservorio R-1	Base	3,590.77	m.s.n.m.
	Mínimo	3,591.77	m.s.n.m.
	Inicial	3,592.27	m.s.n.m.
	Máximo	3,593.27	m.s.n.m.

Cuadro 13. Elevaciones y niveles del reservorio R-1 en RDOP

Descripción	Nivel	Elevación	Unidad
Reservorio R-1	Base	3,590.77	m.s.n.m.
	Mínimo	3,591.77	m.s.n.m.
	Inicial	3,592.27	m.s.n.m.
	Máximo	3,593.27	m.s.n.m.

### 5.1.3. Periodo de diseño y estudio de población

#### 5.1.3.1. Periodo de diseño

El periodo de diseño para proyectos de abastecimiento de agua potable en la zona rural según el Ministerio de Salud se proyecta para un periodo de diseño de 20 años. Vierendel (2005), recomienda para poblaciones de 2,000 hasta 20,000 habitantes se considerará de 15 años. Y Agüero, R. (1997), indica para reservorios 20 años y redes 10 a 20 años (tubería principal 20 años, secundaria 10 años).

### 5.1.3.2. Población de diseño

Según la información disponible y obtenida por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), el distrito de Colca el año 1993 tenía 12,657 habitantes; el año 2005 tenía 16,312 habitantes; el año 2007 tenía 15,787 habitantes y el año 2017 tenía 13,634 habitantes. A continuación, en el cuadro 14, se presenta población censada por años y en la figura 7, muestra la representación de la población (1993 – 2017).

Cuadro 14. Población total censada por años

Año	Población (hab.)
1993	12,657
2005	16,312
2007	15,787
2017	13,634



Figura 7. Representación de la población del distrito de Colca (1993 – 2017)

En los Censos Nacionales INEI, (2017) XII de Población, VII de Vivienda y III de comunidades indígenas, en el distrito de Colca la población del 47.70% son varones y el 52.30% son mujeres. A continuación, se muestra en el cuadro 15, población total censada, según sexo año 2017.

Cuadro 15. Población total censada, según sexo año 2017

Distrito	Población		Total
	hombres	mujeres	
Vinchos	6504	7130	13634
%	47.70%	52.30%	100%

En la localidad de Colca, tiene una población total de 732 habitantes en el año 2020, todos ellos agrupados en 183 familias de acuerdo a la información de padrón de Juntas Administradoras de Servicio y Saneamiento (JASS). En el cálculo de población se consideró la tasa de crecimiento anual de 1.56% según INEI, (2007); por presentar la tasa de crecimiento distrital negativa, no se consideró el último censo INEI (2017).

La red de distribución actual está diseñada considerando la población del año 2007 con una tasa positiva; y como se trata de una evaluación de la red actual o existente se tomó, la tasa de crecimiento anual de 1.56% según INEI (2007), debido a que la investigación es comparativa. Para el distrito de Colca la tasa de crecimiento anual es de 1.56% y promedio de personas por hogar equivalente a 4 personas según INEI (2007), se detalla en el cuadro 16.

Cuadro 16. Tasa de crecimiento de la población y promedio de personas por hogar del distrito de Colca

Dpto	Prov	Distrito	Tema	Descrip	Valor
Junín	Huancayo	Colca	Demográfico	Tasa Crec. Pob (93-07)	1.56 3.95

En el cuadro 17, muestra la proyección de la población al año 2040 y en la figura 8, muestra una proyección de la población y vivienda al año 2040. A continuación se calcula la población futura con el Método aritmético de la siguiente manera:

$$P_f = P_o \left[ 1 + \frac{r}{100} (\Delta t) \right]$$

$$P_f = 732 \left[ 1 + \frac{1.56}{100} (20) \right]$$

$$P_f = 960 \text{ Habitantes}$$

Cuadro 17. Proyección de la población al año 2040

Números de Lotes		183 lotes	
Densidad Poblacional		4 hab/vivienda	
Población (2020)		732 hab.	
Tasa de Crecimiento		1.56 %	
Año	Año	Población	Vivienda
0	2020	732	183
1	2021	743	186
2	2022	755	189
3	2023	766	192
4	2024	778	194
5	2025	789	197
6	2026	801	200
7	2027	812	203
8	2028	823	206
9	2029	835	209
10	2030	846	212
11	2031	858	214
12	2032	869	217
13	2033	880	220
14	2034	892	223
15	2035	903	226
16	2036	915	229
17	2037	926	232
18	2038	938	234
19	2039	949	237
20	2040	960	240



Figura 8. Proyección de la población y vivienda al año 2040

#### 5.1.4. Demanda de agua

##### 5.1.4.1. Dotación de agua

La dotación de agua según Ministerio de Salud (1962) para poblaciones entre 1,000 a 2,000 habitantes se recomienda 80 a 100 litros por habitante por día y para la presente red actual, para determinar y analizar los parámetros se tomara de 80 l/hab./día como se detalla en el cuadro 18.

Cuadro 18. Dotación en la zona del proyecto

Uso	Consumo (l/hab/día)
Bebida y comida	25
Lavado de ropa	25
Baño y aseo personal	15
Servicios sanitarios	15
<b>Total</b>	<b>80</b>

Fuente: Ministerio de Salud (1962)

DIGESA (1994), recomienda para medio rural según regiones para sierra una dotación de agua 50 l/hab./día. Y Organización Mundial de Salud (OMS), recomienda para población rural, clima frio una dotación de 100 l/hab./día. y para población de 2,000 a 10,000 de clima frio una dotación de 120 l/hab./día.

##### 5.1.5. Cálculo de variaciones de consumo

Los cálculos de variaciones del consumo de la demanda de agua y a continuación se detallan según su uso de la siguiente manera:

### 5.1.5.1. Cálculo del caudal para fines de uso domestico

#### a) Caudal medio diario anual (Qm)

El consumo promedio diario anual esta expresada en litros por segundo (l/s) y se determina mediante la siguiente relación:

$$Q_m = \frac{P_f * Dot}{86400} \text{ l/s}$$

$$Q_m = \frac{960 * 80}{86400} \text{ l/s}$$

$$Q_m = 0.889 \text{ l/s}$$

#### b) Caudal máximo diario (Qmd)

Para el consumo máximo diario (Qmd), se recomienda el valor promedio de 130% del consumo promedio diario anual (Qm), el coeficiente de la variación diaria  $k_1 = 1.3$

$$Q_{md} = Q_m * k_1$$

$$Q_{md} = 0.889 * 1.30$$

$$Q_{md} = 1.156 \text{ l/s.}$$

#### c) Caudal máximo horario (Qmh)

El consumo máximo horario (Qmh) se consideró como el 200% del promedio diario (Qm). La relación de la hora de máximo consumo para el máximo día de la demanda horaria dividido por el promedio diario del consumo horario varia de 1.8 a 2.5. El coeficiente de variación horaria recomendable  $k_2 = 2.0$

$$Q_{mh} = Q_m * k_2$$

$$Q_{mh} = 0.889 * 2.0$$

$$Q_{mh} = 1.778 \text{ l/s}$$

Cuadro 19. Resumen de cálculo del caudal para fines de uso domestico

Descripción	Unidad	Valores
N° de viviendas	Viviendas	183
Densidad Poblacional	Habitantes/Vivienda	4
Población Actual 2020	Habitantes	732
Tasa de Crecimiento		1.56%
Población Futura 2040	Habitantes	960
Dotación	l/hab./día	80
Q <sub>m1</sub>	l/s	0.889
K <sub>1</sub>		1.3
Q <sub>md1</sub>	l/s	1.156
K <sub>2</sub>		2.0
Q <sub>mh1</sub>	l/s	1.778
q unitario	l/s/vivienda	0.010

#### 5.1.5.2. Cálculo de caudal para conexiones públicas

Las dotaciones diarias mínimas de agua para uso de conexiones públicas, centros de salud, centros educativos y recreación están contempladas por la norma Instalaciones Sanitarias IS-010 del RNE (2006). Ver cuadro 21, detalle del cálculo del caudal para conexiones públicas.

Cuadro 20. Resumen de cálculo del caudal para conexiones públicas.

Descripción	unidad	valores
Q <sub>m2</sub>	l/día	77440.80
Q <sub>m2</sub>	l/s	0.896
K <sub>1</sub>		1.3
Q <sub>md2</sub>	l/s	1.165
K <sub>2</sub>		2.0
Q <sub>mh2</sub>	l/s	1.793

Prado, T. (2016), sostuvo que la dotación de agua para hospitales y centros de salud será de 800 litros por cama por día; educación primaria 20 litros por alumno por día; educación secundaria y superior 25 litros por alumno por día; riego en parques 2 litros por metro cuadrado por día. La norma IS-010 de RNE (2006), indicó que en centros de salud se debe considerar 600 litros por cama por día. Además en centros educativos la dotación es 20 litros por alumno por día; en áreas y/o locales publica 6 litros por metro cuadrado por día y en áreas de recreación publica 2 litros por metro cuadrado por día.

Cuadro 21. Detalle del cálculo del caudal para conexiones públicas

Recreación publica						
Local	Área (m2)	Dotación (l/día/m2)	Qm (l/día)	Qm (l/s)	Qmd (l/s)	Qmh (l/s)
Parque 1	8141.20	2.0	16282.40	0.1885	0.2450	0.377
Parque 2	856.50	2.0	1713.00	0.0198	0.0258	0.040
Estadio	10273.90	2.0	20547.80	0.2378	0.3092	0.476
Educación						
Local	N° de alumnos	Dotación (l/alum/día)	Qm (l/día)	Qm (l/s)	Qmd (l/s)	Qmh (l/s)
Inicial	85	20	1700.00	0.0197	0.0256	0.039
Primaria	104	20	2080.00	0.0241	0.0313	0.048
Secundaria	142	20	2840.00	0.0329	0.0427	0.066
Salud						
Local	N° de camas	Dotación (l/cama/día)	Qm (l/día)	Qm (l/s)	Qmd (l/s)	Qmh (l/s)
Puesto de salud	5	600.0	3000.00	0.0347	0.0451	0.069
Otros						
Local	Área (m2)	Dotación (l/día/m2)	Qm (l/día)	Qm (l/s)	Qmd (l/s)	Qmh (l/s)
Municipio	500	6.0	3000	0.0347	0.0451	0.069
Casa comunal	694.8	6.0	4168.8	0.0483	0.0627	0.097
Mercado	3684.8	6.0	22108.8	0.2559	0.3327	0.512
<b>Total</b>		<b>Qm<sub>2</sub> =</b>	<b>77440.80</b>	<b>0.8963</b>	<b>1.1652</b>	<b>1.793</b>

Finalmente se tiene la suma de caudales de uso doméstico y uso público siendo el caudal máximo horario (Qmh) de 3.571 l/s que requiere, teóricamente calculado y abastecido por la red de distribución actual (RDA) de la localidad de Colca. A continuación en el cuadro 22, muestra el resumen final del cálculo del caudal de diseño.

Cuadro 22. Resumen final del cálculo del caudal de diseño

Descripción	Unidad	Valores
$Q_m = (Q_{m1} + Q_{m2})$	l/día l/s	154271.52 1.786
$Q_{md} = (Q_{md1} + Q_{md2})$	l/s	2.321
$Q_{mh} = (Q_{mh1} + Q_{mh2})$	l/s	3.571

### 5.1.6. Cálculo de la capacidad del reservorio de almacenamiento

El volumen de almacenamiento está conformado por volumen de regulación, volumen contra incendio y volumen de reserva.

$$V_t = V_{REG} + V_{CI} + V_{RE}$$

Vierendel (2005), indicó que en poblaciones hasta 10,000 habitantes no se considera demanda contra incendio.

$$V_{CI} = 0.0$$

Y así mismo en poblaciones rurales no se considera demanda de reserva.

$$V_{RE} = 0.0$$

Para los proyectos de agua potable por gravedad, el Ministerio de Salud recomienda una capacidad de regulación del reservorio del 25% al 30% del volumen del consumo promedio diario anual ( $Q_m$ ). Según la norma OS.030 Almacenamiento de agua para consumo humano del RNE (2006), indicó que el volumen de regulación, cuando no hay registro de variaciones horarias de la demanda, se deberá adoptar como mínimo el 25% del promedio anual de la demanda como capacidad de regulación. Cuando sea calculado para 24 horas de funcionamiento.

$$V_{REG} = Q_m * 25\% \text{ l}$$

$$V_{REG} = 154271.52 \text{ l/dia} * 0.25 \text{ l}$$

$$V_{REG} = 38567.88 \text{ l}$$

$$V_{REG} = 39 \text{ m}^3$$
  

$$V_t = (59 + 0.0 + 0.0) \text{ m}^3$$

$$V_t = 39 \text{ m}^3$$

De acuerdo a la evaluación, existe un reservorio R-1 de 40 m<sup>3</sup>, disponible de almacenamiento; por lo tanto, cumple la capacidad del reservorio.

### **5.1.7. Cálculo hidráulico de la red de distribución actual**

#### **5.1.7.1. Trazo de la red de distribución actual**

En el trazado de la red de distribución actual (RDA) se ha tenido en consideración el plano existente de la red de distribución actual, el plano de lotización y el topográfico. Ver anexo 14. Plano topográfico (RDAP-T). Y en la figura 9, muestra el trazado y sectorizado de la RDA.

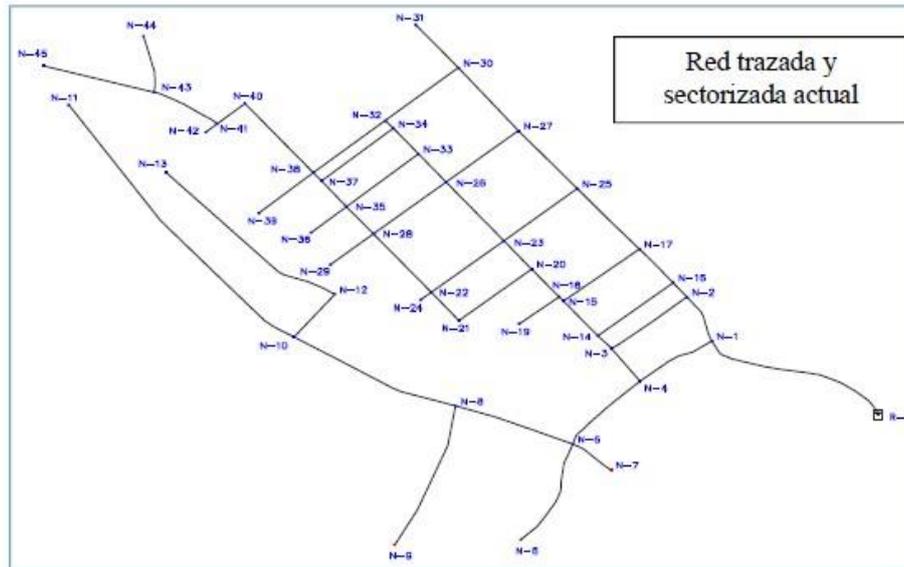


Figura 9. Trazado y sectorizado de la RDA

#### 5.1.7.2. Representación de las demandas unitarias en cada nudo de la RDA

Una vez identificada y trazada la RDA se procedió a determinar los caudales de influencias en los nudos, para ello se ha aplicado el método de puntos de tubería más cercana. Para ingresar los caudales unitarios; primero se definió los puntos y/o línea de conexiones domiciliarias y conexiones públicas y luego se procesó con el *software ArcMap* cada punto con su respectivo caudal unitario, tanto para conexiones domiciliarias y conexiones públicas; luego se ingresa a *Software WaterCad* por el método de puntos de tubería más cercana y se procesa asignando a cada tramo y luego a los nudos; se muestra en anexo 12, asignación de demanda de agua a nudos usando *software ArcMap* y *WaterCAD* y en la figura 10, representación de los caudales unitarios por puntos.

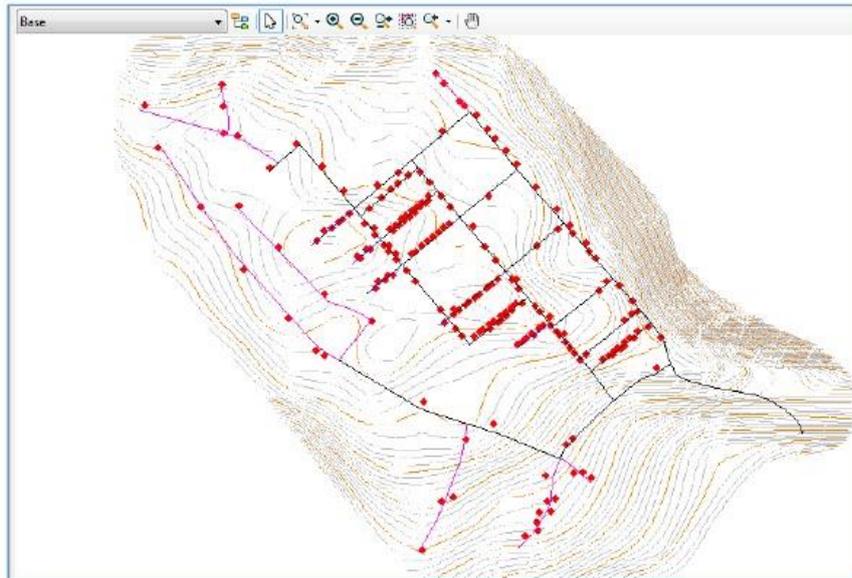


Figura 10. Representación de los caudales unitarios por puntos

### 5.1.7.3. Demanda de agua en la RDA

El caudal unitario para conexiones domesticas está considerado de un caudal de 0.010 litros por segundo por vivienda, siendo una demanda 1.778 l/s; y en el caso para conexiones públicas de una demanda de 1.793 l/s; siendo caudal de diseño ( $Q_{mh}$ ) de 3.571 l/s. A continuación en el cuadro 23, muestra la demanda de agua en cada nudo de la RDA.

Cuadro 23. Demanda de agua en cada nudo de la RDA

Nudo ID	Caudal ( l/s)						
N-1	0.010	N-13	0.015	N-25	0.044	N-37	0.039
N-2	0.063	N-14	0.304	N-26	0.353	N-38	0.297
N-3	0.063	N-15	0.295	N-27	0.067	N-39	0.262
N-4	0.015	N-16	0.029	N-28	0.102	N-40	0.015
N-5	0.083	N-17	0.044	N-29	0.024	N-41	0.015
N-6	0.054	N-18	0.073	N-30	0.049	N-42	0.005
N-7	0.015	N-19	0.034	N-31	0.019	N-43	0.024
N-8	0.029	N-20	0.151	N-32	0.030	N-44	0.010
N-9	0.019	N-21	0.083	N-33	0.097	N-45	0.010
N-10	0.039	N-22	0.078	N-34	0.034		
N-11	0.029	N-23	0.374	N-35	0.136		
N-12	0.019	N-24	0.005	N-36	0.019		
Suma	0.438		1.485		0.974		0.677
Total						Qmh	3.571

#### 5.1.7.4. Resultados de las simulaciones de la RDA

Se calculó los parámetros geométricos de la RDA con fin de verificar y comparar las presiones de servicio; con tuberías de diámetro interior de 57.00, 43.40 y 29.40 mm y tiene un total de red de tuberías de 5,249.58 ml, considerando especificaciones técnicas de las tuberías NTP-399:002 PVC-U y NTP-ISO 4422 PVC-UF de clase C-10, a través del *software*. Ver anexo 3, resumen del cálculo hidráulico de la RDA a través de *software* comercial *WaterCAD*; ver el anexo 4 y anexo 5. Considerando caudal máximo horario (Qmh) de 3.571 l/s, abastecido por un reservorio. Se muestra los planos en el anexo 14. Planos de red de distribución actual (RDAP-A).

### a) Presión en cada nudo de la RDA

A continuación, se presenta presiones calculadas en el siguiente cuadro 24, y en la figura 11, muestra la variación de presiones en la RDA.

Cuadro 24. Presión calculada en cada nudo de la RDA

Nudo ID	Presión (m.c.a.)						
N-1	18.89	N-13	31.2	N-25	19.77	N-37	31.45
N-2	15.29	N-14	22.17	N-26	26.66	N-38	30.79
N-3	19.33	N-15	27.51	N-27	23.81	N-39	33.13
N-4	11.08	N-16	16.78	N-28	29.66	N-40	29.59
N-5	10.85	N-17	19.61	N-29	29.45	N-41	30.73
N-6	4.14	N-18	28.15	N-30	21.01	N-42	30.73
N-7	5.68	N-19	25.41	N-31	19.55	N-43	31.31
N-8	23.99	N-20	28.3	N-32	26.29	N-44	26.36
N-9	8.96	N-21	25.89	N-33	25.67	N-45	28.47
N-10	27.8	N-22	28.75	N-34	26.11		
N-11	30.61	N-23	28.09	N-35	31.7		
N-12	29.27	N-24	28.37	N-36	32.1		

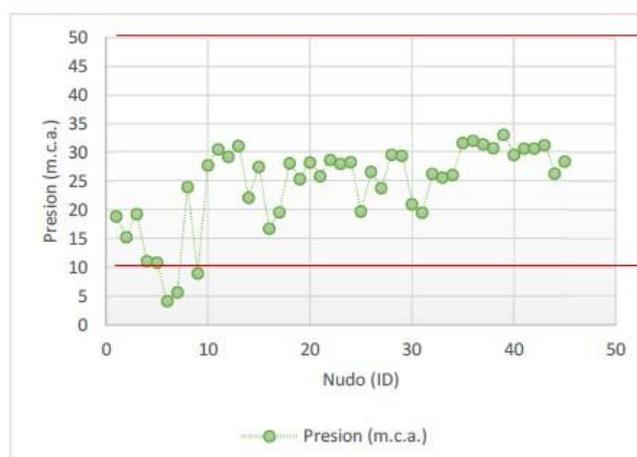


Figura 11. Representación de variación de presiones en la RDA

De acuerdo OS.050 del RNE (2006), las presiones calculadas no están dentro del rango establecido por dicha norma entre 10 y 50 m.c.a. y no cumplen todos los nudos siendo la presión máxima estática de 33.13

m.c.a en el nudo 39 y presión dinámica de 4.14 m.c.a. en el nudo 6. Por lo que en los nudos 6, 7 y 9 no cumplen las presiones mínimas como se muestra en la figura 11, por ende, hay un desabastecimiento de agua en las piletas de domiciliarias.

b) Velocidad en cada tubería del tramo de la RDA

En la RDA se obtuvo la velocidad de servicio, registrándose en la red de aducción la velocidad máxima de 1.40 m/s, y mientras en los tramos de la red de distribución la velocidad tiende a ser menores a continuación se presenta en el cuadro 25, velocidad calculada en cada tramo de la tubería de la RDA y en la figura 12, muestra la representación de variación de velocidad en la RDA.

Cuadro 25. Velocidad calculada en cada tramo de la tubería de la RDA

Tubería ID	Velocidad ( m/s)						
TUB-1	1.40	TUB-15	0.58	TUB-29	0.40	TUB-43	0.15
TUB-2	0.81	TUB-16	0.55	TUB-30	0.15	TUB-44	0.03
TUB-3	0.15	TUB-17	0.64	TUB-31	0.20	TUB-45	0.03
TUB-4	0.58	TUB-18	0.08	TUB-32	0.24	TUB-46	0.12
TUB-5	0.12	TUB-19	0.54	TUB-33	0.10	TUB-47	0.16
TUB-6	0.04	TUB-20	0.12	TUB-34	0.02	TUB-48	0.06
TUB-7	0.01	TUB-21	0.55	TUB-35	0.19	TUB-49	0.08
TUB-8	0.06	TUB-22	0.05	TUB-36	0.04	TUB-50	0.39
TUB-9	0.01	TUB-23	0.51	TUB-37	0.12	TUB-51	0.03
TUB-10	0.04	TUB-24	0.17	TUB-38	0.01	TUB-52	0.02
TUB-11	0.02	TUB-25	0.14	TUB-39	0.09	TUB-53	0.00
TUB-12	0.02	TUB-26	0.28	TUB-40	0.15	TUB-54	0.03
TUB-13	0.01	TUB-27	0.08	TUB-41	0.08	TUB-55	0.01
TUB-14	0.46	TUB-28	0.01	TUB-42	0.01	TUB-56	0.01

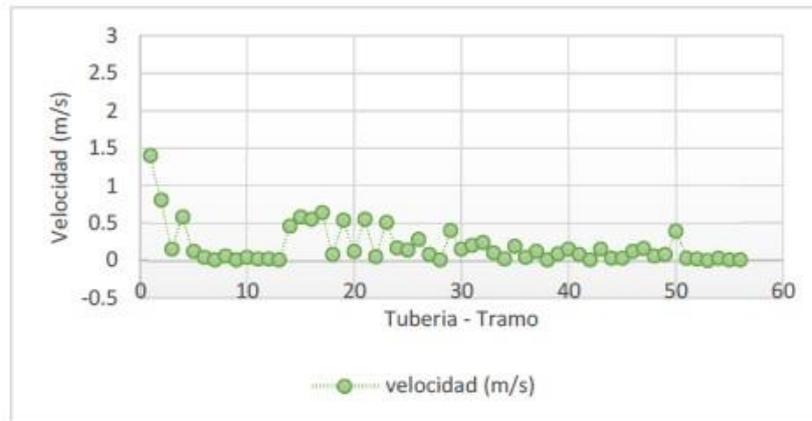


Figura 12. Representación de variación de velocidad en la RDA

En la figura 12, se observa la variación de la velocidad en cada tramo, donde la velocidad en la línea de aducción son menores por presentar tuberías de mayor diámetro, y en la red de distribución debido a que los diámetros de las tuberías son mayores a su vez la pérdida de carga son menores.

De acuerdo al OS.050 de RNE (2006), la velocidad máxima es 3 m/s en red de distribución; por lo tanto, el rango establecido según la norma cumplen todos los tramos de la tubería debido a que las velocidades son menores.

### c) Línea de gradiente hidráulica de la RDA

La línea de gradiente hidráulica (L.G.H.) indica la presión de agua a lo largo de la tubería bajo condiciones de operación. En la figura 13, muestra la representación de la línea gradiente hidráulica en cada nudo de la RDA. Además, en la red, los tramos que se consideró como más críticos son los tramos representados por los nudos 6, 7 y 9, que los nudos

están en las partes más elevadas de la red de distribución, debido al cual las presiones de servicio están próximos a la presión mínima y ver la figura 14, representación de la línea de gradiente hidráulica en los tramos más críticos de RDA.

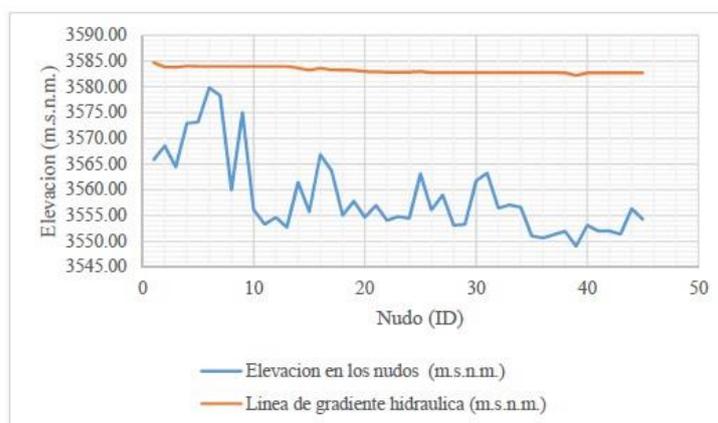


Figura 13. Representación de la línea gradiente hidráulica en cada nudo de la RDA

En la figura 13, muestra la variación de las presiones finales en cada nudo, donde la pérdida de carga, son menores, debido a que los diámetros de las tuberías son mayores y por lo tanto las presiones son mayores, pero en los nudos 6, 7 y 9 son menores que 10 m.c.a. y no cumplen de acuerdo al OS.050 de RNE (2006).

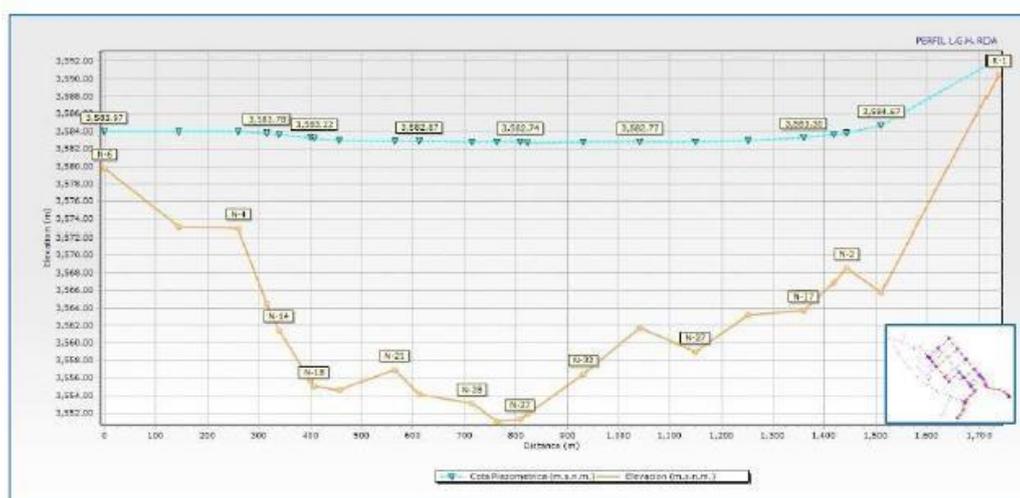


Figura 14. Línea de gradiente hidráulica en los tramos más críticos de la RDA

#### 5.1.7.5. Cálculo de diámetros mínimos en la RDA

El cálculo de diámetros mínimos se realizó con la ayuda de la plantilla *Excel*, donde primero se calcula el diámetro teórico, y a su vez proporciono diámetros interiores comerciales, es decir, diámetros mínimos a utilizar, utilizando la fórmula de Hazen – Williams; para el caso de la red de distribución se calculó los diámetros interiores de la tubería de 57.00, 43.40 y 29.40 mm, considerando las especificaciones técnicas para tuberías NTP-399:002 PVC–U y NTP-ISO 4422

PVC–UF de clase C-10 y para un coeficiente “C” de 150. Ver anexo 4. Cálculo de diámetros mínimos de la tubería de la RDA y verificación de diámetros calculados en *WaterCAD*; y a continuación en el cuadro 26, muestra los diámetros mínimos interiores que requiere en cada tramo de la tubería de la RDA.

Cuadro 26. Diámetros mínimos interiores que requiere en cada tramo de la tubería de la RDA

Tubería ID	Diámetro mínimo (mm)						
TUB-1	57.00	TUB-15	43.40	TUB-29	57.00	TUB-43	29.40
TUB-2	57.00	TUB-16	43.40	TUB-30	29.40	TUB-44	29.40
TUB-3	29.40	TUB-17	43.40	TUB-31	43.40	TUB-45	29.40
TUB-4	43.40	TUB-18	29.40	TUB-32	29.40	TUB-46	43.40
TUB-5	43.40	TUB-19	43.40	TUB-33	29.40	TUB-47	29.40
TUB-6	43.40	TUB-20	29.40	TUB-34	29.40	TUB-48	29.40
TUB-7	29.40	TUB-21	43.40	TUB-35	43.40	TUB-49	29.40
TUB-8	29.40	TUB-22	29.40	TUB-36	29.40	TUB-50	43.40
TUB-9	29.40	TUB-23	57.00	TUB-37	29.40	TUB-51	29.40
TUB-10	29.40	TUB-24	29.40	TUB-38	29.40	TUB-52	29.40
TUB-11	29.40	TUB-25	29.40	TUB-39	29.40	TUB-53	81.40
TUB-12	29.40	TUB-26	57.00	TUB-40	29.40	TUB-54	57.00
TUB-13	43.40	TUB-27	29.40	TUB-41	29.40	TUB-55	29.40
TUB-14	29.40	TUB-28	29.40	TUB-42	29.40	TUB-56	29.40

De acuerdo al cuadro 26, los diámetros mínimos interiores que requiere son: 57.00, 43.40 y 29.40 mm. Y los diámetros interiores asignados en la RDA son 57.00, 43.40 y 29.40 mm. Pero las tuberías no están de acuerdo en el tramo que se requiere por tanto las tuberías de la RDA no están optimizadas y en consecuencia en nudos 6, 7 y 9 no cumplen las presiones mínimas.

#### 5.1.7.6. Costo de la RDA sin optimización

El costo de la RDA sin optimización es de S/. 109,241.42 (ciento nueve mil doscientos cuarenta y uno con 42/100 soles) aproximadamente; el costo que se consideró, es el costo del suministro e instalación de tuberías en la red de distribución. Ver anexo 9, costo parcial por tramos y total de instalación de las tuberías de la RDA; anexo 10, costo de suministro e

instalación de tuberías según el diámetro y anexo 11, cotización de los costos de las tuberías según las especificaciones técnicas. A continuación, en la figura 15, muestra el costo de suministro e instalación de la tubería por metro lineal y por diámetro.

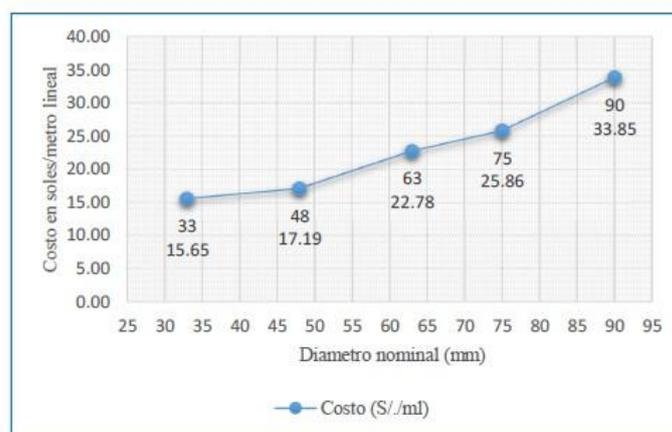


Figura 15. Costo de suministro e instalación de la tubería por metro lineal y por diámetro

Las presiones en la RDA no están dentro de los parámetros establecidos por la norma OS.050 de RNE (2006), no cumple con los parámetros establecidos. Por tanto, se recomienda rehabilitación o cambio de tuberías en los tramos críticos, considerando las especificaciones técnicas de las tuberías, según los planos y de acuerdo al diseño.

La desventaja de la red diseñada actual es que no permite un servicio eficiente en algunos sectores, además tiene mayor cantidad de puntos muertos y los tramos no son alimentados por ambos extremos en algunos sectores, consiguiendo mayores pérdidas de carga y del mismo requiere una red de mayor diámetro en sectores abiertas.

## 5.1.8. Cálculo hidráulico de la red de distribución optimizada propuesta

### 5.1.8.1. Trazo de la RDOP

El trazado de la red de distribución optimizada propuesta (RDOP), se ha tenido en consideración el plano de la RDA, el plano de lotización y el topográfico ver anexo 14, plano topográfico (RDAP-T). Y a continuación se muestra en la siguiente figura 16, el trazado de la red de distribución propuesta agua potable.

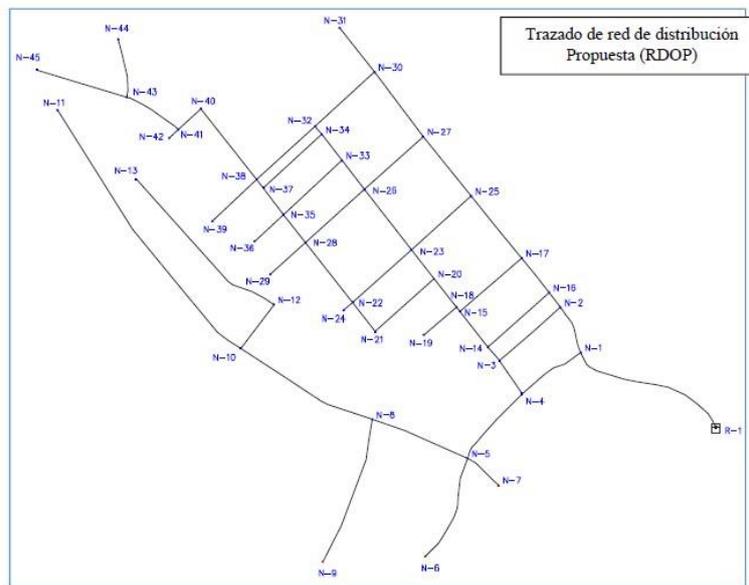


Figura 16. Trazado de la nueva RDOP

### 5.1.8.2. Representación de las demandas unitarias en cada nudo en la RDOP

Se procedió a determinar los caudales de influencias en los nudos, para ello se ha aplicado el método de

puntos de tubería más cercana. Para ingresar los caudales unitarios primero se definió los puntos y/o línea de conexiones domiciliarias y luego se procesa con el *software ArcMap*, cada punto con su respectivo caudal unitario, tanto para conexiones domiciliarias y conexiones públicas. Ver Anexo 12; luego se ingresa los datos a *WaterCAD*, en la figura 17 muestra representación de caudales unitarios por puntos en la RDOP.

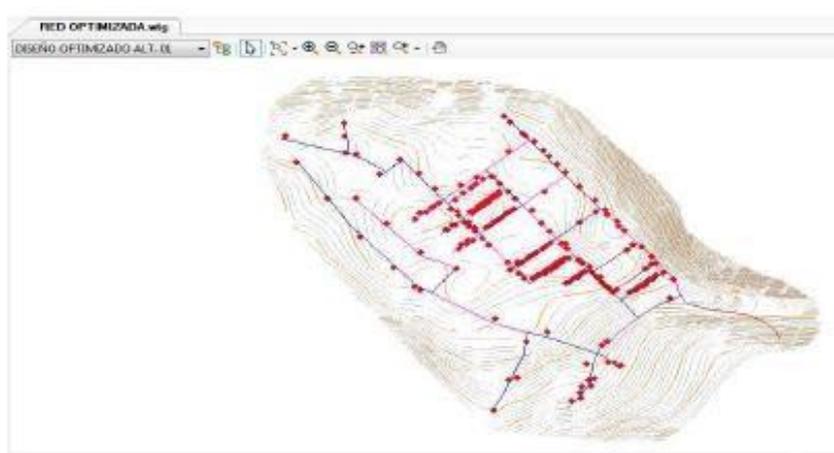


Figura 17. Representación de los caudales unitarios por puntos en RDOP

### 5.1.8.3. Demanda de agua en la RDOP

Se procedió a determinar los caudales unitarios en cada uno de los nudos, para ello se ha aplicado el método de puntos de tubería más cercana, que cada caudal unitario representado por un punto como doméstico y público es asignada a la tubería más cercana de la red de distribución. Ver anexo 12, asignación de demanda de agua a nodos usando *software ArcMap* y *WaterCAD*.

En la RDOP el caudal de diseño (Qmh) es 3.571 l/s, y es abastecido por un reservorio. En la tabla 27 muestra la demanda de agua en cada nudo de la RDOP.

Cuadro 27. Demanda de agua en cada nudo de la RDOP

Nudo ID	Caudal ( l/s)	Nudo ID	Caudal ( l/s)	Nudo ID	Caudal ( l/s)	Nudo ID	Caudal ( l/s)
N-1	0.01	N-13	0.015	N-25	0.044	N-37	0.039
N-2	0.063	N-14	0.304	N-26	0.353	N-38	0.297
N-3	0.063	N-15	0.295	N-27	0.067	N-39	0.262
N-4	0.015	N-16	0.029	N-28	0.102	N-40	0.015
N-5	0.083	N-17	0.044	N-29	0.024	N-41	0.015
N-6	0.054	N-18	0.073	N-30	0.049	N-42	0.005
N-7	0.015	N-19	0.034	N-31	0.019	N-43	0.024
N-8	0.029	N-20	0.151	N-32	0.03	N-44	0.01
N-9	0.019	N-21	0.083	N-33	0.097	N-45	0.01
N-10	0.039	N-22	0.078	N-34	0.034		
N-11	0.029	N-23	0.374	N-35	0.136		
N-12	0.019	N-24	0.005	N-36	0.019		
<b>Suma</b>	0.438		1.485		0.974		0.677
Total				Qmh = 3.571			

#### 5.1.8.4. Diseño de la RDOP empleando el paquete Darwin Designer

Se ha logrado diseñar la nueva red de distribución optimizada propuesta (RDOP) en flujo permanente a través del uso de la herramienta *Darwin Designer*, considerando caudal de diseño (Qmh) de 3.571 l/s. Ver anexo 23. Proceso de diseño de RDOP usando la herramienta *Darwin Designer*, a costo mínimo y obtener una red que garantice un mejor servicio a los usuarios finales.

En el anexo 6, muestra el resumen del cálculo hidráulico de la RDOP a través de la herramienta

*Darwin Designer*, en el anexo 14 planos de la red de distribución optimizada propuesta (RDAPOP).

#### a) Presión en cada nudo en la RDOP

De acuerdo a los cálculos en la RDOP, la presión mínima es 10.68 m.c.a, en nudo 6 y presión máxima 37.42 m.c.a, en nudo 13, para lo cual, se ha restringido el límite mínimo de presión dinámica de 10 m.c.a. y como máximo de presión estática de 50 m.c.a. de acuerdo al OS.050 de RNE (2006). Ver figura 18 variaciones de presión en RDOP.

A continuación, en el cuadro 28 muestra presiones en cada nudo de la RDOP.

Cuadro 28. Presión en cada nudo de la RDOP

Nudo ID	Presión (m.c.a.)						
N-1	25.15	N-13	37.42	N-25	20.2	N-37	30.39
N-2	18.71	N-14	24.77	N-26	26.34	N-38	29.6
N-3	22.14	N-15	30.32	N-27	24.19	N-39	32.41
N-4	17.78	N-16	19.35	N-28	28.95	N-40	28.33
N-5	17.44	N-17	22.41	N-29	28.74	N-41	29.44
N-6	10.68	N-18	30.46	N-30	20.08	N-42	29.44
N-7	12.27	N-19	27.73	N-31	18.62	N-43	30.01
N-8	30.25	N-20	28.02	N-32	25.25	N-44	25.05
N-9	15.21	N-21	25.23	N-33	24.63	N-45	27.17
N-10	34.04	N-22	28.04	N-34	25.06		
N-11	36.81	N-23	27.74	N-35	30.63		
N-12	35.49	N-24	27.66	N-36	31.04		

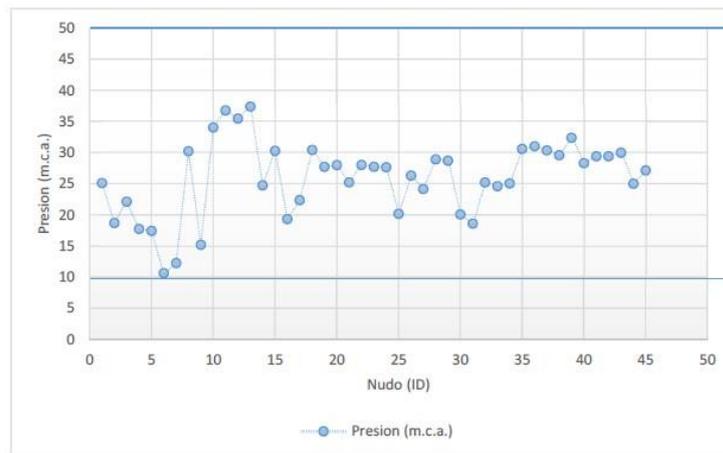


Figura 18. Representación de variación de presión en RDOP

### b) Velocidad en cada tubería del tramo de la RDOP

La variación de la velocidad en la RDOP muestra en la figura 19 y en el cuadro 29 muestra la velocidad en cada tramo de la RDOP.

Cuadro 29. Velocidad en cada tramo de la RDOP

Tubería ID	Velocidad ( m/s)						
TUB-1	0.69	TUB-15	0.78	TUB-29	1.01	TUB-43	0.42
TUB-2	1.54	TUB-16	0.33	TUB-30	0.42	TUB-44	0.07
TUB-3	0.37	TUB-17	1.33	TUB-31	0.14	TUB-45	0.01
TUB-4	0.36	TUB-18	0.00	TUB-32	0.32	TUB-46	0.09
TUB-5	0.20	TUB-19	0.37	TUB-33	0.50	TUB-47	0.46
TUB-6	0.08	TUB-20	0.11	TUB-34	0.28	TUB-48	0.08
TUB-7	0.01	TUB-21	1.40	TUB-35	0.15	TUB-49	0.22
TUB-8	0.22	TUB-22	0.05	TUB-36	0.02	TUB-50	0.18
TUB-9	0.03	TUB-23	1.24	TUB-37	0.54	TUB-51	0.11
TUB-10	0.07	TUB-24	0.30	TUB-38	0.03	TUB-52	0.09
TUB-11	0.04	TUB-25	0.18	TUB-39	0.20	TUB-53	0.01
TUB-12	0.05	TUB-26	0.33	TUB-40	0.60	TUB-54	0.06
TUB-13	0.01	TUB-27	0.27	TUB-41	0.06	TUB-55	0.01
TUB-14	1.43	TUB-28	0.00	TUB-42	0.02	TUB-56	0.01

La velocidad en la RDOP son: menores que 3 m/s; en la red de distribución presenta la velocidad máxima de 1.54 m/s en la tubería (TUB-2); por tanto, es menor a 3 m/s y cumple la condición de diseño en la red.

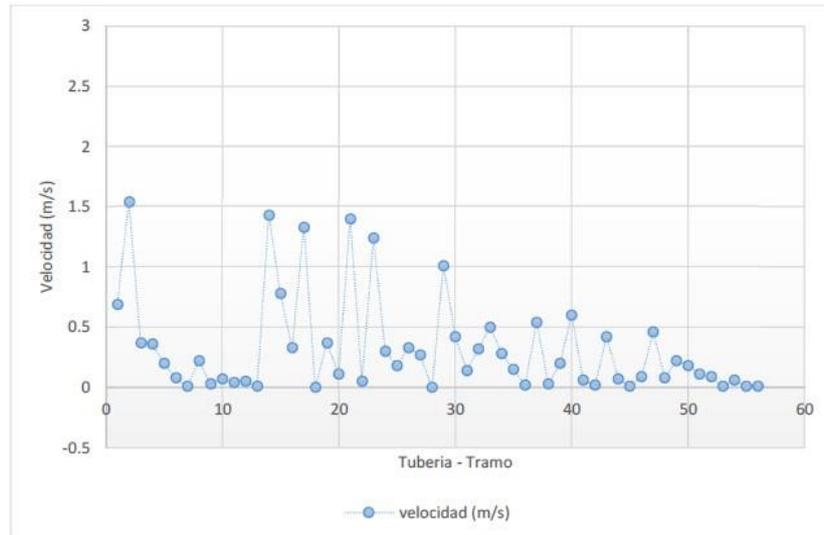


Figura 19. Representación de variación de velocidad en la RDOP

En la figura 19 se observa la variación de la velocidad en cada tramo, donde la velocidad en la red de distribución la velocidad es menor, a pesar que los diámetros de las tuberías son menores, esto debido a que la red de distribución tiene mayor interconexión de tuberías y está diseñado de forma óptima.

### c) Línea de gradiente hidráulica de la RDOP

La línea gradiente hidráulica indica la presión de agua a lo largo de la tubería bajo condiciones de operación. La línea de gradiente hidráulica en cada nudo de la red está representada en la figura 20. Además, los tramos que se considera como más críticos están representados por los nudos 6,7 y 9. Ver la figura 21, línea de gradiente hidráulica en los tramos más críticos de la red de distribución optimizada propuesta y en la figura 22 la línea de gradiente hidráulica entre el reservorio R-1 y nudo 6 de la red de distribución optimizada, en los tramos de elevaciones bajas.



### 5.1.8.5. Diámetros internos optimizados en la RDOP

En el Anexo 7 muestra el cálculo de diámetros mínimos de la tubería de la RDOP y verificación de diámetros optimizados a través de *Darwin Designer*. Los diámetros interiores mínimos que requiere la tubería son 57.00, 43.40 y 29.40 mm, verificamos el cumplimiento de las tuberías mínimas en el diseño optimizado.

Los diámetros optimizados internos de las tuberías comerciales que se calculó en la RDOP son de 81.40, 67.80, 57.00, 43.40 y 29.40 mm; y tiene un total de red de tuberías de 4,249.58 ml., considerando las especificaciones técnicas de las tuberías NTP399:002 PVC-U y NTP-ISO 4422 PVC-UF de clase C-10.

En el cuadro 30 muestra los diámetros internos optimizados en cada tramo de la RDOP.

Cuadro 30. Diámetros internos optimizados en cada tramo de la RDOP

Tubería ID	Diámetro optimo (mm)						
TUB-1	81.40	TUB-15	43.40	TUB-29	43.40	TUB-43	29.40
TUB-2	43.40	TUB-16	57.00	TUB-30	29.40	TUB-44	43.40
TUB-3	29.40	TUB-17	43.40	TUB-31	43.40	TUB-45	57.00
TUB-4	67.80	TUB-18	67.80	TUB-32	67.80	TUB-46	57.00
TUB-5	43.40	TUB-19	81.40	TUB-33	43.40	TUB-47	29.40
TUB-6	29.40	TUB-20	67.80	TUB-34	29.40	TUB-48	43.40
TUB-7	57.00	TUB-21	29.40	TUB-35	43.40	TUB-49	43.40
TUB-8	29.40	TUB-22	29.40	TUB-36	43.40	TUB-50	43.40
TUB-9	29.40	TUB-23	29.40	TUB-37	29.40	TUB-51	29.40
TUB-10	43.40	TUB-24	29.40	TUB-38	29.40	TUB-52	29.40
TUB-11	29.40	TUB-25	29.40	TUB-39	43.40	TUB-53	29.40
TUB-12	29.40	TUB-26	43.40	TUB-40	29.40	TUB-54	29.40
TUB-13	43.40	TUB-27	29.40	TUB-41	67.80	TUB-55	29.40
TUB-14	29.40	TUB-28	81.40	TUB-42	57.00	TUB-56	29.40

De acuerdo a la norma OS.050 de RNE (2006), señala que el diámetro nominal mínimo será de 75 mm para uso de vivienda; en casos excepcionales, debidamente fundamentados, podrá aceptarse tramos de tuberías de 50 mm de diámetro.

En el diseño optimizado de la RDOP los diámetros nominales calculados que se ha tomado son 33, 48, 63 y 90 mm; por lo que, están próximos a los diámetros mínimos establecidos por OS.050 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

#### **5.1.8.6. Costo de la RDOP**

El cálculo del costo de la RDOP, se realizó gracias al Darwin Designer; el paquete buscó la mejor combinación de diámetros de las tuberías en la red y ofrece las tres mejores soluciones y se toma la solución (1) la más económica, para el cual se ha utilizado costos de suministro e instalación de tuberías por ml; ver anexo 10 el costo de suministro e instalación de tuberías según el diámetro. En el caso el costo de la mejor solución de la red de distribución es de S/. 96,766.31 (noventa seis mil setecientos sesenta y seis con 31/100 soles).

El costo RDOP es 11.42 % menos que en el caso de RDA, esto debido a una distribución correcta de cada una de las tuberías con sus respectivos diámetros optimizados en la red; cumpliendo las presiones en todos los nudos de la red de acuerdo a la norma OS.050 de RNE (2006).

En el cuadro 31, muestra las tres mejores soluciones de costos en la RDOP; en la figura 23 representación de costo beneficio de las tres mejores soluciones en la RDOP; así mismo, en la figura 24 muestra representación de longitud de tuberías en la RDOP según el diámetro interior y finalmente en la figura 25 muestra la topología del diseño final optimizado de la red propuesta.

Cuadro 31. Las tres mejores soluciones de costos en la RDOP

Solución	Costo Total S/.
Solución 1	96,766.313
Solución 2	98,174.055
Solución 3	98,415.414



Figura 23. Costo beneficio de las tres mejores soluciones en la RDOP

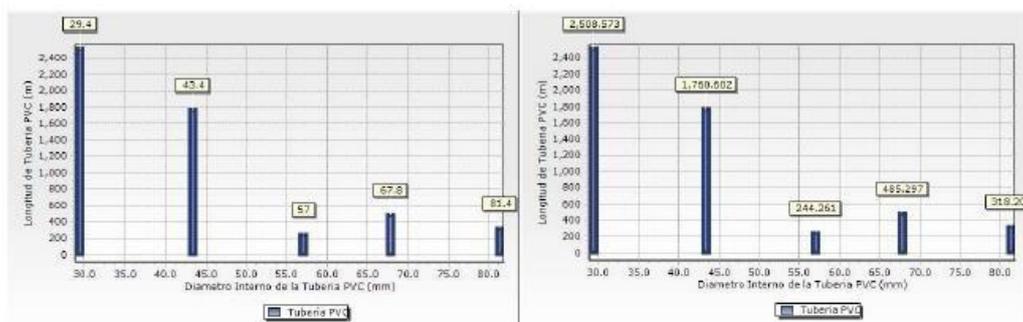


Figura 24. Longitud de tuberías en la RDOP según el diámetro interior

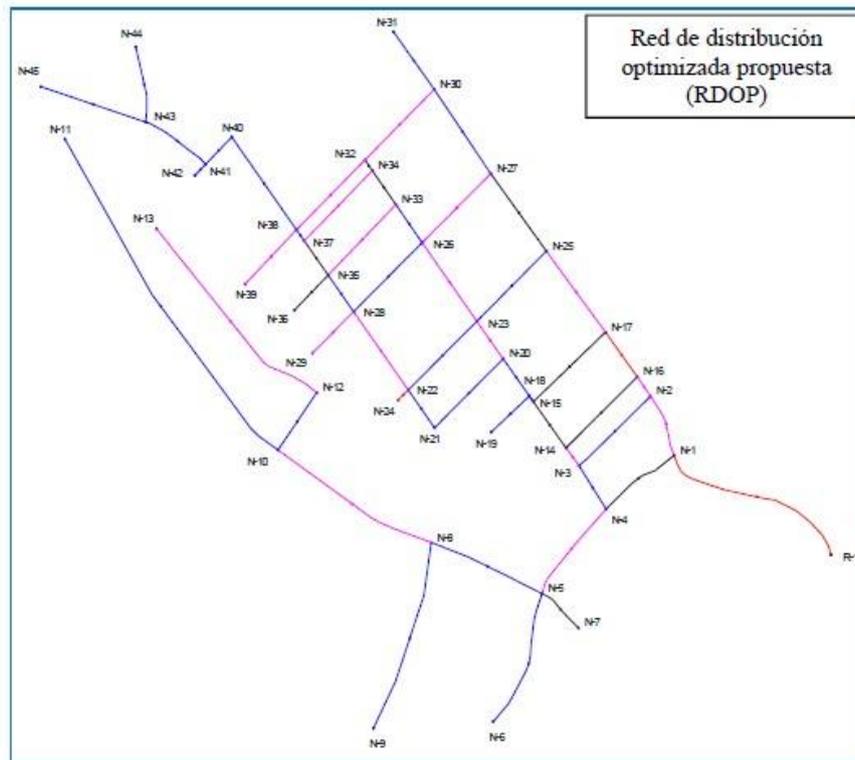


Figura 25. Representación topológica final de las tuberías de la RDOP

### 5.1.9. Comparación de los resultados obtenidos con *Epanet* y *Lenhsnet*

El análisis comparativo que se realizó del dimensionado aportado por estas herramientas, es con el fin de determinar, cuál ofrece el mejor resultado, según los indicadores como los costos de tuberías y homogeneidad de la red.

La herramienta *Lenhsnet* es un método de dimensionamiento económico para redes de distribución de agua, desarrollado por el Laboratorio de Eficiencia Energética de la UFPB de Brasil. La herramienta *Lenhsnet* está desarrollado en la interfaz del paquete *Epanet v.2.0 Brasil*.

### 5.1.9.1. Verificación de los resultados de la RDOP con Epanet 2.0 Brasil

Con el fin comparativo de los resultados, se ha modelado la red de distribución optimizada propuesta (RDOP) con los diámetros calculados del paquete *Darwin Designer*, a continuación, en la figura 26 muestra la representación de presión y diámetro de tuberías de la RDOP.

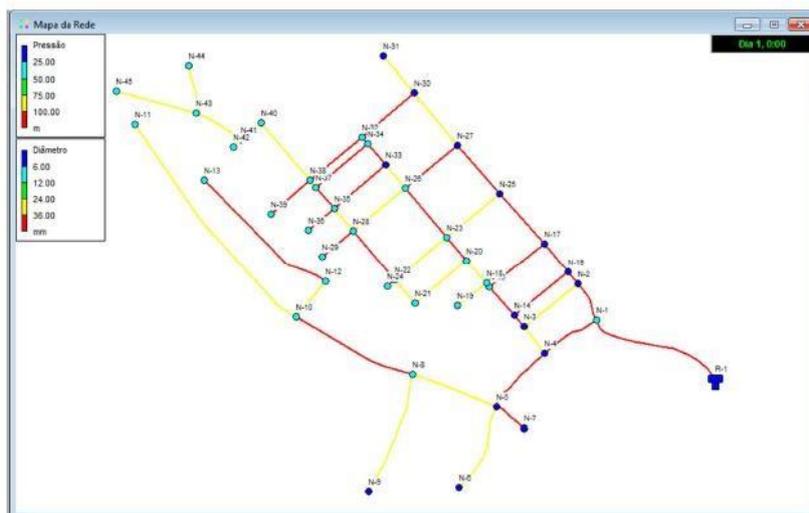


Figura 26. Representación de presión y diámetro de tuberías de la RDOP de *Epanet*

De acuerdo a los cálculos realizados por *Epanet*, los resultados obtenidos son los mismos, tanto la presión y velocidad, no hay variación alguna. Por lo tanto, el dimensionamiento de la RDOP de las tuberías garantiza el dimensionamiento hidráulico óptimo.

### 5.1.9.2. Dimensionamiento optimizado de la RDOP con Lenhsnet

Para el dimensionamiento a través de la herramienta *Lenhsnet*, se ha configurado de acuerdo a la norma OS.050 de RNE, y se ha restringido las presiones como mínimo 10 m.c.a. y máximo de 50 m.c.a.; así

mismo, velocidad máxima 3 m/s y luego se ingresó los costos de suministro e instalación de las tuberías por cada metro lineal, como se ha detallado anteriormente, de acuerdo al diámetro de la tubería.

#### a) Presión en cada nodo de la RDOP

En la tabla se tiene el resumen de los cálculos realizados de la RDOP a través del paquete *Lenhsnet*. Ver figura 27 representaciones de variación de presión en RDOP por *Lenhsnet*, y en el cuadro 32 presiones en cada nodo de la RDOP por *Lenhsnet*.

Cuadro 32. Presión en cada nodo de la RDOP por *Lenhsnet*

Nudo	ID	Presión (m.c.a.)	Nudo ID	Presión (m.c.a.)	Nudo ID	presión (m.c.a.)	Nudo ID	presión (m.c.a.)
N-1		25.15	N-15	26.63	N-29	22.07	N-43	22.52
N-2		18.70	N-16	19.37	N-30	13.29	N-44	17.57
N-3		21.90	N-17	21.23	N-31	11.83	N-45	19.68
N-4		17.50	N-18	27.10	N-32	18.09	N-46	22.74
N-5		17.16	N-19	24.36	N-33	17.68	N-47	27.15
N-6		10.40	N-20	26.26	N-34	17.91	N-48	32.38
N-7		11.99	N-21	21.52	N-35	23.65	N-49	33.53
N-8		29.96	N-22	23.61	N-36	24.05	N-50	36.71
N-9		14.93	N-23	23.25	N-37	23.00	N-51	13.72
N-10		33.55	N-24	23.24	N-38	22.12	N-52	22.08
N-11		36.32	N-25	15.49	N-39	24.45	N-53	30.74
N-12		35.00	N-26	19.29	N-40	20.84	N-54	10.56
N-13		36.93	N-27	16.89	N-41	21.95	N-55	34.61
N-14		22.28	N-28	22.29	N-42	21.95	N-56	29.78

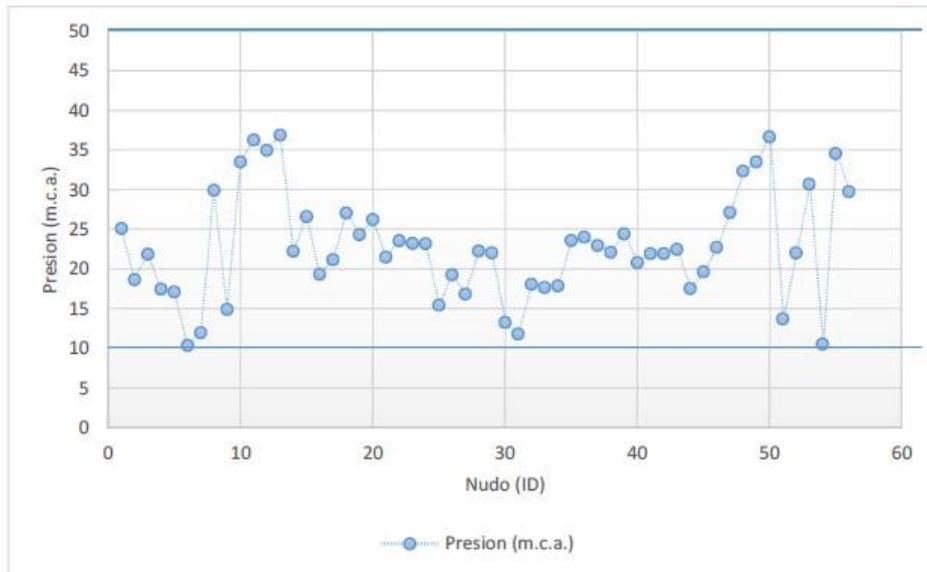


Figura 27. Representación de variación de presión en RDOP por *Lenhsnet*

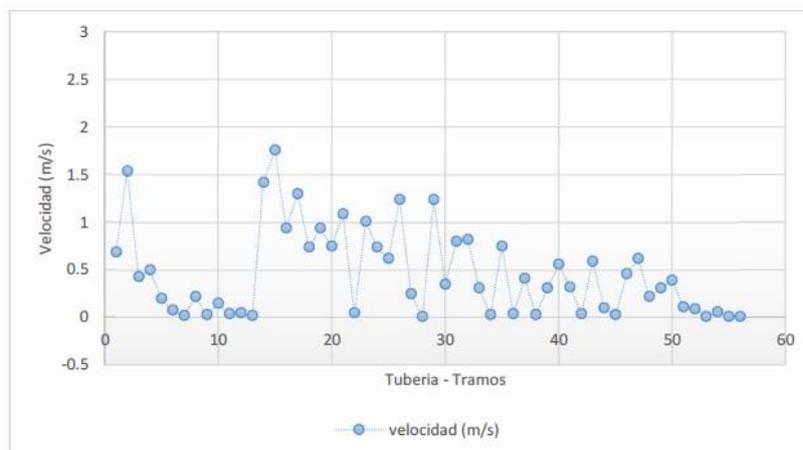
De acuerdo a los resultados del dimensionamiento por *Lenhsnet* en la RDOP la presión mínima es 10.40 m.c.a. en nudo 6 y presión máxima 36.93 m.c.a. en nudo 13, de acuerdo al OS.050 del RNE (2006), cumple en todos los nudos las presiones requeridas.

#### b) Velocidad en cada tubería del tramo de la RDOP

Las velocidades calculadas por la herramienta *Lenhsnet*, se muestra en la figura 28 representaciones de variación de velocidad en RDOP por *Lenhsnet*, y en el cuadro 33 velocidades en cada tramo de la RDOP por *Lenhsnet*.

Cuadro 33. Velocidad en cada tramo de la RDOP por *Lenhsnet*

Tubería ID	Velocidad (m/s)						
TUB-1	0.69	TUB-15	1.76	TUB-29	1.24	TUB-43	0.59
TUB-2	1.54	TUB-16	0.94	TUB-30	0.35	TUB-44	0.10
TUB-3	0.43	TUB-17	1.30	TUB-31	0.80	TUB-45	0.03
TUB-4	0.50	TUB-18	0.74	TUB-32	0.82	TUB-46	0.46
TUB-5	0.20	TUB-19	0.94	TUB-33	0.31	TUB-47	0.62
TUB-6	0.08	TUB-20	0.75	TUB-34	0.03	TUB-48	0.22
TUB-7	0.02	TUB-21	1.09	TUB-35	0.75	TUB-49	0.31
TUB-8	0.22	TUB-22	0.05	TUB-36	0.04	TUB-50	0.39
TUB-9	0.03	TUB-23	1.01	TUB-37	0.41	TUB-51	0.11
TUB-10	0.15	TUB-24	0.74	TUB-38	0.03	TUB-52	0.09
TUB-11	0.04	TUB-25	0.62	TUB-39	0.31	TUB-53	0.01
TUB-12	0.05	TUB-26	1.24	TUB-40	0.56	TUB-54	0.06
TUB-13	0.02	TUB-27	0.25	TUB-41	0.32	TUB-55	0.01
TUB-14	1.42	TUB-28	0.01	TUB-42	0.04	TUB-56	0.01

Figura 28. Representación de variación de velocidad en RDOP por *Lenhsnet*

En la figura 28 se observa la variación de la velocidad en cada tramo, donde la velocidad en la red de distribución es mayor por presentar tuberías de menor diámetro.

La velocidad en la RDOP es menor que 3 m/s y en la red de distribución presenta la velocidad máxima de 1.76 m/s en la tubería (TUB-15). Por lo tanto, de

acuerdo al OS.050 del RNE (2006), cumple con los parámetros establecidos.

#### Línea de gradiente hidráulica de la RDOP

La línea gradiente hidráulica indica la presión de agua a lo largo de la tubería bajo condiciones de operación. En la figura 29 muestra la representación de la línea gradiente hidráulica en cada nudo de la RDOP por *lenhsnet*.

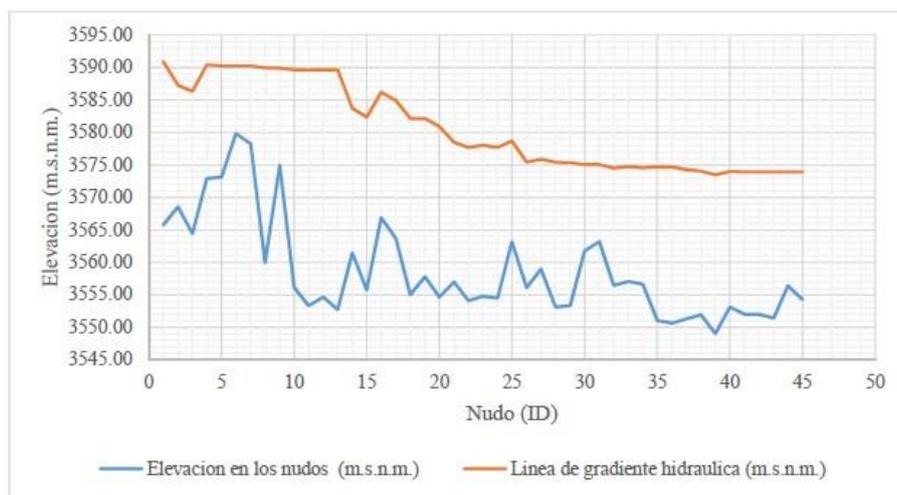


Figura 29. Línea gradiente hidráulica en cada nudo de la RDOP por *lenhsnet*

En la figura 29 se observa la variación de las presiones finales en cada nudo, donde la pérdida de carga, tiende a ser menores, a pesar que los diámetros de las tuberías son menores y por lo tanto las presiones son mayores debido a que la red de distribución está conectada con tuberías con diámetros optimizadas, cumpliendo con las presiones en cada uno de los nudos de acuerdo al OS.050 del RNE (2006).

### Diámetros internos optimizados en la RDOP

Los diámetros optimizados internos de las tuberías comerciales que se calculó en la RDOP son de 81.40, 57.00, 43.40 y 29.40 mm; considerando las especificaciones técnicas de las tuberías NTP399:002 PVC-U y NTP-ISO 4422 PVC-UF de clase C-10. Los diámetros calculados se muestran en el cuadro 34 diámetros internos optimizados en cada tramo de la RDOP por *Lenhsnet*, y en la figura 30 representación de presión y diámetro de tuberías de la RDOP de *Lenhsnet*.

Cuadro 34. Diámetros internos optimizados en cada tramo de la RDOP por *Lenhsnet*

Tubería ID	Diámetro optimo (mm)						
TUB-1	81.40	TUB-15	29.40	TUB-29	29.40	TUB-43	29.40
TUB-2	43.40	TUB-16	43.40	TUB-30	29.40	TUB-44	29.40
TUB-3	29.40	TUB-17	43.40	TUB-31	29.40	TUB-45	29.40
TUB-4	57.00	TUB-18	29.40	TUB-32	29.40	TUB-46	29.40
TUB-5	43.40	TUB-19	43.40	TUB-33	29.40	TUB-47	29.40
TUB-6	29.40	TUB-20	29.40	TUB-34	29.40	TUB-48	29.40
TUB-7	29.40	TUB-21	43.40	TUB-35	29.40	TUB-49	29.40
TUB-8	29.40	TUB-22	29.40	TUB-36	29.40	TUB-50	29.40
TUB-9	29.40	TUB-23	43.40	TUB-37	29.40	TUB-51	29.40
TUB-10	29.40	TUB-24	29.40	TUB-38	29.40	TUB-52	29.40
TUB-11	29.40	TUB-25	29.40	TUB-39	29.40	TUB-53	29.40
TUB-12	29.40	TUB-26	29.40	TUB-40	29.40	TUB-54	29.40
TUB-13	29.40	TUB-27	29.40	TUB-41	29.40	TUB-55	29.40
TUB-14	29.40	TUB-28	29.40	TUB-42	29.40	TUB-56	29.40

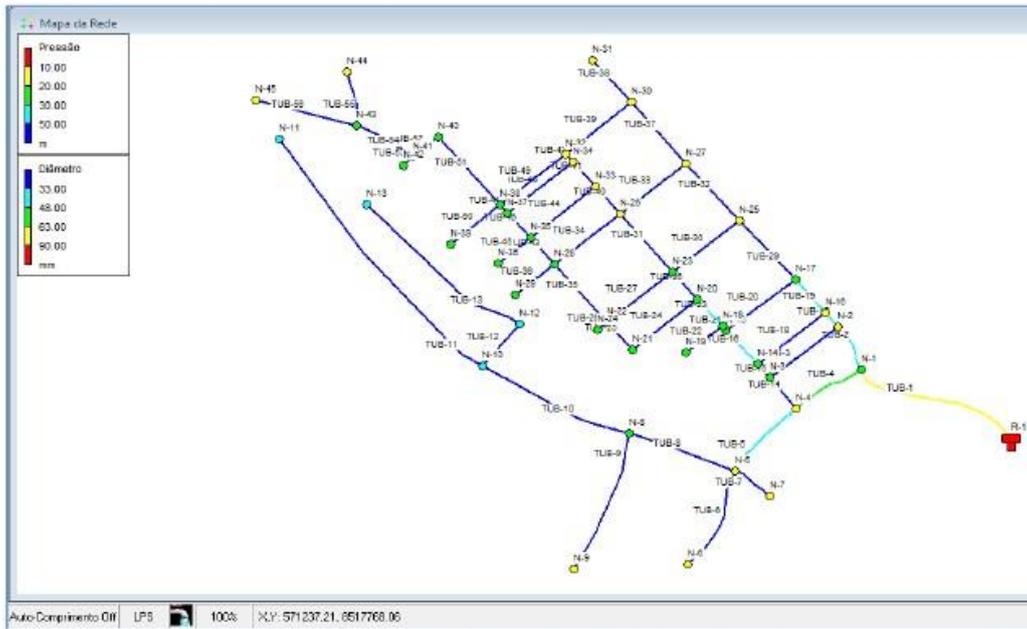


Figura 30. Representación de presión y diámetro de tuberías de la RDOP de *Lenhsnet*

En el diseño optimizado de la RDOP los diámetros nominales calculados que se ha tomado son 33, 48, 63 y 90 mm; por lo que están próximos a los diámetros mínimos establecidos a la norma OS 050 del

Reglamento Nacional de Edificaciones, por lo tanto es aceptable, además por ser considerado zona rural.

#### **e) Costo de la RDOP por *Lenhsnet***

El cálculo del costo de la RDOP se realizó gracias al *Lenhsnet*; el paquete busca la mejor combinación de diámetros de las tuberías en la red y ofrece una única mejor solución, para el cual se ha utilizado costos de suministro e instalación de tuberías por ml; ver anexo 10. Para el caso de diseño optimizado el costo de la mejor solución de la red de distribución es de S/. 87,576.74 (ochenta y siete mil quinientos setenta y seis con 74/100 soles) aproximadamente. A

continuación, se muestra en la figura 31 la representación de costo de suministro e instalación de tuberías en cada modelo.

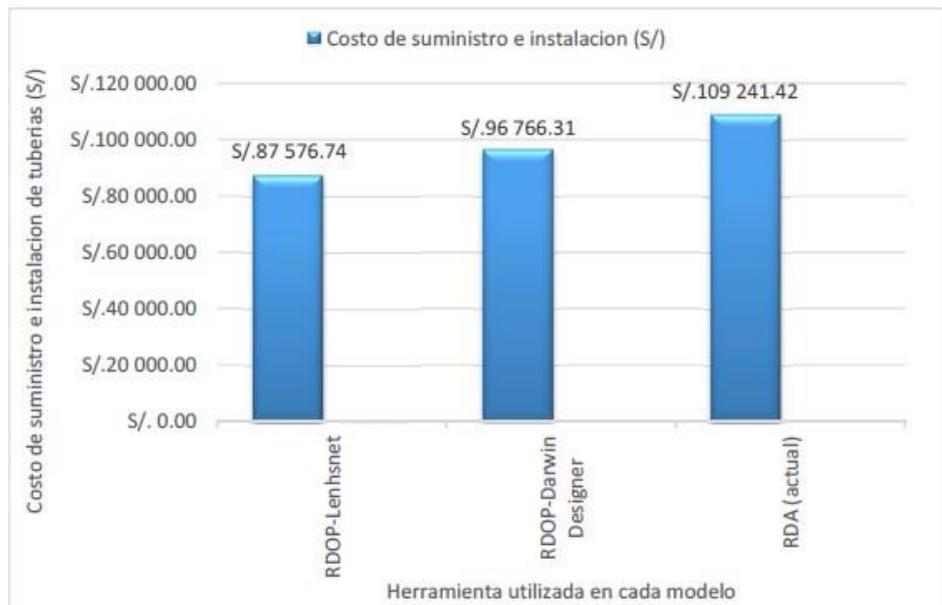


Figura 31. Representación de costo de suministro e instalación de tuberías en cada modelo

El costo de la RDOP por *Lenhsnet* es 19.83 % menos que en el caso RDA y 9.50 % menor que en el caso de RDOP por *Darwin Designer*. Por lo tanto, desde el punto más económico sería el modelo aceptable para el dimensionamiento con un reservorio, siempre en cuando cumpla con las condiciones requeridas del proyectista.

## 5.2. Pruebas de hipótesis

Se realizó el diseño optimizado de las redes de distribución de agua potable, con lo cual la población se logrará tener un abastecimiento adecuado de agua potable en todo el sector de la influencia por la red en el Centro Poblado de Colca, Región Ayacucho.

Se determinó los parámetros geométricos de la red de distribución de agua potable, y así mismo se calibro y optimizo, el diámetro interior para una adecuada presión a costo mínimo a través del uso de la herramienta *Darwin Designer* del *Software* comercial *WaterCAD*, con esta se logró tener un adecuado diseño de las redes de distribución de agua en el Centro Poblado Colca.

De acuerdo lo establecido en, la hipótesis queda validada, y se confirma que el diseño optimizado de la red de distribución de agua potable garantiza las presiones adecuadas en los nudos de la red y por la población usuaria cuenta las 24 horas con el abastecimiento del líquido elemento a través de las conexiones domiciliarias en las comunidades rurales a menor costo de instalación y esta implica la disminución de las enfermedades y mejora la calidad de vida de los habitantes del Centro Poblado y del distrito.

### **5.3. Presentación de resultados**

Se encontró deficiencias en el diseño y ejecución de redes de distribución en zonas rurales, por lo que se logró hacer conocer sobre la importancia del diseño optimizado de redes de distribución mediante software's y normas del Ministerio de Vivienda Construcción y saneamiento a los profesionales e involucrados en diseños de redes de distribución en proyectos de saneamiento en zonas rurales.

De acuerdo OS.050 del RNE (2006), las presiones en la red de distribución de agua potable, dentro del

rango establecido por dicha norma entre 10 y 50 m.c.a. En la red de distribución de agua potable actual (RDA) de acuerdo a la evaluación de la red no cumplen en todos los nudos, siendo la presión máxima estática de 33.13 m.c.a en el nudo 39 y presión dinámica de 4.14 m.c.a. en el nudo 6. Por lo que en los nudos 6, 7 y 9 no cumplen las presiones mínimas establecidas por la norma; y además, la red no está diseñada de forma optimizada sino de forma tradicional, por ende hay un desabastecimiento de agua en las piletas de domiciliarias.

De acuerdo a los cálculos en el diseño de la red de distribución optimizada propuesta (RDOP) calculadas por *Darwin Designer*, la presión mínima es 10.68 m.c.a, en nudo 6 y presión máxima 37.42 m.c.a, en nudo 13, para lo cual se ha restringido el límite mínimo de presión dinámica de 10 m.c.a. y como máximo de presión estática de 50 m.c.a. de acuerdo al OS.050 de RNE (2006) y cumple con todos los parámetros establecidos.

De acuerdo a la verificación y de modo comparativo, los resultados del dimensionamiento por *Lenhsnet* en la RDOP la presión mínima es 10.40 m.c.a. en nudo 6 y presión máxima 36.93 m.c.a. en nudo 13, de acuerdo al OS.050 del RNE (2006), cumple en todos los nudos las presiones requeridas.

El costo de la RDOP por *Lenhsnet* es 19.83 % menos que en el caso RDA y 9.50 % menor que en el caso de RDOP por *Darwin Designer*. Por lo tanto, desde el punto más económico sería el modelo *Lenhsnet* aceptable para el dimensionamiento con un reservorio

y con condiciones de presiones mayores del mínimo establecido es aceptable el modelo de *Darwin Designer*, siempre en cuando cumpla con las condiciones requeridas del proyectista.

## CAPÍTULO 6

### ANÁLISIS DE COSTOS

#### 6.1. Presupuesto

##### 6.1.1. Costo de la red de distribución de agua

El costo del suministro e instalación de tuberías en la red de distribución actual (RDA) sin optimización es de S/. 109,241.42 (ciento nueve mil doscientos cuarenta y uno con 42/100 soles) aproximadamente. El costo del suministro e instalación de tuberías en la de la red de distribución optimizada propuesta (RDOP) por *Darwin Designer*, es de S/. 96,766.31 (noventa seis mil setecientos sesenta y seis con 31/100 soles) aproximadamente.

Para el caso de diseño optimizado por *Lenhsnet*, el costo de la mejor solución de la red de distribución es de S/. 87,576.74 (ochenta y siete mil quinientos setenta y seis con 74/100 soles) aproximadamente.

A continuación, se muestra en la figura 32 el costo de suministro e instalación de tuberías por cada modelo.



Figura 32. Costo de suministro e instalación de tuberías por cada modelo

El costo de la RDOP por *Lenhsnet* es 19.83 % menos que en el caso RDA y 9.50 % menor que en el caso de RDOP por *Darwin Designer*. Por lo tanto, desde el punto más económico sería el modelo aceptable para el dimensionamiento con un reservorio, siempre en cuando cumpla con las condiciones requeridas del proyectista.

Por tanto, el suministro e instalación de tuberías en la de la red de distribución optimizada propuesta (RDOP) se puede elegir de primera preferencia el diseño optimizado por *Darwin Designer* por presentar presiones mayores en cada uno de los nudos y de segunda preferencia por presentar presiones cercanas a los mínimos establecidos por la norma en los nudos, el diseño de la red de distribución optimizado propuesta por el modelo *Lenhsnet*.

## CONCLUSIONES

- Se logró calcular los parámetros geométricos del servicio de la red de distribución de agua potable actual (RDA), a través del *software* comercial *WaterCAD*, considerando todas las características, se determinó caudales por el método de puntos de tubería más cercana, tanto para conexiones domiciliarias y conexiones públicos, siendo un caudal de diseño (Qmh) de 3.571 l/s, abastecido por un reservorio; logrando presiones que varía entre 33.13 y 4.14 m.c.a., siendo en los nudos 6, 7 y 9 presentan presiones inferiores del mínimo establecido por la norma, lo cual, genero, el desabastecimiento de agua en las piletas domiciliarias; la velocidad máxima presenta en la línea de aducción y es de 1.40 m/s; diámetro interior de la tuberías instaladas en la red son de 57.00, 43.40 y 29.40 mm; y tiene un total de red de tuberías de 4,249.58 ml. y los tramos en los que fueron colocados las tuberías no están optimizadas. De acuerdo a los resultados obtenidos, todos los cálculos se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la norma OS.050 de RNE (2006) y directivas vigentes, excepto las presiones en los nudos 6, 7 y 9. Y el costo de los suministros e instalación de la RDA sin optimización es de S/ 109,241.42 soles aproximado, de acuerdo a las especificaciones NTP399:002 PVC-U y NTP-ISO 4422 PVC -UF de clase C-10. Por lo que se recomienda rehabilitar o cambiar tuberías en los tramos que presentan presiones bajas según el diseño de la red.
  
- Se logró la calibración y optimización de la tubería para una adecuada presión manométrica en la red de distribución optimizada actual (RDOP) a través del uso de la herramienta *Darwin Designer* a costo mínimo, considerando caudal de diseño (Qmh) de 3.571 l/s abastecido por un reservorio. El diámetro interno optimizado de las tuberías de la red son de 81.40, 67.80, 57.00, 43.40 y 29.40 mm; tiene un total de red de tuberías de 4,249.58 ml. El costo de la mejor solución de la RDOP es de S/ 96,766.31 soles aproximado, 11.42 % menos que la RDA, de acuerdo a

la especificación NTP-399:002 PVC–U y NTP-ISO 4422 PVC–UF de clase C-10.

- Se ha logrado diseñar una nueva red de distribución optimizada propuesta (RDOP) en flujo permanente a través del uso de la herramienta *Darwin Designer* a costo mínimo y obtuvo una red que garantice un mejor servicio a los usuarios finales, abastecido por 24 horas continuas; para el cual se considera caudal de diseño ( $Q_{mh}$ ) de 3.571 l/s, que es abastecido por un reservorio. El diámetro interno optimizada de las tuberías de la RDOP son de 81.40, 67.80, 57.00, 43.40 y 29.40 mm; tiene un total de red de tuberías de 4,249.58 ml. El costo de la mejor solución de la RDOP es de S/ 96,766.31 soles aproximado, 11.42 % menos que la RDA; presión mínimo 10.68 m.c.a. en nudo 6 y presión máxima 37.42 m.c.a. en nudo 13, cumple con parámetro establecido por la norma que recomienda que las presiones deben estar entre 10 y 50 m.c.a; la velocidad máxima que se presenta en la red de distribución es 1.54 m/s, y menor a 3 m/s. Los parámetros diseñados cumplen con la norma OS. 050 del RNE; y además, para validar los resultados obtenidos por *Darwin Designer*, el diseño hidráulico y diseño optimizado se verifico. Con el modelamiento de *Epanet v.2.0 Brasil*, resultando conforme los cálculos hidráulicos, siendo diámetros internos optimizados 81.40, 57.00, 43.40 y 29.40 mm. Y el costo de la RDOP por *Lenhsnet* es 19.83 % menos que en el caso RDA y 9.50 % menor que en el caso de RDOP por *Darwin Designer*.

## RECOMENDACIONES

- Para lograr un buen cálculo de los parámetros geométricos es necesario trabajar con la información primaria y secundaria de la zona y se recomienda la aplicación de la normativa vigente en los trabajos de investigación, porque cada vez hay modificaciones para zonas rurales y para zonas urbanas.
  
- Para obtener los resultados confiables de la optimización de las redes de distribución será necesario trabajar con dos paquetes de optimización *Darwin Designer* y *Lenhs* mínimamente; el uso apropiado de los programas computacionales existentes, puede ayudar a simular el comportamiento particular de las redes de agua en comunidades rurales para poder cumplir con los requisitos hidráulicos establecidos en las normas de diseño, teniendo en cuenta las condiciones físicas (diámetros, longitudes, cotas, etc.) y las no físicas (dotaciones de consumo, etc.), las cuales son importantes para el funcionamiento de la red.
  
- El método que se ha propuesto nos permite obtener una calibración de los modelos hidráulicos en redes de distribución con poca disponibilidad de información relativa a mediciones de caudal y presión principalmente en zonas rurales. Y además se debe proponer la incorporación del diseño optimizado en proyectos de agua potable para mejorar el dimensionamiento en las redes de distribución de agua potable para zonas rurales en el país.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agüero, R. (1997). *Agua potable para poblaciones rurales sistemas de abastecimiento por gravedad sin tratamiento*. Lima. Asociación Servicios Educativos Rurales.
- Bentley Systems, Incorporated. (2008). *Optimización de modelos hidráulicos. Diseño óptimo y planeación maestra de sistemas de distribución*.
- Bentley, C. (2016). *Software de análisis y modelado de sistemas de distribución de agua*. Recuperado el 14 de diciembre de 2018, de <https://www.bentley.com/es/products/product-line/hydraulics-and-hydrology-software/watercad>
- Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA). (1994). *Abastecimiento de agua y saneamiento para poblaciones rurales y urbano marginales*. Norma técnica. Ministerio de Salud. Lima, Perú.
- García, E. (2009). *Manual de proyectos de agua potable en poblaciones rurales*. Fondo Perú - Alemania deuda por desarrollo. Lima – Perú.
- Florián P. (2017). *Propuesta de optimización del servicio de la red de distribución de agua potable -RDAP- del municipio de Madrid, Cundinamarca* (Tesis Pregrado – Universidad Católica de Colombia), Bogotá, Colombia.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2007). *Censos nacionales 2007: XI de población y VI de vivienda*. Lima - Perú. <http://ineidw.inei.gob.pe/ineidw/#>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2010). *Mapa del Déficit de Agua y Saneamiento Básico a Nivel Nacional Distrital*. Lima: Centro de

*edición de la Oficina Técnica de Difusión del INEI. Obtenido de Mapa del déficit de agua y saneamiento básico a nivel distrital.*

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2016). *Perú: formas del acceso al agua y saneamiento básico. Síntesis estadística*. Lima - Perú.

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2017). *Censos nacionales 2017: XII de población y VII de vivienda y III de comunidades indígenas*. Lima - Perú.

López A. (2006). *Tuberías de presión, y comparación de criterios de diseño entre el método racional (Darcy-Weisbach), y el método empírico (Hazen-Williams)*. Tesis. Universidad de Cuenca.

Luna, H. (2016). *Calculo de diámetro aplicativo Excel*. Nueva Versión WaterCAD V8i.

Magne, F. (2008). *Abastecimiento, diseño y construcción de sistemas de agua potable modernizando el aprendizaje y enseñanza en la asignatura de Ingeniería Sanitaria I*. Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia.

Martínez, A. (2017). *Manual del usuario Epanet 2 en español, análisis hidráulico y de calidad de redes de distribución de agua. Grupo de Redes Hidráulicas y Sistemas a Presión (REDHISP), Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente*. Universidad Politécnica de Valencia – España.

Martins, C. (2012). *Dimensionado óptimo comparativo de red mallada de abasto usando herramientas ROKO y Lenhsnet. Ingeniería hidráulica y ambiental*. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. Coro. Venezuela.

- Ministerio de Salud (1962). *Normas generales para proyectos de abastecimiento de agua potable. Programa Nacional de Ingeniería Sanitaria, Plan de saneamiento Básico Rural*. Lima, Perú.
- Ministerio de Salud (MINSA), (1984). *Normas de diseño para proyectos de abastecimiento de agua potable para pobladores rurales*. División de saneamiento Básico Rural. Lima, Perú.
- Ministerio de Salud (MINSA), (1994). *Abastecimiento de agua y saneamiento para poblaciones rurales y urbano-marginales – Norma técnica*. Dirección General de Salud Ambiental. Lima, Perú.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS). (2016). *Sistematización de la IV Conferencia Latinoamericana de Saneamiento Latinosan Perú 2016*. Elaborado por INMET Servicios y Consultorías S.A.C. Lima, Perú.
- Montalvo, A. (2008). *Diseño óptimo de sistemas de distribución de agua mediante Particle Swarm*. (Trabajo Master – Universidad Politécnica de Valencia), Valencia, España.
- Mora, M. (2012). *Diseño de redes de distribución de agua mediante algoritmos evolutivos*. (Tesis Doctoral – Universidad Politécnica de Valencia), Valencia, España. Obtenido de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16803/tesisUPV3875.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mott, L. (1996). *Mecánica de fluidos aplicada*. Trad. CR, Cordero. 4 ed. Naucalpan de Juárez, MX.PHH. PAVCO. (2015). *Sistema completo de tuberías y accesorios de PVC-U y PVC-UF para agua potable a presión*. Drenaje y alcantarillado enterrado con presión. Mexichem Perú S.A.

- Ordoñez, G. (2011). *Ciclo hidrológico, cartilla técnica: Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral de Recurso Hídrico- SENAMHI*, Lima – Perú.
- PAVCO. (2015). *Sistema completo de tuberías y accesorios de PVC-U y PVCUF para agua potable a presión. Drenaje y alcantarillado enterrado con presión*. Mexichem Perú S.A.
- Portillo, M., & Roque, E. (2003). *Metodología de la investigación científica* (Segunda ed.). Lima: Juan Gutemberg.
- Prado, T. (2016). *Mejoramiento del Sistema de Agua Potable en las Comunidades de Veracruz y Totos Ubicado en Totos, Cangallo-Ayacucho*. (Tesis pregrado – Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga), Ayacucho – Perú.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2019). *Objetivo 6: Agua limpia y saneamiento*. <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-developmentgoals/goal-6-clean-water-and-sanitation>. Html
- Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). (2006). *Decreto supremo N°011-2006-Vivienda. Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento. Servicio Nacional de Capacitación para la industria de la construcción*. Primera Edición. Lima, Perú.
- Rojas, R. (2013). *Guía para realizar investigaciones sociales* (Trigésimo octava ed.). México D.F., México: Plaza y Valdés S.A.
- Saldarriaga, V., & Juan G, (1998). *Hidráulica de tuberías*. Edición McGraw-Hill Interamericana, S.A. Santafé de Bogotá, Colombia.
- Vara, A. (2012). *7 Pasos para una tesis exitosa*. Lima: Universidad San Martín de Porres.

- Vera, P. (2018). *Evaluación del comportamiento hidráulico de redes de distribución de agua potable, mediante métodos computacionales convencionales en el distrito de Chupaca*. (Tesis Pregrado – Universidad Nacional del Centro del Perú), Huancayo, Perú.
- Vierendel. (2005). *Abastecimiento de agua y alcantarillado*. Lima. 3ra edición
- Yanapa, O. (2015). *Optimización de redes de distribución de agua potable en cuatro comunidades del distrito de Pisacoma* (Tesis Pregrado – Universidad Nacional del Antiplano), Puno, Perú.
- Zapata, N. (2014). *Diseño óptimo de redes cerradas de tuberías presurizadas para abastecimiento de agua potable en flujo permanente y aplicación al centro poblado campanita ubicado en San José Pacasmayo – La Libertad*. (Tesis Pregrado – Universidad Privada Antenor Orrego), Trujillo - Perú.

## ANEXOS

