

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Análisis y rediseño de la red abierta de distribución de agua potable que sirve de 8 localidades rurales del cantón Paute, provincia del Azuay

PROYECTO DE GRADUACIÓN PARCIAL

Previo la obtención del Título de:

Magister en Ingeniería Civil mención Construcción y Saneamiento

Presentado por:

Eduardo Felipe Vallejo Carrasco

Ángel Blondel Rosillo Jiménez

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2023

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres y hermana, quienes me apoyan día a día y me motivan a superarme en cada aspecto de la vida.

-Ángel

El presenta proyecto lo dedico a Dios, mis padres, hermanas, tíos, primos y abuelitos muy especialmente a mi Abuelito Reinaldo (+) quien es mi fuente de inspiración para cumplir mis metas y que desde el cielo guía mi camino.

-Eduardo

AGRADECIMIENTOS

Nuestro más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica del Litoral por brindarnos la oportunidad de formarnos en este posgrado, con una planta docente de gran trayectoria y un acompañamiento de parte de la coordinación durante todo este proceso. Una mención especial para el Mgtr. Cristian Salas, quién nos supo guiar en la elaboración de nuestro proyecto final y siempre estuvo presto a ayudarnos, mil gracias.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me(nos) corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; (*nombre de los participantes*) y doy(damos) mi(nuestro) consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Eduardo Felipe Vallejo
Carrasco

Ángel Blondel Rosillo
Jiménez

EVALUADORES

.....
Mgtr. Nadia Quijano

PROFESOR DE LA MATERIA

.....
Mgtr. Cristian Salas

PROFESOR TUTOR

Nombre del Profesor

PROFESOR CO-TUTOR

Nombre del Profesor

REVISOR EXTERNO

RESUMEN

El presente proyecto tuvo como objetivo evaluar y rediseñar el sistema de agua potable de las ocho comunidades que forman parte de la parroquia San Cristóbal, Cantón Paute, provincia del Azuay, con el fin de brindar una solución integral y definitiva a los problemas actuales de la red, como lo son la mala calidad y los constantes daños en la red, para ello se ha realizado un trabajo de tipo cualitativo y cuantitativo dividido en trabajo de campo, evaluación del modelo actual y determinación de un modelo definitivo que brinda una alternativa para mejorar el funcionamiento hidráulico del sistema, así como su calidad enfocado en el cloro residual, obteniendo como resultados más importantes un promedio de 0,49 m/s de velocidad del sistema, 49,40 m.c.a de presión y una cobertura total de cloro en la red promediando una concentración de cloro en la red de 0,60 mg/l. Esto se logró con el cambio de diámetros en la red de distribución, implementación de válvulas reductoras de presión y con una caseta de cloración adicional en la red.

Palabras Clave: Sistema de Agua Potable, EPANET, Cloro residual.

ABSTRACT

The objective of this project was to evaluate and redesign the drinking water system of the eight communities that are part of the San Cristóbal parish, Paute Canton, Azuay province, in order to provide a comprehensive and definitive solution to the current problems of the network, such as poor quality and constant damage to the network, for this purpose a qualitative and quantitative work has been carried out divided into field work, evaluation of the current model and determination of a definitive model that provides an alternative to improve the hydraulic operation of the system, as well as its quality focused on residual chlorine, obtaining as the most important results an average of 0.49 m/s of system speed, 49.40 m.c.a of pressure and total chlorine coverage in the network averaging a chlorine concentration in the network of 0.60 mg/l. This was achieved with the change of diameters in the distribution network, implementation of pressure reducing valves and with a chlorination booth in the network.

Keywords: Drinking Water System, EPANET, Residual Chlorine.

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	IV
RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE ILUTRACIONES	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
ÍNDICE DE PLANOS.....	IX
CAPÍTULO 1.....	10
1.1 Introducción.....	10
1.2 Antecedentes	10
1.3 Problema a resolver	12
1.4 Objetivos	12
3.4.1 Objetivo General.....	12
3.4.2 Objetivos Específicos.....	12
CAPÍTULO 2.....	13
2. METODOLOGÍA	13
2.1 Modelo hidráulico de la red actual	13
CAPÍTULO 3.....	20
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
3.1 Evaluación Física	20
3.1.1 Identificación, descripción y diagnóstico.	20
3.1.2 Descripción de los sistemas existentes.	20

3.2 Evaluación Hidráulica del sistema existente.....	24
3.3 Evaluación de calidad de agua.....	27
3.4 Evaluación hidráulica del sistema propuesto.....	30
3.4.1. Implementación De Puntos de Cloración	32
3.4.2. Implementación De Válvulas Reductoras De Presión	33
3.5 Validación de los resultados obtenidos en las modelaciones y campo	36
3.6 Evaluación económica del sistema propuesto.....	40
CAPÍTULO 4.....	42
Conclusiones	42
Recomendaciones.....	42
PLANOS Y ANEXOS.....	46

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society for Testing and Materials
NACE	National Association of Corrosion Engineer
SSC	Electrodo de Plata Cloruro de Plata
CSE	Electrodo de Cobre Sulfato de Cobre
HWL	High Water Level
LWL	Low Water Level
CIS	Inspección pasó a paso, medición de potenciales de encendido
MPY	Milésimas de pulgadas por año

SIMBOLOGÍA

mil	Milésima de pulgada
mg	Miligramo
pH	Potencial de Hidrógeno
m	Metro
mV	Milivoltio
Cu	Cobre
Ni	Níquel
C	Carbono
Mn	Manganeso
P	Fósforo
mg/L	Miligramos por litro
m.c.a.	Metros de columna de agua
PSI	Pound-force per Square Inch (Libras fuerza por pulgada cuadrada)
mm	Milímetro
m/s	Metros por segundo

ÍNDICE DE ILUTRACIONES

Ilustración 2-1. Identificación de elementos en la red.....	14
Ilustración 2-2. Identificación de elementos en la red.....	14
Ilustración 2-3. Toma de muestras de cloro en la red.....	15
Ilustración 2-4 Lectura de cloro en la planta de tratamiento	15
Ilustración 2-5. Datos hidráulicos para diseño de la red.	16
Ilustración 2-6. Parámetros para modelado de cloro residual.....	17
Ilustración 2-7. Parámetros para modelado de cloro residual.....	17
Ilustración 2-8 Parámetros para modelado de cloro residual	19
Ilustración 2-9 Patrón de consumo diario	19
Ilustración 3-1. Caseta de captación	21
Ilustración 3-2. Equipo de Bombeo para captación de pozo	21
Ilustración 3-3. Planta de Tratamiento.....	22
Ilustración 3-4. Tanque de Almacenamiento y Caseta de Cloración	23
Ilustración 3-5 Presiones en el sistema actual de agua potable	25
Ilustración 3-6. Velocidades en el sistema actual de agua potable	26
Ilustración 3-7. Diámetros en el sistema actual de agua potable.....	27
Ilustración 3-8. Presiones en el sistema propuesto	31
Ilustración 3-9 Velocidades en la red propuesta.....	31
Ilustración 3-10 Zonas de cloración.....	33
Ilustración 3-11 Parámetros y resultados de la válvula reductora de presión.....	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Ubicación de puntos de cloración de la red	18
Tabla 3-1 Información de Planta Potabilizadora [Los autores]	20
Tabla 3-2. Características de conducción [Los autores]	21
Tabla 3-3 Información de Planta Potabilizadora [Los autores]	22
Tabla 3-4. Características del Tanque de Reserva [Los autores]	23
Tabla 3-5. Información de la red de distribución [Los autores]	23
Tabla 3-6. Estado del Saneamiento [Los autores]	24
Tabla 3-7. Resultados del Análisis de Laboratorio de calidad del Agua en la Entrada a la Planta de Tratamiento	28
Tabla 3-8 Resultados del Análisis de Laboratorio de calidad del Agua en la Salida de la Planta de Tratamiento	29
Tabla 3-9 Puntos de cloración y sus dosificaciones	34
Tabla 3-10 Detalle de Válvulas Reductoras de Presión en el Sistema Propuesto	36
Tabla 3-11 Resumen del presupuesto para implementación del proyecto	41

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1 Planta de Conducción y Red de Distribución 1/3

PLANO 2 Planta de Conducción y Red de Distribución 2/3

PLANO 3 Planta de Conducción y Red de Distribución 3/3

CAPÍTULO 1

1.1 Introducción

En el mundo una de cada tres personas no tiene acceso a agua potable y esta problemática es más evidente en las comunidades rurales de países subdesarrollados (ONU, 2014), donde las enfermedades de tipo diarreicas principalmente de niños afectan su calidad de vida (Jouravlev, 2004). Es por ello que el estado ecuatoriano siendo parte de este grupo de países en subdesarrollo mediante la constitución del 2008, impone a cada Gobierno Autónomo Descentralizado el atender la falta de acceso a agua potable de sus comunidades, mediante el desarrollo de proyectos como estudios técnicos de los sistemas de agua potable (Martínez, 2015). Este es el caso del Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Paute mediante este trabajo busca dar una solución técnica mediante el diseño hidráulico de la red Abierta del sistema de agua potable de la parroquia San Cristóbal, comunidades: Bellavista, Dolorosa, Huachún, Pueblo Nuevo y el Descanso.

En el presente documento se detallarán los diseños, estudios, memorias de cálculo y planos definitivos a implementar de la red de agua potable de las comunidades Bellavista, Dolorosa, Huachún, Pueblo Nuevo, Pampa Negra, Cristo Rey, La Victoria y el Descanso pertenecientes a la parroquia San Cristóbal del Cantón Paute, Provincia del Azuay.

1.2 Antecedentes

El Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Paute de la provincia de Azuay, ha reconocido que actualmente el servicio de agua de consumo humano es de mala calidad para su población, lo cual se refleja en los resultados del estudio socio-económico realizado en las comunidades de la parroquia San Cristóbal, como lo son Bellavista, Dolorosa, Huachún, Pueblo Nuevo, Pampa Negra, Cristo Rey, La Victoria y el Descanso. A continuación, se muestra la ubicación georreferenciada de las comunidades en donde se desarrolla esta investigación:

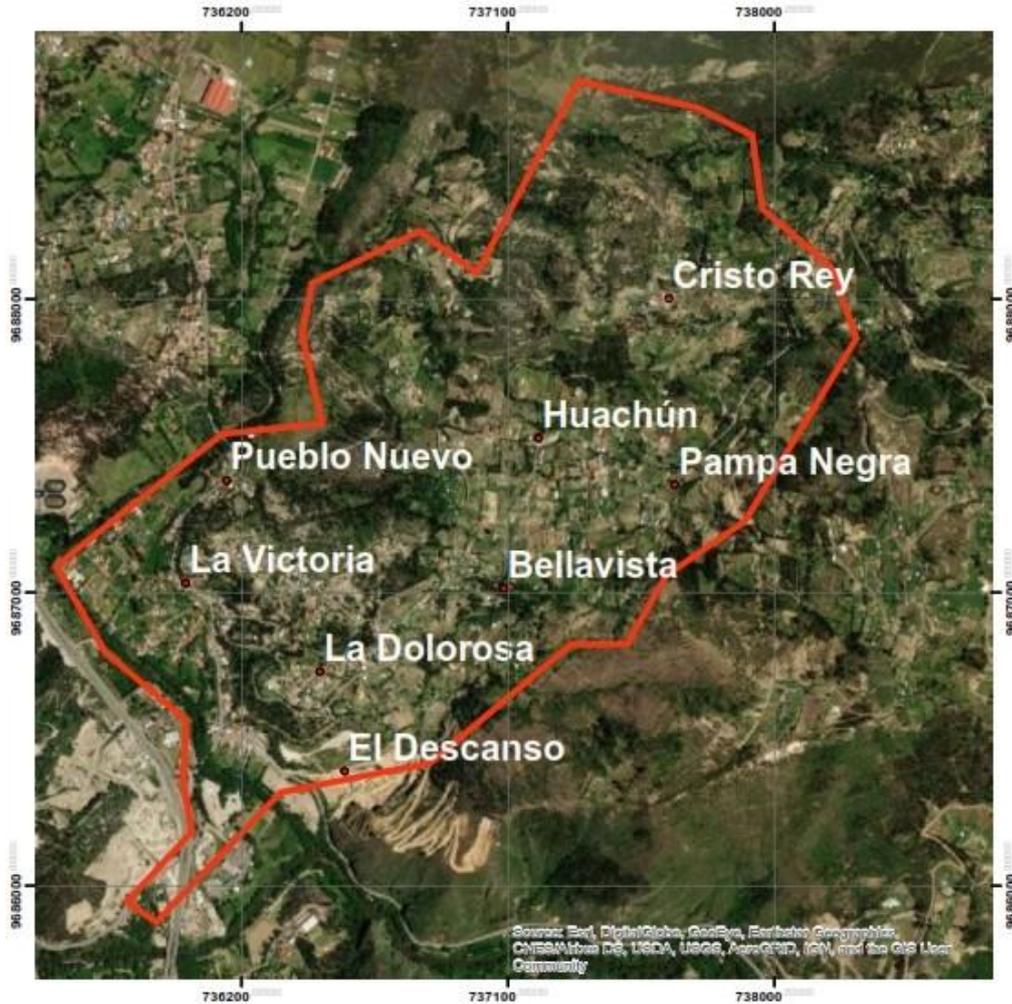


Ilustración 1-1 Ubicación Georreferenciada del Proyecto.

Fuente: Los autores

La parroquia rural San Cristóbal tiene al año 2010 una población de 2412 habitantes, con una tasa de crecimiento del 9,5% y una densidad poblacional de 140,48 hab/Km² (Instituto Nacional de Estadística y Censos , 2010). Por lo que para este proyecto que abarca un área de 356,92 Ha, se ha calculado que actualmente existe una población de 549 habitantes en el área de interés del proyecto.

El sistema de agua potable que se abarca en este estudio es una red abierta a presión, la misma que ha sido construida en algunos casos con diámetros de tubería inapropiados, sin un trazado apropiado de topografía de las comunidades, por lo cual es necesario realizar el rediseño total de la misma.

Uno de los indicadores más preocupantes de las comunidades antes mencionadas es que el 89% de los niños sufren de enfermedades de origen hídrico (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Paute, 2020). Y debido a la mala calidad del

agua un 80% de los pobladores consumen agua embotellada, lo cual también genera un problema económico.

1.3 Problema a resolver

El sistema de agua potable que sirve a las comunidades rurales dentro del presente estudio actualmente no presta un buen servicio ya que la calidad del agua es mala, la cantidad y presión que reciben los usuarios no es suficiente. Por ello se pretende realizar un rediseño hidráulico-sanitario de la red de conducción, red de distribución y puntos de consumo. De esta manera se busca mejorar la calidad de vida de los pobladores para reducir los índices de enfermedades de origen hídrico y también su economía.

Se conoce la topografía de las comunidades, su catastro, y los análisis de la calidad del agua en distintos puntos del sistema, adicional a esta información se realizará la medición de presiones del sistema para proceder con el rediseño hidráulico de la red, en el cual, las demandas de la población de las comunidades deberán satisfacerse con el caudal captado y con las presiones adecuadas, para ello se realiza un nuevo trazado de la red incluyendo con válvulas y accesorios; mientras que la calidad del agua será analizada para que el cloro residual sea el adecuado en todos los puntos de consumo del sistema.

1.4 Objetivos

3.4.1 Objetivo General

- Evaluación y rediseño de la red de distribución de agua potable de 8 comunidades del cantón Paute de la provincia de Azuay, con la finalidad de garantizar el servicio de agua potable.

3.4.2 Objetivos Específicos

- Evaluación hidráulica-sanitaria del sistema actual.
- Propuestas de alternativas para mejoría del sistema.
- Diseño definitivo del sistema de agua potable.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

Con el fin de cumplir los objetivos propuestos en el presente trabajo, se realizó una investigación de tipo cuantitativa y cualitativa la cual se divide en tres apartados, los cuales se presentan y describen continuación:

2.1 Modelo hidráulico de la red actual

El proyecto inicio con la revisión del estado del arte, con el fin de fundamentar conceptualmente los trabajos realizados previamente y poder relacionarlos con la temática que se abordan.

Para evaluar la red de distribución actual, se nos ha provisto por parte del GAD de Paute toda la información concerniente a la red como son sus planos, topografía, análisis de agua y datos estadísticos de las comunidades que se beneficiaran del proyecto.

Con esta información se realizó el respectivo modelado de la red actual, para ello se utilizó un modelo de tipo dinámico que permita verificar la progresión de los caudales, presiones y velocidades operativas con respecto del tiempo (Alcocer Yamanaka, 2007); además nos permitió seleccionar los puntos más críticos para las tomas de muestra, las cuales nos permitieron desarrollar una comparativa con los datos posteriormente recolectados de campo. La modelación se realizó en el software libre EPANET, en la cual se especificaron datos de caudales, nudos o conexiones provenientes de la topografía, diámetros de tuberías instaladas, el coeficiente de fricción del material que para este caso es el PVC, ubicación de los tanques rompe presión, el uso de las ecuaciones de Hazen-Williams para el cálculo de perdidas, y también a nivel de calidad de agua se evaluó el comportamiento del cloro residual en la red con el fin de escoger los puntos adecuados de toma de muestra.

2.2 Trabajo de campo

Inmediatamente de conseguir los datos necesarios de la modelación antes descrita, se procedió al trabajo de campo, el cual consistió en comprobar los diámetros de tubería, tipo de material en la red de conducción y distribución del sistema, ubicación de

tanques rompe presión, se tomó las coordenadas para ubicarlas en el modelo, tanques de almacenamiento y bombas como se puede observar en la Figura 2-1.



Ilustración 2-1. Identificación de elementos en la red.

Fuente: Los autores.

También se realizó la toma de presiones en los puntos más críticos de la red por medio de un manómetro portátil con unidades PSI para luego ser transformadas a m.c.a en 10 puntos de la red como se muestra en la Figura 2-2.



Ilustración 2-2. Identificación de elementos en la red.

Fuente: Los autores.

Luego se muestreo 10 puntos de cloro residual para ello se tomó 500ml de muestras por cada punto, seguidamente se preservó la muestra durante 5 minutos para luego colocar el reactivo N,N Dietil parafenilendiamina, el cual al entrar en contacto con el agua clorada reacciona y crea una coloración amarillenta que se compara con la escala establecida en el envase que se ensaya (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013), esto se puede notar en la Figura 2-3 y Figura 2-4.



Ilustración 2-3. Toma de muestras de cloro en la red

Fuente: Los autores.



Ilustración 2-4 Lectura de cloro en la planta de tratamiento

Fuente: Los autores.

Finalmente se tomó 500ml de muestra de agua en las acometidas domiciliarias, para realizar los respectivos ensayos de calidad del agua de la red en los puntos antes mencionados, lo que nos permitió realizar un modelo de calidad del sistema, con el fin de determinar que el cloro residual sea el indicado en todos los puntos de consumo.

2.3 Diseño definitivo de la red de agua potable

Una vez concluida la evaluación del sistema actual, tanto en su funcionamiento hidráulico como de calidad, se procedió a realizar el nuevo diseño como continuación se describe:

Se inicia con el cálculo de la población futura la cual fue de 1697 hab, dotación de 7,07 lit/s y caudal unitario de 0,02 lit/s tomando en cuenta que cada hogar tiene 4 habitantes

en promedio; luego se continuó con la importación de la topografía al software EPANET 2.0 vE, en este software se verifico que toda la red se encuentre conectada adecuadamente, además se añadió los elementos de tanques de almacenamiento, válvulas y bombas. Una vez realizado esto se procede a etiquetar los elementos y también se ingresa los datos que requiere cada uno de ellos; finalmente se analiza la red en dos escenarios, el primero es en un régimen permanente y posteriormente se crea un patrón con coeficientes de variación de caudal con el fin de realizar un análisis dinámico; cabe mencionar que en ambos casos se utilizó las ecuaciones de Hazen-Williams para el cálculo de las perdidas por longitud y que estos análisis nos permiten estabilizar la red hidráulica, esta configuración se muestra en la Figura 2-5. (Guanchi Quezada & Ordóñez Jara, 2017)

Opciones de Hidráulica	
Propiedad	Valor
Unidades de Caudal	LPS
Ecuación de Pérdidas	H-W
Peso Específico	0.998
Viscosidad Relativa	0.967639744253774
Iteraciones Máx.	200
Precisión	0.0001
Sistema no equilibrado	Continuar
Patrón predeterminado	1
Factor de Demanda	1.0
Exponente Emisores	1
Informe de Estado	No
CHECKFREQ	2
MAXCHECK	10
DAMPLIMIT	0

Ilustración 2-5. Datos hidráulicos para diseño de la red.

Fuente: Los autores.

Con estos dos modelamientos se pudo obtener datos como lo son: presiones satisfactorias para el sistema, las cuales se consideraron no sean mayores que 80 m.c.a en análisis estático y para el caso de análisis dinámico no menor a 14 m.c.a y máximo 70 m.c.a, tal cual lo establece la normativa (Secretaría del Agua, 2015), apartado 5.6 “Distribución de agua potable”. Con estos análisis también se pudo obtener las velocidades adecuadas en el sistema las mismas que se controlaron que no sean mayores a 2,5 m/s (NORMA DE LA CONSTRUCCIÓN ECUATORIANA, 2011). Otros parámetros necesarios provistos por estos análisis son la ubicación de las válvulas sostenedoras de presión y la potencia de las bombas tal como lo realizo (Noreña Vilca, 2015).

2.4 Modelo de calidad de agua

Para el modelo de calidad de agua es necesario primero haber equilibrado la red, para posteriormente iniciar con la definición de los parámetros de simulación, para este caso se utilizará una difusión relativa de cloro de 1 (Baños Caballero, 2016) y las unidades de densidad de trabajo se expresarán en mg/l, esto se muestra en la Figura 2-6.



Propiedad	Valor
Parámetro	Cloro
Unidades Densidad	mg/L
Difusividad Relativa	1
Nudo Procedencia	
Tolerancia de Calidad	0.01

Ilustración 2-6. Parámetros para modelado de cloro residual.

Fuente: Los autores.

Seguidamente se establecen las opciones de orden de reacción de flujo, en este caso se utilizará 1 ya que el cloro es una reacción de primer orden, también es necesario determinar el coeficiente global de flujo el cual será un valor negativo con el fin de simular el decrecimiento de cloro en la red (Guanchi Quezada & Ordóñez Jara, 2017) y se observan en la Figura 2-7.



Propiedad	Valor
Orden Reacción Flujo	1
Orden Reacción Pared	Primer
Coef. Global Flujo	-1
Coef. Global Pared	0
Concentración Límite	0
Coef. Correlación Pared	0

Ilustración 2-7. Parámetros para modelado de cloro residual.

Fuente: Los autores.

Una vez establecidos estos datos de entrada se procede a la modelación del sistema, primeramente, se determinó tres puntos de cloración para abarcar toda la red, cuyas ubicaciones se presentan a continuación en la Tabla 2-1:

Tabla 2-1. Ubicación de puntos de cloración de la red

[Fuente: Los Autores]

UBICACIÓN	COORDENADA	
	ESTE	NORTE
PLANTA DE TRATAMIENTO GUACHÚN	736699,35	9687143,63
RESERVORIO BELLAVISTA	736699,35	9687143,63
RESERVORIO PAMPA NEGRA	737789,78	9687483,72

Seguidamente se determina la dosificación de cloro necesaria en cada uno de estos puntos y se la ingresa en la opción de calidad de fuente acompañado de la selección del tipo de fuente que para este caso es de concentración ya que se necesita que las concentraciones sean fijas para cualquier caudal que ingrese a la red (Baños Caballero, 2016); las dosificaciones para este caso se pueden observar en la Tabla N°1.

Finalmente, con los datos necesarios se procede a la última etapa del modelado que consiste en la calibración de la calidad en la red, para esto se toma en cuenta la ocurrencia de dos fenómenos denominados advección y reacción (Guanchi Quezada & Ordóñez Jara, 2017). Los cuales se relacionan con la velocidad del flujo que se obtuvo en el modelo hidráulico; y el coeficiente de volumen de agua y de pared de la tubería los cuales se tomaron de la bibliografía revisada de otros autores como es el caso de (Castro & Neves, 2003) y que se pueden observar en la Figura 7.

Cumplidos todos estos parámetros se precedió a la validación del modelo de calidad para ello se comprueba que aquellos puntos de muestra que se tomaron en campo que dieron un valor de 0 mg/l, en el nuevo modelo se hayan provisto del cloro necesario el cual no debe exceder 1 mg/l y no ser menor a 0,3 mg/l (Secretaría del Agua, 2015). El tiempo de simulación establecido fue de 24 horas tal como se verifica en la Figura 2-8.

Propiedad	Hrs:Min
Duración Total	24
Intervalo Cálculo Hidráulico	1:00
Intervalo Cálculo Calidad	0:00
Intervalo Patrones	1:00
Tiempo Inicio Patrón	0:00
Intervalo Informe	1:00
Tiempo Inicio Informe	0:00
Tiempo Inicio Reloj	8 am
Estadística	Ninguno

Ilustración 2-8 Parámetros para modelado de cloro residual

Fuente: Los autores.

Durante estas 24 horas de análisis el programa simula un patrón de consumo diario subido por el usuario, en la presente investigación no se cuentan con los datos de consumo diario de agua potable de la población, por lo cual se procedió a utilizar un patrón de consumo de una comunidad rural de la sierra (Arellano, Bayas, Meneses, & Castillo, 2018), el mismo que corresponde a las costumbres propias del lugar debido a las actividades económicas que desarrollan y a la temperatura del lugar. En la figura 2-9 se muestra el patrón de consumo utilizado para nuestra investigación.

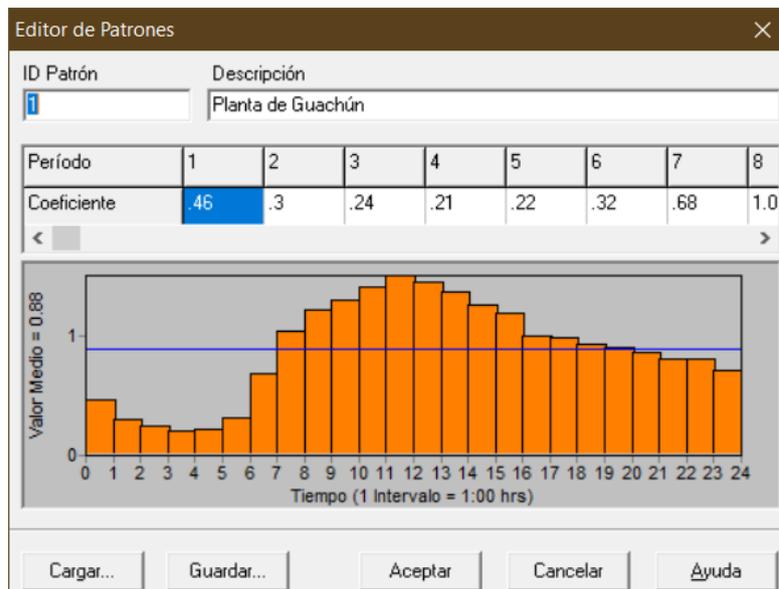


Ilustración 2-9 Patrón de consumo diario

Fuente: Los autores

CAPÍTULO 3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Evaluación Física

3.1.1 Identificación, descripción y diagnóstico.

El sistema de abastecimiento de agua potable de las comunidades en análisis se alimenta de 1 vertientes de tipo acuífero, las cuales se conducen hasta la planta de tratamiento, la misma que está compuesta por un proceso de pretratamiento de sedimentación, dos módulos de floculación, caseta de cloración y un tanque de reserva.

3.1.2 Descripción de los sistemas existentes.

3.1.2.1 . Fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano

El agua captada se bombea desde un pozo con una profundidad de 160 metros, el mismo que está ubicado a 40 metros del margen del Río Azogues.

Tabla 3-1 Información de Planta Potabilizadora

[Fuente: Los Autores]

Sector	Tipo	Coordenadas	
El Descanso	Pozo	736226.279	9686409.584

3.1.2.2 Estructuras de captación y pretratamiento de agua

Existe una caseta de bombeo, cuentan con una sola bomba con una potencia de 45HP, que impulsa a 215 PSI, para llegar a la planta de tratamiento. Esta bomba es la única por lo que cuando sufre daños o entra en mantenimiento la planta de tratamiento queda desprovista de ingreso de caudal.



Ilustración 3-1. Caseta de captación

[Fuente: Los Autores]



Ilustración 3-2. Equipo de Bombeo para captación de pozo

[Fuente: Los Autores]

No existe ningún proceso de pretratamiento en la captación.

3.1.2.3 Línea de conducción

Tabla 3-2. Características de conducción

[Fuente: Los Autores]

Barrio	Material	Diámetro	Estado
La Chorrera	Tubería de hierro dúctil.	110 mm	Bueno

3.1.2.4 Planta de potabilización

Tabla 3-3 Información de Planta Potabilizadora

[Fuente: Los Autores]

Barrio	Unidades	Material	Ubicación	
Bellavista	1	Hormigón simple	736695.241	9687132.917
<p>La planta de tratamiento está ubicada en Huachún alto. Previo al ingreso de la planta el agua captada tiene un proceso de aireación y sedimentación. Internamente está compuesta por dos módulos de floculación, sedimentación, filtración lenta, ablandadores de resina y carbón activado, caseta de cloración y un tanque de reserva de 80m³.</p> <p>En esta planta de tratamiento existe un laboratorio de calidad de agua y se realiza la dosificación de sulfato de aluminio para la formación de flóculos. La desinfección se realiza utilizando un hipoclorador.</p> <p>A la salida del tanque de tratamiento existe un sistema de impulsión hidráulica para vencer el desnivel que existe con la zona noreste que está a una cota superior.</p>				

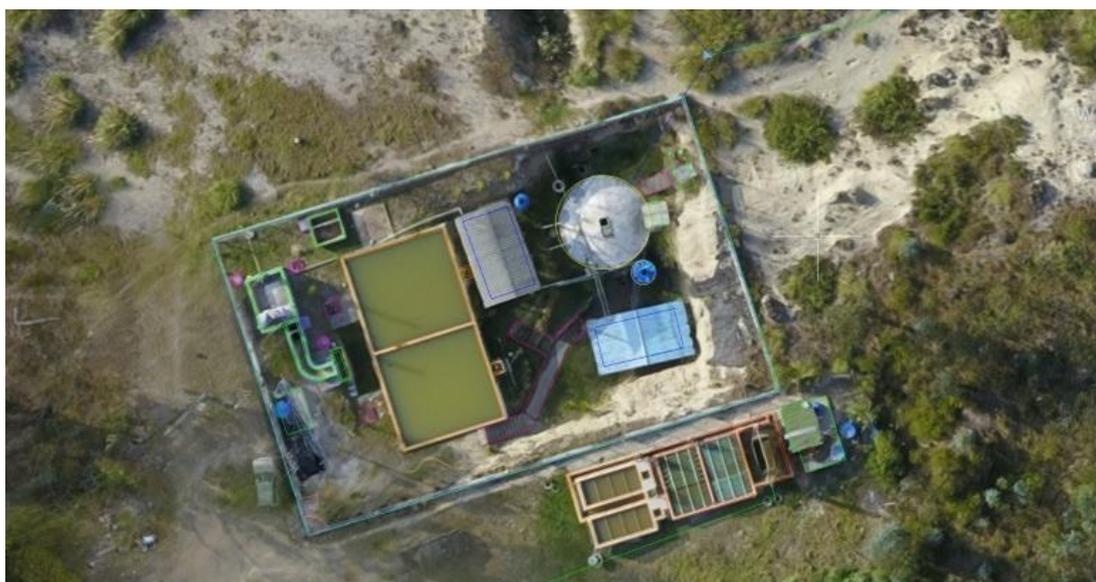


Ilustración 3-3. Planta de Tratamiento

[Fuente: GADP San Cristóbal]

3.1.2.5 Desinfección

La desinfección se realiza dentro de la planta posterior al proceso de ablandamiento mediante un hipoclorador de goteo con alimentación eléctrica, en forma de hipoclorito de calcio.



Ilustración 3-4. Tanque de Almacenamiento y Caseta de Cloración

[Fuente: Los Autores]

3.1.2.6 Tanques de reserva

Tabla 3-4. Características del Tanque de Reserva

[Fuente: Los Autores]

Barrio	Material / Tipo / Ubicación	Capacidad	Válvulas	Estado
Bellavista	Hormigón armado / Circular / Aire libre	80 m3	Hierro Dúctil	Bueno

3.1.2.7 Distribución de agua potable

Tabla 3-5. Información de la red de distribución

[Fuente: Los Autores]

Planta de tratamiento	Diámetro de tubería (mm)	Longitud (km)	Nro. conexiones	Medición
Bellavista	25	1.187	329	Si
	32	1.295		
	40	2.641		
	50	7.074		
	63	2.577		
	110	5.988		

3.1.2.8 Saneamiento

Tabla 3-6. Estado del Saneamiento

[Fuente: Los Autores]

SANEAMIENTO			
Red	TIPO	ESTADO	OBSERVACIONES
La Victoria	Red de Alcantarillado Sanitario	Bueno	Se cuenta con el servicio de redes de alcantarillado sanitario en la zona urbana, donde se encuentra consolidadas las viviendas, mientras que las alejadas que pertenecen a la zona rural, realizan las descargas a pozo sépticos.

3.2 Evaluación Hidráulica del sistema existente

Con el fin de analizar los valores de presión, velocidad y los diámetros de las tuberías que componen la red, se realizó el análisis estático obteniendo los resultados que se presentan en la Ilustración 3-5, 3-6 y 3-7.

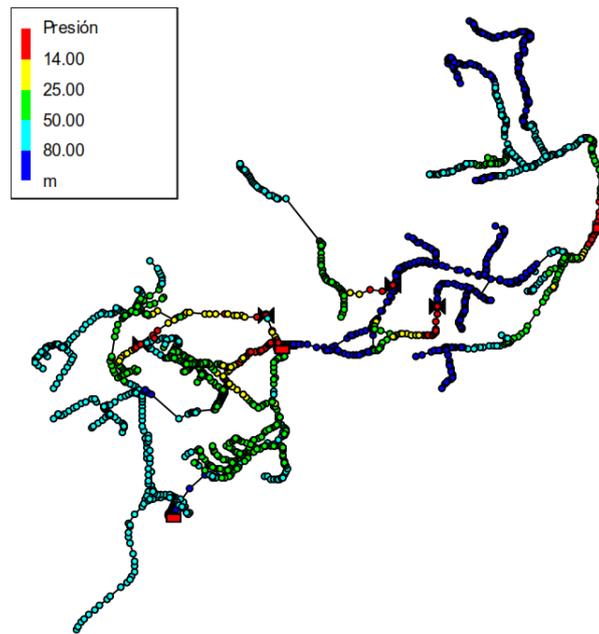


Ilustración 3-5 Presiones en el sistema actual de agua potable

Fuente: Los autores.

Como se puede observar en la Ilustración 3-5. En la red existen nodos de consumo con presiones superiores a los 80 m.c.a que recomienda la norma, estos se ubican principalmente en los nudos más lejanos y bajos en cota de la red, con excepción de los tramos de impulsión los cuales presentan valores de presión superiores al límite, debido a contracción del líquido y dilatación de la tubería producto de la impulsión de la bomba (Orozco, López & Ramirez, 2004)

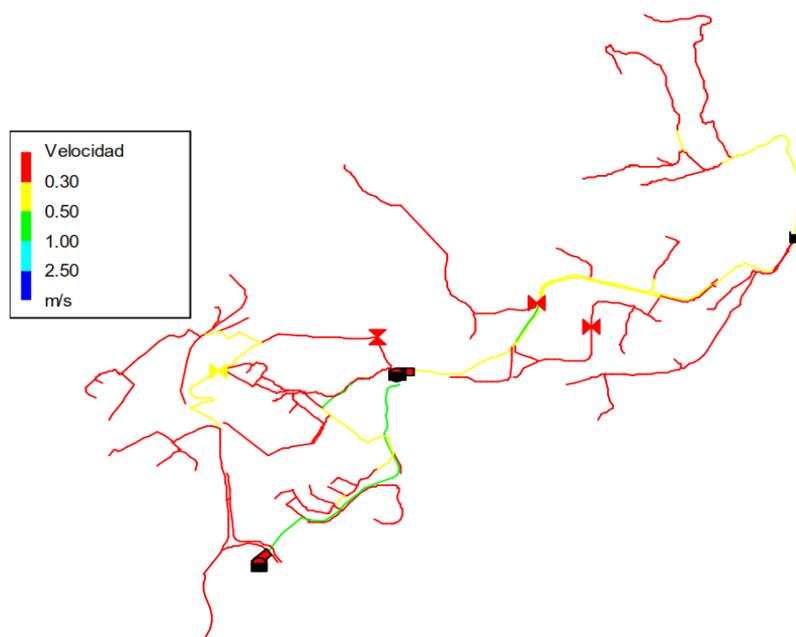


Ilustración 3-6. Velocidades en el sistema actual de agua potable

Fuente: Los autores.

En la Ilustración 3-6, se observan los resultados de velocidades en la red y podemos observar que un 90% de los tramos tienen velocidades menores a 0,3 m/s, esto debido a que los diámetros son superiores a los requeridos en esos tramos, lo que provoca que las velocidades en promedio sean de 0,11 m/s. Estos resultados se reflejan en los problemas que tienen las tuberías por colmatación del material, así lo relaciona también (Cansiong Guerra & Mora Gómez, 2019).

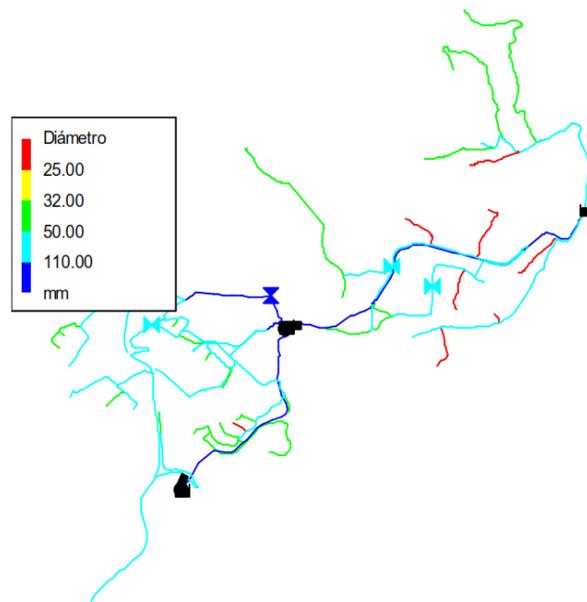


Ilustración 3-7. Diámetros en el sistema actual de agua potable

Fuente: Los autores.

Además del análisis de presiones y velocidades, es necesario presentar también un análisis de los diámetros ya que muchos de los problemas del funcionamiento son producto de este factor. En la Ilustración 3-7 se nota que las tuberías comúnmente utilizadas en este sistema son de 110 mm principalmente para la conducción desde la captación y desde la planta de tratamiento hasta los tanques de almacenamiento; otro de los diámetros utilizados con frecuencia es de 63 mm el cual se lo ocupa para la conducción principal de los ramales, y finalmente se notas que las tuberías de 50 mm, 40 mm son los principales diámetros utilizados en las entregas, mientras que los diámetros de 25 mm son mínimamente utilizados.

El uso indebido de los diámetros de la tubería provoca problemas presión excesiva que se traduce en rotura constante de tuberías de la red y domiciliarias; además de beneficiar a la colmatación en la tubería debida a las bajas velocidades debidas al diámetro establecido en los tramos (Castro San Lucas & Rizzo Verdesoto, 2019).

3.3 Evaluación de calidad de agua.

A continuación se presenta la Tabla 3-7 y la Tabla 3-8 que resume los análisis de laboratorio realizados para determinar la calidad de agua previo al ingreso a la planta de tratamiento y posterior a la misma:

Tabla 3-7. Resultados del Análisis de Laboratorio de calidad del Agua en la Entrada a la Planta de Tratamiento

Fuente: Los autores.

RESUMEN DE ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA						
PUNTO DE MUESTREO: ENTRADA DE PLANTA DE TRATAMIENTO						
<i>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS</i>						
PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	RESULTADOS	LÍMITE DESEABLE	LÍMITE MÁX. PERMISIBLE	MÉTODO	NORMA
Turbiedad	N.T.U.	2	5	20	AWWA	INEN
Temperatura	°C	19,1	Condición Natural +0-3°C		AWWA	TULAS
Sólidos Totales	mg/L	101,2	-	-	AOAC 920.193	MSP
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	98,1	-	1000	AOAC 920.193	TULAS
Conductividad Eléctrica	µhos/cm	153,3	-	1250	AOAC 920.193	IEOS
Sólidos Suspendidos	mg/L	2	-	-	AOAC 920.193	-
<i>CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS</i>						
PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	RESULTADOS	LÍMITE DESEABLE	LÍMITE MÁX. PERMISIBLE	MÉTODO	NORMA
Potencial de Hidrógeno	Ph	6,2	6	9	AOAC 920.193	TULAS
Calcio	mg/L	73,4	30	70	AWWA-ETAS	INEN
Dureza Cálcica	mg/L	452	150	500	AWWA-ETAS	OMS-IEOS
Dureza Total	mg/L	573	-	500	AWWA-ETAS	TULAS
Dureza Magnésica	mg/L	5,1	-	-	AWWA-ETAS	-
Magnesio	mg/L	1,24	12	30	AWWA-ETAS	INEN
Cloruros	mg/L	23	-	250	DE MOHR	TULAS
Cloro Libre	mg/L	0	0,5	0.3-1	AWWA	INEN
Nitrato	mg/L	0,7	10	45	DIAZOTIZACIÓN	INEN-USPHS
<i>ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS</i>						
PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	RESULTADOS	LÍMITE DESEABLE	LÍMITE MÁX. PERMISIBLE	MÉTODO	NORMA
Coliformes Totales	NPM/100ml	140	-	3000	APHA 9221 B	TULAS
Coliformes Fecales	NPM/100ml	0	-	600	INEN 1 529-8	TULAS

Tabla 3-8 Resultados del Análisis de Laboratorio de calidad del Agua en la Salida de la Planta de Tratamiento

Fuente: Los autores.

RESUMEN DE ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA						
PUNTO DE MUESTREO: SALIDA DE PLANTA DE TRATAMIENTO						
<i>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS</i>						
PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	RESULTADOS	LÍMITE DESEABLE	LÍMITE MÁX. PERMISIBLE	MÉTODO	NORMA
Turbiedad	N.T.U.	2	5	20	AWWA	INEN
Temperatura	°C	19,2	Condición Natural +0-3°C		AWWA	TULAS
Sólidos Totales	mg/L	243,1	-	-	AOAC 920.193	MSP
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	236,1	-	1000	AOAC 920.193	TULAS
Conductividad Eléctrica	µhos/cm	369	-	1250	AOAC 920.193	IEOS
Sólidos Suspendidos	mg/L	6	-	-	AOAC 920.193	-
<i>CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS</i>						
PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	RESULTADOS	LÍMITE DESEABLE	LÍMITE MÁX. PERMISIBLE	MÉTODO	NORMA
Potencial de Hidrógeno	Ph	6,3	6	9	AOAC 920.193	TULAS
Calcio	mg/L	58,1	30	70	AWWA-ETAS	INEN
Dureza Cálcica	mg/L	144,9	150	500	AWWA-ETAS	OMS-IEOS
Dureza Total	mg/L	150	-	500	AWWA-ETAS	TULAS
Dureza Magnésica	mg/L	5,01	-	-	AWWA-ETAS	-
Magnesio	mg/L	1,22	12	30	AWWA-ETAS	INEN
Cloruros	mg/L	23	-	250	DE MOHR	TULAS
Cloro Libre	mg/L	0	0,5	0.3-1	AWWA	INEN
Nitrato	mg/L	4,84	10	45	DIAZOTIZACIÓN	INEN-USPHS
<i>ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS</i>						
PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	RESULTADOS	LÍMITE DESEABLE	LÍMITE MÁX. PERMISIBLE	MÉTODO	NORMA
Coliformes Totales	NPM/100ml	128	-	3000	APHA 9221 B	TULAS
Coliformes Fecales	NPM/100ml	0	-	600	INEN 1 529-8	TULAS

En la Tabla 3-7, se puede verificar que los ensayos de laboratorio previo al ingreso de la planta de tratamiento se encuentran superiores a los límites permisibles principalmente con la presencia de Sólidos Totales, Calcio, Dureza Total y Dureza Magnésica. Estos valores de dureza se traducen en problemas de colmatación dentro de las tuberías lo cual afecta no solo a la calidad de agua que se puede consumir, sino que también provoca una disminución de diámetro que afecta parámetros como la velocidad y presión (Marrero Águila & Zelaya Reina, 2014); además de generar un problema económico ya que el constante taponamiento de las tuberías provoca que deban ser remplazadas lo que genera un gasto que la vuelve insostenible.

Como se observa en la Tabla 3-8, los valores de Sólidos Totales, Calcio, Dureza Total y Dureza Magnésica disminuyen luego del tratamiento, sin embargo aún existe presencia de estos factores que combinados con diámetros inadecuados de tuberías provocan que no exista una mejoría a nivel de colmatación, además de generar problemas en los quehaceres domiciliarios ya que el agua con altas cantidades de dureza es de característica grasa (Lopez, 2010).

3.4 Evaluación hidráulica del sistema propuesto

La Ilustración 3-8 , nos muestra el nuevo desempeño hidráulico de la red propuesta en el cual podemos notar que las presiones promedio son de 49,40 m.c.a que son satisfactorias tanto en el límite mínimo de 14 m.c.a como en el límite máximo de 80 m.c.a, el beneficio principal con la regularización de las presiones es evitar la rotura de las tuberías en los puntos más bajos de la red y acometidas domiciliarias (Morelos & Hernández, 2017). Esta disminución se logró mediante la incorporación de 14 válvulas sostenedoras de presión dentro de la red, además de la variación adecuado de los diámetros de tubería.

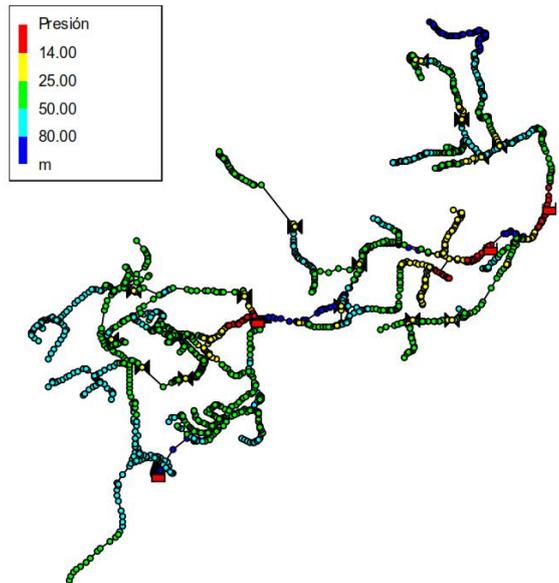


Ilustración 3-8. Presiones en el sistema propuesto

Fuente: Los autores.

En la Ilustración 3-9 , se puede observar el comportamiento hidráulico de las velocidades en los nudos de la red, determinando una velocidad promedio de 0,49 m/s la cual está dentro del rango de 0,30 m/s hasta los 2,5 m/s, esto permitirá que el sistema mejore su capacidad de evitar la grave situación de colmatación que actualmente padece el sistema.

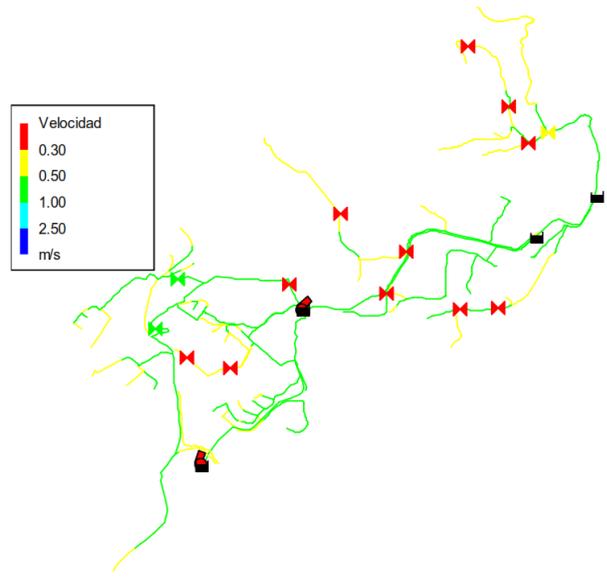


Ilustración 3-9 Velocidades en la red propuesta

Fuente: Los autores

3.4.1. Implementación De Puntos de Cloración

Debido al déficit de cloro residual detectado tanto en campo como en las simulaciones del modelo generado, se propone determinar un punto de cloración, para abastecer a la totalidad de usuarios del sistema, esto genera que la red de distribución se abastece de agua con una dosis de cloro residual constante durante todo el día.

La caseta de cloración que se propone estará ubicada en el sector de Bellavista, y la misma también servirá a las comunidades de Huachún y Pueblo Nuevo. Las comunidades de La Victoria, La Dolorosa y El Descanso son abastecidas directamente desde la Planta de Tratamiento, y finalmente las comunidades de Cristo Rey y Pampa Negra se abastecen desde el Reservorio ubicado en dicha zona que se alimenta mediante impulsión desde la planta de tratamiento.

Esto divide al sistema en tres zonas que son abastecidas por distintos reservorios, como se muestra en la Ilustración 3-10 y así mismo con una concentración diferente de cloro, las mismas que se adjuntan en la Tabla 3-9.

Tabla 3-9 Puntos de cloración y sus dosificaciones

Fuente: Los autores.

UBICACIÓN	DOSIFICACIÓN DE CLORO EN (mg/l)
PLANTA DE TRATAMIENTO GUACHÚN	2
RESERVORIO BELLAVISTA	1,39
RESERVORIO PAMPA NEGRA	1

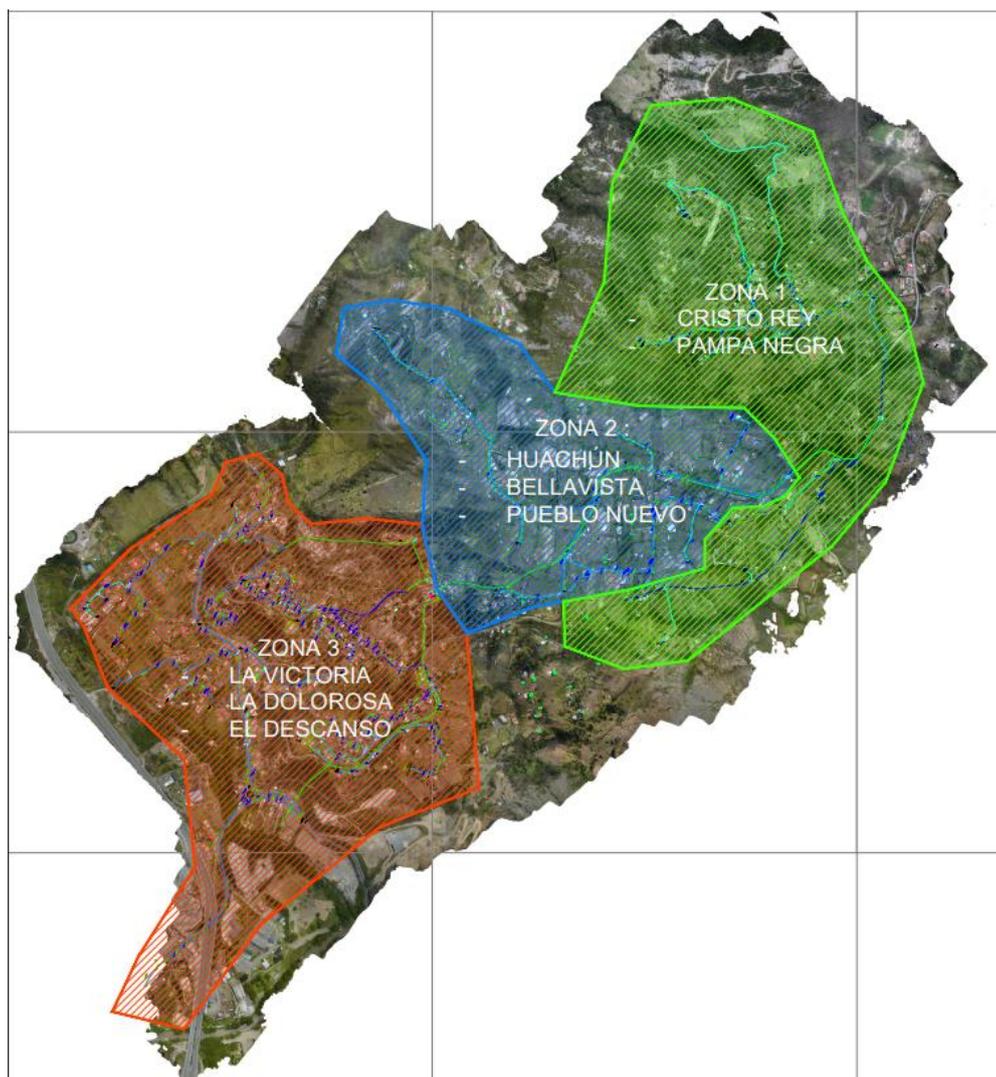


Ilustración 3-10 Zonas de cloración

Fuente: Los autores

3.4.2. Implementación De Válvulas Reductoras De Presión

Como se mencionó en el punto 3.2, evaluación hidráulica de la red existente, existe actualmente problemas de sobre presiones en la red, esto debido a la topografía del área del proyecto, por ello es importante controlar estas presiones para evitar el daño en las tuberías de distribución, accesorios de los domicilios y las posibles fugas. Dentro del sistema existen tanques rompe presiones, los mismos que han sido ubicados en algunos casos en lugares inadecuados, esto debido al crecimiento desordenado y sin planificación de las comunidades.

El problema que presentan los tanques rompe presión, es la vulnerabilidad que tienen los mismos ante la contaminación externa, y además de ello estos tanques no nos permiten regular la presión al valor deseado, ya que generan una pérdida total de la carga hidráulica.

Por eso se propone instalar 14 válvulas reductoras de presión en los puntos adecuados para mantener un sistema funcional (Bagheri & Kaveh Ostad, 2019) , en la Ilustración 3-10, se muestra en perfil la regulación de la carga hidráulica mediante el uso de una válvula en un tramo de la red.

Válvula PRV-6	
Propiedad	Valor
*ID Válvula	PRV-6
*Nudo Inicial	3152-A
*Nudo Final	3152-B
Descripción	
Etiqueta	
*Diámetro	110
*Tipo	Reductora
*Consigna	18
Coef. Pérdidas	0
Estado Fijo	Ninguno
Caudal	0.40
Velocidad	0.04
Pérdidas	28.75
Calidad	1.94
Estado	Activo

Ilustración 3-11 Parámetros y resultados de la válvula reductora de presión

Fuente: Los autores.

En este caso se analiza el comportamiento de una válvula reductora de 110 mm, la misma que genera una pérdida de presión de 28,75 m.c.a., como se observa en la Figura 3-1, la línea de color amarillo representa la presión, la válvula identificada como PRV-6 reduce de 46 m.c.a. a 18 m.c.a., representando una pérdida de 28,75 m.c.a.

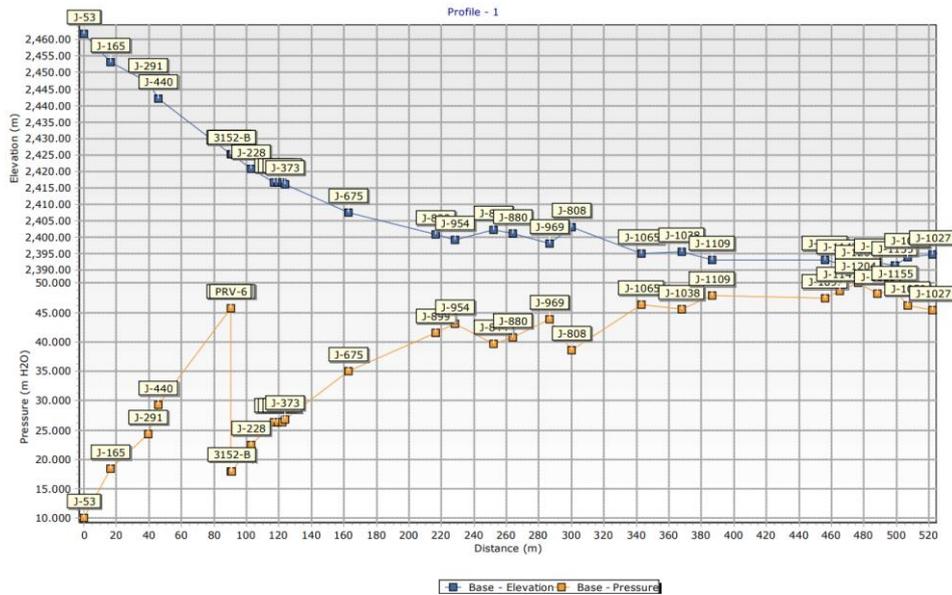


Figura 3-1 Perfil de variación de presiones con el uso de válvula reductora de presión

Fuente: Los autores.

Todas las válvulas reductoras propuestas en el sistema se detallan en la Tabla 3-9.

Tabla 3-10 Detalle de Válvulas Reductoras de Presión en el Sistema Propuesto

Fuente: Los autores.

Válvulas Reductoras de Presión								
<i>Etiqueta</i>	<i>Elevación (m)</i>	<i>Diámetro (mm)</i>	<i>Caudal (L/s)</i>	<i>Carga Hidráulica Entrada (m)</i>	<i>Carga Hidráulica Salida (m)</i>	<i>Pérdida de carga (m)</i>	<i>X (m)</i>	<i>Y (m)</i>
TRP-3	2,500.90	50	0.32	2,538.91	2,520.95	17.96	737,181.05	9,687,422.90
PRV-6	2,425.30	110	1.89	2,471.16	2,443.34	27.82	736,639.23	9,687,267.80
PRV-7	2,385.37	50	0.91	2,435.64	2,405.42	30.21	736,011.18	9,687,062.27
PRV-8	2,384.50	50	0.88	2,438.05	2,404.55	33.5	736,116.99	9,687,294.71
PRV-9	2,411.95	50	0.1	2,467.10	2,432.00	35.1	736,358.14	9,686,877.66
PRV-10	2,372.06	50	0.1	2,429.79	2,392.11	37.69	736,159.17	9,686,929.34
PRV-12	2,558.93	32	0.29	2,617.20	2,578.98	38.22	737,840.63	9,687,982.35
PRV-13	2,554.87	25	0.12	2,616.19	2,574.92	41.27	737,749.76	9,687,930.25
PRV-14	2,558.60	32	0.19	2,613.65	2,578.65	35	737,658.89	9,688,104.67
PRV-15	2,520.67	32	0.11	2,573.94	2,540.72	33.22	737,467.51	9,688,383.76
PRV-17	2,564.12	63	0.18	2,609.51	2,584.17	25.34	737,610.70	9,687,157.32
PRV-18	2,523.41	63	0.18	2,579.49	2,543.46	36.03	737,431.05	9,687,153.21
PRV-19	2,460.85	40	0.1	2,515.38	2,480.90	34.49	736,872.90	9,687,598.22
PRV-20	2,487.97	50	0.16	2,534.19	2,508.02	26.17	737,091.55	9,687,225.20

La ubicación de las válvulas reductoras de presión en el sistema se muestra en la Figura 3-2.

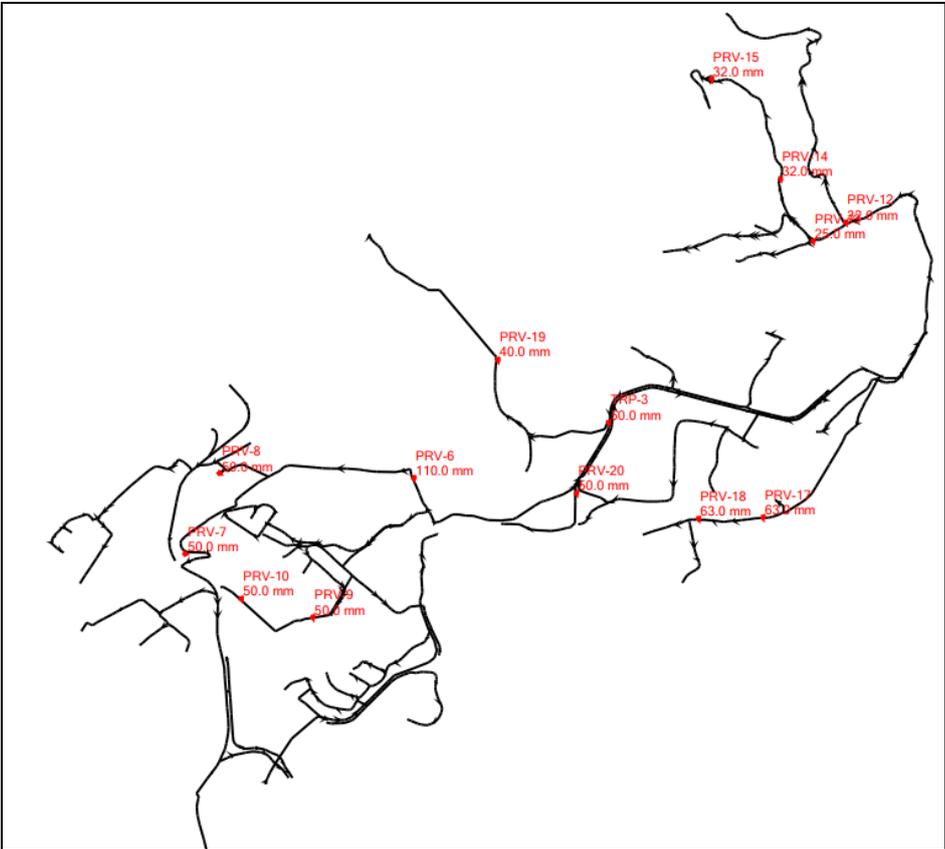


Figura 3-2. Ubicación en la red de las válvulas reductoras presión

Fuente: Los autores.

3.5 Validación de los resultados obtenidos en las modelaciones y campo

Con el fin de determinar la importancia de este estudio y validar la información recabada en campo, el modelado de la red existente y red propuesta; se presentan cuatro importantes comparativas que abarcan resultados de presiones, velocidades, cloro residual y diámetros en la red:

En la Figura 3-3, se muestra como las presiones tomadas en campo y generadas por el software en el análisis de red existente difieren en promedio 2,98 m.c.a, por lo que podemos afirmar que el modelo existente si corresponde a la realidad y que exceden los 80 m.c.a regulados por la norma (Morelos & Hernández, 2017); además en esta Figura 3-3 también podemos establecer que el modelo propuesto mejora notablemente

las condiciones de presión del sistema ya que se mantienen en el orden de 51, 60 m.c.a lo cual es adecuado y se mantiene dentro de los rangos normados.

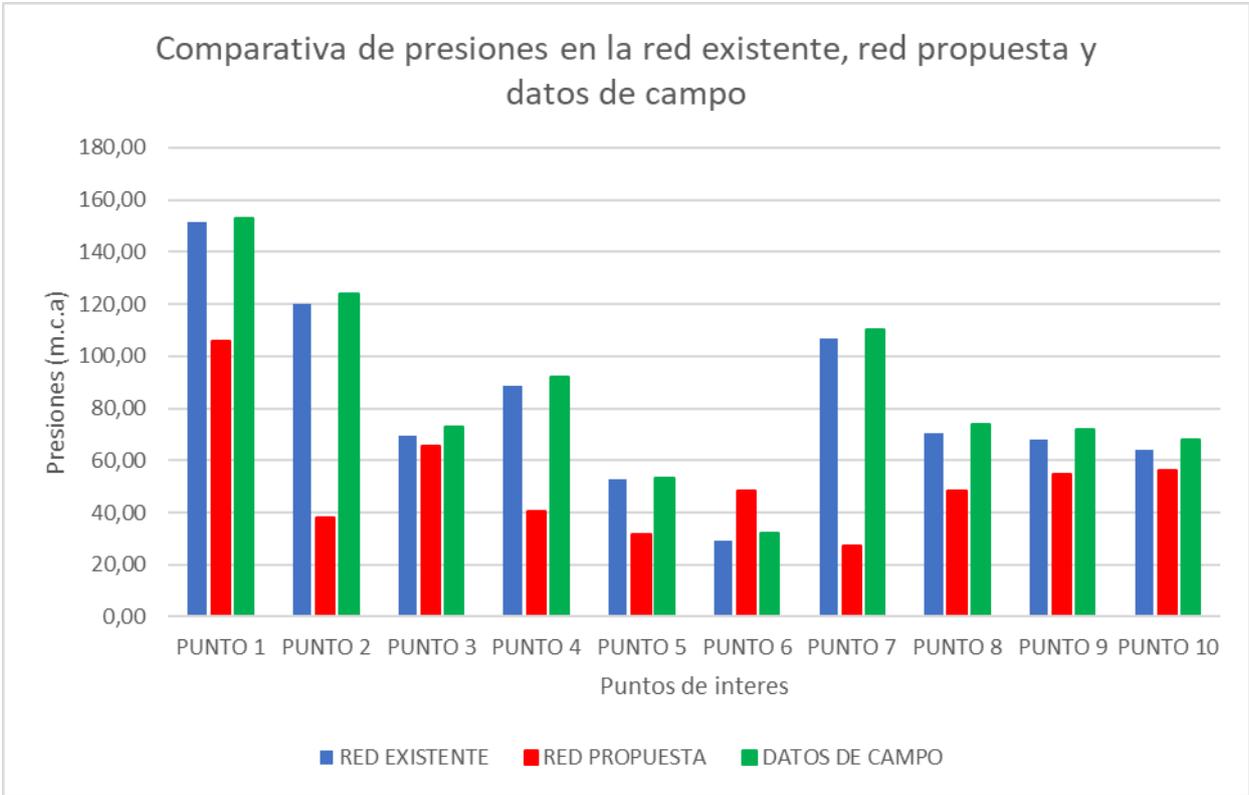


Figura 3-3 Resultados de presiones del sistema tomadas en campo, modelo de red existente y modelo de red propuesta

Fuente: Los autores.

En la Figura 3-4, se presenta la gráfica comparativa de las velocidades del modelo existente las cuales son excesivamente bajas promediando 0,036 m/s producto de los diámetros inadecuados en esos tramos y que conjunto con la dureza del agua son el principal factor de creación de colmatación en la tubería (Castro San Lucas & Rizzo Verdesoto, 2019). Por ello como se muestra en la Figura 3-4 las nuevas velocidades propuestas para estos tramos son en promedio 0,18 m/s, que si bien es cierto no llegan al valor mínimo de 0,3 m/s debido a que alcanzaron el diámetro mínimo comercial en el cálculo, es un valor que combinado con un tratamiento adecuado del agua a nivel de dureza evitaría que la tubería sufra colmatación en sus paredes y por ende sufra reducción de su capacidad (Sánchez Navarro, 2021).

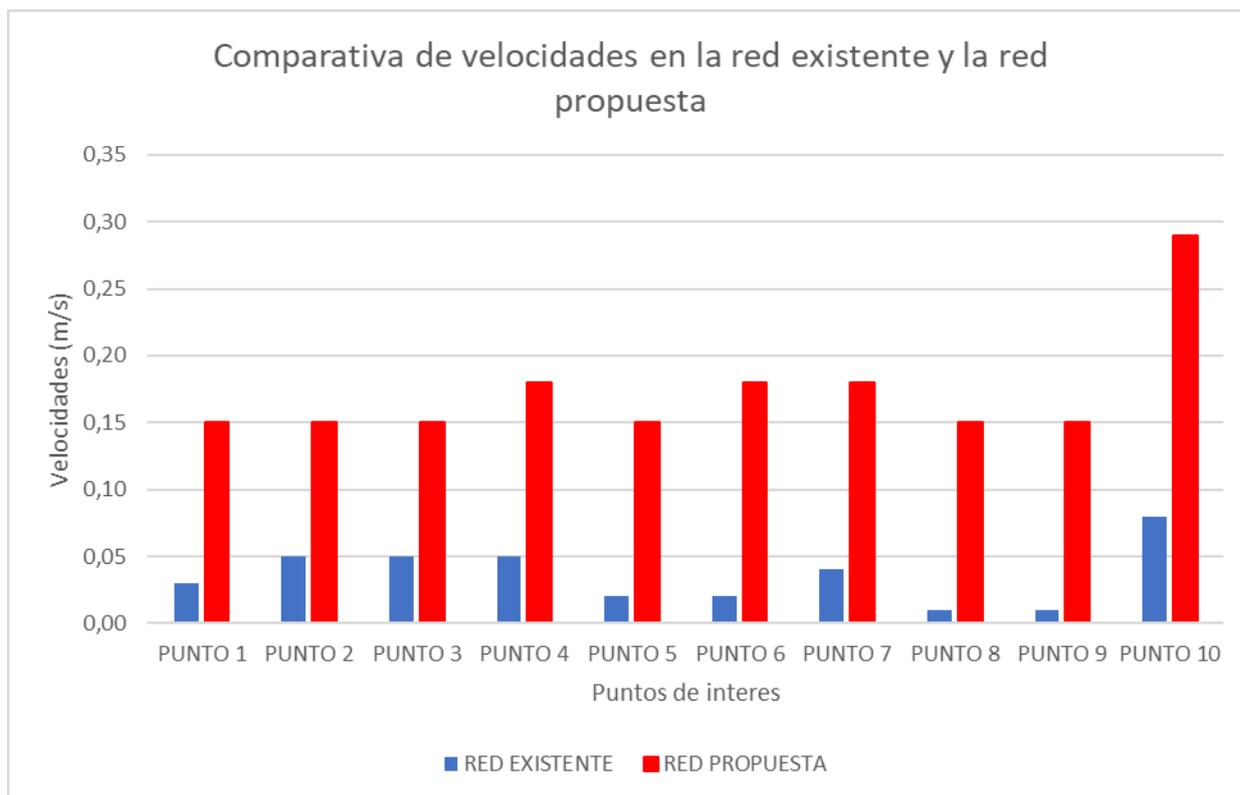


Figura 3-4 Comparativa de velocidades en la red existente y la red propuesta

Fuente: Los autores.

La Figura podemos notar que existe una analogía clara entre los resultados tomados en campo y de modelación de red existente, estos resultados nos brindaron la información necesaria para poder corregir aquellos puntos con carencia de cloro. En la misma Figura podemos observar que se consiguió una concentración de 0,60 mg/l en los puntos más lejanos y críticos del sistema, los cuales se acercan mucho a los 0,5 mg/l que se recomienda como concentración óptima (Guzman, Nava, & Díaz, 2008-2012); cabe mencionar que fue necesario implementar tres puntos de cloración a lo largo de toda la red y que además se alcanza el equilibrio de la presencia de cloro en la red a las 17 horas de funcionamiento.

Tabla 3-5. Comparativa de cloro residual en la red existente red propuesta y datos de campo

Fuente: Los autores.

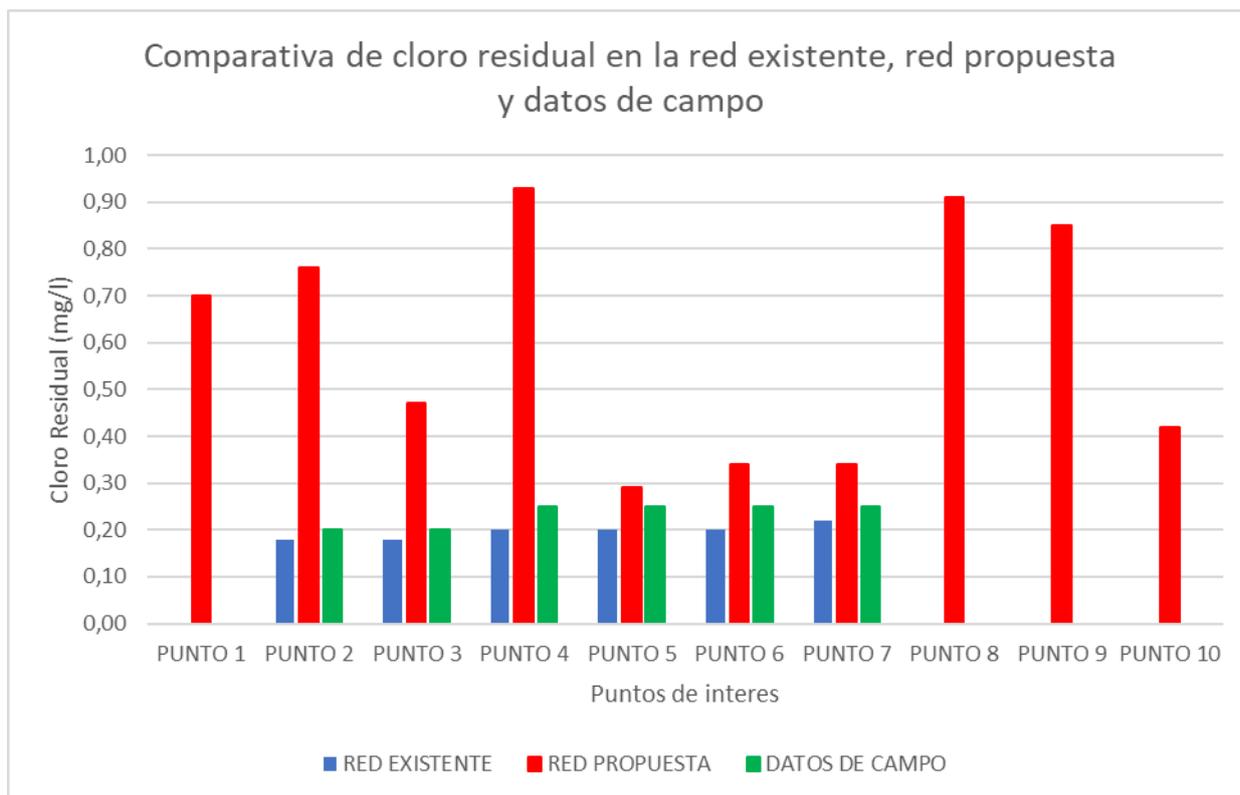


Figura 3-5 Comparativa de cloro residual en la red existente red propuesta y datos de campo

Fuente: Los autores.

La Figura 3-6 , nos muestra la diferencia de diámetros entre la red existente y la red propuesta en los puntos críticos establecidos para este análisis, y es importante mencionar que la disminución de diámetros en estos puntos obedece principalmente a la necesidad de controlar las presiones excesivas y además corregir las bajas velocidades del sistema actual (Cansiong & Mora, 2019).

Los diámetros obtenidos en el presente proyecto fueron de 110 mm en la conducción, mientras que para la distribución los diámetros fueron de 90 mm, 63 mm, 50 mm, 40 mm, 32 mm, 25 mm y 20 mm para las entregas domiciliarias.

Por medio de estos diámetros se logró balancear la red a nivel hidráulico y de calidad de agua.

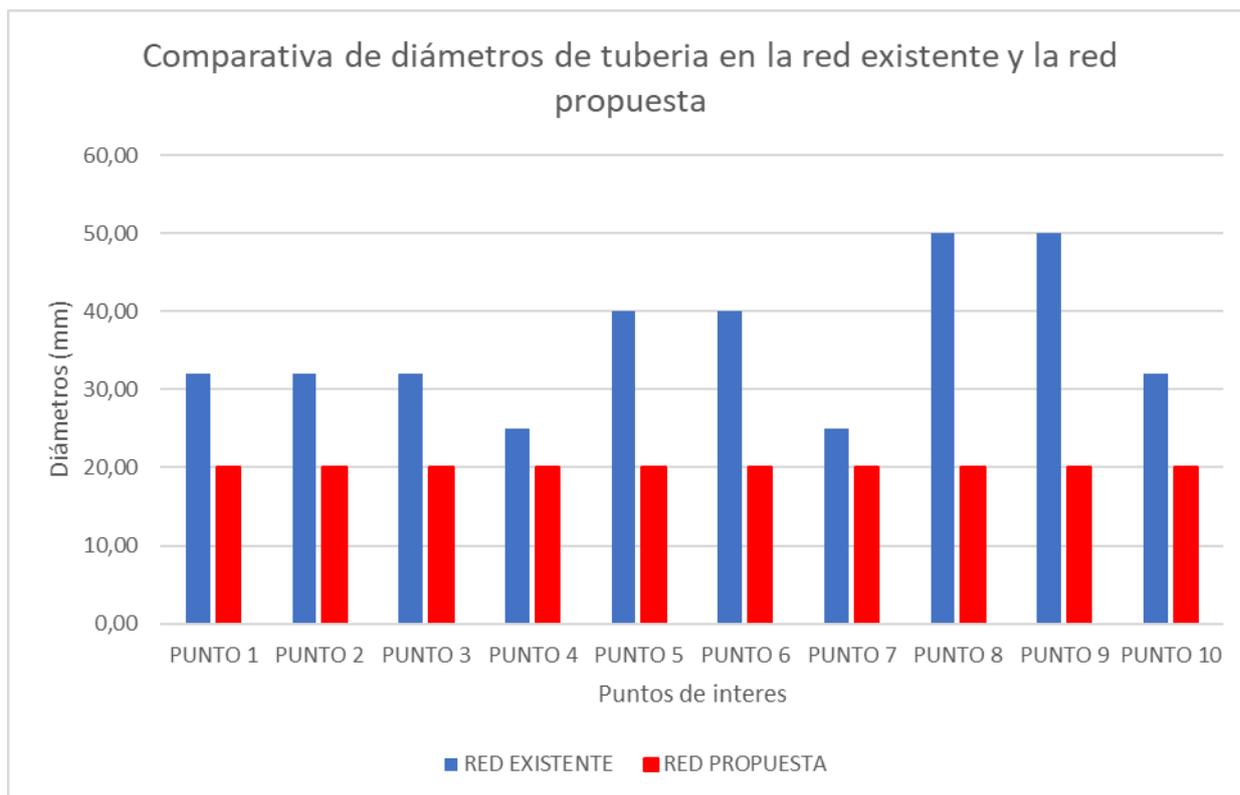


Figura 3-6 Comparativa de diámetros de tubería en la red existente y la red propuesta

Fuente: Los autores.

3.6 Evaluación económica del sistema propuesto

Para estimar el costo de ejecución de este proyecto se ha considerado el recambio total de la tubería de la red de distribución, la implementación de las válvulas reductoras de presión, casetas de cloración y trabajos complementarios como instalación de acometidas.

En la Tabla 3-10 se muestra la inversión a ejecutar para la construcción del sistema propuesto.

Tabla 3-11 Resumen del presupuesto para implementación del proyecto

Fuente: Los autores.

ITEM	RUBRO	P. TOTAL
1	VÁLVULA REGULADORA DE PRESIÓN (CANT = 15 U)	18030.65520
2	CASETA DE CLORACIÓN (1 U)	8893.88000
3	REDES DE DISTRIBUCIÓN	268095.67120

Dos cientos noventa y cinco mil veinte dólares con 021/100 centavos.

SUBTOTAL \$ 295,020.21

IVA \$ 35,402.42

TOTAL \$ 330,422.63

En el apartado de Anexos, se detallan cada uno de los rubros con sus cantidades y precios unitarios con los precios de materiales de la localidad y los costos de mano de obra al año 2023.

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES

- La red actual no cumple con los parámetros hidráulicos de presión y velocidades de la red.
- La calidad de agua a nivel de cloro residual es ineficiente y no abarca en su totalidad la red de distribución.
- Los diámetros implementados en la red no son los adecuados en diámetro y resistencia.
- El modelo propuesto cumple los valores de presiones y velocidades máximos y mínimos permisibles por la normativa.
- El modelo de calidad de agua a nivel de cloro residual propuesto es satisfactorio y abarca todos los puntos de consumo de la red.
- Las válvulas sostenedoras propuestas benefician el funcionamiento de la red y disminuyen la contaminación en la red.
- La implementación de las soluciones propuestas permitirá reducir el índice de enfermedades de origen hídrico en la comunidad.
- El rediseño de la red permitió mejorar la velocidad promedio de la red en aproximadamente 300%.
-
- El presupuesto referencial para este proyecto es de doscientos noventa y cinco mil veinte con 21/100 dólares

RECOMENDACIONES

- La colmatación de las tuberías debido a la dureza del agua debe ser tratada con medios de filtración y ablandamiento, para ello se recomienda recurrir a el ablandamiento ya sea con el uso de resinas, intercambio iónico u osmosis inversa.

- Implementar una segunda bomba tanto en la caseta de bombeo de la captación y de impulsión desde la planta hasta el reservorio de Cristo Rey y Pampa Negra, ya que es necesario por mantenimiento y en caso de averías.
- Dotar de un sistema de generación de energía a las casetas de cloración y estaciones de bombeo para su funcionamiento en caso de cortes del flujo eléctrico.
- Se recomienda construir un segundo tanque de almacenamiento para fines de mantenimiento y proyección del crecimiento de la población.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcocer Yamanaka, V. H. (2007). *Manual de agua potable y saneamiento modelación hidráulica y de calidad de agua en redes de distribución*. México: CONAGUA.
- Arellano, A., Bayas, A., Meneses, A., & Castillo, T. (2018). Los consumos y las dotaciones de agua potable en poblaciones ecuatorianas con menos de 15000 habitantes. *NOVA Sinergia*, 23-32.
- Bagheri, B., & Kaveh Ostad, A. (2019). *Using simulation model to determine the regulation and to optimize the quantity of chlorine injection in water distribution networks*. Modeling Earth Systems and Environment.
- Baños Caballero, D. (2016). *Modelado Hidráulico y simulación de la calidad del agua en una red de abastecimiento municipal: Implementación y validación del método en el municipio de Alcantarilla*. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.
- Cansiong Guerra, F. L., & Mora Gómez, J. P. (2019). *Diseño de la red de agua potable para el Santuario de Shoenstatt en la ciudad de Guayaquil, Provinvia del Guayas (Doctoral dissertation)*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.
- Castro San Lucas , J. D., & Rizzo Verdesoto, R. E. (2019). *Análisis de la Situación actual y Solución para Mejorar la red de Abastecimiento y Distribución del Agua Potable del Cantón Caluma*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Paute. (2020). *Estudio Socio Económico del Sistema de Agua Potable del GAD Municipal de San Cristobal*. Paute: Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Paute.
- Guanchi Quezada, C. M., & Ordóñez Jara, J. A. (2017). *Evaluación del cloro residual en la red de distribución de agua potable del cantón Azogues a través de un modelo experimental*. Azogues: Universidad de Cuenca.
- Guzman, B. L., Nava, G., & Díaz, P. (2008-2012). La calidad del agua para consumo humano y su asociación con la morbimortalidad en Colombia. *Biomédica*, 177-190.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). *NTE INEN 2169:2013 AGUA CALIDAD DEL AGUA MUESTRO MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS*. QUITO: INEC.

- Instituto Nacional de Estadística y Censos . (2010). *Censo Nacional de Población y Vivienda*. Quito: INEC.
- Marrero Águila, R., & Zelaya Reina, A. R. (2014). Evaluación de problemas de corrosión en tuberías de una central hidroeléctrica. *Tecnología Química*, 1-10.
- Martínez Moscoso, A. (2013). *La presentación del servicio público de agua potable en el municipalismo ecuatoriano durante la "Revolución Ciudadana"*. Quito.
- Morelos , R., & Hernández, R. (2017). Modelación hidráulica de la red de distribución de agua potable en una ciudad Mexicana EPANET. *Revista Iberoamericana* , 4-120.
- Noreña Vilca, C. J. (2015). *Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable en las localidades de Pucajanca, Caurihuasi, Cuba y Ecuador, Distrito de Molinos-Pachitea-Huánuco*. Quito.
- NORMA DE LA CONSTRUCCIÓN ECUATORIANA. (2011). *Capítulo 16 Norma Hidrosanitaria NHE Agua*. Quito: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.
- Sánchez Navarro, J. R. (2021). *Caracterización de la envolvente de presiones en una red de distribución de agua potable (RDAP) con suministro intermitente (Doctoral Dissertation, Universidad Autónoma de Chihuahua)*. Chihuahua: Universidad Autónoma de Chihuahua.
- Secretaría del Agua. (2015). *NORMA CO 10.7 - 602 NORMA DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, DISPOSICIÓN DE EXCRETAS Y RESIDUOS LÍQUIDOS EN EL ÁREA RURAL*. Quito: Secretaría del Agua.
- Walsky, T., Chase, D., & Savic, D. (2001). *Water Distribution Modeling*. USA: Waterbury.

PLANOS Y ANEXOS