

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**  
*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*  
**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA**  
**INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA: EVALUACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA  
POTABLE EN LA CIUDADELA “BANCO DE LA VIVIENDA” -  
CHARASOL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**AUTOR: FRANK JOSUÉ QUINTEROS ALTAMIRANO**

**DIRECTOR: ING. FAUSTO DAVID QUEVEDO PESANTEZ Mgs.**

**AZOGUES - ECUADOR**

**2023**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**

**Declaratoria de Autoría y Responsabilidad**

**Frank Josué Quinteros Altamirano** portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0302118450**. Declaro ser el autor de la obra: “**Evaluación de la red de distribución de agua potable en la ciudadela “Banco de la Vivienda” - Charasol**”, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Azogues, 16 de noviembre de 2023

F: 

**Frank Josué Quinteros Altamirano**

**C.I. 0302118450**

## CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Ing. Fausto David Quevedo Pesantez Mgs.

DOCENTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

De mi consideración:

Certifico que el presente trabajo de titulación denominado: "**Evaluación de la red de distribución de agua potable en la ciudadela "Banco de la Vivienda" – Charasol**", realizado por: **Frank Josué Quinteros Altamirano**, con documentos de identidad: **0302118450**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** ha sido asesorado, orientado, revisado y supervisado durante su ejecución, bajo mi tutoría en todo el proceso, por lo que certifico que el presente documento, fue desarrollado siguiendo los parámetros del método científico, se sujeta a las normas éticas de investigación que exige la Universidad Católica de Cuenca, por lo que está expedito para su presentación y sustentación ante el respectivo tribunal.

Azogues, 16 de noviembre del 2023



ING. FAUSTO DAVID QUEVEDO PESANTEZ Mgs.

0302311725

DIRECTOR

**Evaluación de la red de distribución de agua potable en la ciudadela “Banco de la Vivienda”** – Charasol Frank Josué Quinteros Altamirano – Ing. Fausto David Quevedo Pesantez, Universidad Católica de Cuenca [fjquinterosa50@est.ucacue.edu.ec](mailto:fjquinterosa50@est.ucacue.edu.ec)

## **Resumen**

La distribución de agua potable es una actividad de vital importancia para el sustento y desarrollo de las comunidades, por ello es indispensable realizar evaluaciones de dichos sistemas, ya que existen factores que pueden generar problemas en su funcionamiento. En la ciudadela “Banco de la Vivienda”, existe irregularidad en el servicio de agua potable, ya que con frecuencia el suministro llega con presiones que son extremadamente bajas o excesivamente altas, e incluso presentando cortes de agua por largos lapsos de tiempo, impidiendo que los usuarios desarrollen sus actividades con normalidad. En este proyecto, se evaluó la red de distribución, partiendo de encuestas realizadas a los habitantes de la ciudadela, obteniendo información sobre la problemática y la insatisfacción que genera. Mediante manómetros se registró los datos en las viviendas de la urbanización, plasmando su distribución en mapas de presiones realizados en Arcgis, enfocado en las horas donde las presiones superan los límites recomendados, posteriormente se realizó un modelo hidráulico de la red, usando EPANET, para obtener presiones teóricas y realizar una comparación con las presiones registradas, teniendo como referencia la normativa SENAGUA. Determinando que la red de distribución presenta incongruencias y posibles daños, ya que en ciertos nodos se presentan presiones de 0 m.c.a y otros que llegan a los 73 m.c.a, superando el umbral máximo y mínimo de presiones e incumpliendo con normativas de diseño, además se sugirió soluciones y recomendaciones que se pueden aplicar para optimizar el funcionamiento de la red y brindar un mejor servicio a la comunidad.

*Palabras clave:* Viviendas, red de distribución, presión, suministro, modelación.

**Evaluation of the Potable Water Distribution Network in the “Banco de la Vivienda” – Charasol Neighborhood** Frank Josué Quinteros Altamirano – Fausto David Quevedo Pesantez, Engr., Catholic University of Cuenca  
[fjquinterosa50@est.ucacue.edu.ec](mailto:fjquinterosa50@est.ucacue.edu.ec)

**Abstract**

The distribution of drinking water is a vital activity for the sustenance and development of communities, so it is essential to evaluate these systems since there are factors that can cause problems in their operation. In the “Banco de la Vivienda” neighborhood, there is irregular drinking water service since the supply frequently arrives with extremely low or excessively high pressures, and even with water outages for long periods of time, preventing users from carry out their activities normally. In this project, the distribution network was evaluated based on surveys conducted among the neighborhood’s inhabitants, obtaining information about the problems and the dissatisfaction it generates. Data was recorded using pressure gauges in the houses of the urbanization, capturing its distribution in pressure maps made in ArcGIS, focusing on the hours when pressures exceed the recommended limits. Subsequently, a hydraulic model of the network was created, using EPANET, to obtain theoretical pressures and compare them with the registered pressures, taking the National Water Secretariat (SENAGUA by its Spanish acronym) regulations as a reference. It was determined that the distribution network presents inconsistencies and possible damage since, in specific nodes, there are pressures of 0 mWC and others that reach 73 mWC, exceeding the maximum and minimum pressure threshold and failing to comply with design regulations. Solutions and recommendations were also suggested that can be applied to optimize the operation of the network and provide a better service to the community.

*Keywords:* Housing, distribution network, pressure, supply, modeling.

## 1. Introducción

El suministro de agua sin contaminantes desempeña un papel esencial en el desarrollo social y económico de una comunidad (Merino Murillo, 2015). Para garantizar una administración óptima de los recursos hídricos, es necesario tomar decisiones oportunas, con el objetivo de lograr eficiencia económica, igualdad social y sostenibilidad ecológica (OMS, 2018).

Elaborar un modelo de una red de suministro de agua potable permite optimizar la eficiencia de la misma, mejorando la gestión de las labores de operación y mantenimiento, además de tener control sobre anomalías que se puedan presentar dentro de la red y facilitar su oportuna detección y reparación (Campbell, 2014)(Yunarni & Wahyuni, 2020).

Una actividad que se encuentra íntegramente asociada a los sistemas de distribución de agua es el control de las pérdidas del fluido (Pilcher, 2007). En naciones que se encuentran en desarrollo, las pérdidas de agua en los sistemas de distribución pueden alcanzar cifras que superan el 50% del volumen de agua introducida a la red (SAWUADB, 2007)(Kingdom, 2006).

Un sistema de distribución de agua potable, está conformado por un conjunto de obras cuya finalidad es la de suministrar agua a las viviendas que conforman una comunidad, satisfaciendo sus necesidades hídricas. Estos sistemas están constituidos por obras de captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y redes de distribución (SENAGUA, 1992).

Hoy en día, la demanda de agua ha tenido un gran crecimiento por parte de los usuarios los cuales lo usan para sus actividades diarias como aseo, alimentación, hidratación, o en ámbitos industriales, ganaderos y agrícolas. Eso ha despertado la necesidad de buscar fuentes de suministro y construir sistemas de distribución de agua, que permitan dotar a los usuarios un suministro continuo evitando el desperdicio del recurso (Guamán & Taris, 2017). Debido a razones como el crecimiento poblacional, la ampliación urbana o el inevitable envejecimiento estructural, los sistemas de abastecimiento sufren fallas, que conllevan a la presencia de imperfecciones, que a su vez limitan e impiden el correcto funcionamiento de los sistemas (Zúñiga Rodríguez, 2019).

En la ciudad de Azogues, en los últimos años, se ha observado un creciente interés en la generación de información que permita perfeccionar los sistemas de distribución de agua (Guanuchi C & Ordoñez, 2017).

Para lograr una mejora efectiva en los procesos de distribución de agua, es necesario modelar dichos procesos, lo que permite comprenderlos con mayor claridad (Rojas, 2015). Para ello, es indispensable usar geo información que permita optimizar la gestión de la red (Quevedo, 2015) y de esta manera proporcionar soluciones a escenarios presentes y futuros, incluyendo la comprensión del funcionamiento, la demanda y detección de irregularidades (Idrovo, 2018).

La red de distribución de agua potable que abastece a la ciudadela “Banco de la Vivienda”, presenta inconvenientes en su servicio, ya que con frecuencia el agua llega a las viviendas con presiones que no cumplen los criterios recomendados por normativas. Según (Zúñiga Rodríguez, 2019), la variación de presiones es uno de los principales problemas que se hacen presentes en los sistemas de distribución que presentan fallas. Cuando se presentan presiones que superan el límite establecido, se generan fugas en las conexiones en el interior de las viviendas, así como también en la red de distribución, lo que se refleja en pérdidas económicas. Por otro lado, cuando se presentan presiones que no cumplen con las mínimas establecidas, el problema que se genera es el desabastecimiento de agua, al no obtener un suministro que abastezca de manera eficaz y eficiente las necesidades humanas.

Según (Cabrera-Béjar & Tzatchkov, 2012) cuando las tuberías de la red de distribución abastecen el suministro por menos de 24 horas, ocurre un suministro intermitente, el cual se refleja en múltiples problemas como los mencionados anteriormente. Las redes de suministro de agua potable que ofrecen un servicio con intermitencias operan únicamente cuando se provee de agua, es por eso, que la cantidad de agua que un usuario puede obtener está directamente relacionada con la presión de agua disponible en su conexión residencial.

Es importante considerar las normativas y regulaciones que rigen la calidad del servicio de agua potable y el funcionamiento de los sistemas de distribución. Esto incluye la identificación de las autoridades reguladoras y las leyes que aplican. Para la óptima distribución de agua potable, en relación con las presiones, existe normativas con distintos criterios, que se sugieren a la hora de un diseño. Según (EMAAP-Q, 2008), la presión dinámica mínima para los extremos de la red matriz debe ser de 15 m.c.a., para sectores rurales 10 m.c.a. es aceptable y la presión estática máxima aceptada para el diseño tanto de redes matrices como menores es de 60 m.c.a. Por otro lado, la norma utilizada, establece

que la presión mínima debe ser de 10 m.c.a., la presión estática máxima no debe superar los 70 m.c.a. y la presión dinámica máxima permitida es de 50 m.c.a. (SENAGUA, 1992).

El cumplimiento de un nivel de presión apropiado se evalúa mediante el análisis de la distribución de presiones en el área de interés. Para ello se debe analizar el sector en tres situaciones de servicio que dependen del caudal (bajo, promedio y alto). En cada uno de estos escenarios, se determinará los puntos de consumo en los que la presión cae por debajo del umbral mínimo requerido o excede el umbral máximo permitido, de acuerdo con las pautas de diseño (Gómez Martínez, 2017).

Quando se realiza un estudio donde se tratan las redes de distribución de agua potable es importante usar modelos que permitan simular la red ya que mediante este se puede determinar el comportamiento hidráulico, así mismo permite detectar inconvenientes que puedan afectar la red, como fugas, mal funcionamiento de válvulas, tuberías rotas entre otros (Édison Hernán, 2015).

En este proyecto, se busca evaluar la red de distribución de agua potable que abastece a la urbanización, permitiendo identificar las consecuencias de las presiones que incumplen con su diseño y tomar medidas para optimizar el suministro de agua, para ello se puso enfoque en el registro de presiones, a partir del cual se verificó el cumplimiento de presiones mínimas y máximas en los nodos principales que distribuyen agua a las viviendas, a través del uso de EPANET, con el cual se realizó las simulaciones hidráulicas. Además se pudo observar el comportamiento de las redes secundarias a través de un mapa donde se conoció las zonas donde se dan las presiones más altas y más bajas.

## 2. Metodología

El enfoque de la metodología empleada en este estudio combina tanto aspectos cualitativos como cuantitativos, ya que los resultados fueron evaluados estadísticamente y mediante análisis detallado, con el propósito de evaluar y analizar si la red de distribución de agua potable ejecuta las presiones teóricas tomando en cuenta la normativa usada en el medio local, así como también conocer el comportamiento de las presiones en la urbanización, sus consecuencias y sus posibles soluciones.

### 2.1 Zona de estudio

La ciudadela “Banco de la Vivienda”, es una urbanización asentada dentro de la parroquia urbana de Borrero (Charasol), ubicada en la provincia de

Cañar. Borrero cuenta con una extensión territorial de 420,53 Ha y tienen una población aproximada de 6.717 habitantes según el censo realizado en 2008 (Gad municipal de Azogues, 2018). En la urbanización existen unas 160 viviendas y cuenta con alrededor de 640 habitantes. En la **Figura 1** se puede apreciar la ubicación de la ciudadela, además el recorrido de la red de distribución, cuyo tanque de abastecimiento se ubica en Zhapacal y tienen una capacidad de 500 m<sup>3</sup>.

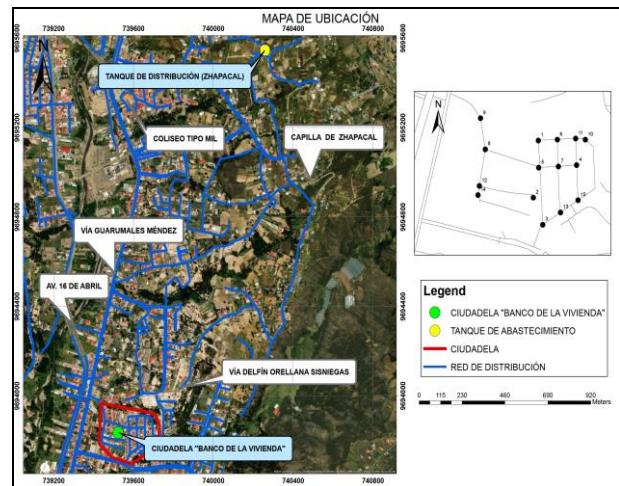


Figura 1. Mapa de ubicación de la urbanización.

### 2.1.1 Información de la red de distribución y del problema a través de encuestas

En la primera fase del proyecto se recopiló información relacionada con la problemática que presenta la red de distribución de agua a través de encuestas. Mediante la ecuación (1) recomendada por (Bencardino, 2012), se obtuvo el tamaño de muestra para una población finita, obteniendo el número de viviendas para realizar una encuesta a sus habitantes y así conocer, cuáles son los inconvenientes relacionados con la interrupción del servicio.

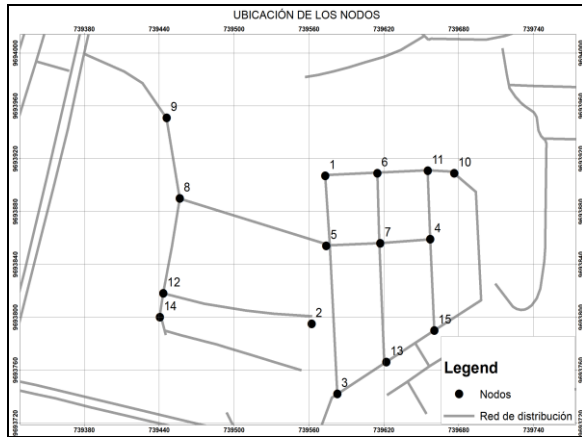
$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q} \quad (1)$$

Donde: n= tamaño de muestra buscado, N= tamaño de la población o universo, Z= parámetro estadístico que depende del nivel de confianza (NC), e= error de estimación máximo aceptado, p= probabilidad de que ocurra el evento estudiado (éxito), q= (1-p) = probabilidad de que no ocurra el evento estudiado.

### 2.2 Registro de datos

En la segunda fase se seleccionó una vivienda por ramal, la cual representa a cada nodo de distribución del sistema, dando un total de 15 puntos de muestreo

como se observa en la **Figura 2**, de esta manera se obtuvo datos de cada una de los ramales de la urbanización, con el fin de obtener datos significativos que reflejen la variación real de presiones en las viviendas, el registro de datos se realizó en un periodo de 2 días, durante 24 horas seguidas.



*Figura 2. Ubicación de los nodos*

### 2.2.1 Equipos

Para la obtención de datos se usó manómetros de gran precisión que soporte los cambios bruscos de presiones, así como también cámaras que se vinculan a wifi y a un dispositivo móvil, los cuales se pueden observar en las **Figuras 3 y 4** respectivamente, con el fin de registrar los cambios de presiones que se darán a lo largo de las 48 horas. Adicionalmente se requirió extensiones de cableado para la alimentación eléctrica de las cámaras, así como tramos de manguera de alto soporte que se conectó a los manómetros evitando cualquier inconveniente con los grifos.



*Figura 3. Manómetro.*



*Figura 4. Cámara.*

### 2.3 Modelización de la red de distribución en EPANET

A través del software EPANET se realizó el modelamiento hidráulico de la red de distribución de agua potable, en el cual se introdujo cada uno de los parámetros necesarios, los mismos que se obtuvieron de información proporcionada por EMAPAL EP, como los diámetros de las tuberías colocadas, sus longitudes, las cotas, la rugosidad, entre otros, a través de los cuales se pudo observar el comportamiento hidráulico del sistema.

Para el cálculo de la demanda base, se utilizó la ecuación (2) recomendada por (Arocha R, 1997). Los datos utilizados corresponden a un consumo de 200 Lt/hab/día según la tabla 16.2 de la normativa (NEC-11, 2011).

$$Q = \frac{\text{Consumo(Lt/hab/día)} * \text{Población}}{86400} \quad (2)$$

Posterior a la simulación hidráulica y con los datos de presiones obtenidos, se realizó una comparación entre estas y las presiones registradas en campo, con el fin de conocer si las presiones cumplen con su diseño teórico.

Finalmente se elaboró un mapa de presiones mediante el uso del software ArcGIS, el cual brinda las herramientas necesarias para generar un mapa, donde según (Molina Andrade, 2022) se puede identificar el comportamiento de las presiones en la red de distribución de la urbanización.

### 2.4 Gráfica del umbral de presiones

Se realizó una gráfica donde se observa los intervalos de horas en los cuales el agua se presenta con presiones que sobrepasan los límites establecidos o sugeridos por las normativas de diseño, de esta manera se puede ayudar a los responsables del servicio en la toma de decisiones relacionadas con la planificación, administración y supervisión de la red de suministro.

## 2.5 Sugerir solución

Una vez realizado el análisis de presiones en la red, se recomendó posibles soluciones que permitan mitigar la problemática, las cuales brinden un resultado positivo para el óptimo funcionamiento de la red de distribución, evitando la presencia de presiones que afecten la comodidad de los usuarios.

## 3. Resultados y análisis

### 3.1 Encuesta realizada

Mediante la **Ecuación 1**, utilizando un nivel de confianza del 80%, se obtuvo un tamaño de muestra de 35 viviendas donde se realizaron encuestas a los habitantes de la urbanización, mediante preguntas relacionadas con la problemática, se obtuvo datos interesantes sobre la calidad del servicio de agua potable y el incumplimiento de las presiones de diseño, así como también se pudo conocer los principales inconvenientes que genera esta problemática dentro de la urbanización.

En la **Figura 5**, se observa el porcentaje de satisfacción de los habitantes de la urbanización en relación a la calidad del servicio, pudiendo notar que solo el 7% se encuentra satisfecho con el servicio mientras que 23% mantienen una postura neutral, sin embargo el 60% y el 10% de ellos viven de manera insatisfecha y muy insatisfecha respectivamente, puesto que este problema impide realizar sus actividades con normalidad.

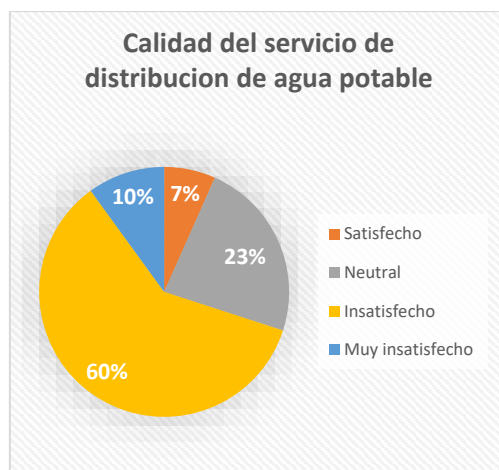


Figura 5. Porcentaje de satisfacción sobre la calidad del servicio

Esta división de opiniones en el grado de satisfacción puede deberse a las circunstancias en las que se encuentran sus viviendas, pues no todas poseen el mismo problema, ya que según la **Figura**

**6**, el 13% de los usuarios creen que el agua ingresa a sus viviendas con presiones relativamente buenas e incluso el 40% creen que es aceptable para sus usos cotidianos, sin embargo el 47% afirman que la presión llega con deficiencia a sus hogares, incumpliendo con la normativa.

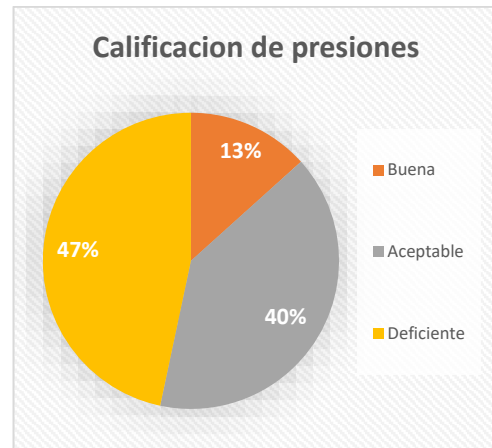


Figura 6. Calificación de presiones.

En la **Figura 7** se puede observar en que intervalos del día generalmente el agua suele presentarse con presiones bajas, siendo de 10:00 a 12:00 el intervalo en el que más se siente la falta de agua en los domicilios. En esta gráfica se presenta claramente las horas en las cuales se tiene la percepción de la interrupción del servicio como son a las 07:00, 12:00, y 21:00.



Figura 7. Presiones bajas en intervalos del día.

Mediante la encuesta realizada también se pudo conocer cuáles son los principales inconvenientes que aquejan a los usuarios y que actividades del día a día se ven afectadas por esta problemática, entre ellos están; el aseo personal y sanitario, lavado de ropa, llenado de tanques de reserva para situación de respaldo, alimentación, quehaceres domésticos, entre

otros.

### 3.2 Registro de datos

El registro de datos se realizó durante 2 días en 15 viviendas de la urbanización. En la **Tabla 1**, se puede apreciar los datos promediados de los dos días de recopilación de información, con el fin de tener mayor exactitud con las presiones que pueden presentarse en cada uno de los nodos que distribuyen el agua a las viviendas de la urbanización.

Según la normativa (SENAGUA, 1992), la presión mínima de diseño debe ser de 10 m.c.a, y la presión máxima de 50 m.c.a. En los datos registrados, existen presiones que no llegan a cumplir con los valores mencionados, ya que en ciertos nodos se ha

registrado presiones menores a la mínima establecida, siendo de 0 m.c.a, lo que indica que en esos lapsos de tiempo hubo un corte de agua total, estos datos sirven como registros reales de la problemática existente, así como también para la estadística de presiones que se presentan en la red. Mientras que en otros nodos la presión supera la máxima con valores que llegan a los 73 m.c.a, y se pueden observar detalladamente en la **Tabla 1**, donde se representa con el color azul las presiones más bajas registradas y con el color naranja las presiones más altas.

Tabla 1. Presiones registrada

	Nodo 1	Nodo 2	Nodo 3	Nodo 4	Nodo 5	Nodo 6	Nodo 7	Nodo 8	Nodo 9	Nodo 10	Nodo 11	Nodo 12	Nodo 13	Nodo 14	Nodo 15
<b>Hora</b>	<b>Presión (m.c.a)</b>														
0:00	0,00	6,69	0,00	25,70	31,68	51,04	50,34	63,36	62,30	45,76	28,16	70,40	38,37	38,54	32,03
1:00	0,00	5,28	0,00	30,62	33,09	52,80	51,74	64,77	63,01	46,11	27,10	73,22	38,72	39,25	34,67
2:00	0,00	5,28	0,00	28,16	33,44	53,50	52,45	65,47	64,06	47,52	28,16	73,92	42,24	39,60	35,20
3:00	0,00	5,28	0,00	33,44	33,44	54,21	53,15	65,47	65,12	47,52	28,16	73,92	42,24	39,60	37,84
4:00	0,00	5,28	0,00	28,16	28,16	54,91	53,86	59,84	61,60	47,17	26,40	73,92	44,00	39,60	36,08
5:00	0,00	3,52	0,00	21,12	26,40	53,15	51,04	56,32	59,14	47,17	23,23	73,22	42,24	38,37	31,68
6:00	43,65	41,18	41,54	22,88	45,76	51,74	49,28	50,69	54,21	37,66	21,12	66,18	42,24	53,68	32,56
7:00	44,35	41,54	39,42	21,82	42,24	40,13	46,46	49,28	42,94	26,40	15,84	60,54	40,48	51,04	31,15
8:00	41,18	39,42	38,02	25,34	47,52	26,75	31,68	45,76	39,78	24,99	14,08	54,21	42,24	46,82	33,79
9:00	35,20	35,20	33,79	24,64	38,37	23,58	22,88	40,13	38,72	16,19	15,84	47,87	33,44	41,54	29,04
10:00	37,66	34,85	32,74	23,58	40,48	16,19	16,19	42,24	36,96	17,60	17,60	47,52	32,38	41,18	27,98
11:00	36,26	34,85	34,50	25,70	40,48	22,53	22,18	39,42	41,54	20,77	19,36	44,70	35,20	39,78	30,45
12:00	40,13	36,96	36,26	22,88	44,00	24,29	27,10	45,76	35,55	20,77	21,82	49,63	44,70	43,30	33,79
13:00	40,48	38,72	38,72	24,29	40,13	29,57	28,86	47,17	43,65	22,88	25,70	26,40	42,24	32,56	33,26
14:00	40,48	40,13	38,72	26,05	41,18	27,46	32,38	44,35	44,35	20,06	28,16	52,80	38,72	46,46	32,38
15:00	39,42	38,72	38,72	27,46	40,83	32,03	33,79	45,76	42,94	22,88	10,56	53,50	35,20	46,11	31,33
16:00	41,89	40,48	41,89	30,62	45,76	35,90	34,14	49,28	41,54	27,10	14,08	56,32	35,20	48,40	32,91
17:00	46,46	45,41	44,35	17,60	34,85	39,78	35,20	51,39	46,46	30,62	15,14	54,56	34,85	49,98	26,22
18:00	44,00	45,06	41,18	12,32	30,27	35,20	36,26	52,80	49,63	27,10	15,49	53,86	34,50	49,46	23,41
19:00	44,35	44,00	41,18	17,60	23,58	35,55	35,90	49,28	47,17	27,46	22,18	52,80	35,20	48,40	26,40
20:00	46,11	43,65	43,30	15,84	32,03	39,42	40,48	50,69	50,69	29,57	20,77	57,73	36,61	50,69	26,22
21:00	48,58	43,65	45,76	19,36	36,61	40,83	45,41	52,80	50,69	29,92	21,12	56,32	36,96	49,98	28,16
22:00	41,18	41,89	35,20	30,98	28,16	42,94	45,76	56,32	54,21	36,26	24,64	63,36	33,44	52,62	32,21
23:00	37,31	26,40	17,60	26,40	29,92	47,52	48,22	59,84	58,78	42,24	26,40	70,40	36,96	48,40	31,68

### 3.3 Modelización de la red de distribución en EPANET

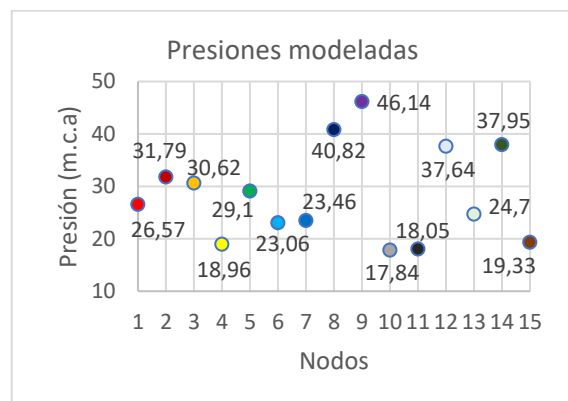
Mediante el uso del software EPANET, se obtuvo el modelamiento de la red de distribución como se puede ver en la **Figura 9**, a través de la cual se determinó las presiones del modelo en cada uno de los nodos de interés. La demanda base que se colocó en cada nodo del modelo, fue de 1,48 Lt/seg, valor obtenido mediante la **Ecuación 2**, cabe mencionar que se colocó el mismo valor en todos los nodos debido a un tema práctico, ya que en posteriores investigaciones se realizará la calibración del modelo hidráulico tomando datos de cada uno de las viviendas del sector.

En la **Tabla 2** se observan las presiones obtenidas en el modelo, los cuales obedecen los parámetros de diseño sugeridos por la normativa SENAGUA, cabe mencionar que el modelo está realizado para un suministro continuo de agua por lo que la presión obtenida en cada uno de los nodos se debe considerar para las 24 horas del día.

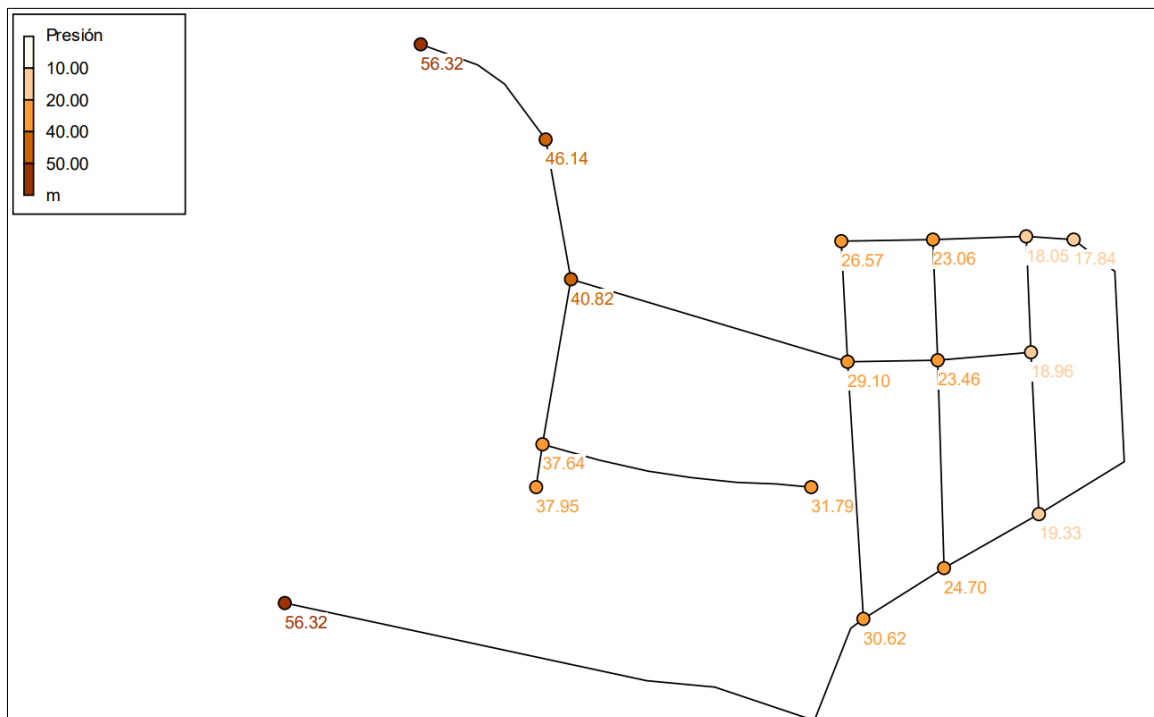
En la **Figura 8** se puede observar una gráfica en la cual se presentan las presiones obtenidas en el modelo en cada uno de los nodos existentes, acotados con su respectivo valor de presión, teniendo como resultados presiones relativamente bajas.

**Tabla 2.** Presiones obtenidas por la modelación.

Nodos	Presión (m.c.a)
Nodo 1	26,57
Nodo 2	31,79
Nodo 3	30,62
Nodo 4	18,96
Nodo 5	29,1
Nodo 6	23,06
Nodo 7	23,46
Nodo 8	40,82
Nodo 9	46,14
Nodo 10	17,84
Nodo 11	18,05
Nodo 12	37,64
Nodo 13	24,7
Nodo 14	37,95
Nodo 15	19,33



**Figura 8.** Presiones de la modelación.



**Figura 9.** Modelo de la red de distribución de agua.

### 3.3.1 Comparación entre presiones registradas y presiones de la modelación

Una vez analizadas las presiones registradas en campo, las cuales se observan en la **Tabla 1** y las presiones obtenidas por el modelo, **Tabla 2**, se pudo conocer que las presiones con las que el agua llega a los nodos no se asemejan entre sí, ya que en el transcurso del día, la mayoría de las presiones registradas varían mucho de su valor teórico, presentándose presiones que por ciertos intervalos del día están por debajo de los 10 m.c.a, y otras que superan los 50 m.c.a. En las **Tablas 3, 4, 5 y 6**, se presenta una comparación de las presiones registradas y obtenidas por el modelo en cada uno de los nodos en las 24 horas del día, en las cuales se ha marcado con el color verde las presiones que se asemejan a las del modelo, dando a conocer que en su mayoría las presiones son muy distintas.

**Tabla 3. Comparación de presiones (nodo 1 al 4)**

	Nodo 1		Nodo 2		Nodo 3		Nodo 4	
	Presión (m.c.a)							
H.	Reg.	Mod.	Reg.	Mod.	Reg.	Mod.	Reg.	Mod.
0	0,00	26,57	6,69	31,79	0,00	30,62	25,70	18,96
1	0,00	26,57	5,28	31,79	0,00	30,62	30,62	18,96
2	0,00	26,57	5,28	31,79	0,00	30,62	28,16	18,96
3	0,00	26,57	5,28	31,79	0,00	30,62	33,44	18,96
4	0,00	26,57	5,28	31,79	0,00	30,62	28,16	18,96
5	0,00	26,57	3,52	31,79	0,00	30,62	21,12	18,96
6	43,65	26,57	41,18	31,79	41,54	30,62	22,88	18,96
7	44,35	26,57	41,54	31,79	39,42	30,62	21,82	18,96
8	41,18	26,57	39,42	31,79	38,02	30,62	25,34	18,96
9	35,20	26,57	35,20	31,79	33,79	30,62	24,64	18,96
10	37,66	26,57	34,85	31,79	32,74	30,62	23,58	18,96
11	36,26	26,57	34,85	31,79	34,50	30,62	25,70	18,96
12	40,13	26,57	36,96	31,79	36,26	30,62	22,88	18,96
13	40,48	26,57	38,72	31,79	38,72	30,62	24,29	18,96
14	40,48	26,57	40,13	31,79	38,72	30,62	26,05	18,96
15	39,42	26,57	38,72	31,79	38,72	30,62	27,46	18,96
16	41,89	26,57	40,48	31,79	41,89	30,62	30,62	18,96
17	46,46	26,57	45,41	31,79	44,35	30,62	17,60	18,96
18	44,00	26,57	45,06	31,79	41,18	30,62	12,32	18,96
19	44,35	26,57	44,00	31,79	41,18	30,62	17,60	18,96
20	46,11	26,57	43,65	31,79	43,30	30,62	15,84	18,96
21	48,58	26,57	43,65	31,79	45,76	30,62	19,36	18,96
22	41,18	26,57	41,89	31,79	35,20	30,62	30,98	18,96
23	37,31	26,57	26,40	31,79	17,60	30,62	26,40	18,96

**Tabla 4. Comparación de presiones (nodo 5 al 8)**

	Nodo 5		Nodo 6		Nodo 7		Nodo 8	
	Presión (m.c.a)							
H.	Reg.	Mod.	Reg.	Mod.	Reg.	Mod.	Reg.	Mod.
0	31,68	29,10	51,04	23,06	50,34	23,46	63,36	40,82
1	33,09	29,10	52,80	23,06	51,74	23,46	64,77	40,82
2	33,44	29,10	53,50	23,06	52,45	23,46	65,47	40,82
3	33,44	29,10	54,21	23,06	53,15	23,46	65,47	40,82
4	28,16	29,10	54,91	23,06	53,86	23,46	59,84	40,82
5	26,40	29,10	53,15	23,06	51,04	23,46	56,32	40,82
6	45,76	29,10	51,74	23,06	49,28	23,46	50,69	40,82
7	42,24	29,10	40,13	23,06	46,46	23,46	49,28	40,82
8	47,52	29,10	26,75	23,06	31,68	23,46	45,76	40,82
9	38,37	29,10	23,58	23,06	22,88	23,46	40,13	40,82
10	40,48	29,10	16,19	23,06	16,19	23,46	42,24	40,82
11	40,48	29,10	22,53	23,06	22,18	23,46	39,42	40,82
12	44,00	29,10	24,29	23,06	27,10	23,46	45,76	40,82
13	40,13	29,10	29,57	23,06	28,86	23,46	47,17	40,82
14	41,18	29,10	27,46	23,06	32,38	23,46	44,35	40,82
15	40,83	29,10	32,03	23,06	33,79	23,46	45,76	40,82
16	45,76	29,10	35,90	23,06	34,14	23,46	49,28	40,82
17	34,85	29,10	39,78	23,06	35,20	23,46	51,39	40,82
18	30,27	29,10	35,20	23,06	36,26	23,46	52,80	40,82
19	23,58	29,10	35,55	23,06	35,90	23,46	49,28	40,82
20	32,03	29,10	39,42	23,06	40,48	23,46	50,69	40,82
21	36,61	29,10	40,83	23,06	45,41	23,46	52,80	40,82
22	28,16	29,10	42,94	23,06	45,76	23,46	56,32	40,82
23	29,92	29,10	47,52	23,06	48,22	23,46	59,84	40,82

**Tabla 5. Comparación de presiones (nodo 9 al 12)**

	Nodo 9		Nodo 10		Nodo 11		Nodo 12	
	Presión (m.c.a)							
H.	Reg.	Mod.	Reg.	Mod.	Reg.	Mod.	Reg.	Mod.
0	62,30	46,14	45,76	17,84	28,16	18,05	70,40	37,64
1	63,01	46,14	46,11	17,84	27,10	18,05	73,22	37,64
2	64,06	46,14	47,52	17,84	28,16	18,05	73,92	37,64
3	65,12	46,14	47,52	17,84	28,16	18,05	73,92	37,64
4	61,60	46,14	47,17	17,84	26,40	18,05	73,92	37,64
5	59,14	46,14	47,17	17,84	23,23	18,05	73,22	37,64
6	54,21	46,14	37,66	17,84	21,12	18,05	66,18	37,64
7	42,94	46,14	26,40	17,84	15,84	18,05	60,54	37,64
8	39,78	46,14	24,99	17,84	14,08	18,05	54,21	37,64
9	38,72	46,14	16,19	17,84	15,84	18,05	47,87	37,64
10	36,96	46,14	17,60	17,84	17,60	18,05	47,52	37,64
11	41,54	46,14	20,77	17,84	19,36	18,05	44,70	37,64
12	35,55	46,14	20,77	17,84	21,82	18,05	49,63	37,64
13	43,65	46,14	22,88	17,84	25,70	18,05	26,40	37,64
14	44,35	46,14	20,06	17,84	28,16	18,05	52,80	37,64
15	42,94	46,14	22,88	17,84	10,56	18,05	53,50	37,64
16	41,54	46,14	27,10	17,84	14,08	18,05	56,32	37,64
17	46,46	46,14	30,62	17,84	15,14	18,05	54,56	37,64
18	49,63	46,14	27,10	17,84	15,49	18,05	53,86	37,64
19	47,17	46,14	27,46	17,84	22,18	18,05	52,80	37,64
20	50,69	46,14	29,57	17,84	20,77	18,05	57,73	37,64
21	50,69	46,14	29,92	17,84	21,12	18,05	56,32	37,64
22	54,21	46,14	36,26	17,84	24,64	18,05	63,36	37,64
23	58,78	46,14	42,24	17,84	26,40	18,05	70,40	37,64

Tabla 6. Comparación de presiones (nodo 13 al 15)

H.	Nodo 13		Nodo 14		Nodo 15	
	Presión (m.c.a)					
	Reg.	Mod.	Reg.	Mod.	Reg.	Mod.
0	38,37	24,70	38,54	37,95	32,03	19,33
1	38,72	24,70	39,25	37,95	34,67	19,33
2	42,24	24,70	39,60	37,95	35,20	19,33
3	42,24	24,70	39,60	37,95	37,84	19,33
4	44,00	24,70	39,60	37,95	36,08	19,33
5	42,24	24,70	38,37	37,95	31,68	19,33
6	42,24	24,70	53,68	37,95	32,56	19,33
7	40,48	24,70	51,04	37,95	31,15	19,33
8	42,24	24,70	46,82	37,95	33,79	19,33
9	33,44	24,70	41,54	37,95	29,04	19,33
10	32,38	24,70	41,18	37,95	27,98	19,33
11	35,20	24,70	39,78	37,95	30,45	19,33
12	44,70	24,70	43,30	37,95	33,79	19,33
13	42,24	24,70	32,56	37,95	33,26	19,33
14	38,72	24,70	46,46	37,95	32,38	19,33
15	35,20	24,70	46,11	37,95	31,33	19,33
16	35,20	24,70	48,40	37,95	32,91	19,33
17	34,85	24,70	49,98	37,95	26,22	19,33
18	34,50	24,70	49,46	37,95	23,41	19,33
19	35,20	24,70	48,40	37,95	26,40	19,33
20	36,61	24,70	50,69	37,95	26,22	19,33
21	36,96	24,70	49,98	37,95	28,16	19,33
22	33,44	24,70	52,62	37,95	32,21	19,33
23	36,96	24,70	48,40	37,95	31,68	19,33

### 3.3.2 Mapa de presiones

Mediante el uso del software ArcGis, se realizó 8 mapas a través de los cuales se puede observar la dispersión de las presiones en la red de distribución, para ello se analizó las horas donde mayormente se presentan presiones que no cumplen con las mínimas requeridas, así como las que sobrepasan las máximas en todos los nodos analizados, los mismos que se pueden observar desde la **Figura 10 a la 17**.

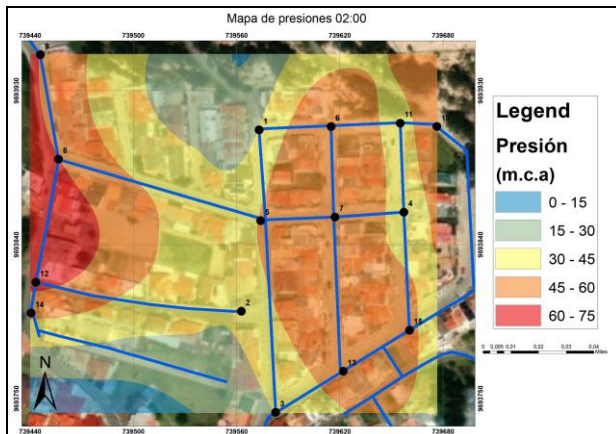


Figura 10. Mapa de presiones a las 02:00.

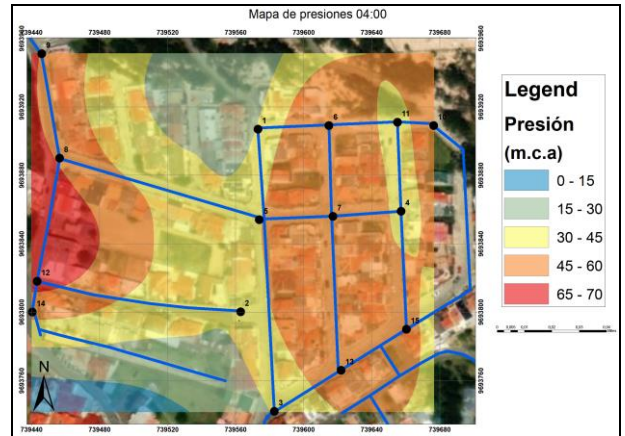


Figura 11. Mapa de presiones a las 04:00.

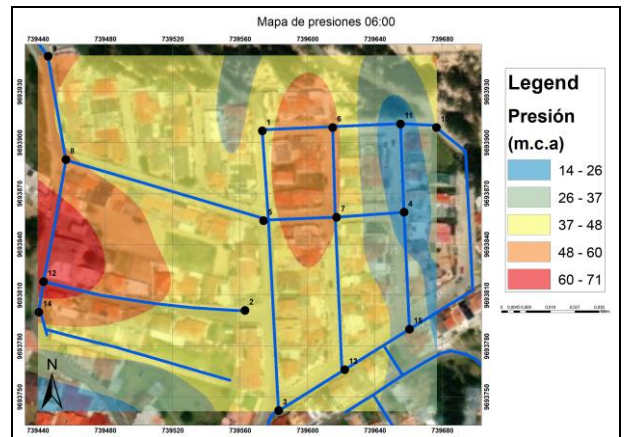


Figura 12. Mapa de presiones a las 06:00.

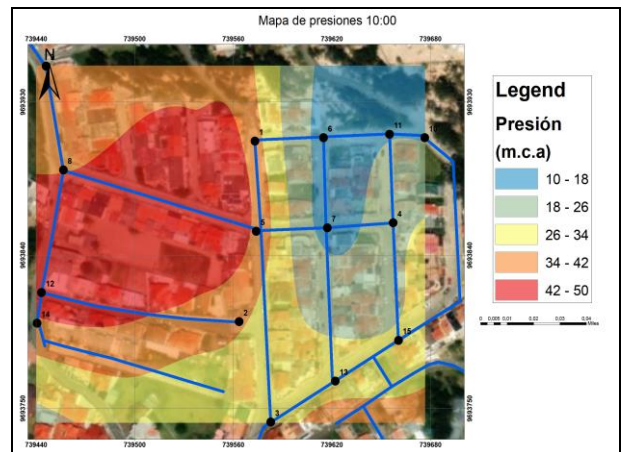


Figura 13. Mapa de presiones a las 10:00.

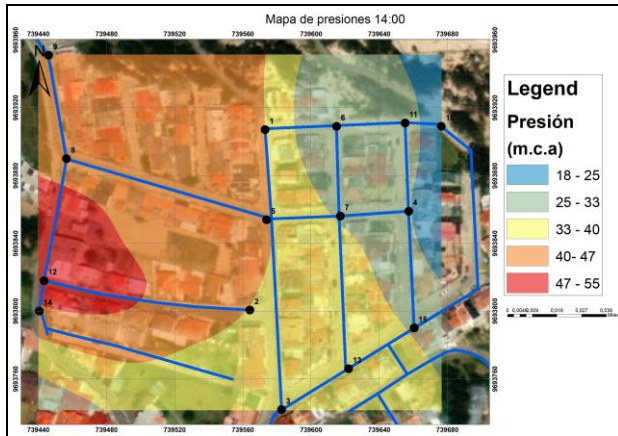


Figura 14. Mapa de presiones a las 14:00.

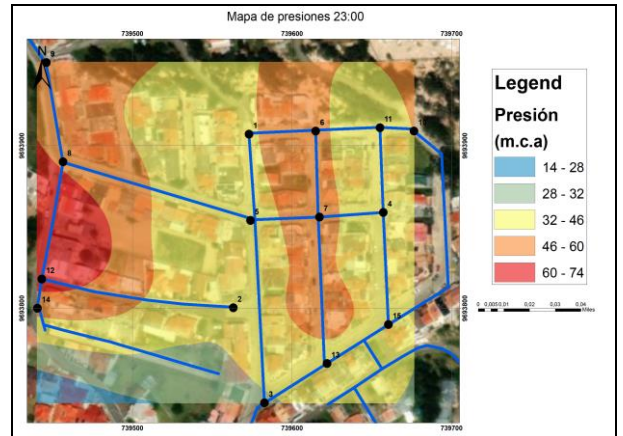


Figura 17. Mapa de presiones a las 23:00.

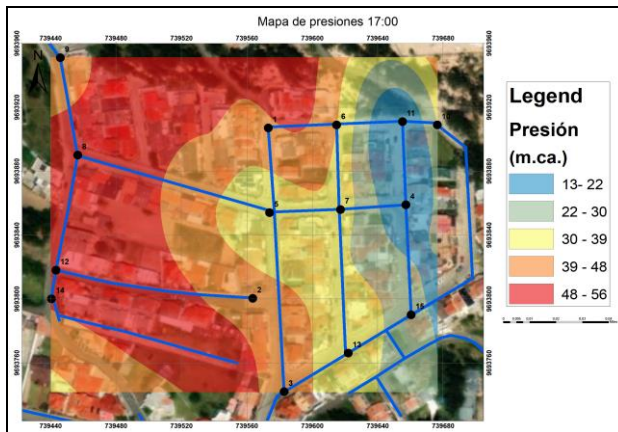


Figura 15. Mapa de presiones a las 17:00.

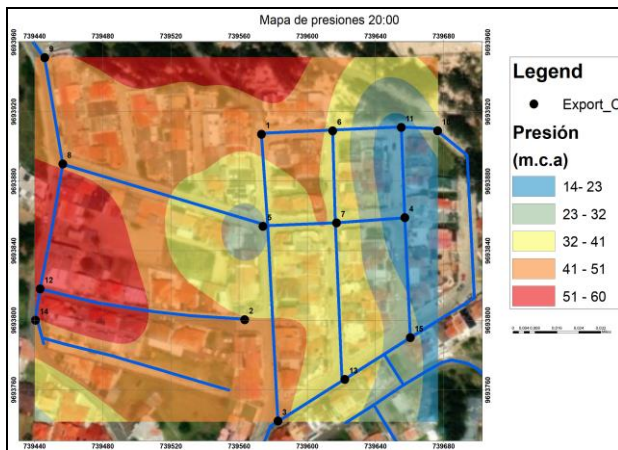


Figura 16. Mapa de presiones a las 20:00.

### 3.4 Gráfica del umbral de presiones

El umbral de presiones permite observar la distribución de los datos registrados en campo. En la **Figura 18** se puede observar el umbral máximo de presiones, el cual está trazado por una línea roja y es de 50 m.c.a, los puntos que se encuentran sobre esa línea superan el umbral y se dan en los nodos 6, 7, 8, 9, 12 y 14 en los siguientes intervalos de tiempo, de 00:00 a 08:00 y de 14:00 a 23:00. Por otro lado, los puntos que están por debajo de la línea roja que se observa en la **Figura 19** superan el umbral mínimo de presiones, es decir no llegan ni a los 10 m.c.a y se dan en los nodos 1, 2 y 3, y su intervalo de tiempo es de 00:00 hasta las 05:00.

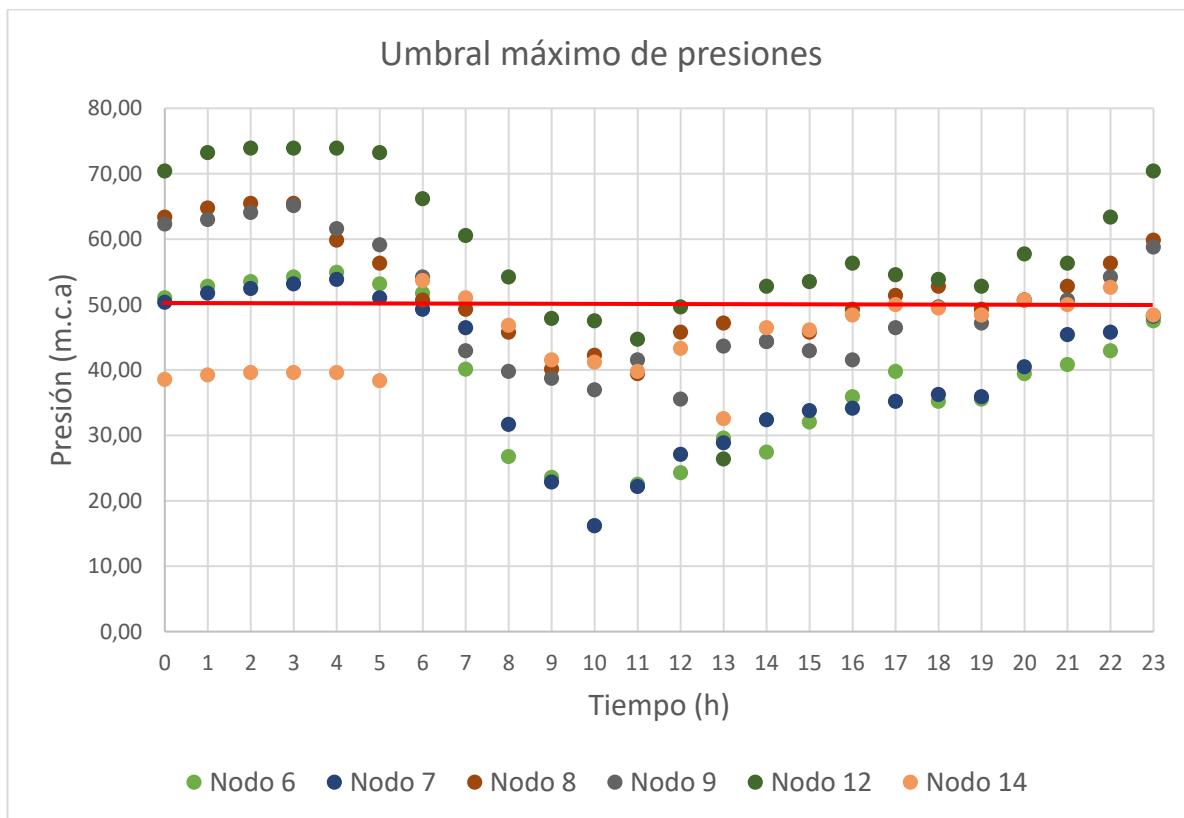


Figura 18. Umbral máximo de presiones.

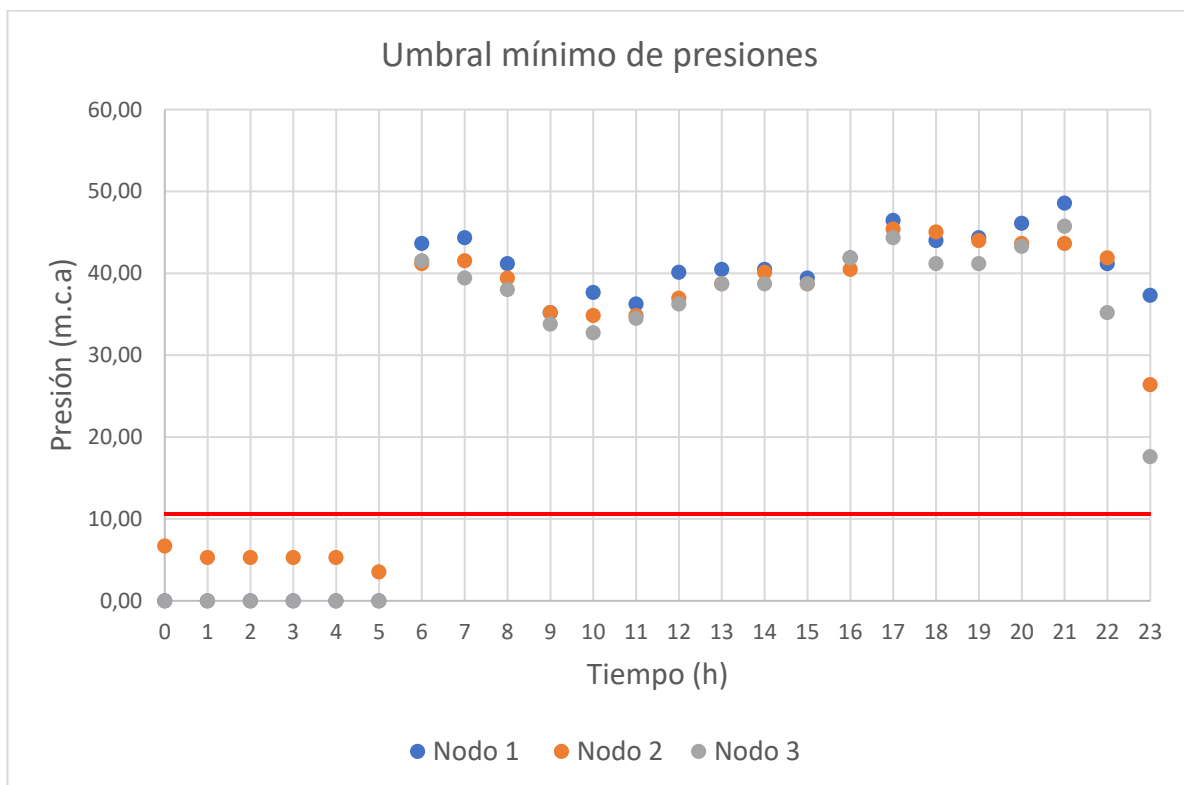


Figura 19. Umbral mínimo de presiones.

### 3.5 Recomendación de soluciones

Una posible solución ante la problemática en la red de distribución es realizar una investigación, que se centre en el análisis de las pérdidas de agua existentes en la red, así como en registros de consumos reales en las viviendas, de esta manera se puede determinar si las presiones bajas, que no llegan ni a los límites mínimos en ciertos ramales de la red, son generados por fugas o roturas en las tuberías y así generar un rediseño de la red, el cual permita un suministro constante y adecuado para toda la urbanización. En base a esto, una alternativa para disminuir la presión en zonas donde supera el umbral máximo de presiones sería realizar variaciones en el diseño ejecutado, como el cambio de las tuberías ya instaladas según el diseño previo, por otras de mayor diámetro, de esta manera se reducirían las presiones a niveles tolerables, así como también el cambio de tuberías de menor diámetro para zonas donde se dan presiones demasiado bajas. Con esto se mitigaría el problema de manera práctica, ya que con un suministro continuo de agua, los usuarios podrán realizar sus actividades diarias con total normalidad.

Adicionalmente se recomienda realizar mantenimientos e inspecciones periódicas a la infraestructura del sistema, estas prácticas no solo contribuyen a prolongar la vida útil de los componentes, sino que también permiten identificar de manera temprana posibles problemas que puedan surgir en la red de distribución. Un seguimiento constante del rendimiento de la red es una herramienta clave para la detección rápida de fallos, posibilitando la implementación de soluciones eficaces antes de que los problemas se agraven. Esta estrategia no solo reduce la probabilidad de cortes de agua inesperados, sino que también minimiza la propagación de daños, garantizando así un suministro continuo y confiable a las viviendas.

## 4. Conclusiones y comentarios

Una vez realizado el estudio de presiones en la red que suministra agua potable a la ciudadela Banco de la Vivienda se pudo llegar a las siguientes conclusiones:

- A través de las encuestas realizadas a los habitantes de la urbanización se pudo conocer que existe una inconsistencia real en las presiones con las que el agua llega a los domicilios, según los resultados obtenidos se notó una insatisfacción verdadera con el servicio de agua potable, ya que por lo general se suelen dar cortes de

agua con bastante frecuencia y en lapsos muy largos de tiempo, lo que limita la capacidad de los usuarios para realizar sus actividades diarias, por otro lado en ciertas zonas de la urbanización se notó la presencia de presiones muy altas, las cuales generan consumos falsos y exagerados de agua así como la posibilidad de roturas en las tuberías.

- Las presiones registradas en las viviendas de la urbanización fueron bastante variadas, debido a la diferencia de altura en las que se encuentran las viviendas, así como la distinta demanda de agua que se requiere en cada una de ellas. En la parte inferior de la urbanización las presiones son mucho más altas que la parte superior, ya que superan los 50 m.c.a hasta llegar los 70 m.c.a, mientras que en la zona más alta es todo lo contrario, ya que en ciertos intervalos de tiempo las presiones disminuyeron considerablemente siendo menores a los 10 m.c.a, es decir un desabastecimiento, tomando como referencia las presiones de diseño recomendadas por la normativa IEOS, en las que los límites tanto inferior como superior son de 10 m.c.a y 50 m.c.a respectivamente.
- Mediante los mapas presentados desde la **Figura 10** a la 17 se puede observar la distribución de las presiones registradas en los nodos analizados, enfocado en las horas donde más se ha notado la presencia de presiones que no cumplen con la normativa, siendo las siguientes horas: 02:00, 04:00, 06:00, 10:00, 14:00, 17:00, 20:00, 23:00, ya sea por presiones muy bajas provocados por cortes de agua inesperados o presiones muy altas generadas por consumos de agua exagerados debido a fugas o roturas en las tuberías, así como la activación repentina del servicio.
- Para la modelación de la red de distribución, se colocó una demanda base de 1,48 Lt/seg, obteniendo presiones que son relativamente bajas, teniendo como la más baja 17,84 m.c.a en el nodo 10 y la más alta 46,14 m.c.a en el nodo 9, determinando que las presiones reales, con las que llega el agua a las viviendas, son mucho más altas que las presiones obtenidas por el modelo.

- Finalmente, una solución práctica para la problemática, sería un rediseño del sistema, cambiando tuberías obsoletas por tuberías nuevas, teniendo en cuenta los diámetros necesarios para cada ramal, generando presiones que cumplan con las normativas. Además, llevar a cabo mantenimientos regulares e inspecciones periódicas para mantener la integridad y eficiencia de la red de distribución de agua.

## 5. Referencias

- Arocha R, S. (1997). *Abastecimientos de Agua Teoría y Diseño* (Vol. 1).
- Cabrera-Béjar, A. J., & Tzatchkov, G. (2012). Modelación de redes de distribución de agua con suministro intermitente. *Tecnología y Ciencia Del Agua*, 3, 1–22. <http://www.pigoo.gob.mx/>
- Campbell, E. (2014). Propuesta para una metodología de sectorización de redes de abastecimiento de agua potable. *Universidad Politécnica de Valencia*, 1–138.
- Édinson Hernán, C. A. (2015). *Modelación hidráulica y de la calidad del agua en la red de distribución de agua potable de la parroquia La Avanzada, cantón Santa Rosa, Provincia de El Oro*. UTMACH.
- EMAAP-Q. (2008). *Normas de diseño de sistemas de agua potable para la EMAAP-Q*.
- Gad municipal de Azogues. (2018). *Plan nacional de desarrollo y ordenamiento territorial*. 107–110.
- Gómez Martínez, P. (2017). Metodología para caracterizar la eficiencia de una red de distribución sectorizada. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 8(4), 57–77. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-04-04>
- Guamán, J. A., & Taris, M. F. (2017). *Diseño del sistema para el abastecimiento del agua potable de la comunidad de Mangacuzana, cantón Cañar, Provincia de Cañar* [Carrera de Ingeniería Civil]. Universidad Nacional De Chimborazo.
- Guanuchi C, & Ordoñez, J. (2017). Evaluación del cloro residual en la red de distribución de agua potable del cantón Azogues a través de un modelo experimental. *Universidad de Cuenca*.
- Idrovo, P. (2018). Desarrollo de un modelo de simulación mediante el software Epanet de la red de distribución de agua potable de la cabecera cantonal de Guano, provincia de Chimborazo. *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*.
- Kingdom, B. (2006). The Challenge of Reducing Non-Revenue Water (NRW) in Developing Countries. How the Private Sector Can Help: A look at Performance-Based Service Contracting. *The World Bank Group*.
- Merino Murillo, J. O. V. A. (2015). Análisis del sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Jipijapa (Manabí - Ecuador) año 2015. *SATHIRI, Sembrador*, 1–165.
- Molina Andrade, M. del C. (2022). *Evaluación de la red de distribución de agua potable del sector dos de Narrio del cantón Cañar* [Carrera de Ingeniería Civil]. Universidad Católica De Cuenca.
- NEC-11. (2011). *Norma Ecuatoriana de la construcción Nec-11 capítulo 16 norma hidrosanitaria NHE agua*.
- OMS. (2018). *Guías para la calidad del agua de consumo humano*.
- Pilcher, R. H. S. C. H. F. D. R. B. (2007). Leak Location & Repair Guidance Notes. *International Water Association*, 1–71.
- Quevedo, A. (2015). Realidad aumentada en dispositivos móviles “Android” aplicada a la geolocalización de equipamientos de agua potable de EMAPAL - EP. *Universidad de Cuenca*.
- Rojas, J. (2015). Modelamiento de los sistemas de potabilización de agua, orientado al diseño de los sistemas de control supervisorio, caso EMAPAL EP - AZOGUES. *Universidad Politécnica Salesiana*.
- SAWUADB. (2007). Data Book of Southeast Asian Water Utilities 2005. *The Southeast Asian Water Utilities Network and Asian Development Bank*.
- SENAGUA. (1992). *Normas para diseño de sistemas de agua potable y eliminación de residuos líquidos*.
- Yunarni, & Wahyuni, S. (2020). Evaluation of pipe network distribution system using EPANET 2.0 (a case study of the city of Jember). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.
- Zúñiga Rodríguez, M. G. (2019). *Análisis y diagnóstico de la red del sistema de agua potable de la cabecera cantonal del cantón Guano, Provincia de Chimborazo, Ecuador* [Carrera de Ingeniería Civil]. Universidad Politécnica de Valencia.

**Frank Josué Quinteros Altamirano** portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0302118450** En calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Evaluación de la red de distribución de agua potable en la ciudadela “Banco de la Vivienda” - Charasol”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos y no comerciales. Autorizo además a la Universidad Católica de Cuenca, para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Azogues, 16 de noviembre de 2023

F: 

**Frank Josué Quinteros Altamirano**

**C.I. 0302118450**