



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v11i2.4361>

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

***Simulación y Mejora de la Red Hidráulica de Distribución de Agua Potable en la
Parroquia El Altar, Cantón Penipe***

***Simulation and Improvement of the Hydraulic Network for Drinking Water
Distribution in the El Altar Parish, Penipe Canton***

***Simulação e Melhoria da Rede Hidráulica de Distribuição de Água Potável na
Paróquia de El Altar, Cantão de Penipe***

Steeven Mejia ^I

steevenmejia@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0000-2606-270X>

Andrés Noguera-Cundar ^{II}

andres.noguera@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-6763-9288>

Javier Edmundo Albuja-Jácome ^{III}

javier.albuja@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0005-5044-3373>

Carlos Ramiro Cepeda-Godoy ^{IV}

ccepeda@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-4566-4180>

Correspondencia: steevenmejia@gmail.com

***Recibido:** 17 de febrero de 2025 ***Aceptado:** 06 de marzo de 2025 *** Publicado:** 30 de abril de 2025

- I. Investigador externo, Riobamba, Ecuador.
- II. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH, Riobamba, Ecuador.
- III. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH, Riobamba, Ecuador.
- IV. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH, Riobamba, Ecuador.

Resumen

La falta de planes detallados de la red hidráulica en la Parroquia El Altar, Cantón Penipe, ha resaltado la importancia de utilizar software como QGIS, ArcView y EPANET para la simulación de redes. Este estudio realiza un análisis exhaustivo del comportamiento hidráulico de la red actual y propone mejoras para optimizar su eficiencia y sostenibilidad. Se destaca la metodología utilizada para la recopilación de datos precisos de campo, la integración de estos datos en modelos matemáticos y las simulaciones realizadas para prever el comportamiento de la red bajo diferentes condiciones de operación.

Palabras clave: Hidráulica; red de distribución de agua; simulación; mejoras.

Abstract

The lack of detailed plans for the hydraulic network in El Altar Parish, Penipe Canton, has highlighted the importance of using software such as QGIS, ArcView, and EPANET for network simulation. This study conducts a comprehensive analysis of the hydraulic behavior of the current network and proposes improvements to optimize its efficiency and sustainability. It highlights the methodology used for collecting accurate field data, integrating this data into mathematical models, and the simulations performed to predict network behavior under different operating conditions.

Keywords: Hydraulics; water distribution network; simulation; improvements.

Resumo

A falta de planos detalhados para a rede hidráulica na Paróquia de El Altar, Cantão de Penipe, destacou a importância do uso de softwares como QGIS, ArcView e EPANET para simulação de rede. Este estudo realiza uma análise abrangente do comportamento hidráulico da rede atual e propõe melhorias para otimizar sua eficiência e sustentabilidade. A metodologia usada para coletar dados de campo precisos, integrar esses dados em modelos matemáticos e realizar simulações para prever o comportamento da rede sob diferentes condições operacionais é destacada.

Palavras-chave: Hidráulica; rede de distribuição de água; simulação; melhorias.

Introducción

En las tierras elevadas de Chimborazo en el Cantón Penipe de Ecuador, la Parroquia El Altar enfrenta un reto vital: la gestión eficiente del agua. La ausencia de planos detallados de la red hidráulica

dificulta enormemente la tarea de darle el mantenimiento adecuado y reducir las pérdidas asociadas. Este documento presenta un análisis detallado de la situación actual, identificando las principales deficiencias y proponiendo una serie de mejoras fundamentadas en principios de ingeniería hidráulica y simulaciones computacionales. Además, se analiza el impacto de estas mejoras en la sostenibilidad a largo plazo del suministro de agua potable en la parroquia.

Revisión de la Literatura

Diversos estudios han explorado la importancia de una gestión eficiente de redes hidráulicas para el suministro de agua potable. Se hace referencia a las obras de Cabrera et al. (1999), que destacan la relevancia del equilibrio hídrico y su impacto en la eficiencia de sistemas de distribución de agua. Asimismo, se analizan estudios recientes que han empleado software de simulación como EPANET para optimizar redes de distribución en contextos similares (ZURITA GIL, 2020). Estos trabajos proporcionan un marco teórico sólido que respalda la metodología empleada en este estudio.

Metodología

El suministro de agua en la parroquia se efectúa sin considerar las características fisicoquímicas y bacteriológicas establecidas por la norma (INEC, 2021), lo que resulta en la presencia y propagación de enfermedades en la población. La toma de decisiones del gobierno parroquial en este ámbito carece de un diagnóstico socioeconómico de la población. El objetivo del proyecto es evaluar y desarrollar el sistema de abastecimiento de agua potable y saneamiento, teniendo en cuenta la situación socioeconómica.

Para la realización del presente proyecto de titulación se analizaron los siguientes aspectos:

Recopilación de Información

En esta fase del proyecto, se recopilan datos topográficos, registros de consumos, registros de presiones, registros de caudales, información sobre usuarios, elementos del sistema, y detalles específicos de las tuberías. La inversión de tiempo, esfuerzo y recursos financieros en esta etapa está directamente vinculada al nivel de precisión necesario para el modelo, adaptándose a los requisitos específicos de su aplicación.

Población a evaluar

La población de la parroquia el Altar presenta una población de 1234 personas conformado por mestizos, blancos y nativos Puruhá según el censo registrado en el año 2020, representando así el 0,01% de la población ecuatoriana. Eventos como el desarrollo, la reestructuración en el nivel de

Simulación y Mejora de la Red Hidráulica de Distribución de Agua Potable en la Parroquia El Altar, Cantón Penipe

educación, el nuevo sistema de salud y la inmigración provocaron cambios significativos en su población.

La estructura demográfica de El Altar presenta desequilibrios en cuanto a edad y sexo, con una mayor proporción de mujeres y adultos mayores. La edad media es de 41.2 años y la esperanza de vida al nacer es de 74.6 años. El índice de masculinidad es de 93.7, lo que indica una ligera predominancia de mujeres, y el índice de dependencia es de 56.8, lo que señala un número relativamente alto de personas dependientes en relación con la población en edad de trabajar. (CITY-FACTS, 2020)

El presente estudio se centra en la población de usuarios inscritos como beneficiarios del servicio de agua potable en la parroquia El Altar, durante el lapso comprendido entre enero de 2023 y enero de 2024. Esta población inicialmente se estimó en 261 usuarios. No obstante, la detección de datos atípicos en el conjunto de datos ha generado la necesidad de una cuidadosa selección y análisis de los registros pertinentes proporcionados por la junta parroquial.

Tras la visita de campo se pudo encontrar información completa y consistente sólo para 183 de los 261 usuarios registrados, lo cual está relacionado con pagos irregulares y medidores fuera de servicio lo que provocaba que faltara información registrada en la junta parroquial.

Por consiguiente, se optó por excluir dichos casos de la muestra debido a la insuficiencia de datos disponibles para un análisis significativo para así asegurar la integridad y validez del análisis.

Tabla 3-1: Usuarios registrados por zonas en la parroquia el altar 2023-2024

USUARIOS REGISTRADOS POR ZONAS EN LA PARROQUIA EL ALTAR 2023-2024		
ZONA	N° de usuarios	Porcentaje
Barrio San Pablo	13	7%
Vía Los Pinos	17	9%
Barrio La Dolorosa	5	3%
Av. Principal Ramal Derecho	18	10%
Av. Principal Ramal Izquierdo y Playita	28	15%
Playita	12	7%
Barrio El Censo	11	6%
Barrio La Pampa	41	22%
Ganshi Bajo	14	8%
Barrio San Pablo	8	4%
Ballagan	16	9%
TOTAL	183	100%

Fuente. (PDOT Cantón el Altar)

Análisis del consumo de agua potable en la Parroquia El Altar

El registro de consumo de agua de las zonas de una parroquia implica capturar datos detallados sobre la cantidad de agua utilizada por los residentes y establecimientos comerciales en diferentes áreas de la parroquia en un período de tiempo específico, generalmente expresado en litros o metros cúbicos el cual permite comprender las necesidades de sus usuarios e identificar picos en la demanda o problemas de suministro. De esta forma permitiendo tomar decisiones importantes de la infraestructura hidráulica y garantizar un suministro adecuado a sus usuarios.

Para el registro de consumo de agua potable de los usuarios se han capturado dichos datos según la zona en que estos se encuentran dentro de los espacios de la parroquia tal y como se detalla en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2: Registro de consumo de agua potable en la Parroquia El Altar durante el periodo de enero del 2023 y enero del 2024 [m³]

ZONA	REGISTRO DE CONSUMO 2023 [m³]												2024 [m³]	PROMEDIO
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	
BARRIO SAN PABLO ALTO	7,54	15,38	12,85	4,38	7,23	10,92	14,15	9,46	25,69	5,54	9,85	9,77	10,92	11,0533
VIA LOS PINOS	13,24	12,88	8,18	7,41	12,18	5,59	8,82	13,88	7,71	19,53	51,47	80,82	54,76	22,8054
BARRIO LA DOLOROSA	10,60	15,20	9,20	2,60	9,40	7,40	48,60	19,20	57,00	12,20	11,60	10,60	17,80	17,8000
AV. PRINCIPAL RAMAL DERECHO	18,67	10,94	17,67	26,44	10,44	6,06	134,00	120,78	41,67	11,50	18,50	15,33	20,11	34,7778
AV. PRINCIPAL RAMAL IZQUIERDO Y PLAYITA	11,46	6,71	82,68	8,32	19,75	5,82	31,14	22,00	12,43	18,29	89,96	37,75	19,79	28,1621
PLAYITA	6,25	4,42	13,25	4,58	4,92	5,67	4,42	12,00	6,00	7,33	6,50	10,25		8,5000

Simulación y Mejora de la Red Hidráulica de Distribución de Agua Potable en la Parroquia El Altar, Cantón

Penipe

													24,9 2	
BARRIO EL CENSO	6,45	22,6 4	5,18	7,00	11,18	10,4 5	11,27	22,82	18,5 5	14,5 5	69,64	11,73	18,4 5	17,6853
LA PAMPA - GANSHY BAJO	17,3 4	23,0 2	15,66	14,9 0	14,68	8,46	39,51	83,61	30,1 5	34,6 6	#### #	120,6 1	48,2 0	45,6323
GANSHY BAJO	13,2 1	41,2 9	30,43	7,00	18,43	11,2 9	20,07	28,07	30,0 7	13,9 3	52,21	14,71	87,9 3	28,3571
BARRIO SAN PABLO BAJO	4,88	11,2 5	3,25	4,50	4,00	5,38	12,63	10,75	12,5 0	6,63	6,88	3,25	6,50	7,1058
BALLAGA N	5,63	10,6 3	23,50	4,81	6,56	3,13	9,50	2,56	0,31	27,3 1	24,31	25,56	13,6 3	12,1106

ZONA	REGISTRO DE CONSUMO 2023 [m³]												2024 [m³]	PROMEDI O
	EN E	FEB R	MA R	AB R	MA Y	JUN	JUL	AGO	SEP	OC T	NOV	DIC	EN E	
Barrio San Pablo Alto	7,54	15,38	12,8 5	4,38	7,23	10,9 2	14,15	9,46	25,6 9	5,54	9,85	9,77	10,9 2	11,0533
Vía Los Pinos	13,2 4	12,88	8,18	7,41	12,1 8	5,59	8,82	13,88	7,71	19,5 3	51,47	80,82	54,7 6	22,8054
Barrio La Dolorosa	10,6 0	15,20	9,20	2,60	9,40	7,40	48,60	19,20	57,0 0	12,2 0	11,60	10,60	17,8 0	17,8000
Av. Principal Ramal Derecho	18,6 7	10,94	17,6 7	26,4 4	10,4 4	6,06	134,0 0	120,7 8	41,6 7	11,5 0	18,50	15,33	20,1 1	34,7778
Av. Principal Ramal Izquierdo Y Playita	11,4 6	6,71	82,6 8	8,32	19,7 5	5,82	31,14	22,00	12,4 3	18,2 9	89,96	37,75	19,7 9	28,1621
Playita	6,25	4,42	13,2 5	4,58	4,92	5,67	4,42	12,00	6,00	7,33	6,50	10,25	24,9 2	8,5000
	6,45	22,64	5,18	7,00			11,27	22,82			69,64	11,73		17,6853

Simulación y Mejora de la Red Hidráulica de Distribución de Agua Potable en la Parroquia El Altar, Cantón
Penipe

ZONA	REGISTRO DE CONSUMO 2023 [m³]												2024 [m³]	PROMEDIO
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	
Barrio El Censo					11,18	10,45			18,55	14,55			18,45	
La Pampa - Ganshi Bajo	17,34	23,02	15,66	14,90	14,68	8,46	39,51	83,61	30,15	34,66	142,41	120,61	48,20	45,6323
Ganshi Bajo	13,21	41,29	30,43	7,00	18,43	11,29	20,07	28,07	30,07	13,93	52,21	14,71	87,93	28,3571
Barrio San Pablo Bajo	4,88	11,25	3,25	4,50	4,00	5,38	12,63	10,75	12,50	6,63	6,88	3,25	6,50	7,1058
Ballagán	5,63	10,63	23,50	4,81	6,56	3,13	9,50	2,56	0,31	27,31	24,31	25,56	13,63	12,1106

Fuente. (PDOT Cantón el Altar)

Realizado por: (MEJIALARA2024)

Modulación del consumo de agua potable

La curva de modulación en el registro de consumo de agua potable es una herramienta crucial en el diseño y gestión eficiente de redes hidráulicas. Esta curva representa gráficamente la variación del consumo de agua a lo largo del tiempo en una determinada área o zona de suministro.

El objetivo de este análisis es identificar los momentos del año con los niveles más altos y más bajos de consumo en la ciudad, con el fin de determinar los factores de demanda relevantes para las observaciones subsiguientes. (CHUQUIN VASCO, 2016)

Para la modulación del consumo de agua potable de los usuarios se han capturado dichos datos según la zona en que estos se encuentran dentro de los espacios de la parroquia tal y como se detalla en la Tabla 3-3, en la Ilustración 3.5., en el ANEXO B.

Simulación y Mejora de la Red Hidráulica de Distribución de Agua Potable en la Parroquia El Altar, Cantón
Penipe

Tabla 3-3: Coeficientes de modulación del consumo de agua potable en la Parroquia El Altar durante el periodo de
enero del 2023 y enero del 2024

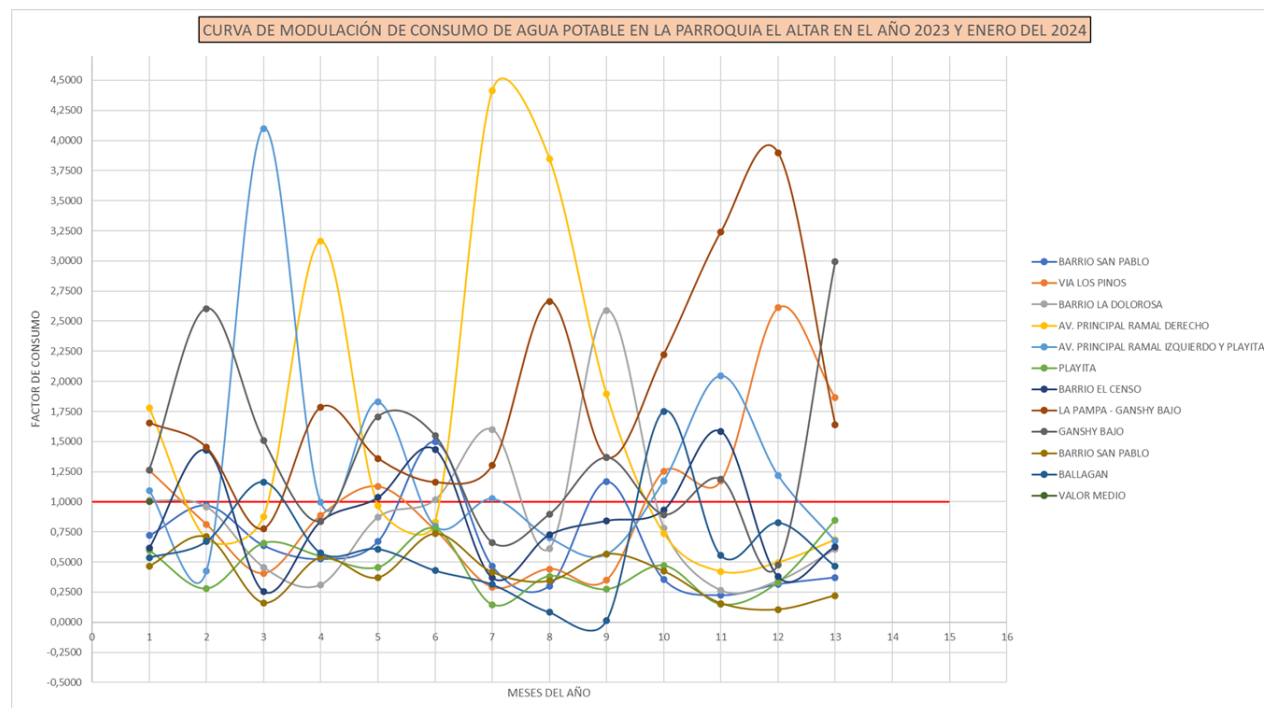
COEFICIENTES DE MODULACION DEL CONSUMO DE AGUA POTABLE EN LA PARROQUIA EL ALTAR													
Año	Mes	No.	Barrio San Pablo	Vía Los Pinos	Barrio La Dolorosa	Av. Principal Ramal Derecho	Av. Principal Ramal Izquierdo y Playita	Playita	Barrio El Censo	La Pampa - Ganshi Bajo	Ganshi Bajo	Barrio San Pablo	Ballagan
2023	ENE	1	0,72	1,26	1,01	1,78	1,09	0,60	0,62	1,65	1,26	0,47	0,54
	FEB	2	0,97	0,81	0,96	0,69	0,42	0,28	1,43	1,45	2,60	0,71	0,67
	MAR	3	0,64	0,41	0,46	0,88	4,10	0,66	0,26	0,78	1,51	0,16	1,17
	ABR	4	0,52	0,89	0,31	3,16	1,00	0,55	0,84	1,78	0,84	0,54	0,58
	MAY	5	0,67	1,13	0,87	0,97	1,83	0,46	1,04	1,36	1,71	0,37	0,61
	JUN	6	1,50	0,77	1,02	0,83	0,80	0,78	1,43	1,16	1,55	0,74	0,43
	JUL	7	0,47	0,29	1,60	4,41	1,03	0,15	0,37	1,30	0,66	0,42	0,31
	AGO	8	0,30	0,44	0,61	3,85	0,70	0,38	0,73	2,66	0,89	0,34	0,08
	SEP	9	1,17	0,35	2,59	1,89	0,56	0,27	0,84	1,37	1,37	0,57	0,01
	OCT	10	0,36	1,25	0,78	0,74	1,17	0,47	0,93	2,22	0,89	0,43	1,75
	NOV	11	0,22	1,17	0,26	0,42	2,05	0,15	1,58	3,24	1,19	0,16	0,55
	DIC	12	0,32	2,61	0,34	0,50	1,22	0,33	0,38	3,90	0,48	0,11	0,83
2024	ENE	13	0,37	1,87	0,61	0,68	0,67	0,85	0,63	1,64	2,99	0,22	0,46
VALOR MEDIO			0,6	1,0	0,9	1,6	1,3	0,5	0,9	1,9	1,4	0,4	0,6

Fuente. (PDOT Cantón el Altar)

Realizado por.(MEJIA LARA 2024)

Simulación y Mejora de la Red Hidráulica de Distribución de Agua Potable en la Parroquia El Altar, Cantón Penipe

Ilustración 3.5. Curva de modulación de consumo de agua potable en la Parroquia El Altar durante el periodo de enero del 2023 y enero del 2024



Fuente. (PDOT Cantón el Altar)

Realizado por. (MEJIA LARA 2024)

Como se puede observar, el registro de mayor consumo se da en la zona de la Av. Principal del ramal derecho durante el mes de Julio del año 2023, que corresponde al instante donde se celebra principalmente la Fiesta de la Virgen del Carmen, una festividad religiosa de gran importancia para la comunidad local.; el registro de menor consumo se da en la zona de Ballagan durante el mes de septiembre del año 2023.

En algunas áreas de la ciudad, la operación de los servicios es intermitente debido a problemas como la ausencia de captación de agua, fugas significativas en el sistema, entre otros. Sin embargo, este informe lleva a cabo simulaciones durante los 13 meses de distribución previamente mencionados. Esto se hace porque el objetivo principal y esencial de la Junta Parroquial es garantizar un suministro constante de servicios en todos los sectores de la Parroquia El Altar.

Análisis del registro de velocidad y caudal en el sistema de tubería

Es prioritario comprender la cantidad existente de agua que hay y que tan rápido se mueve a través de las tuberías en diferentes partes de la red, para dimensionar adecuadamente la infraestructura y detectar posibles obstrucciones lo que permitirá mejorar el diseño y operación del sistema.

Simulación y Mejora de la Red Hidráulica de Distribución de Agua Potable en la Parroquia El Altar, Cantón Penipe

Se procede a identificar 5 puntos estratégicos de estudio, donde se tomaron datos in situ a través de equipos especializados, para lo cual se contó con el apoyo de la Junta Administradora de Agua que brindó su colaboración en la examinación de la tubería y de los tanques.

Para el registro de caudal y velocidad en el sistema de tubería de la parroquia se han capturado dichos datos en los 5 puntos estratégicos de estudio en que estos se encuentran dentro de los espacios de la parroquia tal y como se detalla en la Tabla 3-4, y en el ANEXO C.

Tabla 3-4: Registro de caudal y velocidad en el sistema de tubería de la parroquia el altar 2023-2024

REGISTRO DE CAUDAL Y VELOCIDAD EN EL SISTEMA DE TUBERÍA DE LA PARROQUIA EL ALTAR 2023-2024				
No.	Zona	Método de estudio	Caudal registrado [litros/seg]	Velocidad registrada [m/seg]
1	Entrada a tanque principal	Volumétrico	3,3554	0,8241
2	Salida de la fuente de captación	Volumétrico	3,9812	0,8730
3	Ramal izquierdo - Zona centro	Volumétrico	0,4272	0,3400
4	Ramal central	Caudalímetro	2,1884	0,5848
5	Ramal derecho - San Pablo	Caudalímetro	0,3314	0,31467
PROMEDIO			2,0567	0,5873

Fuente. (PDOT Cantón el Altar)

Realizado por. (MEJIA LARA 2024)

Análisis del registro de presión de agua en los hogares de la Parroquia El Altar

El análisis se concentra en evaluar cómo varía la presión del agua en los hogares de la parroquia a lo largo del día, semana y estaciones, lo que facilita la detección de patrones de consumo y demanda que influyen en la presión del agua en la red. También se examina cómo se distribuye espacialmente la presión del agua en distintas áreas de la red, lo cual es esencial para identificar áreas con presión deficiente o problemas de distribución. Comparar los niveles de presión con estándares establecidos es crucial para verificar el cumplimiento de los requisitos para un suministro seguro de agua. Además, este análisis ayuda a detectar problemas potenciales en la red, como obstrucciones o fugas.

Simulación y Mejora de la Red Hidráulica de Distribución de Agua Potable en la Parroquia El Altar, Cantón Penipe

Para el registro de presión de agua en los hogares de la parroquia se han capturado dichos datos según la zona en que estos se encuentran dentro de los espacios de la parroquia tal y como se detalla en la Tabla 3-5, y en el ANEXO D.

Tabla 3-5: Registro de la presión de agua en los hogares de la Parroquia El Altar 2023-2024

REGISTRO DE PRESIÓN DE AGUA DE LOS HOGARES EN LA PARROQUIA EL ALTAR		
SECTOR	PRESIÓN [psi]	PRESIÓN [mca]
Barrio San Pablo Alto	33,3846	23,5028
Vía Los Pinos	30,1176	21,2028
Barrio La Dolorosa	34	23,9360
Av. Principal Ramal Derecho	53,0556	37,3511
Av. Principal Ramal Izquierdo y Playita	21,5357	15,1611
Playita	69	48,4000
Barrio El Censo	35,0000	24,6400
Barrio La Pampa	89,6098	63,0853
Ganshi Bajo	60,3571	42,4914
Barrio San Pablo Bajo	27,6250	19,4480
Ballagan	27,5625	19,4040
PROMEDIO	43,7271	30,7839

Fuente. (PDOT Cantón el Altar)

Realizado por. (MEJIA LARA 2024)

Creación de zonas de consumo, por polígonos

En este proyecto de titulación, el uso de polígonos para crear zonas de consumo en el software QGIS se convierte en un componente esencial. Estos polígonos ayudan a identificar los caudales obtenidos durante la fase de investigación de campo y permiten una representación visual precisa de las áreas de demanda de agua. La información obtenida en esta etapa se utiliza meticulosamente para asignar de manera eficiente los parámetros hidráulicos necesarios en cada área de consumo. Esto elimina la necesidad de asignar valores manuales a cada segmento de tubería.

En el diseño de la red de distribución de agua, la aplicación de estos polígonos en la delimitación de zonas de consumo no solo facilita la preparación de datos para la simulación hidráulica posterior, sino que también garantiza una asignación precisa de caudales y parámetros hidráulicos.

Simulación y Mejora de la Red Hidráulica de Distribución de Agua Potable en la Parroquia El Altar, Cantón Penipe



Ilustración 4.3. Zonas de consumo de la Parroquia El Altar
Realizado por. (MEJIA LARA 2024)

Creación del proyecto en Arcview

Para llevar a cabo la esqueletización de la red hidráulica, se emplea el software ARCVIEW 3.2, encargado de transformar el formato shape de la red en un archivo ejecutable compatible con EPANET (.inp). Para este fin, se inicia un nuevo proyecto en ARCVIEW y se activa la extensión GISRed a través de la ruta File/Extensions/GISRed. Durante la importación de capas, es crucial considerar la información necesaria para cada tubería de la red, lo que destaca la importancia de una clasificación versátil de los datos empleados en el proceso de esqueletización. (ALONSO, 2006)

Una característica particular durante la importación de archivos shape en ARCVIEW_GISRed es la creación automática de nudos de consumo en las conexiones e intersecciones de las tuberías, lo que permite asignar cotas, demandas y fugas a los puntos generados. Una herramienta fundamental en ARCVIEW_GISRed es Mode tools/Connectivity, que facilita la verificación de la conexión correcta de las redes de tuberías y visualiza la secuencia del fluido, identificando zonas desconectadas. Además, la herramienta Edit Model/Data verification/Spatial Connectivity detecta desconexiones entre intersecciones de tuberías y permite resolver problemas encontrados, editando los vértices de conexión con la herramienta Editor.

En cuanto a la modelización, las cotas de los nudos de consumo son esenciales, ya que determinan la presión existente en cada uno y la altura que deben proporcionar los depósitos de distribución para el suministro por gravedad. Estas cotas, obtenidas previamente en QGIS, se importan para su uso en el modelo. Es importante destacar que las demandas en los nudos de consumo son cruciales para las simulaciones y la comparación entre el agua inyectada y la proporcionada en EPANET. La asignación

Simulación y Mejora de la Red Hidráulica de Distribución de Agua Potable en la Parroquia El Altar, Cantón Penipe

de demandas en el primer escenario se basa en los consumos proporcionados por la junta parroquial en formato shape. Asimismo, se deben ingresar las fugas en el sistema utilizando la herramienta Unaccounted for Water de ARCVIEW_GISRed, que distribuye el volumen fugado de manera proporcional a la demanda base, dependiendo de la eficiencia volumétrica de la red. (CHUQUIN VASCO, 2016)

Creación de archivo INP para EPANET

Luego de registrar los valores y características que debe tener el sistema procedemos a crear un archivo INP desde la barra de herramientas de ArcView con el cual podemos analizar los valores de la simulación de la red. Para poder observar apropiadamente estos valores es necesario habilitar las etiquetas de nudos y líneas junto con una dimensión adecuada, esto y unas etiquetas textuales permite ubicar las zonas de estudio.

Análisis, simulaciones y resultados

Para evaluar el comportamiento real de la red hidráulica actual se asigna un patrón de demanda y se determina su eficiencia volumétrica, utilizando datos suministrados por la junta parroquial. En caso de que el modelo presente errores, se pueden realizar ajustes en los diámetros de las tuberías, los consumos de los nudos, entre otros parámetros, con el fin de mejorar la precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos.

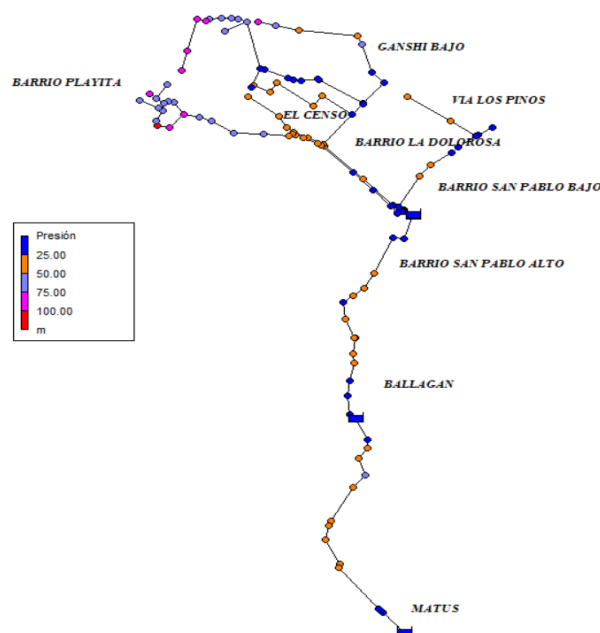


Ilustración 4.5. Red de distribución de agua potable de la Parroquia El Altar 2023-2024

Realizado por. (MEJIA LARA 2024)

Con el objetivo de comparar los resultados obtenidos en la simulación con aquellos registrados en campo, se han establecido estratégicamente puntos de muestreo para medir la presión en la red de distribución. En este sentido, se presenta a continuación un análisis detallado de los resultados de la simulación en relación con estos puntos de muestreo, así como su comparación con los datos recopilados en campo. Este enfoque permite una evaluación exhaustiva de la precisión y fiabilidad del modelo hidráulico desarrollado en EPANET, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones en la gestión y planificación del sistema de abastecimiento de agua en la parroquia El Altar.

Análisis de la simulación en el sector Matus

A continuación, se exponen los resultados de la simulación correspondientes al tramo de tubería que se extiende desde la fuente de captación ubicada en la zona geográfica de Matus.

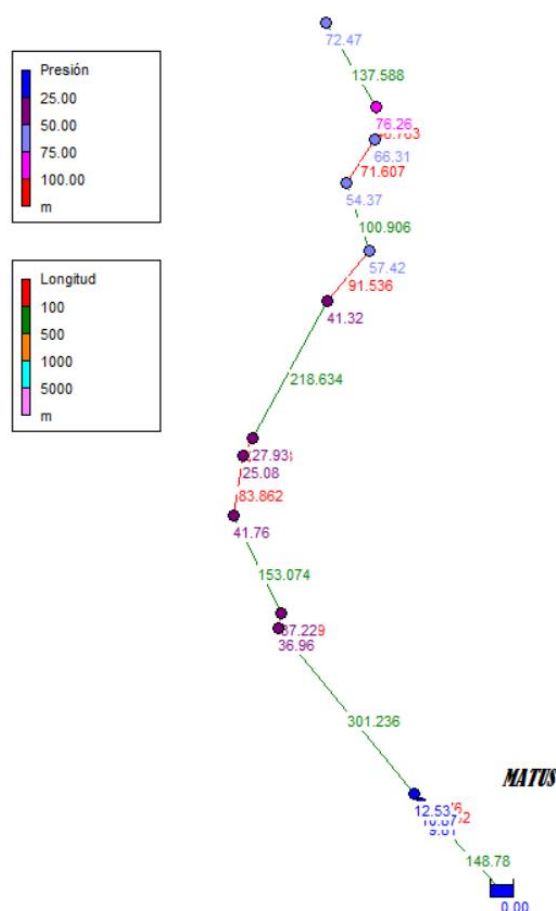


Ilustración 4.6. Red de distribución de agua potable del sector Matus 2023-2024

Realizado por. (MEJIA LARA 2024)

Simulación y Mejora de la Red Hidráulica de Distribución de Agua Potable en la Parroquia El Altar, Cantón
Penipe

Tabla 4-1: Tabla de Red de Nudos del sector Matus 2023-2024

SECTOR	ID Nudo	COTA [m]	PRESIÓN [mca]	PROMEDIO MEDICIÓN in situ [mca]	ERROR %
MATUS	J27	2677,06	9,81	40	
	J28	2675,65	10,87		
	J29	2673,65	12,53		
	J33	2586,43	76,26		
	J34	2597,36	66,31		
	J35	2609,88	57,42		
	J41	2610,81	54,37		
	J48	2627,91	41,32		
	J51	2587,33	72,47		
	J65	2642,19	37,22		
	J66	2642,88	36,96		
	J67	2645,9	27,93		
	J68	2649,34	25,08		
	J69	2634,43	41,76		
	Emb1	2690	0		
PROMEDIO			40,7364	40	1,8411

Fuente. (PDOT Cantón el Altar)

Realizado por. (MEJIA LARA 2024)

Los resultados de la simulación revelan un promedio de presión de 40.7364 metros de columna de agua [mca] a lo largo del trayecto analizado. Es relevante destacar que, de acuerdo con la información proporcionada por la junta parroquial, se registra un valor histórico de presión de 40 [mca] en el mismo tramo en Matus. Al comparar ambos resultados, se evidencia un porcentaje de error de 1.8411%, indicativo de una mínima discrepancia entre los datos obtenidos y los históricos. Este hallazgo sugiere una notable concordancia entre el modelo de simulación y la realidad observada, reforzando la confiabilidad y precisión del modelo hidráulico desarrollado en EPANET para la zona de estudio.

La simulación además nos arroja una serie de valores tabulados correspondientes a las características de aquellas tuberías que conforma el tramo de tubería.

Simulación y Mejora de la Red Hidráulica de Distribución de Agua Potable en la Parroquia El Altar, Cantón
Penipe

Tabla 4-2: Tabla de Red de Tuberías del sector Matus 2023-2024

Sector	Id Tubería	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Rugosidad [mm]	Caudal [LPS]	Velocidad [m/s]	Perd Unit [m/km]	Factor de Fricción
MATUS	Altar-1	148,78	76,2	0,9	3,98	0,87	21,03	0,041
	Altar-2	16,852	76,2	0,9	3,98	0,87	21,04	0,041
	Altar-3	15,976	76,2	0,9	3,98	0,87	21,03	0,041
	Altar-4	301,236	76,2	0,9	3,98	0,87	21,03	0,041
	Altar-5	20,899	76,2	0,9	3,98	0,87	21,02	0,041
	Altar-6	153,074	76,2	0,9	3,98	0,87	21,03	0,041
	Altar-7	83,862	76,2	0,9	3,98	0,87	21,03	0,041
	Altar-8	28,308	76,2	0,9	3,98	0,87	21,03	0,041
	Altar-9	218,634	76,2	0,9	3,98	0,87	21,03	0,041
	Altar-10	91,536	76,2	0,9	3,98	0,87	21,03	0,041
	Altar-11	100,906	76,2	0,9	3,98	0,87	21,03	0,041
	Altar-12	71,607	76,2	0,9	3,98	0,87	21,03	0,041
	Altar-13	46,763	76,2	0,9	3,98	0,87	21,03	0,041
	Altar-14	137,588	76,2	0,9	3,98	0,87	21,03	0,041
PROMEDIO					3,98	0,87	21,03	0,041

Fuente. (PDOT Cantón el Altar)

Realizado por. (MEJIA LARA 2024)

Análisis de resultados

En la fase final de la entrega y evaluación de datos en el contexto del proyecto de titulación "Simulación de la Red Hidráulica de Distribución de Agua para Consumo Humano en la Parroquia El Altar, Cantón Penipe", se destaca la importancia de realizar un estudio detallado por zonas para comprender el comportamiento hidráulico de la red. Este enfoque permite identificar variaciones en la presión del agua entre la simulación y los datos obtenidos in situ, lo que brinda información crucial para la gestión eficiente del suministro de agua potable.

Simulación y Mejora de la Red Hidráulica de Distribución de Agua Potable en la Parroquia El Altar, Cantón
Penipe

Tabla 5-1: Registro de las presiones obtenidas durante la simulación y las halladas in situ en la parroquia El Altar
2023-2024

REGISTRO COMPARATIVO DE LA PRESION OBTENIDA			
SECTOR	PROMEDIO SIMULACIÓN EPANET [mca]	PROMEDIO MEDICIÓN in situ [mca]	ERROR %
MATUS	40,7364	40	1,8411
BARRIO SAN PABLO ALTO	26,3217	23,5028	11,9939
BALLAGAN	19,5913	19,404	0,9653
VÍA LOS PINOS	22,3017	21,2028	5,1828
BARRIO SAN PABLO BAJO	20,5167	19,448	5,4952
CALLE PRINCIPAL	13,1142	15,1611	13,5010
PLAYITA	52,3919	48,4	8,2477
BARRIO SAN PABLO BAJO	18,79	19,448	3,3834
GANSHI BAJO	45,8657	42,4914	7,9411
BARRIO LA DOLOROSA	24,375	23,936	1,8341
BARRIO EL CENSO	24,363	24,64	1,1242
BARRIO LA PAMPA	68,083	63,0853	7,9221
PROMEDIO	31,3709	30,0600	4,3611

Fuente. (PDOT Cantón el Altar)

Realizado por. (MEJIA LARA 2024)

Al comparar los datos simulados con los datos reales encontrados en campo, se ha observado un mínimo porcentaje de error, lo que sugiere una alta confiabilidad de los datos simulados. Este hallazgo respalda la validez de los resultados y proporciona una base sólida para el análisis posterior.

Se pudo identificar que en el sector "Calle Principal del ramal izquierdo" existe un valor bajo en la presión de agua registrada lo cual puede atribuirse a diversas causas, como las diferencias en las cotas de elevación de los nudos, valores erróneos del diámetro o la rugosidad de la tubería.

Se pudo observar un promedio de presión de 31.3709 [mca] en la red hidráulica, mientras que las mediciones in situ arrojaron un promedio de 30.0600 [mca] donde ambos son valores que dictan un buen nivel de presión de agua según los estándares establecidos por la normativa ecuatoriana demostrando así que el modelo de red es eficiente y garantiza un suministro confiable de agua para los hogares de la parroquia. No obstante, se destaca la necesidad de mejorar la entrega de presión de agua en la Calle Principal del Ramal Izquierdo, donde se observan valores bajos de presión en comparación con otros sectores.

Simulación y Mejora de la Red Hidráulica de Distribución de Agua Potable en la Parroquia El Altar, Cantón Penipe

Además, se identificó un aumento significativo en el consumo de agua en el sector del ramal derecho atribuible al crecimiento exponencial del número de usuarios en los últimos años. En contraste, se observa un bajo consumo de agua en el sector de Ballagan, debido a la escasez de usuarios en esa zona.

Es importante tener en cuenta que, dado que el abastecimiento de la ciudad es netamente por gravedad, se registran numerosos puntos con presiones elevadas en la red, lo que podría favorecer la pérdida de agua.

Propuestas de Mejora

Las propuestas de mejora incluyen la instalación de medidores de alta precisión en puntos estratégicos de la red, la incorporación de sistemas de monitoreo remoto para evaluar en tiempo real las condiciones de la red, y la implementación de un programa de mantenimiento preventivo. Se recomienda también la utilización de materiales más duraderos y resistentes para las tuberías y válvulas, con el fin de minimizar las pérdidas y mejorar la eficiencia global del sistema. Estas mejoras no solo reducirían las pérdidas de agua y costos de mantenimiento, sino que también garantizarían un suministro más confiable y continuo a los habitantes de la Parroquia El Altar. (CEDEÑO FARFAN, 2021)

Se propone también desarrollar un enfoque metodológico para llevar a cabo un monitoreo y control que ayuden en la evaluación y el mejoramiento continuo del sistema hidráulico. Al permitir cálculos más precisos y la verificación de los resultados obtenidos, estas medidas aumentarán la eficiencia de la red. (BARRETO TORRELLA)

Para mejorar la eficiencia de la red hidráulica, la Junta Parroquial debe adoptar las recomendaciones de la AWWA M42 para garantizar la limpieza y el buen funcionamiento de los tanques de agua, es esencial que sean inspeccionados periódicamente por profesionales especializados. Se recomienda que las inspecciones del tanque se realicen anualmente si está ubicado en áreas propensas a acumular sedimentos, pero estas inspecciones deben incluir lavados regulares, al menos cada tres años. Además, se debe prestar especial atención a cualquier reparación necesaria en los tanques, asegurándose de que su estructura sea cuidada minuciosamente y proporcionando un reporte que certifique la calidad del equipo. Esta medida mejorará la calidad del agua y evitará problemas como el estancamiento y la estratificación. (QUIMA, 2018)

Simulación y Mejora de la Red Hidráulica de Distribución de Agua Potable en la Parroquia El Altar, Cantón Penipe

Debido a cambios de temperatura o presión a lo largo de toda la red hidráulica nos encontramos con la presencia de aire atrapado en la tubería, lo que puede causar problemas como obstrucciones en el flujo, lecturas incorrectas de caudalímetros y medidores lo que conlleva un suministro inadecuado de agua. Es gracias a estas válvulas que se puede liberar el aire durante el llenado al eliminar las bolsas de aire.

Esta medida reducirá el caudal transportado y reducirá las pérdidas de energía y los costos operativos. Para permitir el mantenimiento sin interrumpir el sistema, estas válvulas deben instalarse sobre una válvula de seccionamiento. (FLUIDOS, 2016)

Con el propósito de mejorar la eficiencia de nuestra red hidráulica se propone la localización estratégica de las válvulas, por lo que se debe considerar el perfil longitudinal de la instalación, asegurándose de que tenga un trazado con puntos altos y bajos claros para facilitar la admisión y expulsión del aire, con un perfil quebrado con pendientes ascendentes no menores al 0,2% y descendentes no menores al 0,4%. Se recomienda colocar las válvulas de aire a distancias iguales idealmente entre 500 y 1000 metros, en cambios bruscos de pendiente, en las proximidades de aparatos de medida, a la salida de los grupos de bombeo, en las proximidades de los sistemas de filtrado, en caso de estrechamientos o cambios bruscos de diámetro de las conducciones e inmediatamente después de las válvulas reductoras de presión. (GARCIA MARES, 2012)

Conclusiones

El estudio ha proporcionado un análisis exhaustivo del estado actual de la red de distribución de agua potable en la Parroquia El Altar, identificando las principales deficiencias y proponiendo soluciones prácticas para mejorar su eficiencia y sostenibilidad. Los resultados de las simulaciones respaldan las propuestas de mejora presentadas, que buscan no solo corregir problemas existentes, sino también prevenir futuros desafíos en la gestión del agua. La implementación de estas recomendaciones podría llevar a una reducción significativa en las pérdidas de agua y un mejor servicio a la comunidad.

Referencias

1. ALONSO. (2006). El Modelo Digital de Terreno (MDT). Recuperado el 4 de 3 de 2024, de <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>
2. BARRETO TORRELLA, S. (s.f.). Diseño conceptual de una instalación de laboratorio de mecánica de fluidos. 287-302. Recuperado el 18 de 3 de 2024, de

Simulación y Mejora de la Red Hidráulica de Distribución de Agua Potable en la Parroquia El Altar, Cantón
Penipe

- http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S207729552023000200287&lng=es&nrm=iso&tlng=es
3. CEDEÑO FARFAN, C. E. (2021). Plan estratégico para la reducción de pérdidas de agua potable en Portoviejo. Dilemas contemporáneos: educación, política y valores. (Vol. 8). doi:10.4995/IA.1999.2794.
 4. CHUQUIN VASCO, N. S. (2016). ANÁLISIS Y ELABORACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE. PROPUESTAS DE MEJORA. Valencia, España.
 5. CITY-FACTS. (2020). CITY-FACTS. Recuperado el 2024-02-14, de CITY-FACTS: <https://es.city-facts.com/el-altar-chimborazo/population>
 6. FLUIDOS, I. D. (2016). INGENIERIA DE FLUIDOS. Recuperado el 18 de 03 de 2024, de INGENIERIA DE FLUIDOS: <https://www.ingenieriadefluidos.com/valvula-reductora-de-presion>
 7. GARCIA MARES, F. J. (2012). CARACTERIZACIÓN DE VENTOSAS MEDIANTE TÉCNICAS CFD. Mastría, Trabajo de titulación. Universitat Politècnica de València. Valencia. Recuperado el 2 de 5 de 2024
 8. INEC. (2021). Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales. INEC. Recuperado el 9 de 1 de 2024, de [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2021/Agua_potable_alcantarrillado_2021/PRESENTACION%20APA%202021_V7%20\(Rév.%20Dicos\).pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2021/Agua_potable_alcantarrillado_2021/PRESENTACION%20APA%202021_V7%20(Rév.%20Dicos).pdf)
 9. QUIMA. (2018). QUIMA. Recuperado el 18 de 3 de 2024, de <https://quima.com/blogs/blog/mantenimiento-tanques-de-agua>
 10. ZURITA GIL, L. e. (2020). Análisis del sistema de la red de distribución de agua, usando EPANET en áreas rurales. UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN. Recuperado el 29 de 01 de 2024, de https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/3563/Loayza_Trabajo_Bachiller_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y