



MODELACIÓN MATEMÁTICA APLICADA A LARED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DEL DISTRITO DE PENONOMÉ, REPÚBLICA DE PANAMÁ

¹ **María Isabel Ashaw Muñoz**, ² **Daisy Navarro** & ² **Eráclides Gil Sánchez**

¹Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Departamento de Matemática

Correo electrónico: jetziba_beula@yahoo.es

²Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Escuela de Matemática,

Correo electrónico: daysi.navarrot@gmail.com; eraclidesgil@gmail.com

RESUMEN

El estudio consiste en modelar una red de distribución de agua potable de la provincia de Coclé, a través de la teoría de grafos, suponiendo un modelo estático o de flujo permanente. Aplicamos el software EPANET con el fin de evaluar la eficiencia de la red. Finalmente, sobre la base de los resultados obtenidos, proponemos modificaciones a la red de distribución de agua para mejorar su rendimiento a corto, mediano y largo plazo.

PALABRAS CLAVES

Red de distribución, grafos, sectorización.

MATHEMATICAL ANALYSIS THROUGH EPANET OF POTABLE WATER PIPE NETWORK, IN THE PENONOME DISTRICT, COCLE PROVINCE, REPUBLIC OF PANAMA

ABSTRACT

The study consists in creating a potable water pipe network for the Penonomé district, Coclé province, through graph theory, assuming a static or permanent flow model. We use EPANET to evaluate the efficiency of the current network. Finally, based on the results obtained, modifications to the current network are proposed to improve its performance in the short, medium and long term.

KEY WORDS

Water Pipe network, graphs, sectorization mechanism.

INTRODUCCIÓN

El distrito de Penonomé tiene una extensión territorial de 1 699,7 km² y es el distrito de la provincia de Coclé de mayor superficie, y abarca el 34% de la misma. El distrito de Penonomé se encuentra ubicado en el centro geográfico de la República de Panamá, está ubicado a 87 m sobre el nivel del mar, a 150 km de la Ciudad de Panamá, la capital de la República y sus coordenadas geográficas son: 8° 31' 18" N y 80° 21' 33" W. Los límites del distrito de Penonomé son: al Norte con el distrito de Donoso y Chagres, al Sur con el distrito de Antón y Natá; al Este con la Provincia de Panamá y el distrito de Antón; al Oeste con el distrito de La Pintada y parte del distrito de Natá (ECURED). El distrito de Penonomé cuenta, aproximadamente, con 20 000 viviendas y una población de 86 000 personas, distribuidas en diez corregimientos que son: Penonomé Cabecera, Cañaverál, Coclé, Chiguirí Arriba, El Coco, Pajonal, Río Grande, Río Indio, Toabré y Tulú. El Corregimiento de Penonomé es la cabecera del distrito. La población del corregimiento de Penonomé es de 21 748 personas, según el Censo de Población y Vivienda (2010).

La Planta potabilizadora Efraín Meneses de Penonomé fue inaugurada en octubre de 2004. Está ubicada en el corregimiento de Penonomé, comunidad de Chigoré, con la finalidad de potabilizar el agua proveniente del río Zaratí, para abastecer al corregimiento de Penonomé, que incluye las comunidades de Altos del Prado, Pueblo Nuevo, Las Lomas, Villa Cumbreira, Santo Domingo, Las Delicias, Chigoré, Ecológico, Villa Bonita, parte de Miraflores, La Central, El

Carmen, Vista Hermosa, Cerro Los Pavos, El Encanto, parque de Las Delicias. También, incluye parte del corregimiento de El Coco, como la barriada Cerro Centenario, Llano Marín, Villas de Llano Marín, las universidades, INADE, El Centro Penitenciario de Llano Marín y el Residencial Paseo del Río.

Durante los últimos años, han proliferado empresas agrícolas, nuevas plazas comerciales, y lógicamente se ha incrementado la población. Evidentemente, estos factores afectan el funcionamiento de la red de distribución de agua potable del distrito de Penonomé. Además, la falta de planificación del diseño de la ciudad y las modificaciones no planificadas afectan la estructura de la red (CONAGUA, 2008).

A causa de todo lo anterior, nos planteamos el objetivo de evaluar, a través del método iterativo de Newton Raphson, implementado en el software EPANET, la actual red de distribución de agua del Distrito de Penonomé. Además, hacemos un análisis de la población, del tipo de red de distribución de agua que se ha alcanzado, y se verificarán los componentes hidráulicos de velocidad y presión de la red. Nuestra hipótesis es que la red de distribución de agua potable de Penonomé no cumple con los parámetros y requerimientos hidráulicos mínimos establecidos por el IDAAN (*Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales*).

Los componentes de la planta potabilizadora de Penonomé la conforman: la toma de agua cruda, la tubería de aducción, el canal de entrada a la planta potabilizadora, los floculadores, 3 sedimentadores, 6 filtros, el tanque de almacenamiento (capacidad de 1 000 000 galones), la tina de sedimentación, el lecho de secado (dos tanques rectangulares abiertos), el edificio de tres niveles de químicos, el edificio de administración con sus respectivos laboratorios, la línea de conducción, las interconexiones, los tanques de almacenamiento en cerro Pelado y cerro Los Pavos, el sistema hidroneumático y los medidores de caudal (IDAAN, sf).

De acuerdo a investigaciones realizadas en teoría de grafos, se puede diseñar redes de abastecimiento de agua no vulnerables y fiables a

costo mínimo (Kessler et al, 1990). Por otra parte, Gutiérrez et al (2011), emplea técnicas de teoría de grafos basados en un conjunto de medidas (espectrales y estadísticas), para clasificar distintos tipos de redes, analizar sus estructuras y cuantificar su vulnerabilidad, robustez y tolerancia a fallas y ataques.

Debido a la complejidad de la red, y para el objetivo del estudio, escogimos un sector de la población cercano a la fuente de agua, Residencial Villa Belén. Según Bartolí (2013), por el tipo de diseño topográfico es conveniente el modelado de la red de distribución de agua a través de la teoría de grafos, lo cual consiste en asociar a los nudos de consumo un vértice y a las tuberías que los conectan un arco o arista. La red resultante es representada computacionalmente a través del Programa EPANET (Rossman, 2002). EPANET es un software que implementa el método iterativo de Newton Raphson para producir una solución a la red. Comparando los resultados obtenidos a través del software EPANET con los parámetros suministrados por el IDAAN se mostró que el sistema actual de distribución de agua potable no cumple con las normas y requerimientos mínimos de eficiencia hidráulica. La investigación promueve la elaboración de un procedimiento que permite generar un plano de red sectorizada que divida la red de distribución de agua potable para satisfacer varios objetivos que mejoren el control de distribución, calidad y fugas (Campbell, 2013), o la implementación de un servicio de agua intermitente (García, 2006).

MATERIALES Y MÉTODOS

Escogimos el Residencial Villa Belén (Figura 1), el cual está ubicado en el corregimiento de Penonomé, Vía Sonadora, frente a las instalaciones provinciales del Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA), a tres kilómetros de la planta Potabilizadora de Penonomé. El residencial cuenta con 330 habitantes en promedio y 66 viviendas, según datos suministrados por el IDAAN.

Para el diseño de la red de distribución de agua potable, se utilizó información específica, tal como: Sector del sistema de abastecimiento

con red existente y de proyectos anteriores, características topográficas de la localidad y población existente.

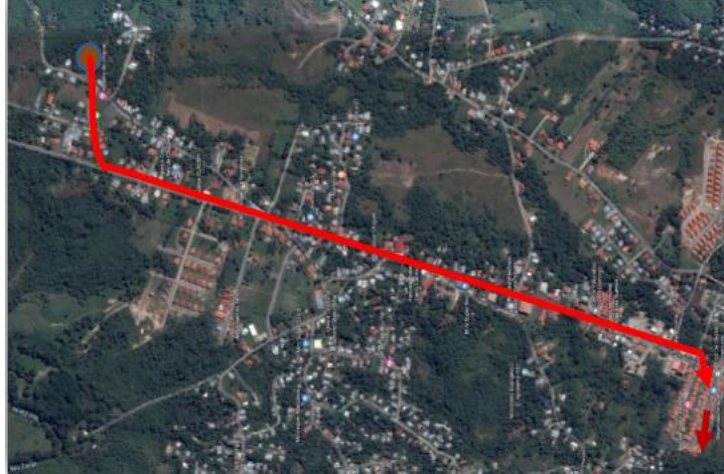


Fig. 1 Ubicación de la Planta potabilizadora en relación al residencial Villa Belén

Fuente: Captura desde el sistema Google Earth.



Fig. 2 Residencial Villa Belén

Fuente: Captura desde el sistema Google Earth.

La Tabla 1 muestra los parámetros que se utilizaron para el diseño de la red actual, según el reglamento del Instituto de Acueducto y Alcantarillado Nacionales (IDAAN).

Tabla 1. Datos de la red actual

Población(P)	300	Habitantes
Dotación Neta (D)	378.5	<i>L/hab * dia</i>
Coefficiente de variación diaria (CV_d)	1.40	
Coefficiente de variación horaria (CV_h)	1.55	
Longitud entre nodo de la red	7	m
Longitud de red total	457.2	m
Demanda anual (Q_{ma})	1.31	(L/s)
Demanda diaria (Q_{md})	1.83	(L/s)
Demanda por hora (Q_{mh})	2.84	(L/s)
q unitario	0.006212	(L/s).m

Fuente: Reglamento del IDAAN.

La Tabla 2 describe las velocidades máximas y mínimas del agua, a través de los distintos tipos de tuberías (datos ofrecidos por el IDAAN permisibles en tuberías) de la red de nodos.

Tabla 2. Velocidades máximas y mínimas de tuberías

MATERIAL DE LA TUBERÍA	VELOCIDAD (m/s)	
	MÁXIMA	MÍNIMA
Concreto simple hasta 45 cm de diámetro	3,00	0,30
Concreto reforzado de 60 cm de diámetro o mayores	3,50	0,03
Concreto pres-forzado	3,50	0,30
Acero con revestimiento	5,00	0,30
Acero sin revestimiento	5,00	0,30
Acero galvanizado	5,00	0,30
Asbesto cemento	5,00	0,30
Fierro fundido	5,00	0,30
Hierro dúctil	5,00	0,30
Polietileno de alta densidad	5,00	0,30
PVC (Poli-cloruro de vinilo)	5,00	0,30

Fuente: Datos según reglamento del IDAAN.

Otro parámetro que fue considerado para la elaboración de la actual red fue la presión del agua.

- **Presiones:** Se utiliza para medir, las cantidades de agua que pasa por las tuberías. Deben estar en el rango mínimo de 150 libras/pulgadas² (IDAAN, 2016), que equivale a 105.46 metros (conversión requerida por EPANET).
- **Elevación (cota):** La altura en que se encuentra las residencias del sector

La tabla3 muestra la distancia entre los nodos de la red del residencial.

Tabla 3. Distancia entre los nudos del sector Residencial Villa Belén

Fuente	Nodo	Distancia (m)
N ₁	N ₂	3 000
N _i	N _j	7.00 (i>j, i=2..60)

Fuente: Datos del IDAAN.

A través de Google Earth, se obtuvieron las Cotas o elevaciones de cada una de las Residencias (ver tabla 4).

Tabla 4. Cotas de las residencias

Casa Núm.	Este	Norte	Elevación (m)	Casa Núm.	Este	Norte	Elevación (m)
1	571659	941949	15	31	571593	941904	14
2	571642	941956	18	32	571580	941911	14
3	571630	941958	12	33	571566	941912	14
4	571615	941966	16	34	571553	941918	14
5	571602	941969	14	35	571541	941923	13
6	571590	941975	14	36	571528	941932	16
7	571579	941982	13	37	571517	941934	11
8	571564	941987	16	38	571503	941940	15

Continuación Tabla 4.

Casa Núm.	Este	Norte	Elevación (m)	Casa Núm.	Este	Norte	Elevación (m)
9	571553	941993	13	39	571491	941944	13
10	571538	941996	15	40	571478	941946	13
11	571526	942000	13	41	571467	941958	17
12	571500	942010	28	42	571441	941983	36
13	571486	942019	17	43	571439	941969	15
14	571479	941990	30	44	571434	941956	14
15	571492	941983	14	45	571433	941943	13
16	571504	941981	12	46	571432	941926	17
17	571516	941976	13	47	571458	941921	26
18	571531	941970	16	48	571471	941915	15
19	571543	941967	12	49	571486	941910	15
20	571553	941960	12	50	571497	941908	12
21	571568	941953	16	51	571513	941903	16
22	571580	941948	13	52	571524	941896	13
23	571595	941943	16	53	571538	941893	14
24	571607	941940	13	54	571550	941887	14
25	571620	941933	14	55	571564	941885	14
26	571633	941929	14	56	571577	941880	14
27	571645	941920	15	57	571591	941876	15
28	571636	941894	28	58	571605	941869	15
29	571620	941895	16	59	571619	941867	15
30	571605	941898	15	60	571615	941855	13

Fuente: Datos generados desde Google Earth.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al aplicar algoritmos matemáticos encontramos los siguientes resultados:

En cuanto a la población:

La población que consume el agua de la red de distribución de agua potable de Penonomé está constituida por personas de zonas residenciales y rurales, comercios, industrias y el sector gubernamental. Según el Censo de Población y Vivienda (2010), la población asciende a 21748. La tasa anual de crecimiento es de 0.37.

En la tabla 5, se presenta la población del corregimiento de Penonomé cabecera proyectada hasta el año 2050.

Tabla 5. Proyección de la población hasta el año

1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
12117	15841	21748	27655	33562	39469	45376

Fuente: Elaboración propia.

Sabemos que las cifras anteriores se verán afectadas por varios factores como la migración y el desempleo. Según el IDAAN (2019), la población actual es de 35995 personas, lo cual significa que la población ha superado la proyección lineal anterior (y ha sobrepasado la población del año 2030). No utilizamos proyección exponencial porque no es realista. Según Berríos (2018), los usuarios panameños consumen 103 galones diarios de agua. Lo que significa, que de acuerdo a la proyección lineal para el año 2020, se consumen 2 848 465 millones de galones diarios en el corregimiento de Penonomé. De acuerdo a la población real (IDAAN, 2019), se consumen 3 707 485 millones de galones diarios. No contamos con los datos específicos de consumo de los comercios, las industrias y el sector gubernamental. Pero a nivel nacional, entre los tres estamentos se consumen un aproximado de 38 384 millones de galones diarios (Berríos, 2018). Supongamos que, en Penonomé, estos estamentos consumen 1 000 000 galones diarios, esto significa que la red está distribuyendo un total de 3 848 465 de millones de galones diarios (proyección lineal) o 4 707 485 millones de galones diarios (población real). De acuerdo al IDAAN (2019), la capacidad nominal de la planta potabilizadora es de 6 millones de galones diarios y la capacidad real es de 4,99 millones de galones diarios. Todo lo anterior significa que, la red de distribución

de agua potable del Distrito de Penonomé está próximo al límite superior del consumo diario.

En cuanto al tipo de red:

Por inspección, la red de distribución de agua potable del corregimiento de Penonomé posee un ramal principal que a su vez se parte en ramales secundarios que finalizan en puntos ciegos los cuales no tienen interconexiones con otras tuberías. El agua circula por la red en un único sentido y a la tubería principal se extiende a través de tuberías secundarias, y terciarias, etc. Además, la red se amplía según la aparición de nuevos usurarios. Este proceso se realiza sin planificación alguna. Por lo anterior, concluimos que el tipo de red de distribución de agua del corregimiento de Penonomé es ramificada o abierta (ver Figura 3).



Fig. 3 Red de distribución de agua de Penonomé, tipo ramificada Fuente. Captura desde el sistema Google Earth, modificado por los autores

Este tipo de red presenta el problema de que una avería, en cualquier punto de la misma, deja en seco toda la red a a partir del punto de la avería. Además, se cuenta con pocas instalaciones de fuentes para hacer limpiezas para evitar la acumulación de sedimentos y otros.

La red asociada al Residencial Villa Belén

Debido a la dimensión de la red de distribución de agua potable del corregimiento de Penonomé, se decidió realizar el estudio sobre un sector cercano a la fuente de abastecimiento con un número convenientemente limitado de usuarios. Esto justifica la elección del Residencial Villa Belén.

Diseñamos la red asociada al residencial al Villa Belén, considerando las presiones, velocidades y diámetro de las tuberías, según las conexiones de las tuberías principales y domiciliarias de 2, 4 y 6 pulgadas. Con los datos de las tablas 2,3 y 4, estructuramos la red del sector (ver Figura 4).

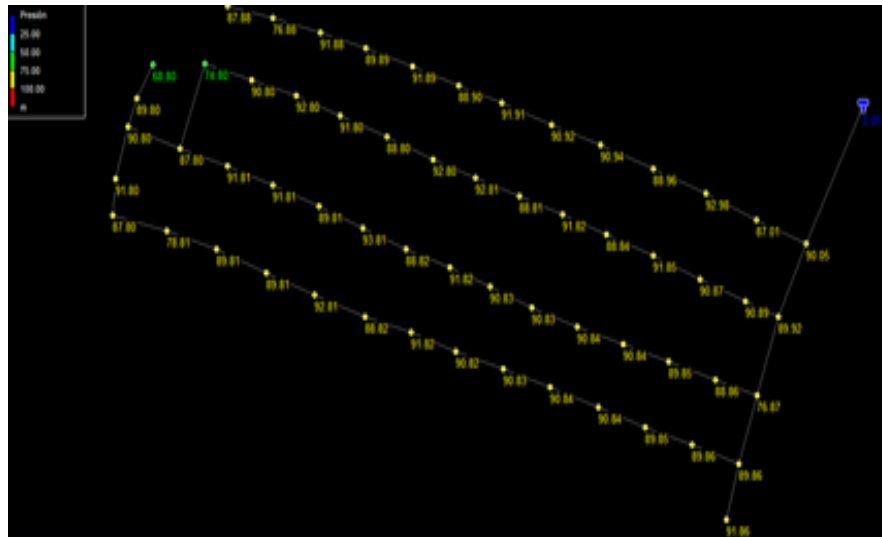


Fig. 4 Diseño de la red actual
Fuente: Diagrama obtenido de EPANET.

A partir del diseño de la figura 3, se deducen los datos de la tabla 6, correspondiente a las presiones en cada tramo de tubería.

Tabla 6. Red de presiones en los nudos

	Cota	Demanda Base	Demanda	Presión		Cota	Demanda Base	Demanda	Presión
Conexión 2	15	0.07	0.07	90.05	Conexión 33	14	0.02	0.02	90.84
Conexión 3	18	0.07	0.07	87.01	Conexión 34	14	0.02	0.02	90.83
Conexión 4	12	0.07	0.07	92.98	Conexión 35	14	0.02	0.02	90.83
Conexión 5	16	0.07	0.07	88.96	Conexión 36	13	0.02	0.02	91.82
Conexión 6	14	0.07	0.07	90.94	Conexión 37	16	0.02	0.02	88.82
Conexión 7	14	0.07	0.07	90.92	Conexión 38	11	0.02	0.02	93.81
Conexión 8	13	0.07	0.07	91.91	Conexión 39	15	0.02	0.02	89.81
Conexión 9	16	0.07	0.07	88.9	Conexión 40	13	0.02	0.02	91.81
Conexión 10	13	0.07	0.07	91.89	Conexión 41	13	0.02	0.02	91.81
Conexión 11	15	0.07	0.07	89.89	Conexión 42	17	0.02	0.02	87.8
Conexión 12	13	0.07	0.07	91.88	Conexión 43	36	0.02	0.02	68.8
Conexión 13	28	0.07	0.07	76.88	Conexión 44	15	0.02	0.02	89.8
Conexión 14	17	0.07	0.07	87.88	Conexión 45	14	0.02	0.02	90.8
Conexión 15	30	0.07	0.07	74.8	Conexión 46	13	0.02	0.02	91.8
Conexión 16	14	0.07	0.07	90.8	Conexión 47	17	0.02	0.02	87.8
Conexión 17	12	0.07	0.07	92.8	Conexión 48	26	0.02	0.02	78.81
Conexión 18	13	0.07	0.07	91.8	Conexión 49	15	0.02	0.02	89.81
Conexión 19	16	0.07	0.07	88.8	Conexión 50	15	0.02	0.02	89.81
Conexión 20	12	0.07	0.07	92.8	Conexión 51	12	0.02	0.02	92.81
Conexión 21	12	0.07	0.07	92.81	Conexión 52	16	0.02	0.02	88.82

continuación Tabla 6.

	Cota	Demanda Base	Demanda	Presión		Cota	Demanda Base	Demanda	Presión
Conexión 22	16	0.07	0.07	88.81	Conexión 53	13	0.02	0.02	91.82
Conexión 23	13	0.07	0.07	91.82	Conexión 54	14	0.02	0.02	90.82
Conexión 24	16	0.07	0.07	88.84	Conexión 55	14	0.02	0.02	90.83
Conexión 25	13	0.07	0.07	91.85	Conexión 56	14	0.02	0.02	90.84
Conexión 26	14	0.07	0.07	90.87	Conexión 57	14	0.02	0.02	90.84
Conexión 27	14	0.07	0.07	90.89	Conexión 58	15	0.02	0.02	89.85
Conexión 28	15	0.07	0.07	89.92	Conexión 59	15	0.02	0.02	89.86
Conexión 29	28	0.07	0.07	76.87	Conexión 60	15	0.02	0.02	89.86
Conexión 30	16	0.07	0.07	88.86	Conexión 61	13	0.02	0.02	91.86
Conexión 31	15	0.07	0.07	89.85	Depósito 1	103	No Disponible	-2.7	2.05
Conexión 32	14	0.02	0.02	90.84					

Fuente: Datos obtenidos de EPANET.

Se observa que, en la tabla 6, la presión mínima está por debajo del rango admitido por el IDAAN, 93.0 m.

Luego de realizar el diseño en EPANET (Figura 5), obtenemos la siguientes velocidades (tabla 7).

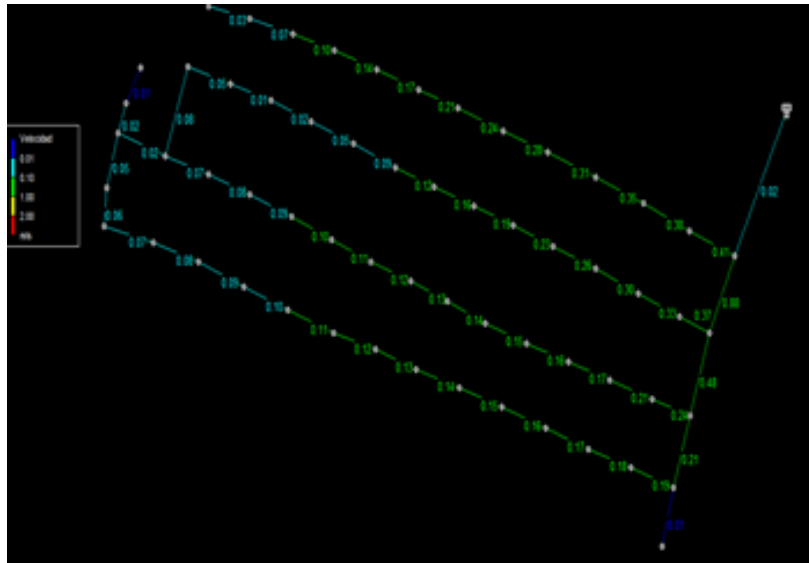


Fig. 5 Red actual de las conexiones o viviendas
Fuente: Diagrama obtenido de EPANET.

Al analizar la tabla 7, encontramos que las velocidades en los distintos tramos si cumplen con el rango admitido, según el reglamento del IDAAN.

De los resultados anteriores, se tiene que los usuarios del Residencial Villa Belén no cuentan con un suministro eficiente de agua potable, a pesar de la cercanía a la fuente que abastece a la Planta Potabilizadora Efraín Meneses.

Estudiamos la posibilidad de reducir la problemática del servicio de distribución de agua al Residencial Villa Belén ampliando el diámetro de cada tubería del sector a 100 mm y además, se colocó un tanque de reserva entre la conexión 1 y la conexión 2. Por lo cual, se obtiene la red de la figura 6.

Tabla 7. Red de velocidades en las tuberías

	Longitud	Diámetro	Velocidad		Longitud	Diámetro	Velocidad
ID Línea	m	mm	m/s	ID Línea	m	mm	m/s
Tubería 1	3000	457.2	0.02	Tubería 33	7.62	50.8	0.13
Tubería 2	7.62	50.8	0.41	Tubería 34	7.62	50.8	0.12
Tubería 3	7.62	50.8	0.38	Tubería 35	7.62	50.8	0.11
Tubería 4	7.62	50.8	0.35	Tubería 36	7.62	50.8	0.1
Tubería 5	7.62	50.8	0.31	Tubería 37	7.62	50.8	0.09
Tubería 6	7.62	50.8	0.28	Tubería 38	7.62	50.8	0.08
Tubería 7	7.62	50.8	0.24	Tubería 39	7.62	50.8	0.07
Tubería 8	7.62	50.8	0.21	Tubería 40	7.62	50.8	0.19
Tubería 9	7.62	50.8	0.17	Tubería 41	7.62	50.8	0.18
Tubería 10	7.62	50.8	0.14	Tubería 42	7.62	50.8	0.17
Tubería 11	7.62	50.8	0.1	Tubería 43	7.62	50.8	0.16
Tubería 12	7.62	50.8	0.07	Tubería 44	7.62	50.8	0.15
Tubería 13	7.62	50.8	0.03	Tubería 45	7.62	50.8	0.14
Tubería 15	7.62	50.8	0.33	Tubería 46	7.62	50.8	0.13
Tubería 16	7.62	50.8	0.3	Tubería 47	7.62	50.8	0.12
Tubería 17	7.62	50.8	0.26	Tubería 48	7.62	50.8	0.11
Tubería 18	7.62	50.8	0.23	Tubería 49	7.62	50.8	0.1
Tubería 19	7.62	50.8	0.19	Tubería 50	7.62	50.8	0.09

Continuación Tabla 7.

	Longitud	Diámetro	Velocidad		Longitud	Diámetro	Velocidad
ID Línea	m	mm	m/s	ID Línea	m	mm	m/s
Tubería 20	7.62	50.8	0.16	Tubería 51	7.62	50.8	0.08
Tubería 21	7.62	50.8	0.12	Tubería 52	7.62	50.8	0.01
Tubería 22	7.62	50.8	0.09	Tubería 53	7.62	50.8	0.88
Tubería 23	7.62	50.8	0.05	Tubería 54	7.62	50.8	0.48
Tubería 24	7.62	50.8	0.02	Tubería 55	7.62	50.8	0.21
Tubería 25	7.62	50.8	0.01	Tubería 56	7.62	50.8	0.07
Tubería 26	7.62	50.8	0.05	Tubería 57	7.62	50.8	0.06
Tubería 27	7.62	50.8	0.24	Tubería 58	7.62	50.8	0.05
Tubería 28	7.62	50.8	0.21	Tubería 59	7.62	50.8	0.02
Tubería 29	7.62	50.8	0.17	Tubería 60	7.62	50.8	0.01
Tubería 30	7.62	50.8	0.16	Tubería 61	7.62	50.8	0.08
Tubería 31	7.62	50.8	0.15	Tubería 62	7.62	50.8	0.02
Tubería 32	7.62	50.8	0.14	Tubería 63	7.62	50.8	0.37

Fuente: Elaboración propia, aplicación del software EPANET.

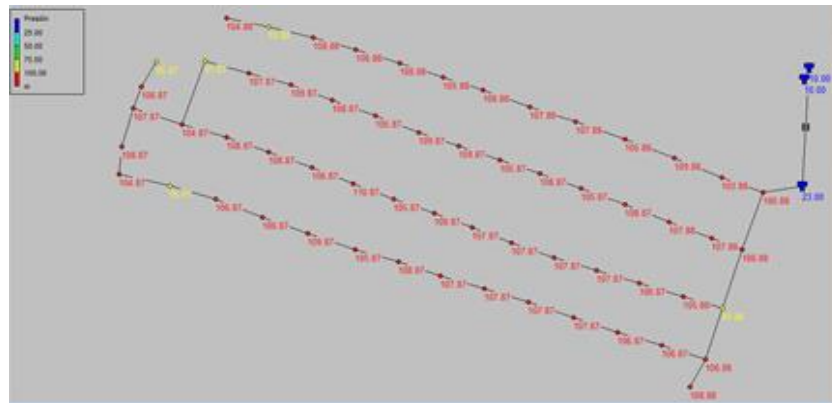


Fig. 6 Red modelada con la implementación de tanque de reserva
Fuente: Resultados obtenidos de la aplicación de EPANET.

Con la modificación anterior, se obtiene las nuevas presiones (ver tabla 8).

Tabla 8. Red modificada con las nuevas presiones

	Demand a Base	Presión		Demanda Base	Presión
	LPS	m		LPS	m
ID Nudo	0.07	106.88	Conexión 33	0.02	107.87
Conexión 2	0.07	103.88	Conexión 34	0.02	107.87
Conexión 3	0.07	109.88	Conexión 35	0.02	108.87
Conexión 4	0.07	105.88	Conexión 36	0.02	105.87
Conexión 5	0.07	107.88	Conexión 37	0.02	110.87
Conexión 6	0.07	107.88	Conexión 38	0.02	106.87
Conexión 7	0.07	108.88	Conexión 39	0.02	108.87
Conexión 8	0.07	105.88	Conexión 40	0.02	108.87
Conexión 9	0.07	108.88	Conexión 41	0.02	104.87
Conexión 10	0.07	106.88	Conexión 42	0.02	85.87
Conexión 11	0.07	108.88	Conexión 43	0.02	106.87
Conexión 12	0.07	93.88	Conexión 44	0.02	107.87

continuación Tabla 8.

	Demand a Base	Presión		Demanda Base	Presión
	LPS	m		LPS	m
Conexión 13	0.07	104.88	Conexión 45	0.02	108.87
Conexión 14	0.07	91.87	Conexión 46	0.02	104.87
Conexión 15	0.07	107.87	Conexión 47	0.02	95.87
Conexión 16	0.07	109.87	Conexión 48	0.02	106.87
Conexión 17	0.07	108.87	Conexión 49	0.02	106.87
Conexión 18	0.07	105.87	Conexión 50	0.02	109.87
Conexión 19	0.07	109.87	Conexión 51	0.02	105.87
Conexión 20	0.07	109.87	Conexión 52	0.02	108.87
Conexión 21	0.07	105.87	Conexión 53	0.02	107.87
Conexión 22	0.07	108.87	Conexión 54	0.02	107.87
Conexión 23	0.07	105.87	Conexión 55	0.02	107.87
Conexión 24	0.07	108.87	Conexión 56	0.02	107.87
Conexión 25	0.07	107.88	Conexión 57	0.02	106.87
Conexión 26	0.07	107.88	Conexión 58	0.02	106.87
Conexión 27	0.07	106.88	Conexión 59	0.02	106.88
Conexión 28	0.07	93.88	Conexión 60	0.02	108.88
Conexión 29	0.07	105.88	Conexión 61	No Disponible	23
Conexión 30	0.07	106.87	Depósito 1	No Disponible	10
Conexión 31	0.02	107.87	Depósito 62	No Disponible	10
Conexión 32	0.02	107.87	Depósito 63		

Fuente: Datos obtenidos del Programa EPANET

Se observa un número mínimo de 5 casas, que tienen la presión por debajo de lo establecido por el IDAAN. Esta modificación podría mejorar el sistema de abastecimiento de agua potable a este residencial. Claro está que esto implicaría costos adicionales al sistema de distribución. En cuanto a las velocidades, se obtuvieron los datos siguientes (Tabla 9).

Tabla 9. Red modificada de las nuevas velocidades

ID Línea	Longitud	Diámetro	Velocidad	ID Línea	Longitud	Diámetro	Velocidad
	m	mm	m/s		m	mm	m/s
Tubería 1	3000	100	0.34	Tubería 34	7.62	100	0.03
Tubería 2	7.62	100	0.11	Tubería 35	7.62	100	0.03
Tubería 3	7.62	100	0.1	Tubería 36	7.62	100	0.03
Tubería 4	7.62	100	0.09	Tubería 37	7.62	100	0.02
Tubería 5	7.62	100	0.08	Tubería 38	7.62	100	0.02
Tubería 6	7.62	100	0.07	Tubería 39	7.62	100	0.02
Tubería 7	7.62	1001	0	Tubería 40	7.62	100	0.05
Tubería 8	7.62	100	0.05	Tubería 41	7.62	100	0.05
Tubería 9	7.62	100	0.04	Tubería 42	7.62	100	0.04
Tubería 10	7.62	100	0.04	Tubería 43	7.62	100	0.04
Tubería 11	7.62	100	0.03	Tubería 44	7.62	100	0.04
Tubería 12	7.62	100	0.02	Tubería 45	7.62	100	0.04
Tubería 13	7.62	100	0.01	Tubería 46	7.62	100	0.03
Tubería 15	7.62	100	0.08	Tubería 47	7.62	100	0.03
Tubería 16	7.62	100	0.08	Tubería 48	7.62	100	0.03
Tubería 17	7.62	100	0.07	Tubería 49	7.62	100	0.03
Tubería 18	7.62	100	0.06	Tubería 50	7.62	100	0.02
Tubería 19	7.62	100	0.05	Tubería 51	7.62	100	0.02

Continuación Tabla 9.

	Longitud	Diámetro	Velocidad		Longitud	Diámetro	Velocidad
ID Línea	m	mm	m/s	ID Línea	m	mm	m/s
Tubería 20	7.62	100	0.04	Tubería 52	7.62	100	0
Tubería 21	7.62	100	0.03	Tubería 53	7.62	100	0.23
Tubería 22	7.62	100	0.02	Tubería 54	7.62	100	0.13
Tubería 23	7.62	100	0.01	Tubería 55	7.62	100	0.05
Tubería 24	7.62	100	0	Tubería 56	7.62	100	0.02
Tubería 25	7.62	100	0	Tubería 57	7.62	100	0.02
Tubería 26	7.62	100	0.01	Tubería 58	7.62	100	0.01
Tubería 27	7.62	100	0.06	Tubería 59	7.62	100	0.01
Tubería 28	7.62	100	0.05	Tubería 60	7.62	100	0
Tubería 29	7.62	100	0.05	Tubería 61	7.62	100	0.02
Tubería 30	7.62	100	0.04	Tubería 62	7.62	100	0.01
Tubería 31	7.62	100	0.04	Tubería 63	7.62	100	0.09
Tubería 32	7.62	100	0.04	Tubería 14	3000	457.2	1.79
Tubería 33	7.62	100	0.04				

Fuente: Datos obtenidos del Programa EPANET

Estos datos indican que no existen problemas de velocidad en la red por cambio de diámetro de las tuberías.

CONCLUSIONES

Al finalizar el presente proyecto de investigación, podemos llegar a las siguientes conclusiones:

La red de distribución de agua potable del distrito de Penonomé se ha vuelto compleja para su operación, debido al anexo de nuevos residenciales, crecimiento de la población, migración, crecimiento de los sectores comerciales, industriales y gubernamentales.

La red de distribución de agua potable está próxima a alcanzar el máximo de su capacidad de distribución diaria (6 millones de galones diarios).

La red de distribución de agua potable Efraín Meneses en algunos sectores no es eficiente hidráulicamente.

El tipo de red utilizado es el ramificado abierto, lo cual impide la regulación de presiones y caudales, y puntos muertos de circulación nula. Además, la falla en uno de los tramos de tuberías implica dejar sin suministro de agua potable a un gran número de usuarios de la red.

De mantenerse la actual tipología de la red, se recomienda el cambio de las tuberías actuales a tuberías con un diámetro mínimo de 100 mm para mejorar el rendimiento hidráulico.

Se recomienda la sectorización de la red de distribución de agua para resolver problemáticas de sectores particulares como el caso del residencial Villa Belén. A través del sectoramiento, se pueden reducir fugas, mejorar la presión y velocidad del agua, y mejorar la calidad del agua.

En caso de no ejecutar la sectorización, recomendamos la implementación de un sistema de servicio de agua intermitente para realizar una distribución del producto a todos los nodos de la red.

También, es importante estudiar algunos factores que puedan afectar la fuente de la planta potabilizadora Efraín Meneses tales como: la capacidad de almacenamiento de las rocas y suelo a lo largo de la cuenca del Río Zaratí; realizar un análisis de la calidad del agua antes de entrar a la fuente que abastece la planta de distribución (metales, minerales, etc.); de igual manera, se recomienda realizar un estudio de la calidad del agua a lo largo de la red de distribución de agua potable de Penonomé; es importante conocer el nivel de correntía y sedimentación de la vertiente del Río Zaratí; debido al cambio climático, no menos importante es el estudio de la desaparición de especies de mangle por incremento de contaminantes o niveles de salinidad; y por último, el nivel de satisfacción de los sectores de población que consumen el vital líquido de la red de distribución de agua potable de Penonomé.

REFERENCIAS

Bartolí, H. (2013) “Confección de modelos de redes de distribución de agua desde un SIG y desarrollo de herramientas de apoyo a la toma de decisiones”. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia, España.

Berriós, Adolfo. (2018). No son los ‘marginales’ quienes consumen más agua en Panamá. TVN Noticias. https://www.tvn-2.com/nacionales/Panama-consumen-galones-diarios-persona_0_4996750276.html.

Campbell, E. (2013). Propuesta para una metodología de sectorización de redes de abastecimiento de agua potable. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.

ECURED, s/f. Distrito de Penonomé (Panamá). [https://www.ecured.cu/Distrito de Penonom %C3%A9 \(Panam %C3%A1\)](https://www.ecured.cu/Distrito%20de%20Penonom%C3%A9%20(Panam%C3%A1)).

Gutiérrez-Pérez, Joanna A; Herrera, Manuel; Izquierdo, Joaquín; Pérez-García, Rafael (2011). Grupo Fluing - Instituto de Matemática Multidisciplinar (IMM) – Universidad Politécnica de Valencia, Camino de Vera s/n, 46022, Valencia – España.

IDAAN (2016). Normas técnicas para aprobación de planos de los sistemas de acueductos y alcantarillados. <https://www.idaan.gob.pa/wp-content/uploads/2016/04/Normativas.pdf>.

IDAAN (2019). Sistemas de información geográfica. SIG Geoportal. <https://www.idaan.gob.pa/geoportal/>.

Kessler, A.; Ormsbee, L.; Shamir, U. (1990). A methodology for Least-Cost Design of Invulnerable Water Distribution Networks. Civil Engineering Systems, Vol. 7, No. 1, pp. 20-28.

Rossman, Lewis (2000). EPANET 2. Manual de usuario. Water Supply and Water Resources Division National Risk Management Research Laboratory U.S. environmental protection agency Cincinnati, 45268.

S. Autor. Cuadro 11: Superficie, población y densidad de población, según provincia, comarca indígena, distrito y corregimiento: censos de 1990 a 2010. <https://www.google.com/search?q=cuadro+11&oq=cuadro+11&aqs=chrome.69i57j0l7.2112j0j8&sourceid=chrome&ie=UTF-8#>.

Recibido 17 de enero de 2020, aceptado 20 de febrero de 2020.