

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



Una Institución Adventista

**Análisis del sistema de la red de distribución de agua,
usando EPANET en áreas rurales**

Trabajo de Investigación para obtener el Grado Académico de
Bachiller en Ingeniería Civil

Por:

Loyza Esmil Surita Gil

Asesor:

Ferrer Canaza Rojas

Lima, diciembre 2020

DECLARACION JURADA DE AUTORIA DE TRABAJO DE INVESTIGACION

Ferrer Canaza Rojas, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente trabajo de investigación titulado: “Análisis del sistema de la red de distribución de agua, usando EPANET en áreas rurales” constituye la memoria que presenta el estudiante Loyza Esmil Surita Gil para aspirar al grado de bachiller en Ingeniería Civil, cuyo trabajo de investigación ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este trabajo de investigación son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en LIMA, a los 03, diciembre del 2020.



Ferrer Canaza Rojas

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los 3 día(s) del mes de diciembre del año 2020 siendo las 18:15 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión campus Lima, bajo la dirección del (de la) presidente(a): Ing. Carlos Franck Yoctun Ríos....., el (la) secretario(a): Ing. Reymundo Jaulis Palomino..... y los demás miembros: .. Ing. Fiorella Maira Zapata Antezana y el (la) asesor(a)... Ing. Ferrer Canaza Rojas..... con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de investigación titulado: "Análisis del sistema de la red de distribución de agua, usando EPANET en áreas rurales". de los (las) egresados (as):

a) **LOYZA ESMIT SURITA GIL**.....
 b)

conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en:

..... **INGENIERÍA CIVIL**.....

(Denominación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato/a (a): **LOYZA ESMIT SURITA GIL**.....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	16	B	BUENO	MUY BUENO

Candidato/a (b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó ... al... candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

 Presidente
 Ing. Carlos Franck
 Yoctun Ríos



 Secretario
 Ing. Reymundo Jaulis
 Palomino

 Asesor
 Ing. Ferrer Canaza
 Rojas

 Miembro

 Miembro
 Ing. Fiorella Maira
 Zapata Antezana

 Candidato (a)
 Loyza Esmít Surita
 Gil

 Candidato/a (b)

Análisis del sistema de la red de distribución de agua, usando EPANET en áreas rurales

SURITA GIL LOYZA ESMIT*

EP. Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión, Perú

Resumen

El presente artículo tiene como principal objetivo de analizar el sistema de las redes de distribución de agua potable en áreas rurales mediante el uso del software EPANET, con el fin de verificar las velocidades y presiones como establecer diámetros convenientes según el reglamento. EPANET es un programa de simulación, que sigue la evolución del flujo del agua en las tuberías, la presión en los nodos de demanda y del nivel del agua en los depósitos durante la simulación. En dicho análisis del sistema de la red de distribución de agua se plantea una simulación de un modelo estático y uno modelo dinámico, donde la primera supone que los caudales demandados a la red permanecen constantes y la segunda se aplica al transporte o movimiento del fluido de agua. Los resultados obtenidos indican que en la simulación del modelo estático y del modelo dinámico en cuanto a los parámetros de presiones estáticas máximas y presiones dinámicas mínimas son satisfactorios, como también la de sus velocidades. En conclusión, el análisis de la red de distribución demuestra que se debe colocar una combinación de diámetros de forma que se puedan ajustar correctamente al comportamiento de la simulación dinámica y estática.

Palabras clave: Red de distribución de agua; EPANET; modelo estático; modelo dinámico; simulación.

Abstract

The main objective of this article is to analyze the drinking water distribution network system in rural areas through the use of the EPANET software, in order to verify the speeds and pressures and to establish suitable diameters according to the regulations. EPANET is a simulation program, which follows the evolution of the water flow in the pipes, the pressure in the demand nodes and the water level in the reservoirs during the simulation. In said analysis of the water distribution network system, a simulation of a static model and a dynamic model is proposed, where the first assumes that the flows demanded from the network remain constant and the second is applied to the transport or movement of the water fluid. Water. The results obtained indicate that in the simulation of the static model and the dynamic model, the parameters of maximum static pressures and minimum dynamic pressures are satisfactory, as well as their velocities. In conclusion, the analysis of the distribution network shows that a combination of diameters must be placed so that they can be correctly adjusted to the behavior of the dynamic and static simulation.

Keywords: Water distribution network; EPANET; static model; dynamic model; simulation.

**Correspondencia de Loyza Esmil Surita Gil*

Km. 19 Carretera Central, Ñaña, Lima.

E-mail: loyzasurita@upeu.edu.pe

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso esencial para la vida, limitado y con una demanda creciente (Ablan et al., 2009). “El uso de agua y sus distintas aplicaciones en el medio han convertido el estudio de distribución de la misma en la pieza principal para la elaboración de distintos métodos que satisfagan las necesidades de consumo de agua” (Ordoñez Ordoñez, 2017). Ya que Comúnmente se invierte mucho en las grandes ciudades y en todo su entorno urbano, pero en un menor porcentaje en las zonas rurales y lo poco que se invierte lo realiza en varias etapas por lo que pueden ser proyectos que siempre terminan abandonados (Loor Pin, 2011). De aquí que sea de vital importancia buscar diseños que permitan brindar el mejor servicio con los recursos que se encuentren disponibles y operar el sistema de distribución de manera eficiente en términos hidráulicos y económicos (Hernández et al., 2015).

Si bien los sistemas de distribución de agua potable representan una parte fundamental en el desarrollo, bienestar y transcurso cotidiano de la población, en este sentido este tipo de sistemas existe la incertidumbre de la escasez, distribución irregular y la deficiencia en la red de abastecimiento (Idrobo, 2018). En la actualidad los ordenadores permiten mediante software realizar simulaciones para obtener escenarios futuros en donde se analizan: redes de tuberías, cisternas, accesorios, bombas, depósitos, horarios de consumos, demandas, etc. Así tener un control adecuado y garantizar un mejor suministro de agua potable (Chuquin Vasco, 2016).

El presente artículo tiene como principal objetivo analizar el sistema de las redes de distribución de agua potable en áreas rurales mediante el uso del software EPANET, con el fin de verificar las velocidades y presiones como establecer diámetros convenientes según el reglamento. Donde para obtener un análisis eficiente de la red de distribución de agua se realizará una simulación de un modelo dinámico y un modelo estático.

Si bien en los modelos estáticos los caudales demandados e inyectados a la red permanecen constantes, y se admite que no varían las condiciones de operación de la red (Vidal et al., 1994). En los modelos dinámicos, en cambio, se permite la variación temporal de los caudales demandados e inyectados, y también de las condiciones de operación de la red (Vidal et al., 1994).

Para el desarrollo de la modelación se utilizará el programa EPANET el cual se encargará de realizar las simulaciones adecuadas e identificar las deficiencias y problemas de la red (Chuquin Vasco, 2016). “Este programa de dominio público permite calcular complejas redes de abastecimiento, desde un punto de vista hidráulico y de calidad, ofreciendo una rápida capacidad de reacción, así como una previsión del comportamiento del sistema de ayuda en la toma de decisiones” (García Alcaraz, 2006). Siendo este el motivo de realizar el diseño del sistema de distribución de agua potable de las áreas rurales, mediante la aplicación del EPANET, el mismo que será diseñado acorde a las especificaciones actuales de los organismos correspondientes, y por la normativa existente (Loor Pin, 2011).

MATERIALES Y MÉTODOS

Herramienta EPANET

EPANET es un programa de ordenador que realiza simulaciones en periodos prolongados del comportamiento hidráulico (Rossman, 2017). Como también se ha convertido en una herramienta popular en el análisis de redes de distribución de agua complejas y simples en los países desarrollados y en desarrollo del mundo (Venkata Ramanaa et al., 2015).

Por ello el software tiene la capacidad de trabajar con períodos de simulación sobre

hidráulica, además de estar diseñada para ser una herramienta de investigación que fomente la mejora de nuestro conocimiento con respecto al movimiento y comportamiento del agua potable y los elementos que conforman una red (Vera Pereyra, 2018).

Red De Distribución De Agua

Las redes de distribución de agua son sistemas complejos cuyo modo de funcionamiento escapa muchas veces al control de los operadores. El desarrollo no planificado de la red, unido al comportamiento altamente no lineal de sus componentes, obligan hoy en día a utilizar modelos de simulación por ordenador para poder justificar y anticipar aquellos resultados que el razonamiento ya no intuye. Si a ello añadimos la creciente preocupación por garantizar la calidad del agua cuando llega al abonado, la necesidad de recurrir a los modelos queda fuera de toda duda. Afortunadamente, se dispone hoy en día de herramientas de libre acceso como EPANET que pueden ayudarnos enormemente en esta tarea (Martínez Alzamora, 1993).

Tuberías

Las tuberías son líneas que transportan el agua de un nudo a otro (García Avila, 2019). Además la herramienta EPANET utiliza tres metodologías “(Darcy-Weisbach; Hazen-Williams; Chezy-Manning), para lograr simular el comportamiento hidráulico para distintos tipos de tuberías (concreto, acero, PVC, etc.)” (De Plaza Solórzano, 2017). Para el desarrollo del artículo se tomará la metodología de Darcy-Weisbach y tuberías PVC.

Nodos

Los nudos de caudal son los puntos donde confluyen las tuberías, y a través de los cuales el agua entra o sale de la misma (también pueden ser puntos de paso) (Rossman, 2017) . Para dibujar un tramo de tubería es indispensable el uso de las conexiones (De Plaza Solórzano, 2017).

Tanque

Los tanques son nudos con capacidad de almacenamiento, donde el volumen de agua almacenada puede variar con el tiempo a lo largo de la simulación (Batres Mina et al., 2010). Su principal característica es la limitación en la producción de agua, mientras que los embalses tienen agua ilimitada para suministrar (De Plaza Solórzano, 2017). Los almacenamientos o tanques son utilizados en los sistemas de distribución de agua para asegurar la cantidad y la presión del agua disponible en la red. Según su construcción pueden ser superficiales que se emplean cuando se dispone de terrenos elevados cerca de la zona de servicio (Hernández Parrales, 2011), además los tanques requieren de una fuente que los abastezca, ya sea a gravedad (utilizando un embalse) o a presión (utilizando una bomba).

METODOLOGÍA

De acuerdo al “Análisis, diseño, operación y gestión de redes de distribución de agua con EPANET. Este libro menciona sobre cómo se analiza una red cuando a partir de unas características físicas bien establecidas (se conocen con detalle los datos de los elementos que integran el sistema, como la tubería, depósitos y válvulas) y de la demanda que debe satisfacer (incluyendo en la misma su distribución espacial y temporal) se pretende conocer su respuesta. Una respuesta que generalmente se concreta en los niveles de presión, asimismo distribuidos en espacios y tiempo. El análisis, cuando las condiciones en el tiempo apenas si cambia, conviene efectuarlo con el modelo estático y, en caso contrario, con modelos

dinámicos. Y aun cuando, de algún modo, cualquier análisis estático es ideal (todo cambia en el tiempo), siendo mucho más sencillo el estudio, cuando las condiciones de funcionamiento de la red varíen lentamente, siempre es el que más conviene realizar. Y ello es así porque en tal supuesto el error cometido con este análisis simplificado es muy reducido” (Cabrera & Abreu, 2005).

Así mismo el autor (Venkata Ramanaa et al., 2015), menciona sobre el “análisis de red del sistema de distribución de agua en áreas rurales usando EPANET. Define en este artículo que el sistema de distribución de agua es una infraestructura hidráulica que consta de elementos como tuberías, tanques, depósitos, bombas, válvulas, etc. Es crucial proporcionar agua potable a los usuarios finales; por lo tanto, el suministro efectivo de agua es de suma importancia en el diseño de una nueva red de distribución de agua o en la expansión de la existente” (Venkata Ramanaa et al., 2015).

Tal como el autor (Rossman, 2017), “utiliza el manual de EPANET 2.0, así como la norma OS.50 redes de distribución de agua para consumo humano, el cual tiene por objetivo fijar las condiciones exigibles en la elaboración de los proyectos hidráulicos de redes de agua para consumo humano” (Rossman, 2017). Entonces para llevar a cabo esta metodología se tendrá en cuenta el reglamento nacional de edificaciones.

La metodología inicia utilizando un modelo propuesto para ser simulado en el programa EPANET, desarrollando previamente una descripción de la red de distribución y de los parámetros requeridos para tal fin. Posteriormente, se desarrolla las respectivas simulaciones del modelo dinámico y del modelo estático, donde se ajuste mediante de los resultados, y finalmente se discute los resultados de la simulación de la red sugerida.

Descripción De La Red

El proyecto planteado es una red abierta con suministro por gravedad en donde se utilizará el software EPANET para una población rural menor de 2000 habitantes. “La red consta de una línea de conducción y una red de distribución abierta, además de diez tramos de tubería y con once nudos (10 conexiones y 1 tanque)” (De Plaza Solórzano, 2017). Para desarrollar este cometido se dispone del diseño elaborado por el autor (De Plaza Solórzano, 2017), tal como se detalla en la figura 1.

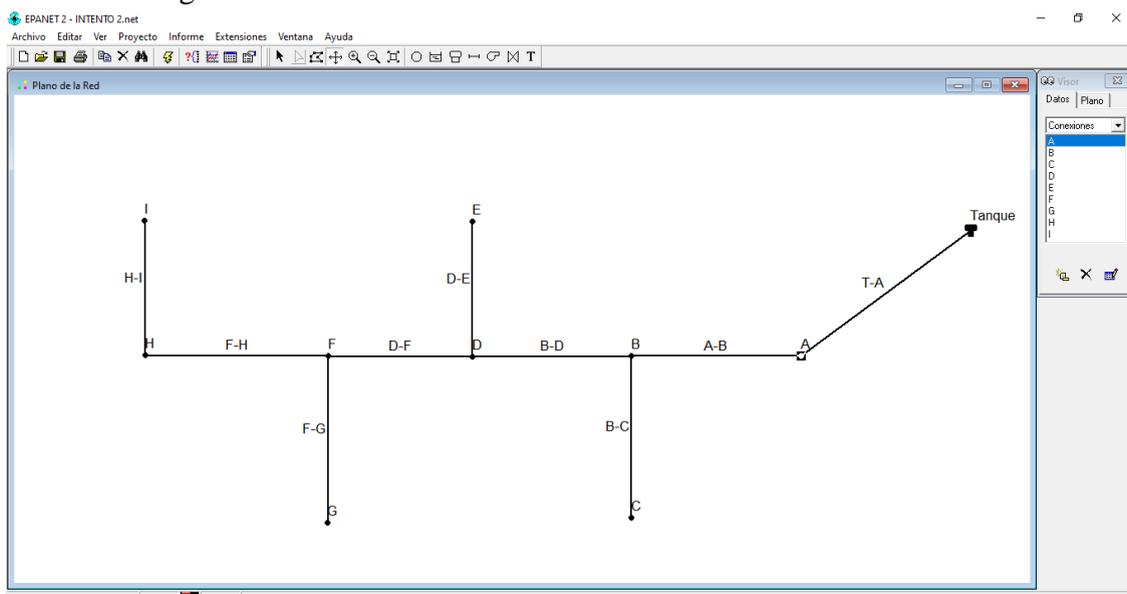


Figura 1. Esquematación de la red de acuerdo al autor (De Plaza Solórzano, 2017).

Recopilación De Información

Cuando se habla de la información para analizar un sistema de distribución, se refiere a la presión, velocidad y diámetros. Tal como se muestra en lo siguiente:

- La presión estática no será mayor de 50 m en cualquier punto de la red, en condiciones de demanda máxima horaria, la presión dinámica no será menor de 10 m (OS.050, 2009).
- Tenemos velocidad mínima de 0.60 m/s y como máxima es de 3.00 m/s (RNE, 2006).
- El diámetro mínimo será de 75 mm para uso de vivienda y de 150 mm para uso industrial (OS.050, 2009).
- En cuanto al material se mantuvo el factor de rugosidad usado en el modelo de referencia según el autor (De Plaza Solórzano, 2017).

Propiedades De La Esquematización De La Red

De acuerdo a la información resumida se considera las propiedades de esquematización de la red. El autor (Vera Pereyra, 2018), “evalúa el comportamiento hidráulico de redes de distribución de agua potable, mediante métodos computacionales convencionales en el distrito de Chupa, dentro de los métodos computacionales se encuentra EPANET donde para dar uso del programa configura unidades, como también establece valores para el correspondiente proyecto”. Para este proyecto se debe utilizar el sistema internacional de medidas donde la demanda está en (L/S) y la metodología de cálculo de pérdidas de energía debe ser según Darcy weisbach (De Plaza Solórzano, 2017).

Tabla 1. Determinación de las Propiedades de las tuberías

Tramo	Longitud (m)	Rugosidad (mm)
Tanque - A	300	No Aplica
A - B	250	0.0015
B - C	100	0.0015
B - D	200	0.0015
D - E	100	0.0015
D - F	100	0.0015
F - G	150	0.0015
F - H	150	0.0015
H - I	150	0.0015

La tabla 2 respecto a las propiedades de las tuberías en el caso de la longitud se proponen, en cambio la rugosidad se mantiene las propiedades del autor (De Plaza Solórzano, 2017).

Tabla 2. Determinación de las propiedades del tanque

Propiedades	Valor (m)
Cota	2000
Nivel inicial	2.00

Nivel mínimo	0.00
Nivel máximo	2.00
Diámetro	4.00

La tabla 3 muestra que el tanque para el diseño presenta un nivel inicial que es la altura de la lámina de agua en el tanque al momento de iniciar la simulación; como también un nivel mínimo que es el valor que se debe establecer para que EPANET asuma que no existe agua almacenada y el nivel máximo establece el momento en que el tanque se encuentra completamente lleno según el autor (De Plaza Solórzano, 2017).

Tabla 3. Determinación de las propiedades de los diámetros de las tuberías PVC para el sistema de abastecimiento según JORVEX ISO 9001

Tubería	Diámetro Nominal (pulg)	Diámetro Exterior (mm)	Espesor Pared (mm)	Diámetro Interno (mm)
Tubería PVC	8"	200.00	9.60	180.80
Tubería PVC	4"	110.00	7.70	94.60
Tubería PVC	3"	90.00	4.30	81.40
Tubería PVC	2.5"	75.00	3.60	67.80
Tubería PVC	2"	63.00	4.40	54.20
Tubería PVC	1.5"	47.90	2.25	43.40

Los diámetros considerados en la tabla 4 son considerados del catálogo JORVEX ISO 9001 – NTP ISO 4422:2003, los tubos PVC son fabricados con espesores de pared, calculados con un factor de seguridad FS= 2.5 exigido por SEDAPAL (ISO9001, 2003).

Simulación Dinámica

Sin embargo, para resolver un modelo de calidad, se necesita obtener la evolución de todas estas variables en el tiempo, y por tanto resolver lo que se conoce como una simulación en Periodo Extendido. En realidad, se trata de una mala traducción del inglés (Extended Period) que mejor podría haberse llamado Periodo Prolongado. En general, cualquier modelo que evoluciona en el tiempo es un modelo dinámico, y los modelos dinámicos vienen caracterizados matemáticamente por ecuaciones diferenciales (o en derivadas parciales). Pero para simular la evolución de presiones y caudales en una red no es necesario recurrir a tales ecuaciones. Afortunadamente, los términos diferenciales representan pequeñas correcciones que pueden obviarse, y así las simulaciones en periodo extendido no son más que una sucesión en el tiempo de estados permanentes. Los términos diferenciales tan solo se aplican para actualizar los niveles del agua en los depósitos de un instante a otro, lo cual EPANET realiza de un modo explícito, es decir, admitiendo que los caudales entrantes o salientes son constantes durante un intervalo de cálculo. Ello provoca en ocasiones fluctuaciones aparentes en los niveles, que se resuelven reduciendo el intervalo de cálculo. A cambio, los cálculos por este método resultan más rápidos (Martinez Alzamora, 2003). En los modelos dinámicos, en cambio, se permite la variación temporal de los caudales demandados e inyectados, y también de las condiciones de operación de la red (Vidal et al., 1994).

Tabla 4. Determinación de las propiedades de los nudos

Nudo	Cota (<i>msnm</i>)	Demanda (<i>L/s</i>)
Tanque	2000	No Aplica
Nudo A	1981	0.00
Nudo B	1981	0.00
Nudo C	1987	0.80
Nudo D	1981	0.00
Nudo E	1987	1.00
Nudo F	1980	0.00
Nudo G	1980	1.50
Nudo H	1980	0.00
Nudo I	1980	1.20

Los datos tomados es según el autor (De Plaza Solórzano, 2017) en la tabla 4, lo cual se puede obtener las cotas y las demandas.

Tabla 5. Primera combinación de diámetros internos

Tramo	Diámetro Interno (<i>mm</i>)
Tanque – A	180.80
A – B	180.80
B – C	180.80
B – D	180.80
D – E	180.80
D – F	180.80
F – G	180.80
F – H	180.80
H – I	180.80

Tabla 6. Segunda combinación de diámetros internos

Tramo	Diámetro Interno (<i>mm</i>)
Tanque – A	94.60
A – B	94.60

B – C	41.00
B – D	81.40
D – E	43.40
D – F	67.80
F – G	54.20
F – H	43.40
H – I	43.40

Simulación Estática

Una vez todos los elementos que configuran el sistema y su modo de comportamiento han sido declarados, estaremos en condiciones de efectuar el equilibrado del sistema, mediante el cual, a partir de las demandas y los niveles en los depósitos, se determinan los caudales que entran o salen de éstos, los caudales circulantes por cada tubería, y las presiones o alturas resultantes en cada uno de los nudos. Es lo que se conoce como cálculo en régimen permanente (Martínez Alzamora, 2003). En los modelos estáticos se supone que los caudales demandados e inyectados a la red permanecen constantes, y se admite que no varían las condiciones de operación de la red, definidas por el estado de las válvulas y equipos de bombeo, y por los niveles en los depósitos dinámicos (Vidal et al., 1994).

Tabla 7. Propiedades de las demandas en los nodos para el modelo estático

Nudo	Cota (msnm)	Demanda (L/s)
Tanque	2000	No Aplica
Nudo A	1981	0.00
Nudo B	1981	0.00
Nudo C	1987	0.00
Nudo D	1981	0.00
Nudo E	1987	0.00
Nudo F	1980	0.00
Nudo G	1980	0.00
Nudo H	1980	0.00
Nudo I	1980	0.00

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados Del Modelo Dinámico

En el modelamiento dinámico se analizó la red de distribución que consta de 10 tuberías del mismo material, 10 uniones y 1 tanque (De Plaza Solórzano, 2017). De tal manera que en el

programa EPANET se realizó la simulación tanto para la primera y segunda combinación de diámetros.

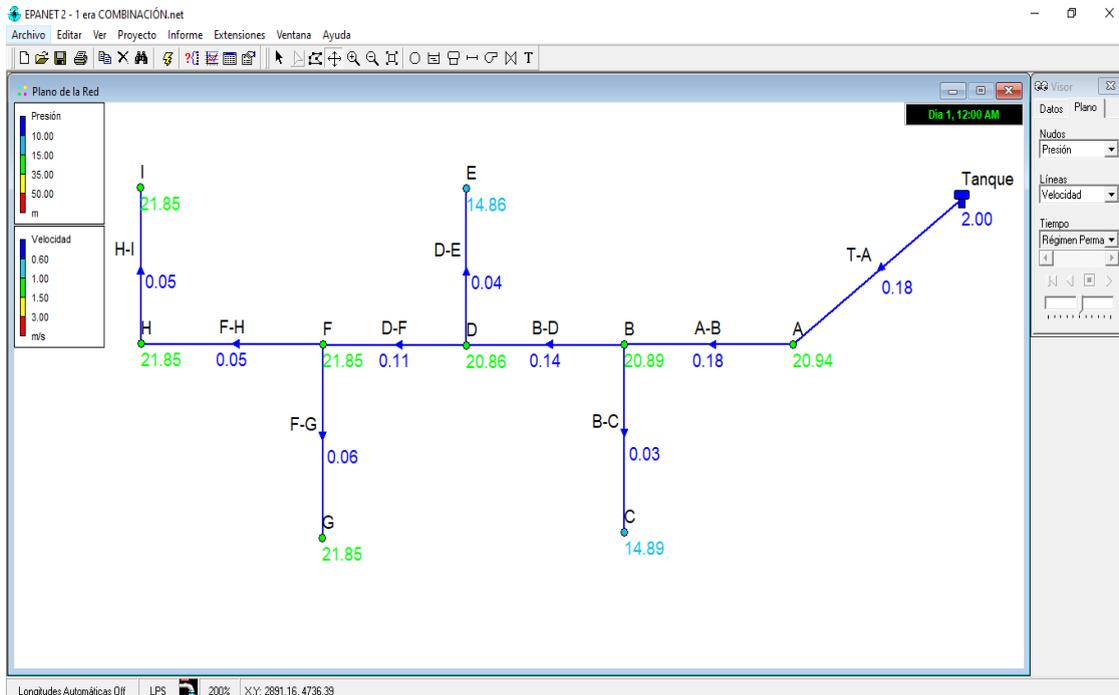


Figura 2. Resultados de la presión y velocidad del modelo dinámico de acuerdo a la primera combinación de diámetros.

Se puede evidenciar que en la figura 2 al realizar la simulación no generó mensajes de error, por ello el valor menor de la presión obtenida es de 14.86 mca quién cumple con la presión dinámica mínima de 10 m, parámetro exigido por el reglamento (RNE, 2006). Cabe resaltar que para la primera combinación se utilizó un diámetro nominal de 8 pulgadas que corresponde a un diámetro interno de 180.8 mm, donde las longitudes de las tuberías entre los nodos son de diferentes medidas y el coeficiente de rugosidad es de 0.0015 mm, tal como se demuestra en la figura 3.

ID Línea	Longitud m	Diámetro mm	Rugosidad mm
Tubería T-A	300	180.80	0.0015
Tubería A-B	250	180.80	0.0015
Tubería B-C	100	180.80	0.0015
Tubería B-D	200	180.80	0.0015
Tubería D-E	100	180.80	0.0015
Tubería D-F	100	180.80	0.0015
Tubería F-G	150	180.80	0.0015
Tubería F-H	150	180.80	0.0015
Tubería H-I	150	180.80	0.0015

Figura 3. Cuadro de resumen de la red de acuerdo a la primera combinación de diámetros internos.

Sin embargo, las velocidades en todos los tramos no cumplen con los parámetros del reglamento, pues tenemos velocidades por debajo de la velocidad mínima de 0.60 m/s parámetro del reglamento nacional de edificaciones (RNE, 2006), tal como se observa en la figura 2. De tal modo el sistema permite disminuir los diámetros actuales.

ID Línea	Longitud m	Diámetro mm	Rugosidad mm
Tubería T-A	300	94.60	0.0015
Tubería A-B	250	94.60	0.0015
Tubería B-C	100	41.00	0.0015
Tubería B-D	200	81.40	0.0015
Tubería D-E	100	43.40	0.0015
Tubería D-F	100	67.80	0.0015
Tubería F-G	150	54.20	0.0015
Tubería F-H	150	43.40	0.0015
Tubería H-I	150	43.40	0.0015

Figura 4. Resultado del cuadro de resumen de diámetros de las tuberías de la segunda combinación.

Por lo tanto, la figura 4 muestra la segunda combinación de diámetros mínimos de la red de distribución, teniendo cuidado de no formar cuellos de botella es decir colocar de un diámetro pequeño a un diámetro grande en el sentido del agua. Si se crean cuellos de botella, la pérdida de energía aumenta significativamente, lo que ocasiona una caída de presión en los nudos que impide cumplir con la presión dinámica de servicio mínimo (De Plaza Solórzano, 2017). Es por ello que los diámetros de la tubería principal que comprende los tramos Tanque-A-B-D-F-H disminuye de forma gradual y en ningún momento se generan cuellos de botella o presiones negativas, lo que garantiza un buen funcionamiento hidráulico, según la figura 4.

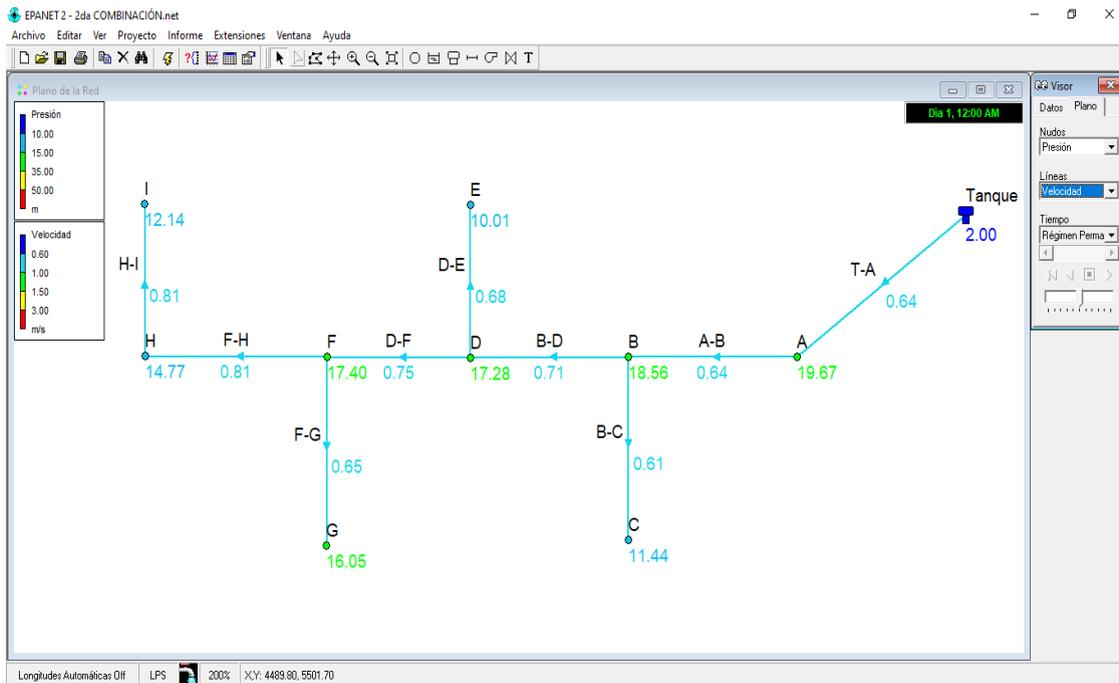


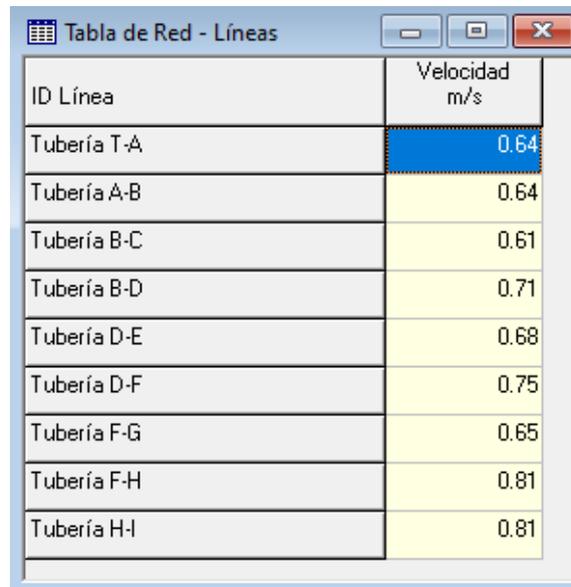
Figura 5. Resultados de la presión y velocidad de la segunda combinación

En la figura 5 los nudos en la red que disponen de demanda tiene una presión dinámica de servicio por encima de los 10 metros columna agua, donde el valor de la presión en el nodo E es de 10.01 m cumpliendo con la presión exigida. Sin embargo, la presión del tanque de almacenamiento resulta como 2.00 m, por que como el tanque se encuentra abierto a la atmosfera, la presión sobre el espejo de agua se toma como cero, es por eso que EPANET calcula la presión hidrostática en el fondo del tanque como el nivel inicial dentro del tanque con un valor de 2m, ese mismo nivel representa la presión ejercida por el fluido en el fondo del tanque (De Plaza Solórzano, 2017).

ID Nudo	Presión m
Conexión A	19.67
Conexión B	18.56
Conexión C	11.44
Conexión D	17.28
Conexión E	10.01
Conexión F	17.40
Conexión G	16.05
Conexión H	14.77
Conexión I	12.14
Depósito Tanque	2.00

Figura 6. Reporte de las presiones dinámicas de la segunda combinación de diámetros.

Mientras que, por otro lado, en el análisis de la red de distribución del modelo dinámico, las velocidades mostradas en el cuadro de resumen según la simulación realizada en EPANET en la figura 7 cumplen con los parámetros exigidos por el reglamento nacional de edificaciones.



ID Línea	Velocidad m/s
Tubería T-A	0.64
Tubería A-B	0.64
Tubería B-C	0.61
Tubería B-D	0.71
Tubería D-E	0.68
Tubería D-F	0.75
Tubería F-G	0.65
Tubería F-H	0.81
Tubería H-I	0.81

Figura 7. Resumen de las velocidades del modelo dinámico según la segunda combinación de diámetros.

Evidentemente se observa a través del visor que la velocidad de 0.61 m/s en el tramo B-C se encuentra dentro del parámetro de la velocidad mínima de 0.60 m/s, como la velocidad de 0.81 m/s del tramo F-H y en el tramo H-I con respecto a la velocidad máxima de 3.00 m/s cumple con lo establecido por el reglamento (RNE, 2006).

Resultados Del Modelo Estático

Para estimar la presión estática, se cambió la demanda en todos los nodos por el valor de cero según la tabla 7, como también se consideró los diámetros internos de la segunda combinación de la tabla 6, puesto que la combinación cumple con los parámetros del reglamento nacional de edificaciones (RNE, 2006). Para ello se volvió a ejecutar las demandas de cada nodo como cero en el programa EPANET. Cabe mencionar que, la presión estática en la red de distribución sin consumo en los nudos permitida según reglamento nacional de edificaciones es de 50 m para cualquier complejidad de sistema (RNE, 2006).

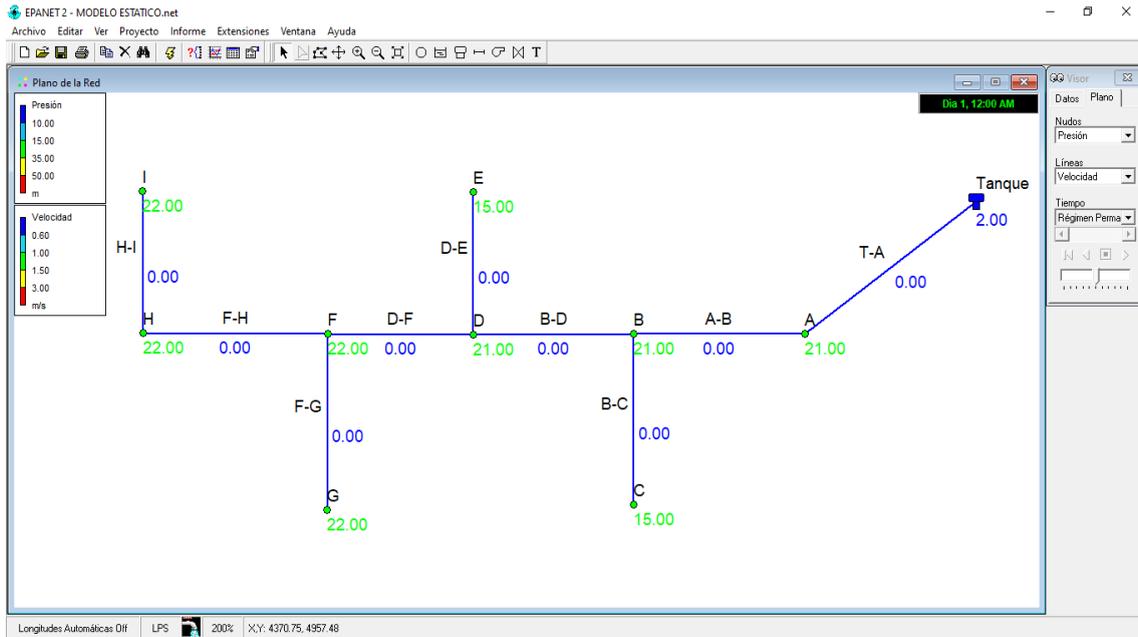


Figura 8. Resultado de la Simulación del modelo estático de acuerdo a la segunda combinación de diámetros.

Al no existir demanda en los nudos, el movimiento dentro de las tuberías es nulo, por ello en la figura 8 el valor de la velocidad en todas las tuberías según resultado de la simulación del modelo estático es cero. En cuanto a la presión se obtuvo los resultados tal como se detalla en la figura 9.

ID Nudo	Presión m
Conexión A	21.00
Conexión B	21.00
Conexión C	15.00
Conexión D	21.00
Conexión E	15.00
Conexión F	22.00
Conexión G	22.00
Conexión H	22.00
Conexión I	22.00
Depósito Tanque	2.00

Figura 9. Cuadro de resultado de presiones según EPANET.

Se observa que los valores en el cuadro de resumen de presiones de la simulación del modelo estático la presión máxima obtenida es de 22 metros columna de agua en los nodos F,G,H e I, de forma que cumple con la presión máxima de 50 m, parámetro exigido por el reglamento nacional de edificaciones (RNE, 2006). Finalmente cabe mencionar que la presión de 22 mca mostrado en la figura 9 no representa ningún problema para el tipo de tubería utilizada.

DISCUSIÓN

En función a la primera combinación de diámetros al ejecutar la simulación del modelo dinámico los elementos colocados cumplen con las presiones dinámica de servicio mínimas requeridas, pero en cuanto a las velocidades mínimas no cumplen, por ende, se simplificó una combinación diámetros menores. La situación del análisis es que requiere buscar tuberías con diámetros menores donde se cumpla lo siguiente que a menor diámetro mayor velocidad y que a menor diámetro menor presión; por ello se tiene que encontrar los diámetros internos adecuados para obtener los resultados requeridos. por ejemplo, en la tubería H-I el diámetro interno es de 180.80mm y su velocidad es 0.05 m/s donde no cumple con la velocidad mínima de 0.6m/s, pero ahora el diámetro interno se redujo a un diámetro nominal de 1.5”, es decir a un diámetro interno de 43.40 mm, de modo que la velocidad obtenida es de 0.81m/s cumpliendo con lo requerido por el reglamento (RNE, 2006).

De acuerdo a la variación de presiones surge lo siguiente, que a mayor diámetro mayor presión o a menor diámetro menor presión. Por ello el valor en la primera combinación de diámetros del modelo dinámico, la presión en el nodo E es 14.86 mca, mientras que en la segunda combinación el valor del nodo E es de 10.01 mca.

Por otro la presión de la simulación del modelo dinámico en el nodo E es de 10.01 mca y en cuanto a la presión de la simulación del modelo estático en el nodo E es de 15 mca recordando que la combinación de diámetros internos para ambos casos es el mismo. esto ocurre debido que el modelo dinámico presenta demanda en cada nudo, mientras que, para la simulación estática la demanda es cero.

CONCLUSIONES

La presión en todos los nodos es mayor de 10 metros columna agua, por lo tanto, la presión dinámica de servicio mínimo es de 10.01 mca en el nodo E y la máxima expresión de presión dinámica es de 19.67 mca en el nodo A.

La velocidad máxima con respecto a la segunda combinación de diámetros es de 0.81m/s, en el tramo F-H y en el tramo H-I, Así como la velocidad mínima es de 0.61 m/s en el tramo B-C, de manera que cumple con los parámetros establecidos.

La presión en todos los nodos es menor de 50 metros columna agua, por tanto, la presión estática máxima de servicio es de 22 mca en los nodos F-G-H-I y la mínima expresión de presión estática es de 15 mca en el nodo E y C.

Los diámetros internos utilizados en la combinación fueron desde 1.5 pulgadas hasta 4 pulgadas que son diámetros internos que garantizan un buen funcionamiento de la red de distribución.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que para este tipo de simulación se verifique en la opción de hidráulica la metodología de Darcy- Weisbach y el sistema internacional de medidas en L/s.

En vista de los resultados obtenidos respecto a las velocidades y presiones después de una primera combinación de diámetros internos de la simulación del modelamiento dinámico se recomienda realizar una segunda simulación de combinación de diámetros menores para lograr un buen funcionamiento de la red.

Se recomienda que, para las distintas simulaciones en la red de distribución de agua potable, la red llegue a cumplir realmente con las restricciones del reglamento nacional de edificaciones.

También se debe tener en cuenta en no formar cuellos de botella o presiones negativas, para ello es necesario realizar una correcta combinación de diámetros internos.

REFERENCIAS

- Ablan, M., Ramirez, V., & Márquez, R. (2009). Modelo del sistema de distribución de aguas blancas en la ciudad de Mérida. *Ciencia e Ingeniería*, 30(3), 247–258.
- Batres Mina, J. G., Flores Ventura, D. I., & Quintanilla Hernández, A. E. (2010). Rediseño Del Sistema De Abastecimiento De Agua Potable, Diseño Del Alcantarillado Sanitario Y De Aguas Lluvias Para El Municipio De San Luis Del Carmen, Departamento De CHALATENANGO. [UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR]. In 3. http://ri.ues.edu.sv/2051/1/Rediseño_del_sistema_de_abastecimiento_de_agua_potable%2C_diseño_del_alcantarillado_sanitario_y_de_aguas_lluvias_par_el_municipio_de__San_Luis_del_Carmen%2C.pdf
- Cabrera, E., & Abreu, J. (2005). *Análisis, diseño, operación y gestión de redes de agua con EPANET*. http://encore.fama.us.es/iii/encore/record/C__Rb2496339__Sadobe_construccion__P0%2C22__Orightresult__X1__T?lang=spi&suite=cobalt
- Chuquin Vasco, N. S. (2016). *Análisis Y Elaboración Del Modelo Matemático De La Red De Distribución De Agua Potable De La ciudad De RIOBAMBA-ECUADOR*.
- De Plaza Solórzano, J. S. (2017). *Ejercicios básicos de mecánica de fluidos e hidráulica aplicados a través del software de distribución gratuita EPANET 2.0*. (Primera Ed).
- García Alcaraz, M. D. M. (2006). *Modelación Y Simulación De Redes Hidráulicas A Presión Mediante Herramientas Informaticas*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA.
- García Avila, F. F. (2019). Modelo de decaimiento de cloro libre en la red de distribución de agua potable en la ciudad de Azogues, Ecuador [Universidad Agraria la Molina]. In *Repositorio Institucional - UNALM*. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3845>
- Hernández, F., Saldarriaga, J. G., & Takahashi, S. (2015). *Diseño optimizado de sistemas de distribución de agua : Una nueva perspectiva*. October 2017.
- Hernández Parrales, G. X. (2011). "Diseño D e Redes D Agua Potable En El Sector Horacio Hidrovo Sector 2 Sub-Sector 2.1 De La Ciudad De Manta A Traves Del Programa EPANET." UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABI.
- Idrobo, P. (2018). *Desarrollo de un modelo de simulacion mediante el software epanet de la red de distribucion de agua potable de la cabecera cantonal de Guano, provincia de Chimborazo*.
- ISO9001, J. (2003). *Tubería para Edificación y Saneamiento* (p. 12).
- Loor Pin, L. M. (2011). *Diseño De La Red De Distribución de Agua Potable Utilizando el Programa De EPANET en la Comuna Sancan (Sector II) del Cantón Jipijapa*

- [Universidad Estatal Del Sur De MANABÍ]. In *Aviagen*.
<https://doi.org/10.14482/indes.22.2.6272>
- Martinez Alzamora, F. (1993). *Modelización matemática de distribución de agua en servicio*. 190–225.
https://drive.google.com/file/d/1PpALfbfwcliKXUFJ6qao08otYa_ITXhf/view?fbclid=IwAR3_SZ2ZzJpFfmVFDX3x2k26nXeb8Z1jVFQ_pzD9mp1z8ZQU5XrWtsvRj1c
- Martinez Alzamora, F. (2003). EPANET. Una potente herramienta para el análisis de redes de distribución de agua a presión. *Revista Hidropres. Tecnología de Captación, Gestión y Tratamiento Del Agua.*, May 2003, 30–37.
https://www.researchgate.net/publication/293145482_EPANET_Una_potente_herramienta_para_el_analisis_de_redes_de_distribucion_de_agua_a_presion
- Ordoñez Ordoñez, F. R. (2017). *Diseño Y Modelación De la Red De Distribución De Agua Potable De Una Edificación Multifamiliar Usando EPANET*.
- OS.050. (2009). Os.050 Redes De Distribución De Agua Para Consumo Humano. *Os.050 Redes De Distribución De Agua Para Consumo Humano Os.050, Fijar las condiciones exigibles en la elaboración de los proyectos hidráulicos de redes de agua para consumo humano.*, Módulo III-Sección II.
- RNE. (2006). Ministerio de Vivienda, Construcción y saneamiento. *Reglamento Nacional De Edificaciones*, 53(9), 1689–1699.
<http://www3.vivienda.gob.pe/pnc/docs/normatividad/varios/Reglamento Nacional de Edificaciones.pdf>
- Rossmann, L. A. (2017). *EPANET 2.0 en Español: Analisis Hidraulico y de Calidad del Agua en Redes de Distribución de Agua. Manual del Usuario*.
https://www.iiama.upv.es/iiama/src/elementos/Software/2/epanet/EN2Manual_esp_v20012_ext.pdf
- Venkata Ramanaa, G., Sudheer, C. V. S. ., & Rajasekhar, B. (2015). Network analysis of water distribution system in rural areas using EPANET. *Procedia Engineering*, 119(1), 496–505. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.875>
- Vera Pereyra, D. M. (2018). *Evaluación Del Comportamiento Hidraulico De Redes De Distribucion De Agua Potable, Mediante Metodos Computacionales Convencionales En El Distrito De Chupaca*” [Universidad Nacional del Centro del Perú].
<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5690>
- Vidal, R., Martínez, F., & Ayza, M. (1994). Aplicaciones de los modelos de calidad en la simulación de las redes de distribución de agua potable. *Ingeniería Del Agua*, 1(3), 55–68. <https://doi.org/10.4995/ia.1994.2644>