



Contenido disponible en <http://fcqi.tij.uabc.mx/usuarios/revistaaristas/>

## Revista Aristas Investigación Básica y Aplicada



### SIMULACIÓN HIDRÁULICA UTILIZANDO EPANET II: CASO DE ESTUDIO MODELO ARMFIELD F1-21

José Juan Villegas-León <sup>a</sup>, Alvaro Alberto López-Lambráño <sup>b</sup>.

<sup>a</sup> Universidad Autónoma de Baja California; México; [juan.villegas@uabc.edu.mx](mailto:juan.villegas@uabc.edu.mx)

<sup>b</sup> Universidad Autónoma de Baja California; México; [alopezl@uabc.edu.mx](mailto:alopezl@uabc.edu.mx)

#### Información del artículo

##### Historia del artículo:

Recibido: 01 de febrero del 2018

Aceptado: 21 de diciembre del 2018

Publicado: 18 de febrero del 2019

Palabras clave: Coeficiente de rugosidad, Curva de demanda, pérdidas de energía.

##### Datos de contacto del primer autor:

José J. Villegas León

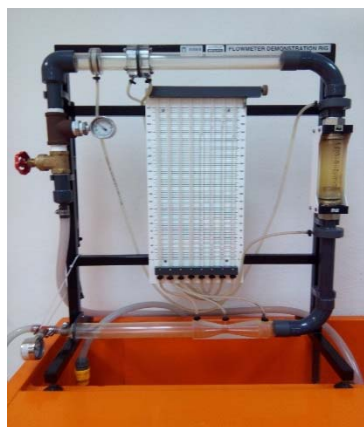
[jua.villegas@uabc.edu.mx](mailto:jua.villegas@uabc.edu.mx)

México

#### Resumen

Se utiliza el software EPANET II para evaluar el comportamiento hidráulico del modelo físico ARMFIELD F1-21 en un periodo extendido. Primeramente, se realizó trabajo de laboratorio donde se obtuvieron los factores geométricos e hidráulicos que conforman el sistema. Después se hizo la red representativa del sistema mediante el software, donde se introdujeron los siguientes parámetros: el diámetro, longitud y rugosidad de la tubería; el diámetro y el coeficiente de pérdidas de los dispositivos; el caudal base y la altura en los nodos; la curva de pérdida de energía en válvulas; la curva de la bomba y la curva de caudal variable. Posteriormente, se llevó a cabo exitosamente la simulación. Se presenta una comparación de resultados estimados en el laboratorio contra los obtenidos mediante la simulación. Finalmente, se concluye que el modelo computacional obtenido es confiable para predecir el comportamiento de los valores de presiones y caudales en el modelo físico.

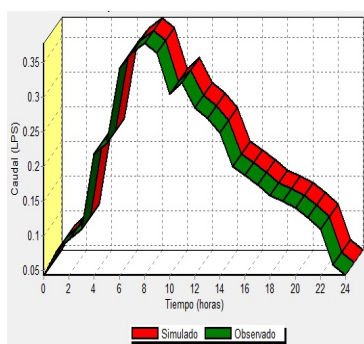
**Palabras clave**—Coeficiente de rugosidad, Curva de demanda, pérdidas de energía, periodo extendido, modelación de redes.



#### Abstract

EPANET II software is used to evaluate the hydraulic behavior of ARMFIELD-F1-21 physical model in an extended period. First, laboratory work where we obtained the geometric and hydraulic factors that make up the system was performed. Then, the representative network system is performed using the software, where the following parameters were introduced: diameter, length and roughness of the pipe; diameter and coefficient K of the devices; base demand and elevation at the nodes; curve of energy loss in valves; pump curve and demand curve. Subsequently, the simulation was performed successfully. A comparison of results estimated in the laboratory with those obtained by the simulation is presented. Finally, we conclude that the computational model obtained is reliable to predict the behavior of the values of pressure and flow in the physical model.

**Keywords**— demand curve, energy losses, roughness coefficient, extended period, network modeling.

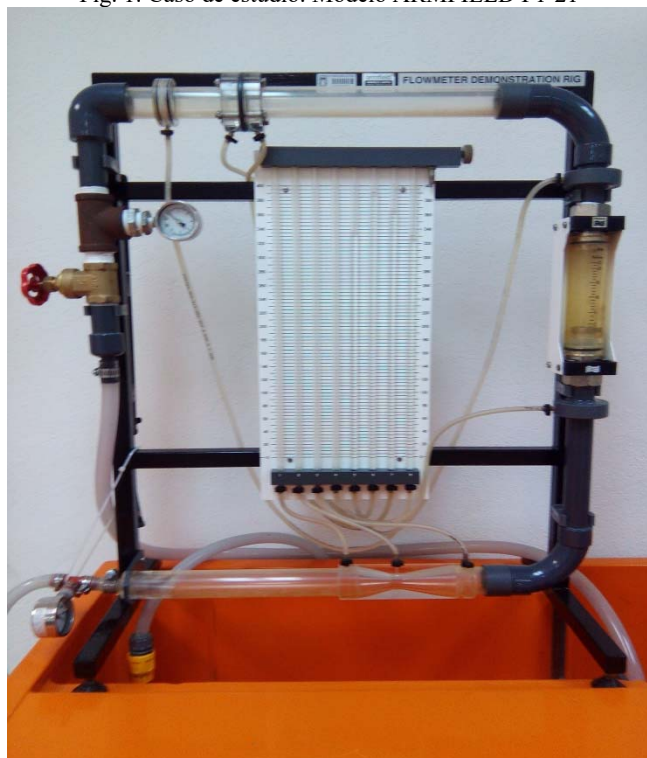


#### 1. INTRODUCCIÓN

La importancia de simular en un software el comportamiento hidráulico de un modelo físico, radica en representar con él lo más fiel posible todas las condiciones que ocurren en la realidad, para utilizarlo en la predicción de acontecimientos de interés sin necesidad de realizar mediciones físicas [1, 2].

El caso de estudio es el modelo ARMFIELD F1-21 (figura 1), el cual es un equipo hidráulico de laboratorio que sirve para realizar mediciones de flujo utilizando un tubo Venturi, un rotámetro y una placa de orificio, lo que da lugar a 3 resultados que permiten ser comparados entre sí y ante el caudal aforado en la salida del sistema. Para ello también cuenta con un sistema de piezómetros que sirven para medir las presiones diferenciales entre 8 puntos del sistema permitiendo estimar las pérdidas de presión o de energía en los tramos comprendidos entre esos puntos, incluyendo las pérdidas que producen los 3 dispositivos de medición antes mencionados [3].

Fig. 1. Caso de estudio: Modelo ARMFIELD F1-21



Fuente: elaboración propia

Los valores de caudales y presiones que se obtienen mediante el modelo ARMFIELD F1-21 son constantes en el tiempo, mientras no se modifique el caudal de entrada. Por ello es necesario utilizar un software de modelación para simular el comportamiento dinámico de estos parámetros, que es tal como ocurre realmente en los sistemas hidráulicos presurizados [4]. Mediante el uso de EPANET II se puede lograr este estudio, porque es un software diseñado para simular en un periodo extendido el comportamiento hidráulico de sistemas de distribución que operan bajo presión, y además tiene la particularidad de estar en línea sin costo alguno para el uso público y educacional [2, 5]. Información más detallada sobre el funcionamiento y los alcances de este software pueden consultarse en [5, 6].

El software EPANET se ha utilizado para modelación en diversos trabajos de investigación, entre los cuales se analizó un sistema de distribución de agua en zona rural [2], se

realizó una optimización de la infraestructura y el régimen de explotación de una red de regadíos [6], se modeló la deficiencia de presión en redes de distribución de agua [7], se hizo la modelación y calibración de una red de distribución de agua [8], se trabajó en evaluar el desempeño técnico de redes de distribución de agua [9], se estimó la eficiencia para bombas de velocidad variable y se comparó con valores experimentales [10], se realizó la simulación de métodos de control para bombas centrífugas operando bajo demanda variable [11], entre otros.

Esta investigación tiene por objetivo realizar la simulación con EPANET II del modelo físico ARMFIELD F1-21 en un periodo extendido, con la finalidad de obtener un modelo de predicción para los parámetros hidráulicos que actúan este modelo físico, sin necesidad de realizar mediciones. Para ello se realizó trabajo de laboratorio donde se obtuvieron los factores geométricos e hidráulicos que conforman el sistema bajo estudio, los cuales se fueron utilizados para hacer la representación del sistema en el software. La simulación se llevó a cabo exitosamente, se presenta una comparación de resultados y ante ello, se concluye que el modelo computacional obtenido es confiable.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

EPANET II requiere como datos de entrada los factores geométricos e hidráulicos que conforman del sistema a simular [5, 6]. En este caso algunos fueron medidos en el modelo ARMFIELD F1-21 y otros estimados acorde a sus características, excepto el coeficiente de pérdidas  $K$  de los dispositivos que lo conforman, los cuales fueron determinados mediante las siguientes ecuaciones recomendadas en Villegas-León [12]:

- Dispositivos de cambio de dirección brusco

$$K_{CB} = \frac{0.0031960558 + 0.0030444516(\theta)}{1 - 0.01439831(\theta) + 0.0000671934(\theta)^2} \quad [1]$$

Donde:  $K_{CB}$  es el coeficiente de pérdidas de un cambio de dirección brusco;  $\theta$  es el ángulo de deflexión (en grados). Esta ecuación es válida si  $0 < \theta \leq 90$ .

- Dispositivos de cambio de dirección gradual

$$K_{CG} = \left\{ \begin{array}{l} \left[ \begin{array}{l} -0.0573379 + 0.00496834(r/D) - 0.00001716(r/D)^3 \\ + \frac{0.07867083}{(r/D)^{0.5}} - \frac{0.066727}{e^{(r/D)}} \end{array} \right] \\ + \left[ \begin{array}{l} -0.01383436 - 0.01385106(r/D) + 0.00051449(r/D)^2 \\ + 0.04504019 \ln(r/D) + \frac{0.08991395}{e^{(r/D)}} \end{array} \right] (\theta^\circ) \end{array} \right\} / \left\{ 1 + \left[ \begin{array}{l} 0.20495202 + 0.05446522(r/D) - 0.08723377 \\ \cdot (r/D)^{0.5} \ln(r/D) + 0.04504019 + \frac{0.08991395}{(r/D)^2} \end{array} \right] (\theta^\circ) \right\} \quad [2]$$

Donde:  $K_{CG}$  es el coeficiente de pérdidas de un cambio de dirección gradual;  $r/D$  es la relación del radio de curvatura con respecto al diámetro del conducto;  $\theta$  es el ángulo de la

deflexión (en grados). Esta ecuación es válida para  $1 \leq r/D \leq 10$  y  $5 \leq \theta \leq 90$ .

- Dispositivos de ampliación brusca del diámetro

$$K_{AB} = 0.99906174 - 2.4035102 \left(\frac{A_1}{A_2}\right) + 1.6373483 \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 0.37144824 \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^3 + 0.13856654 \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^{0.5} \quad [3]$$

Donde:  $K_{AB}$  es el coeficiente de pérdidas de una ampliación brusca;  $A_1/A_2$  es la relación del área menor con respecto al área ampliada. Esta ecuación es válida si  $0 < A_1/A_2 \leq 1$ .

- Dispositivos de ampliación gradual del diámetro

$$K_{AG} = \left[ 1.31221530 + 0.21212720(\theta^\circ) - 0.00304461(\theta^\circ)^2 + 0.00018315(\theta^\circ)^{2.5} - 0.94719809(\theta^\circ)^{0.5} \right] + \left[ -0.92042755 - 0.12629261(\theta^\circ) + 0.00233113(\theta^\circ)^2 - 0.00015997(\theta^\circ)^{2.5} + 0.64549086(\theta^\circ)^{0.5} \right] \left(\frac{d_2}{d_1}\right) + \left[ -1.91863640 - 0.34315859(\theta^\circ) + 0.00466959(\theta^\circ)^2 - 0.00026776(\theta^\circ)^{2.5} + 1.39516460(\theta^\circ)^{0.5} \right] \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 + \left[ 1.51712240 + 0.25534820(\theta^\circ) - 0.00392553(\theta^\circ)^2 + 0.00024268(\theta^\circ)^{2.5} - 1.08444060(\theta^\circ)^{0.5} \right] \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^3 \quad [4]$$

Donde:  $K_{AG}$  es el coeficiente de pérdidas de una ampliación gradual;  $\theta$  es el ángulo de ampliación;  $d_2/d_1$  es la relación del diámetro mayor con respecto al menor. Esta ecuación es válida para  $1 \leq d_2/d_1 \leq 10$  y  $5 \leq \theta \leq 90$ .

- Dispositivos de reducción brusca del diámetro

$$K_{RB} = 0.50926435 - 0.28767429 \left(\frac{A_2}{A_1}\right) - 1.4840581 \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^{2.5} + 1.2643591 \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^3 \quad [5]$$

Donde:  $K_{RB}$  es el coeficiente de pérdidas de una reducción brusca del diámetro;  $A_2/A_1$  es la relación del área menor con respecto a la mayor. La ecuación es válida si  $0 \leq A_2/A_1 \leq 1$ .

- Dispositivos de reducción gradual del diámetro

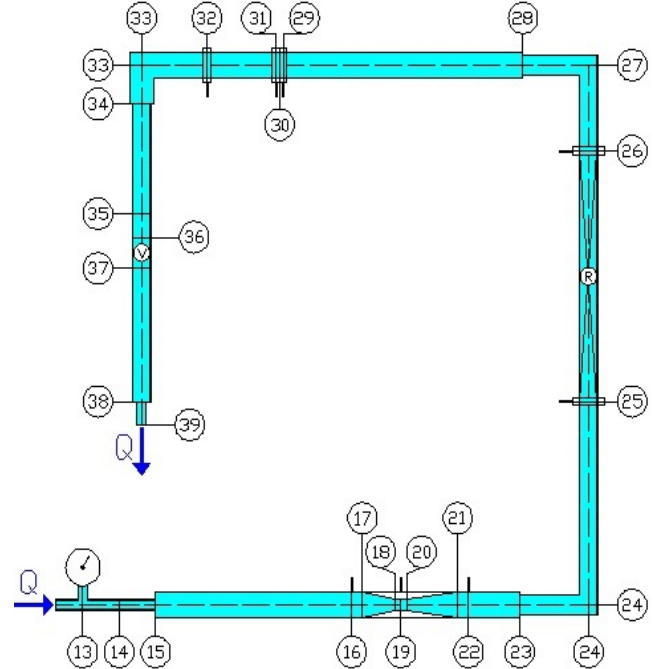
$$K_{RG} = \left[ -0.046121351 - 0.000029224(\theta)^2 + (8.9116E - 10)(\theta)^4 - (1.1811E - 14)(\theta)^6 \right] \left(\frac{D}{d}\right)^{0.5} + \left[ -0.046264338 + 0.000029251(\theta)^2 - (9.2469E - 10)(\theta)^4 + (1.2761E - 14)(\theta)^6 \right] \left(\frac{D}{d}\right)^2 + \left[ 0.1503115 + 0.000064686(\theta)^2 - (7.7480E - 10)(\theta)^4 - (7.2780E - 15)(\theta)^6 \right] \left[ \ln\left(\frac{D}{d}\right) \right] \left(\frac{D}{d}\right)^2 \quad [6]$$

Donde:  $K_{RG}$  es el coeficiente de pérdidas de la reducción gradual del diámetro;  $\theta$  es el ángulo de la reducción (en grados);  $D/d$  es la relación del diámetro mayor con respecto al menor. La ecuación es válida si cumple con los siguientes intervalos:  $1 \leq D/d \leq 3$  y  $10 \leq \theta \leq 180$ .

Por otro lado, en la figura 2 se representa gráficamente el modelo ARMFIELDF1-21, donde las salidas de los piezómetros y las ubicaciones de dispositivos se indican mediante nudos. El aparato contiene un total de 8 piezómetros que proporcionan la presión en el nodo 16, 19,

22, 25, 26, 29, 31 y 32. Los dispositivos para medición del caudal son el tubo Venturi, el rotámetro y la placa de orificio, los cuales están entre los nodos 17-21, 25-26 y 29-31, respectivamente.

Fig. 2. Esquema representativo del equipo ARMFIELDF1-21, con la asignación de nodos utilizados para la simulación.



Fuente: elaboración propia a partir de "[3]".

El modelo ARMFIELDF1-21 funciona en conjunto con el banco hidráulico ARMFIELDF1-10, el cual está dotado entre otros, de una bomba y una válvula de regulación que sirven para impulsar el fluido y controlar el flujo, respectivamente [3]. Disponer de la curva característica de la bomba y de una curva de demanda variable es fundamental para realizar la simulación en EPANET II para un periodo extendido [12].

## 2.1 Metodología

Para el alcance del objetivo de esta investigación se realizaron las siguientes actividades:

- 1) Primeramente al equipo ARMFIELDF1-21 se le colocó un manómetro tipo Bourdon para medir la presión en la entrada al sistema (nodo 13 de la figura 2). Después se procedió a tomar medidas de diámetros y longitudes de las tuberías.
- 2) Para un mejor control de los datos se asignaron nodos en puntos estratégicos del sistema conformado por los equipos ARMFIELDF1-10 y F1-21. En la figura 2 solo se presentó el sistema bajo estudio.
- 3) Utilizando el banco hidráulico ARMFIELDF1-10, se abasteció el sistema de 22 caudales distintos, para los cuales se tomaron las lecturas en el manómetro y en los

piezómetros, y además se determinó el caudal circulante por medio de aforo.

4) Para cada uno de los caudales se determinaron las pérdidas de energía por rozamiento y por dispositivos. En las primeras se utilizó la expresión de Darcy-Wesibach y un factor de fricción ( $f$ ) de 0.0025 para el tipo de material de las tuberías, tal como se especifica en [5]. En las segundas se empleó la ecuación general para los dispositivos indicada en [12] y las 6 ecuaciones tratadas anteriormente en este epígrafe.

5) Se inició el trabajo en el software, construyendo el esquema representativo del sistema conformado por los dos equipos ARMFIELD.

6) Después se procedió a insertar en EPANET II los diámetros, las longitudes y rugosidades de las tuberías, el diámetro y el coeficiente de pérdidas de los dispositivos, así como las cotas de cada nodo. Mediante ello se realizaron simulaciones estáticas utilizando cada uno de los 22 caudales medidos como consumo a la salida del sistema (nodo 39 de la figura 2), con la finalidad de obtener para cada ensayo el coeficiente de pérdidas de la válvula de regulación del equipo ARMFIELD F1-10.

7) Empleando los 22 caudales aforados se propuso una curva de demanda variable para un intervalo horario en un periodo de 24 horas. También se obtuvo una curva de pérdidas de energía para la válvula de regulación, considerando el mismo intervalo, periodo y la variación de la demanda. Las pérdidas se obtuvieron de forma similar que, en los dispositivos, pero utilizando el coeficiente de pérdidas encontrado con la simulación estática.

8) Enseguida se introdujo al software la curva característica de la bomba, la curva de demanda variable y la curva de pérdidas de energía de la válvula de regulación. Con ello se procedió a realizar la simulación dinámica en EPANET II del comportamiento hidráulico del sistema para un periodo extendido de 24 horas.

9) Finalmente, mediante la simulación se obtuvieron valores de los caudales y de las presiones en el modelo ARMFIELD F1-21, los cuales son comparados con los medidos físicamente en el laboratorio.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se ilustran los caudales aforados utilizando el modelo de estudio, los caudales estimados con los 3 dispositivos de medición y también, las pérdidas que estos dispositivos generan de acuerdo a las presiones obtenidas en los piezómetros. Los resultados indican que el tubo Venturi es más preciso para la medición de caudales, debido a que los valores obtenidos mediante este dispositivo se apegan más a los medidos en el aforo; sin embargo, los caudales medidos con el rotámetro son los más desfasados de los caudales aforados, lo cual lo cataloga como el menos preciso

para la medición. Por otro lado, comparando los valores de las pérdidas de energía estimadas en los 3 dispositivos, el rotámetro es el que generó más pérdidas en todos los ensayos. Entre los valores de las pérdidas de energía estimadas para el tubo Venturi y para la placa de orificio, el primer dispositivo produce mayores pérdidas si el caudal circulante es igual o menor a 9.46 lt/min, mientras que si el caudal es mayor las pérdidas de energía son más intensas con el segundo dispositivo.

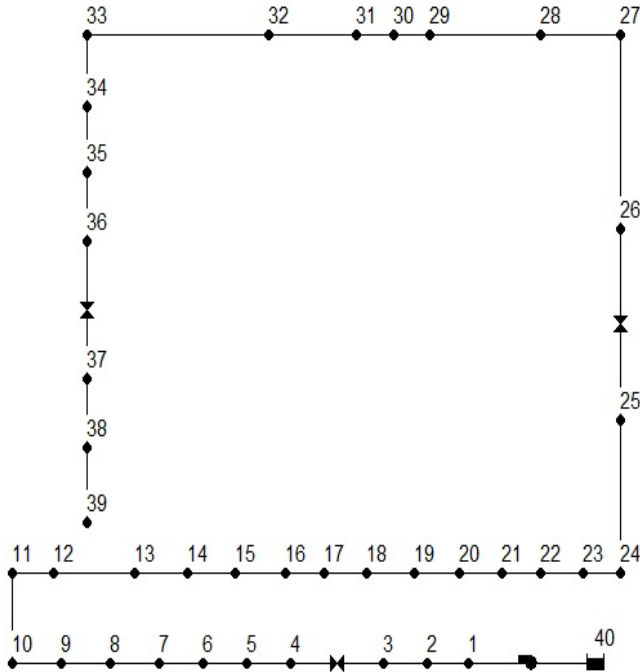
Tabla 1. Valores de caudales y pérdidas de energía obtenidas a partir de mediciones en el modelo ARMFIELD F1-21

No. de ensayo	Caudal aforado (lt/min)	Tubo Venturi		Rotámetro		Placa de orificio	
		Caudal (lt/min)	Pérdidas de energía (cm)	Caudal (lt/min)	Pérdidas de energía (cm)	Caudal (lt/min)	Pérdidas de energía (cm)
1	2.59	2.59	0.40	2.00	5.15	2.56	0.10
2	3.52	3.51	0.60	3.00	5.00	3.84	0.30
3	4.65	4.73	0.85	4.00	5.05	4.79	0.40
4	5.69	5.79	0.90	5.00	5.15	6.01	0.75
5	6.55	6.60	1.20	6.00	5.30	6.53	0.85
6	7.59	7.77	1.50	7.00	5.25	8.00	1.25
7	8.39	8.33	1.60	8.00	5.50	8.96	1.55
8	9.03	9.10	1.90	8.50	5.60	9.58	1.80
9	9.46	9.46	2.00	9.00	5.60	9.41	1.90
10	10.42	10.36	2.10	10.00	5.70	10.71	2.20
11	11.19	11.19	2.40	11.00	5.80	11.74	2.80
12	12.02	12.06	2.90	12.00	6.00	12.28	3.10
13	13.08	13.12	3.20	13.00	6.20	13.31	4.10
14	14.00	14.03	3.60	14.00	6.40	14.26	4.30
15	14.93	14.96	3.70	15.00	6.50	15.04	4.80
16	16.17	16.04	4.10	16.00	6.70	16.10	5.50
17	17.08	17.12	4.60	17.00	7.00	17.23	6.35
18	18.25	18.20	4.90	18.00	7.20	18.47	7.30
19	19.22	19.33	5.10	19.00	7.50	19.76	8.40
20	20.43	20.56	5.60	20.00	7.80	20.88	9.40
21	21.76	21.73	5.90	21.00	8.00	22.11	10.50
22	22.62	22.93	6.10	22.00	8.30	23.40	11.70

Fuente: elaboración propia a partir de resultados

Por otra parte, en la figura 3 se presenta el esquema del sistema construido en EPANET, en el cual del nodo 13 al 39 se representa el caso de estudio y del nodo 13 al 40 el equipo ARMFIELD F1-10. Los nodos 16, 19, 22, 25, 26, 29, 31 y 32, corresponden a los 8 piezómetros. La bomba se indica entre los nodos 1 y 40, y la válvula de regulación entre los nodos 3 y 4. El rotámetro se encuentra representado por la válvula de regulación comprendida entre el nodo 25 y 26, debido a que se consideró que este dispositivo produce pérdidas de energía por obstrucción. El coeficiente de pérdidas del rotámetro se estimó a partir de las presiones estimadas en los piezómetros lo delimitan.

Fig. 3. Esquema realizado en EPANET de la red en estudio.

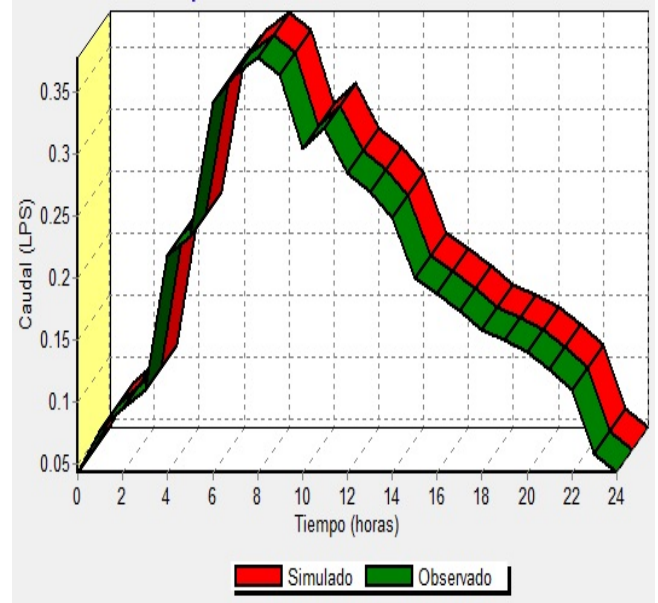


Fuente: elaboración propia en EPANET.

La figura 4 muestra el comportamiento de los valores de caudales aforados en la salida del modelo ARMFIELD F1-21 (observados), en comparación con los valores de caudales obtenidos en EPANET II para el nodo 39 (simulación). Se puede apreciar claramente que los valores de caudales observados y simulados coinciden ampliamente en todos los intervalos del periodo de 24 horas, lo cual indica que el modelo dinámico representa fielmente el comportamiento de los caudales en el modelo físico.

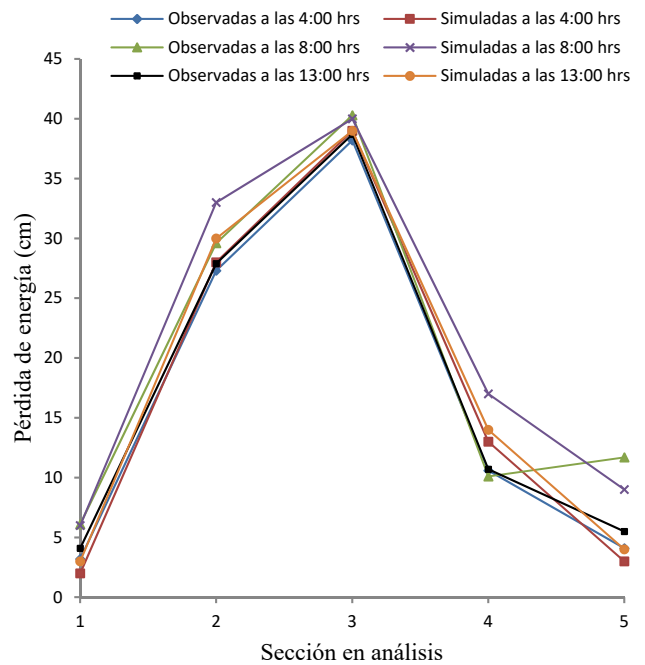
En la figura 5 se expone la comparación de los valores de pérdidas de energía estimadas de forma analítica a partir de las lecturas en los piezómetros (observadas), en relación con los valores de pérdidas de energía obtenidas mediante la simulación con EPANET, para las 4, 8 y 13 horas del periodo extendido de 24 horas. Finalmente se puede observar que los valores de pérdidas de energía real y simulada son más coincidentes en la sección 1 y 3 para las 3 horas en cuestión, mientras que la diferencia es mayor en la sección 2, 4 y 5. Aunque se presenta una discrepancia entre los valores de pérdidas de energía, obsérvese que las cantidades son en centímetros.

Fig. 4. Caudales observados a la salida del modelo ARMFIELD F1-21 y simulados con EPANET en el nodo 39.



Fuente: elaboración propia, resultado de EPANET.

Fig. 5. Pérdidas de energía observadas y simuladas entre nodos 16-22 (sección 1), 22-25 (sección 2), 25-26 (sección 3), 26-29 (sección 4) y 29-32 (sección 5), para las 4:00, 8:00 y 13:00 horas del periodo extendido de 24 horas.



Fuente: elaboración propia a partir de resultados.

#### 4. CONCLUSIONES

Utilizando EPANET II se realizó exitosamente la simulación del comportamiento dinámico de los caudales y de las presiones medidas físicamente en el modelo ARMFIELD F1-21, lo cual indica que todos los parámetros asignados como entrada fueron correctos. Los caudales

medidos en el laboratorio se representaron fielmente con el modelo de simulación, mientras que los valores de pérdidas de energía no coincidieron, pero si resultaron muy similares. Esto pudo ser causa de la diferencia de precisión entre los valores de presión que proporciona el software y los obtenidos físicamente, los cuales fueron a la centésima y a la milésima parte, respectivamente. De esta manera se concluye que el modelo de simulación puede ser utilizado confiablemente para predecir el comportamiento de caudales y presiones en el sistema estudiado. Finalmente, si aún se requiere un modelo de simulación más preciso, se recomienda realizar la calibración del mismo para disminuir las pequeñas diferencias que se presentaron entre los valores de pérdidas de energía.

## 5. REFERENCIAS

- [1] J. Alfonso, M. E. Alfonso, “Experiencia en la Ciudad de La Habana para la simulación de redes hidráulicas con entregas a depósitos”, *Ing. Hidráulica*, 23(3), pp. 54-59, 2002.
- [2] G. V. Ramana, V. S. S. Sudheer, B. Rajasekhar, “Network analysis of water distribution system in rural areas using EPANET”, *Procedia Engineering*, 119, pp. 496-505, 2015.
- [3] ARMFIELD, “Flow Meter Demonstration, F1-21”. Armfield Inc., 5, pp. 1-24, 2012.
- [4] Y. Milanés, A. Álvarez, “Simulación hidráulica de los sistemas urbanos de distribución de agua con funcionamiento intermitente. Una aproximación inicial al problema”, *Ing. Hidráulica y Ambiental*, 28(3), pp. 7-13, 2007.
- [5] L. A. Rossman, “EPANET 2”, Environmental Protection Agency (EPA), U. S., manual de usuario traducido al español por Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos, Universidad Politécnica de Valencia, [Consultado en octubre de 2015] Disponible en: [http://epanet.info/wp-content/uploads/2012/10/EPANET\\_Manual\\_Usuario.pdf](http://epanet.info/wp-content/uploads/2012/10/EPANET_Manual_Usuario.pdf)
- [6] M. D. M. García, “Modelación y Simulación de Redes Hidráulicas a Presión Mediante Herramientas Informáticas”, Tesis, Cartagena, Universidad Politécnica de Cartagena, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Civil, Julio 2006, [consultado en noviembre de 2015] Disponible en: [http://www.upct.es/hidrom/publicaciones/Tesis\\_pfc/PFC\\_M\\_MarGracia\\_2006.pdf](http://www.upct.es/hidrom/publicaciones/Tesis_pfc/PFC_M_MarGracia_2006.pdf)
- [7] M. A. H. A. Sayyed, R. Gupta, T.T. Tanyimboh, “Modelling Pressure Deficient Water Distribution Networks in EPANET”, *Procedia Engineering*, 89, pp. 626-631, 2014.
- [8] Z. Alves, J. Muranho, T. Albuquerque, A. Ferreira, “Water distribution network’s modeling and calibration. A case study based on scarce inventory data”, *Procedia Engineering*, 70, pp. 31-40, 2014.
- [9] J. Muranho, A. Ferreira, J. Sousa, A. Gomes, A. Sá Marques, “Technical performance evaluation of water distribution networks based on EPANET”, *Procedia Engineering*, 70, pp. 1201-1210, 2014.
- [10] A. M. Georgescu, C. I. Cosoiu, S. Perju, S. C. Georgescu, L. Hasegan, A. Anton, “Estimation of the Efficiency for Variable Speed Pumps in EPANET Compared

with Experimental Data”, *Procedia Engineering*, 89, pp. 1404-1411, 2014.

[11] A. M. Georgescu, S. C. Georgescu, C. I. Cosoiu, L. Hasegan, A. Anton, D. M. Bucur, “EPANET simulation of control methods for centrifugal pumps operating under variable system demand”, *Procedia Engineering*, 119, pp. 1012-1019, 2015.

[12] J. J. Villegas-león, “Algoritmo para calcular pérdidas de energía en cambios de dirección, ampliación y reducción del diámetro de conductos bajo régimen forzado”, Tesis, UABC, pp. 1-126, 2013.