



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA
SECCIONAL TUNJA

VIGILADA MINEDUCACIÓN - SNIES 1732



Manual de Hidráulica Aplicada: Aforos, Curvas de Calibración, Pérdidas Menores y
Modelado en EPANET

Autor:

Jair Orlando Lemus Riaño,

Semillero: Manejo sostenible de materiales y recursos hidroambientales

(MSMRHA)

Tutor: Melquisedec Cortés Zambrano

Universidad Santo Tomás, Tunja

Facultad de ingeniería civil

2025

TABLA DE CONTENIDO

Objetivos:.....	6
Materiales y equipos	7
Procedimiento.....	9
1. Realizar aforos de volumen y tiempo con control de incertidumbre experimental.....	9
2. Determinar la curva característica H-Q de una bomba mediante mediciones experimentales	12
3. Calcular pérdidas menores a través de casos aplicados con datos de laboratorio ...	14
4. Construir y validar un modelo hidráulico en EPANET con base en los resultados experimentales	16
Analisis y resultados	24
Conclusiones	29
Bibliografia	30

CONTENIDO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Manometro de glicerina de 60 PSI	7
Ilustración 2. Probeta de 1000 ml	7
Ilustración 3. Cronometro de telefono	8
Ilustración 4. Flexometro	8
Ilustración 5. (calibrador Vernier)	8
Ilustración 6. gráfico de dispersión (Flow (L/s) vs Head (m)) epanet 2.2	12
Ilustración 7. herramientas para dibujar los nodos de demanda y los tanques (reservorios) epanet 2.2	17
Ilustración 8. herramientas de tubería (Pipe), bomba (Pump) y válvula (Valve) epanet 2.2	18
Ilustración 9. Demanda del nodo epanet 2.2	18
Ilustración 10. Metodo de analisis de perdidas epanet 2.2	19
Ilustración 11. Curva personalizada epanet 2.2	19
Ilustración 12. Pérdida Menor epanet 2.2	20
Ilustración 13. ejecutar la simulación hidráulica epanet 2.2	22
Ilustración 14. Simulación en epanet 2.0	27

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1. Coeficientes de pérdida para accesorios con longitud equivalente y factor de fricción.....	15
Tabla 2. Coeficientes de pérdidas por accesorios	15
Tabla 3. Registro de mediciones de laboratorio	24
Tabla 4. Calculo de caudales	24
Tabla 5. Calculo de errores de caudal.....	25
Tabla 6. Tabulación de datos de caudal vs presión.....	25
Tabla 7. Aforos aleatorios de laboratorio.....	27
Tabla 8. Calculo de caudales	27
Tabla 9. Calculo de errores de caudal.....	27
Tabla 10. Registro de datos de presión EPANET 2.0	28
Tabla 11. errores de presión simulada	28

CONTENIDO DE GRAFICAS

Grafica 1. Curva de la bomba en excel	26
Grafica 2. Curva de la bomba en EPANET 2.0	26

Objetivos:

General

- Desarrollar y aplicar procedimientos experimentales y de simulación hidráulica que permitan analizar el comportamiento de sistemas de bombeo, pérdidas menores y redes de distribución utilizando herramientas de laboratorio y el software EPANET.

Específicos

- Realizar aforos de volumen y tiempo con control de incertidumbre experimental.
- Determinar la curva característica H-Q de una bomba mediante mediciones experimentales.
- Calcular pérdidas menores a través de casos aplicados con datos de laboratorio.
- Construir y validar un modelo hidráulico en EPANET con base en los resultados experimentales.

Materiales y equipos

- Manómetro de glicerina: Instrumento que mide presión utilizando glicerina para amortiguar vibraciones y mejorar la estabilidad de la lectura.



Ilustración 1. Manómetro de glicerina de 60 PSI

Fuente: (propia)

- Probeta de 1000 ml (± 2 ml de precisión): Recipiente graduado para medir volúmenes de líquidos con una precisión de más o menos 2 ml.



Ilustración 2. Probeta de 1000 ml

Fuente: (propia)

- Cronometro: Dispositivo usado para medir intervalos de tiempo con alta precisión.



Ilustración 3. Cronometro de teléfono

Fuente: (propia)

- Flexómetro: Cinta métrica retráctil utilizada para medir longitudes y distancias.



Ilustración 4. Flexómetro

Fuente: (propia)

- Pie de rey (calibrador Vernier): Instrumento de medición de alta precisión para diámetros, espesores y profundidades.



Ilustración 5. (calibrador Vernier)

Fuente: (propia)

Procedimiento

1. Realizar aforos de volumen y tiempo con control de incertidumbre experimental

Se detallo el procedimiento paso a paso para llevar a cabo 5 aforos de volumen y tiempo, utilizando probetas de 1000 ml (± 2 ml de precisión) y un cronómetro con precisión de 0.01 s (como el de un teléfono móvil). Este método garantiza menor incertidumbre y datos confiables para su posterior análisis en aplicaciones hidráulicas.

Paso 1: Preparación del Equipo y Materiales

- Probetas graduadas: Seleccionar 5 probetas de 1000 ml con precisión de ± 2 ml (verificar que estén limpias y calibradas).
- Cronómetro: Asegurarse de que el cronómetro del teléfono esté configurado en modo de precisión de centésimas (0.01 s).
- Fuente de líquido: Tener un sistema de suministro constante (ej. grifo, manguera o recipiente con flujo regulado).
- Soporte: Colocar las probetas sobre una superficie estable para evitar vibraciones.

Paso 2: Toma de Datos (5 Repeticiones)

Para cada aforo:

Iniciar el cronómetro y el llenado simultáneamente:

- Poner en marcha el cronómetro en el mismo instante en que comienza el llenado de la probeta.
- Mantener un flujo constante durante todo el proceso.

Detener el cronómetro al alcanzar el volumen deseado:

- Cuando el líquido llegue a la marca de 1000 ml, detener el cronómetro de inmediato.

- Registrar el tiempo (ej. 15.34 s) y el volumen exacto (si hay una ligera variación dentro de ± 2 ml, anotarla).

Repetir el proceso 5 veces:

- Realizar el mismo procedimiento para las 5 probetas, asegurando condiciones similares en cada repetición.

Paso 3: Registro de Datos

Crear una tabla con los resultados:

N° Aforos	Volumen (ml)	Tiempo (s)	Caudal (ml/s)
1	1000 ± 2	t_1	$Q_1 = V / t_1$
2	1000 ± 2	t_2	$Q_2 = V / t_2$
3	1000 ± 2	t_3	$Q_3 = V / t_3$
4	1000 ± 2	t_4	$Q_4 = V / t_4$
5	1000 ± 2	t_5	$Q_5 = V / t_5$

Paso 4: Cálculo del Promedio y Análisis de Incertidumbre

Caudal promedio (Q_p):

$$Q_p = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5}{5}$$

Incertidumbre del tiempo (Δt):

Considerar la precisión del cronómetro (0.01 s).

Incertidumbre del volumen (ΔV):

Dada por la probeta (± 2 ml).

Incertidumbre del caudal (ΔQ):

Propagación de errores:

☐ Calculo la media del volumen ($\bar{V}$):

$$\bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n}$$

☐ Calculo la desviación estándar del volumen (σ):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}{n - 1}}$$

Esta σ te indica la dispersión de tus mediciones individuales de volumen para ese recipiente.

☐ Calculo el error estándar de la media del volumen (u_A, Q):

$$u_{A, Q} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Este $u_{A, Q}$ representa la incertidumbre aleatoria en el valor medio de ese volumen específico.

Paso 5: Validación de Resultados

Coherencia hidráulica: Verificar que los caudales no presenten dispersiones mayores al 5% (en caso contrario, repetir mediciones).

Repetibilidad: Si los tiempos son muy variables, revisar posibles errores en el método (ej. flujo no constante).

2. Determinar la curva característica H-Q de una bomba mediante mediciones experimentales

Paso 1: Medición Sincronizada de Presión y Caudal (Aforo):

Para cada punto de operación: se realizó el siguiente procedimiento, que integra directamente la metodología de aforos de la Sección 1

Paso 2: Conversión de Unidades y Registro de Datos

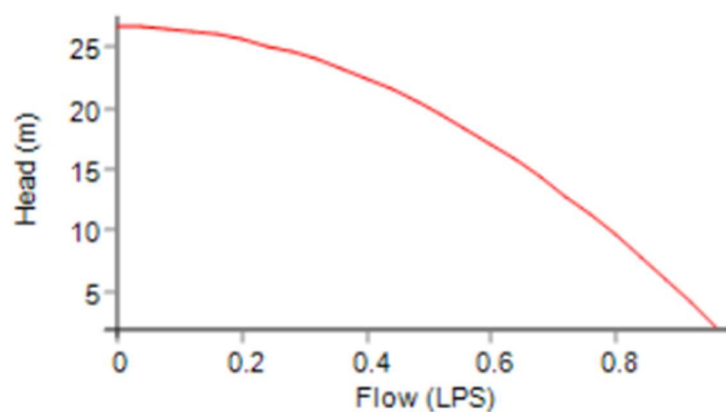
Unidades Consistentes para la Ingeniería Hidráulica: Las lecturas de presión en PSI se convirtieron a la unidad estándar de carga hidráulica, metros de columna de agua (m.c.a.), utilizando el factor:

$$\frac{1}{PSI} = 0.703 \text{ m.c.a.}$$

Paso 3: Graficación y Obtención de la Curva Característica

Graficación de Puntos Experimentales: En un gráfico de dispersión (Caudal Q en el eje X vs. Carga H en el eje Y)

Ilustración 6. gráfico de dispersión (Flow (L/s) vs Head (m)) epanet 2.2



Fuente: (Epanet 2.2)

2.2. Relación y Coherencia con la Sección 1 (Aforos)

La construcción de la curva de calibración es completamente dependiente y es la aplicación directa de la Sección 2:

Los aforos son la fuente primaria de datos: Los valores de caudal (Q) que componen la curva no son teóricos; son el resultado experimental del procedimiento de aforo volumétrico estandarizado en la Sección 2.

La incertidumbre se propaga: El análisis de error realizado en cada aforo (Sección 2, Paso 5) se traslada directamente a la curva, cuantificando la confiabilidad de cada punto que la define.

2.3. Producto Final y Utilidad

El resultado es la Curva de Calibración de la Bomba, una herramienta fundamental que permite:

Modelado Preciso en EPANET (Sección 5): Esta curva personalizada se introduce en el software, permitiendo simular el comportamiento real de la bomba, a diferencia de usar una curva genérica del fabricante.

Análisis del Desempeño: Diagnosticar el estado de la bomba comparando la curva obtenida con la ideal.

Predicción del Punto de Operación: Calcular la carga y el caudal que entregará la bomba cuando esté instalada en un sistema hidráulico específico.

3. Calcular pérdidas menores a través de casos aplicados con datos de laboratorio

El procedimiento para determinar las pérdidas menores es la culminación del proceso de medición iniciado en la Sección 1, y haciendo los correspondientes cálculos de caudal ya vistos anteriormente:

Consulta sobre los coeficientes de pérdida por accesorios

Dentro de los accesorios que hacen parte de la red, se encuentran codos, uniones universales, válvulas, reducciones, ampliaciones, tees, un medidor, la entrada y salida de la bomba. Para conocer las pérdidas de carga por accesorios, se hizo la respectiva consulta en diferentes libros y se resume en las tablas 1 y 2.

Dentro de la consulta se encontró en el texto de Mott & Untener, (2015) que el coeficiente de pérdidas menores se calcula de la siguiente manera:

$$K = f_t \frac{L_e}{D}$$

L_e : Longitud equivalente

f_t : Factor de fricción llevado hasta la zona de turbulencia completa

D : Diámetro interno de la tubería

Para encontrar el factor de fricción, puede utilizarse el diagrama de Moody y la ecuación de Colebrook teniendo en cuenta que este factor se encuentra bajo la hipótesis de un flujo completamente desarrollado:

$$\frac{1}{\sqrt{f_t}} = -2 \log \left(\frac{K_s}{3.7D} \right)$$

Las longitudes equivalentes fueron sacadas de tablas en las que se tiene en cuenta el coeficiente de fricción, el tipo de accesorio y el diámetro interno de la tubería. Estos valores se encuentran tabulados en el libro de Carmona, (2010).

Tabla 1. Coeficientes de pérdida para accesorios con longitud equivalente y factor de fricción

Material	Accesorio	Diámetro (in)	Le (m)	Rugosidad (mm)	f_t	K
P V C	Codo radio corto	1/2	0,36	0,0015	0,0124	0,35
			0,49			0,29
			0,62			0,27
	Tee de paso lateral	1/2	0,76		0,0115	0,74
			1,02			0,61
			1,28			0,55
	Tee de paso directo	3/4	0,2		0,0109	0,19
			0,29			0,17
			0,38			0,16
	Reducción	1	0,06		0,0109	0,06
			0,08			0,05
			0,11			0,05
Hierro galvanizado	Ampliación	1	0,11	0,15	0,032	0,11
			0,16			0,10
	Válvula de pie con coladera	1	0,21			0,09
			4,49			1,92
	Tee de paso lateral	1/2	1,61		0,040	5,09
	Tee de paso directo	1	2,7		0,035	3,40

La información sobre los coeficientes de pérdidas menores consultados en los libros consultados se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Coeficientes de pérdidas por accesorios

Fuente	Accesorio									
	Codo (90°)	Tee flujo deriv	Tee flujo en línea	Entrada	Salida	Expansión	Contracción (A)	Válvula de bola		
Çengel y Cimbala (2012)	Embridado 0.3	1	0.2	Reentrante 0.8	Laminar 2	d/D=0.4 0.25	Figura 1	Abierta	0.05	
	Roscado 0.9	2	0.9	De borde agudo 0.5 Redondeada 0.03	Turbulento 1.05	d/D=0.6 0.15 d/D=0.8 0.1		Medio cerrada	2.1	
Potter, Wiggert y Ramadan (2015)	Atornillado (2.5cm) 1.5 Bridado (5cm) 0.39	1.8 0.8	0.9 0.19	Escuadra Reentrante 0.5 Bien redondeada 0.03	1	$(1 - \frac{A_1}{A_2})^2$	2:1 0.25 5:1 0.41 10:1 0.46			
Frank M. White (2004)	RoscadoN 2 S (0.5in) 1	2.4	0.9	Figura 3	1	Figura 4	Figura 4	Válvula de mariposa		
	Roscado N 1.5 S (1in) 0.72	1.8	0.9					Figura 2		
	AcopladoN 0.5 S (1in) 0.4	1	0.24							
Saldarriaga (2007)	Radio corto 0.9	1.9	0.3	Recta a tope 0.5 Boca acampanada 0.1 Tubo reentrante 0.9	1	1.1; 2° 0.01 1.2; 6° 0.02 1.4; 10° 0.07	0.7; 0.12 0.8; 0.058 0.9; 0.016			
Mott y Untener (2015)	30f _t	60f _t	20f _t		1			Válvula de bola		
								150 f _t		
								Válvula de mariposa (2-8in) 45 f _t		

Las pérdidas menores por uniones universales dependen del tamaño. Según Silverio & Holger , (2020) para uniones universales de media pulgada la pérdida es de 1,08. Las uniones de tres cuartos de pulgada tienen un coeficiente de 2,49 y la pérdida para un diámetro de una pulgada corresponde a 0.60.

4. Construir y validar un modelo hidráulico en EPANET con base en los resultados experimentales

Introducción al software **EPANET**: Es un software de dominio público desarrollado por la EPA (Environmental Protection Agency) de los EE. UU. para modelar el comportamiento hidráulico y de calidad del agua en redes de tuberías a presión. Su interfaz gráfica permite diseñar la red de manera intuitiva utilizando los siguientes elementos básicos:

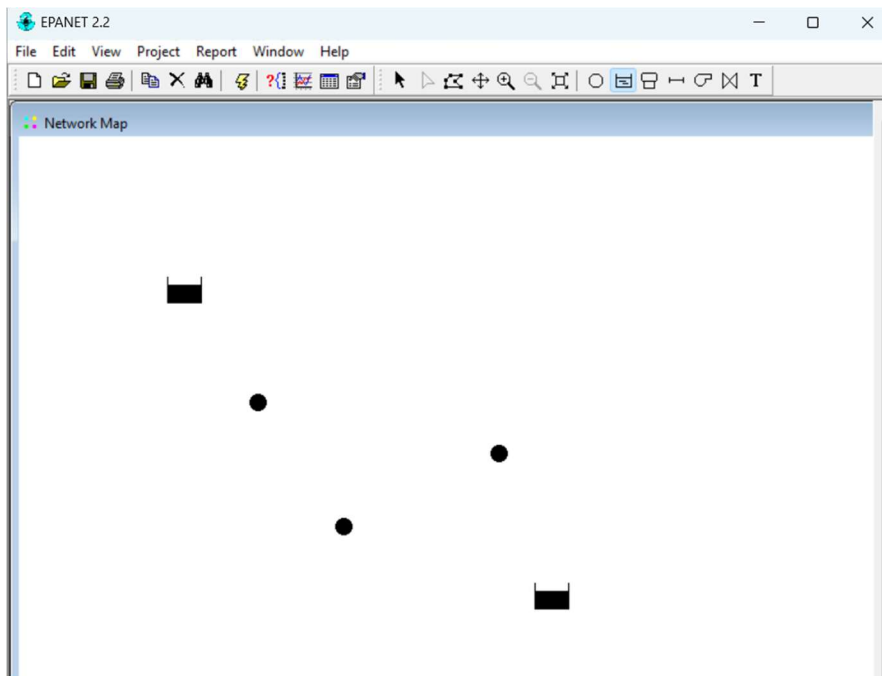
- **Nodos**: Puntos de la red que representan demandas de consumo, uniones de tuberías o tanques de almacenamiento.
- **Tuberías (Links)**: Elementos que conectan los nodos y por los cuales fluye el agua.
- **Bombas (Pumps)**: Elementos que añaden energía al sistema para elevar la presión.
- **Válvulas (Valves)**: Elementos que permiten controlar el flujo o la presión, y donde se registran las pérdidas menores.

Pasos para construir el modelo numérico, siga este procedimiento sistemático para crear un modelo representativo de su sistema.

Paso 1: Definición de la Geometría de la Red

1. Abra EPANET y utilice la barra de herramientas para dibujar los nodos de demanda y los tanques (reservorios) que representen las fuentes de agua.

*Ilustración 7. herramientas para dibujar los nodos de demanda y los tanques (reservorios)
epanet 2.2*

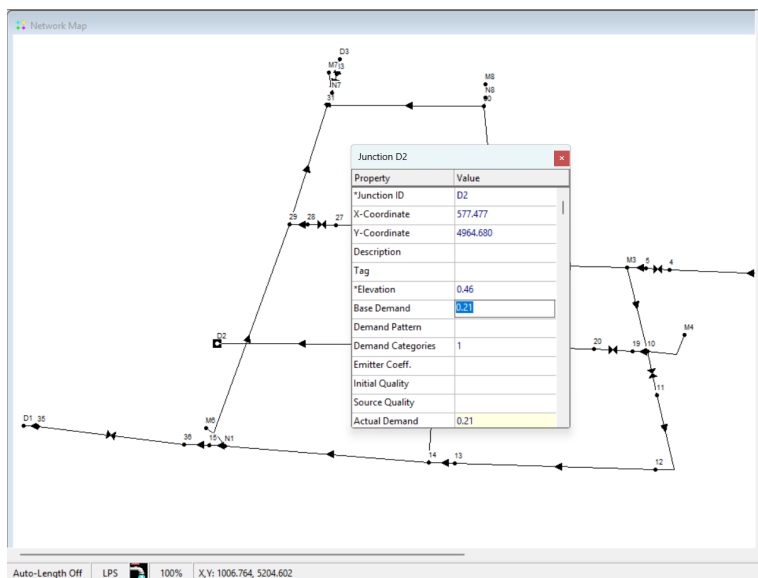


Fuente: (propia)

Paso 2: Asignación de Propiedades a los Elementos

- Nodos: Asigne a cada nodo de demanda su caudal correspondiente (en L/s, unidades coherentes con las secciones anteriores). Para los tanques, establezca el nivel de agua inicial.

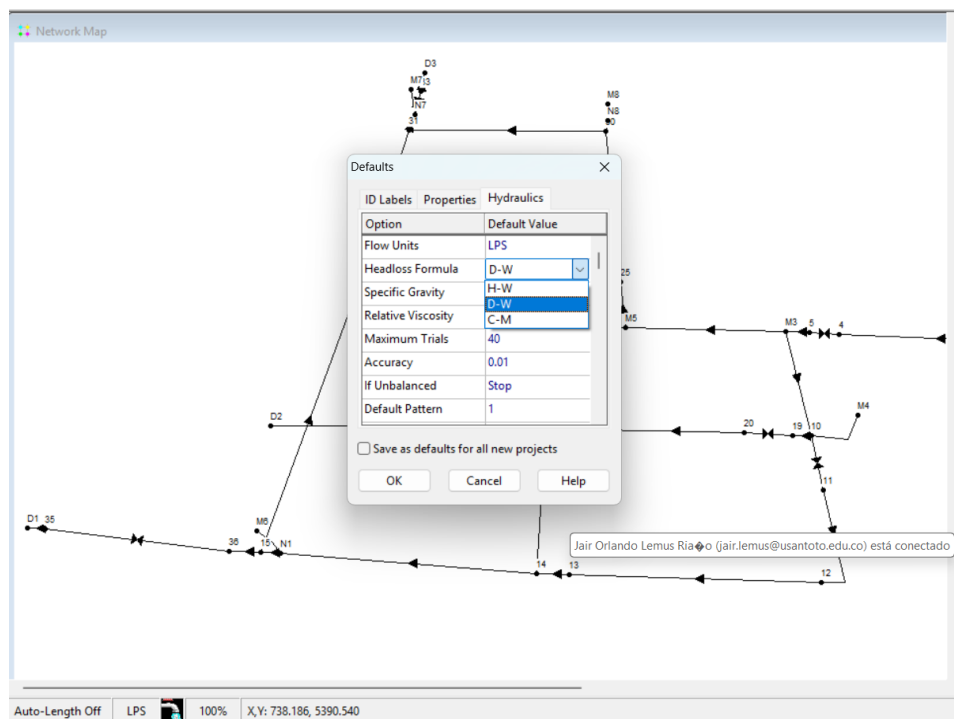
Ilustración 9. Demanda del nodo epanet 2.2



Fuente: (propia)

- Tuberías: Ingrese para cada una su longitud, diámetro y coeficiente de rugosidad (por ejemplo, utilizando el coeficiente de Darcy–Weisbach f o por Hazen-Williams C).

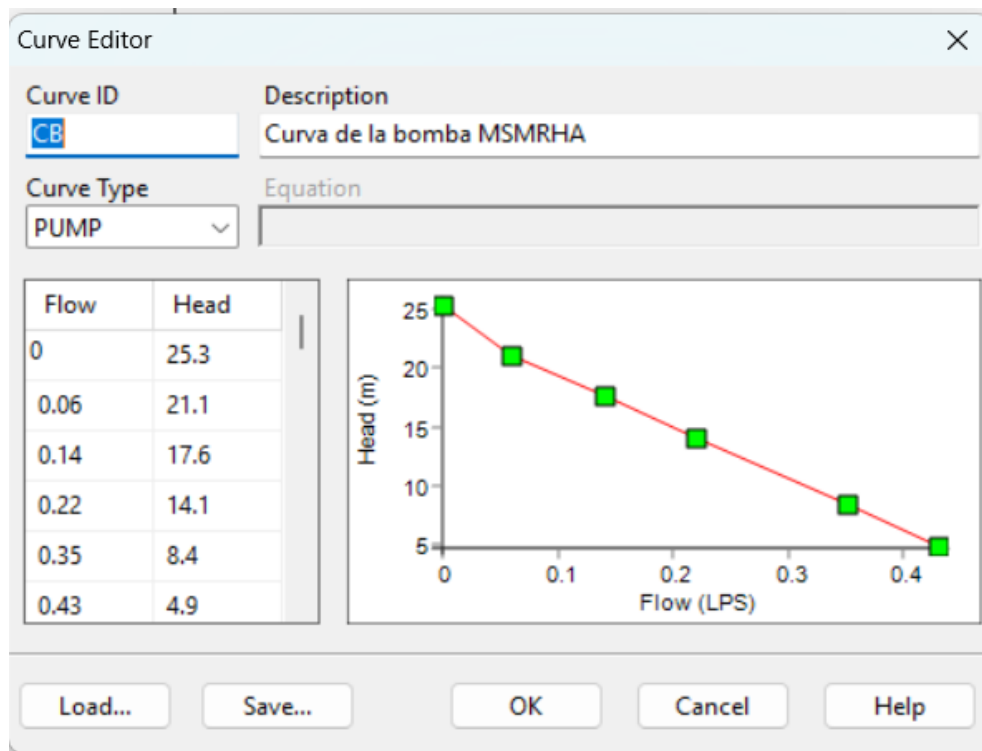
Ilustración 10. Metodo de analisis de perdidas epanet 2.2



Fuente: (propia)

- Bombas: Este es un punto clave de cohesión con la Sección 3. En lugar de una curva predefinida, seleccione "Custom Curve" (Curva Personalizada) para definir la Curva de Calibración de la Bomba obtenida experimentalmente. Ingrese la ecuación polinómica $P = aQ^2 + bQ + c$ (convertida a los unidades de carga hidráulica, mca, y caudal, L/s) o ingrese una tabla de puntos (Q, H) generada a partir de dicha ecuación.

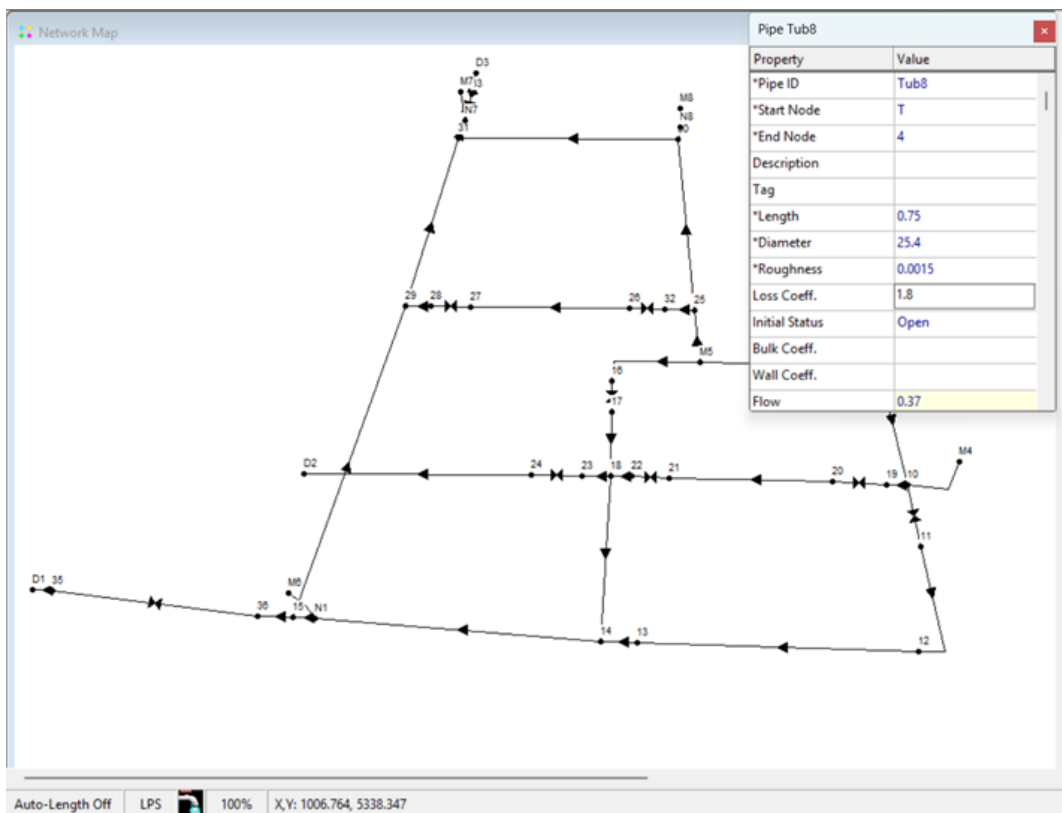
Ilustración 11. Curva personalizada epanet 2.2



Fuente: (propia)

- Válvulas y Accesorios (Cohesión con la Sección 4): Para modelar pérdidas menores en codos, válvulas, etc., puede hacerlo de dos formas:
 1. Usando el campo "Minor Loss" (Pérdida Menor) de las tuberías: En las propiedades de cada tubería, hay un campo llamado "Minor Loss Coefficient (K)". Ingrese directamente el valor del coeficiente K (obtenido de tablas o calculado como en la Sección 4) para los accesorios de esa tubería específica.
 2. Usando el objeto "Valve": Puede insertar un objeto válvula y configurarlo con el tipo "General Purpose Valve" para definir su coeficiente K específico.

Ilustración 12. Pérdida Menor epanet 2.2



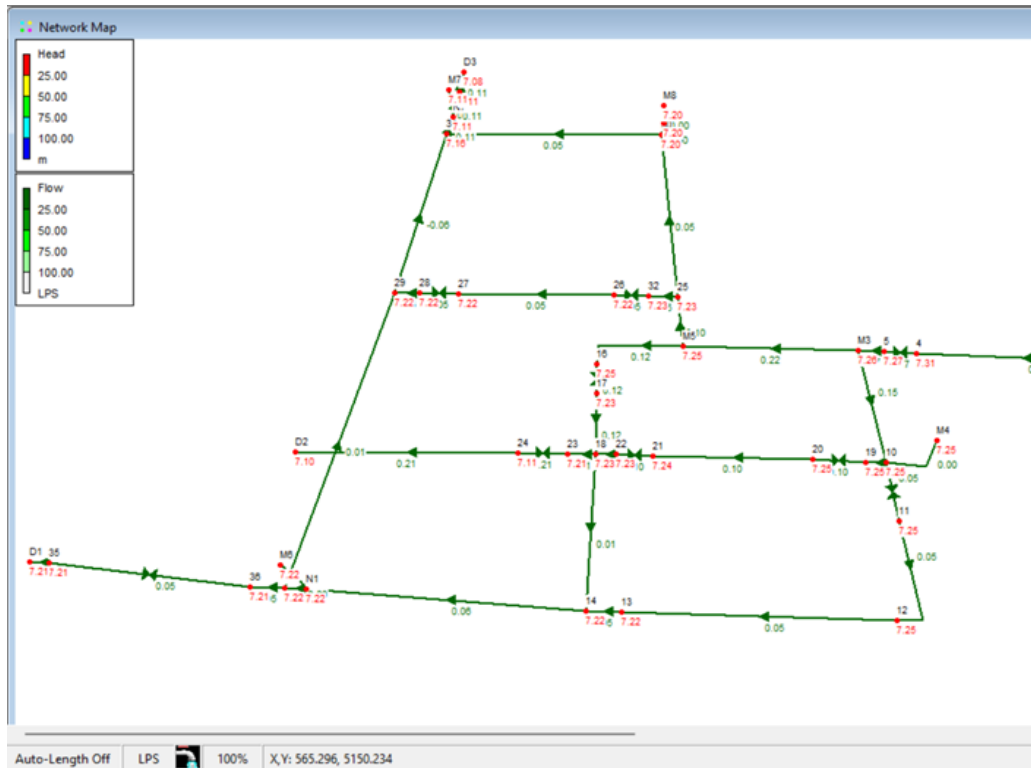
Fuente: (propia)

Paso 3: Configuración de las Opciones de Análisis
 Defina las unidades hidráulicas (deben ser consistentes con sus datos, preferiblemente LPS (L/s) y m). Configure el tiempo total de simulación y el paso hidráulico.

4.3. Ejecución de la Simulación y Validación del Modelo

1. Haga clic en el botón "Run" () para ejecutar la simulación hidráulica.

Ilustración 13. ejecutar la simulación hidráulica epanet 2.2



Fuente: (propia)

2. Validación (Aseguramiento de la Coherencia): La credibilidad de un modelo depende de su capacidad para replicar la realidad. Utilice los datos medidos en campo para validar los resultados:
 - Presiones: Compare las presiones simuladas en varios nodos de la red con las presiones reales medidas con manómetros en esos mismos puntos. La diferencia debería ser menor a un margen de error aceptable (ej., ± 2 mca).
 - Caudales: Verifique que los caudales simulados en las líneas principales coincidan con los datos de aforo (Sección 2).
3. Si los resultados simulados no coinciden con los reales, recalibre el modelo. Esto puede implicar:

- Ajustar demandas en los nodos.
- Revisar los coeficientes de rugosidad de las tuberías.
- Verificar la precisión de la curva de la bomba introducida.
- Revisar los valores de las pérdidas menores asignadas.

4.2. Análisis de Resultados una vez validado, el modelo es una poderosa herramienta para:

- Visualizar presiones y caudales en todos los puntos de la red.
- Identificar zonas de baja presión o alto riesgo.
- Simular escenarios de emergencia (como el cierre de una válvula o la falla de una bomba).
- Planificar la expansión de la red.

Analisis y resultados

Coloque estos datos, como sustentación de resultados obtenidos en el paso a paso mostrados en la sección 1, por el que a continuación en la tabla 3, verifique datos tomados en laboratorio plasmados a continuación:

Tabla 3. Registro de mediciones de laboratorio

MUESTRA 1	Respecto al Manómetro 2		Demanda 1		Demanda 2		Demanda 3	
			Válvula Negra		Válvula Roja		Válvula Plateada	
	Presión		Volumen	Tiempo	Volumen	Tiempo	Volumen	Tiempo
Número de aforos	PSI	mca	ml	s	ml	s	ml	s
1	30	21,1	70	3,36	52	3,63	74	3
2			60	2,87	54	3,64	90	3,79
3			66	2,94	44	3,04	84	3,69
4			68	2,94	38	2,79	98	4,12
5			64	2,74	52	3,73	76	3,34

Muestreo de datos realizados en laboratorio, aplicando el procedimiento de la sección 1, y así poder garantizar datos confiables y organizados, de forma clara a analizar.

Tabla 4. Calculo de caudales

Respecto al Manómetro 2		Demanda 1		Demanda 2		Demanda 3	
		Válvula Negra		Válvula Roja		Válvula Plateada	
Presión		Caudal		Caudal		Caudal	
PSI	mca	ml/s	L/s	ml/s	L/s	ml/s	L/s
30	21,1	20,83	0,02	14,33	0,01	24,67	0,02
		20,91	0,02	14,84	0,01	23,75	0,02
		22,45	0,02	14,47	0,01	22,76	0,02
		23,13	0,02	13,62	0,01	23,79	0,02
		23,36	0,02	13,94	0,01	22,75	0,02
promedio	21,1	0,02		0,01		0,02	
Presión (mca)	21,1	Qmax		0,06		L/s	

Se evidencia la presentación de resultados de caudales, calculados a partir de las mediciones de relación entre volumen y tiempo. En el cual se obtienen los caudales promedio para cada una de las demandas mostradas en la tabla 4. Con el caudal promedio se puede llegar a determinar una mayor precisión y reducir el sesgo de los datos como se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Calculo de errores de caudal

MUESTRA 1	Error	Demanda 1			Demanda 2			Demanda 3		
		Válvula Negra			Válvula Roja			Válvula Plateada		
		Caudal			Caudal			Caudal		
	Media	0,02	L/s	Regla	0,01	L/s	Regla	0,02	L/s	Regla
	σ	0,001	L/s		0,000	L/s		0,001	L/s	
	u A, Q	0,001	L/s		0,000	L/s		0,000	L/s	
Caudal	Incertidumbre	0,024	2%	Cumple	0,015	1%	Cumple	0,015	2%	Cumple
	L/s	0,02	+	0,0005	0,01	+	0,0005	0,02	+	0,0004
			-			-			-	
										Qtotál (L/s)
										0,06

En la tabla 5, muestra los calculos de los errores totales, para los caudales de cada demanda presentada y sustentada en la tabla, por ende muestra un nivel de incertidumbre por debajo de 5%, mostrando que son datos confiables.

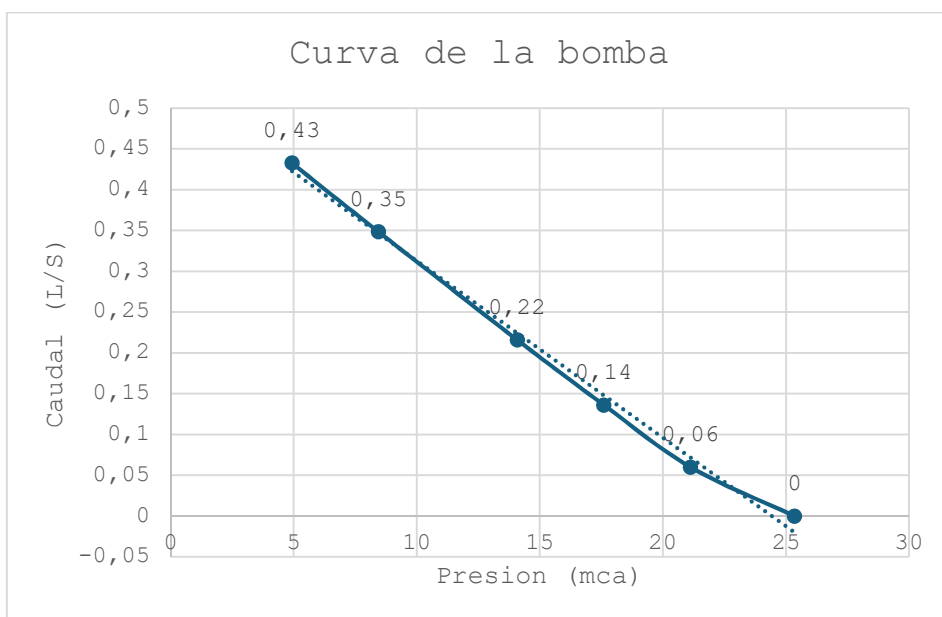
Acontinuacion se mostraran los datos de caudales vs presión o altura piesometrica, en la cual se construye la grafica que continene la curva de la bomba a utilizar en la modelación, para este calculo registre los siguientes datos en la tabla 6.

Tabla 6. Tabulación de datos de caudal vs presión

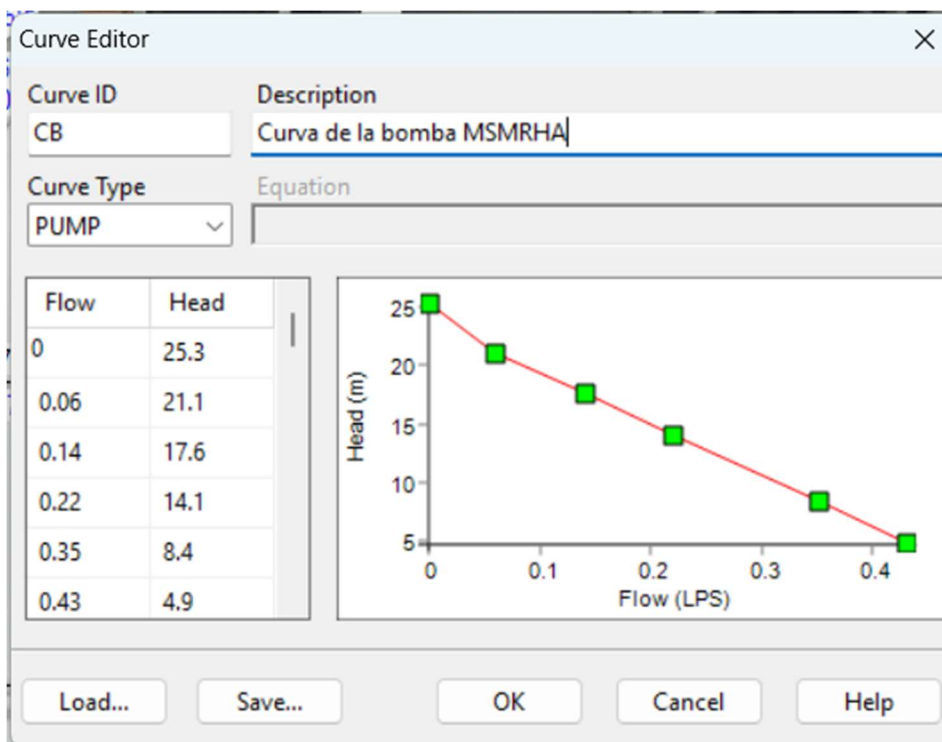
Caudal	Presión
L/s	mca
0	25,344
0,06	21,1
0,14	17,6
0,22	14,1
0,35	8,4
0,43	4,9

Verifique que los datos plazmados en la tabla 6 fueran correctos, siguiendo el calculo anterior de caudales incluyendo los errores. Para asi poder generar una grafica logaritmica como la siguiente, mostrada en la grafica 1 y 2.

Grafica 1. Curva de la bomba en excel



Grafica 2. Curva de la bomba en EPANET 2.0



Presentación de la curva de la bomba, para modelo de red cerrada para condiciones determinadas y mostradas en los datos que registre en los calculos anteriores en las tabla 3, para el aforo de la muestra 1 de 5 muestras totales, las cuales llevan el mismo proceso.

Con esta curva realice la simulación de un caudal aleatorio tomado en laboratorio para verificar la calibración del prototipo y la simulación en EPANET 2.0.

Tabla 7. Aforos aleatorios de laboratorio

Aforo A CONDICIONES ESTANDAR	Demanda 1		Demanda 2		Demanda 3		Presión tomada en laboratorio							
	Valvula Negra		Valvula Roja		Valvula Plateada									
	Volumen	Tiempo	Volumen	Tiempo	Volumen	Tiempo	Manometro 1	Manometro 2	Manometro 3	Manometro 4	Manometro 5	Manometro 6	Manometro 7	Manometro 8
Número de aforos	ml	s	ml	s	ml	s	psi	psi	psi	psi	psi	psi	psi	psi
1	180	2,82	362	1,48	240	1,87	7	11	11	9	10	12	10	11
2	138	2,68	236	1,18	248	2,3	7	11	11	9	10	12	10	11
3	130	2,79	352	1,8	276	2,79	7	11	11	9	10	12	10	11
4	94	1,9	276	1,35	226	2,17	7	11	11	9	10	12	10	11
5	92	1,86	340	1,63	264	2,55	7	11	11	9	10	12	10	11

En la tabla 7, evidencie el registro de datos para así poder calcular los caudales para cada toma realizada, mostrada en la tabla 8.

Tabla 8. Calculo de caudales

Demanda 1		Demanda 2		Demanda 3		Presión tomada en laboratorio							
Valvula Negra		Valvula Roja		Valvula Plateada									
Caudal		Caudal		Caudal		Manometro 1	Manometro 2	Manometro 3	Manometro 4	Manometro 5	Manometro 6	Manometro 7	Manometro 8
ml/s	L/s	ml/s	L/s	ml/s	L/s	mca	mca	mca	mca	mca	mca	mca	mca
63,83	0,06	244,59	0,24	128,34	0,13	4,9	7,7	7,7	6,3	7,0	8,4	7,0	7,7
51,49	0,05	200,00	0,20	107,83	0,11	4,9	7,7	7,7	6,3	7,0	8,4	7,0	7,7
46,59	0,05	195,56	0,20	98,92	0,10	4,9	7,7	7,7	6,3	7,0	8,4	7,0	7,7
49,47	0,05	204,44	0,20	104,15	0,10	4,9	7,7	7,7	6,3	7,0	8,4	7,0	7,7
49,46	0,05	208,59	0,21	103,53	0,10	4,9	7,7	7,7	6,3	7,0	8,4	7,0	7,7
0,05		0,21		0,11		4,9	7,7	7,7	6,3	7,0	8,4	7,0	7,7

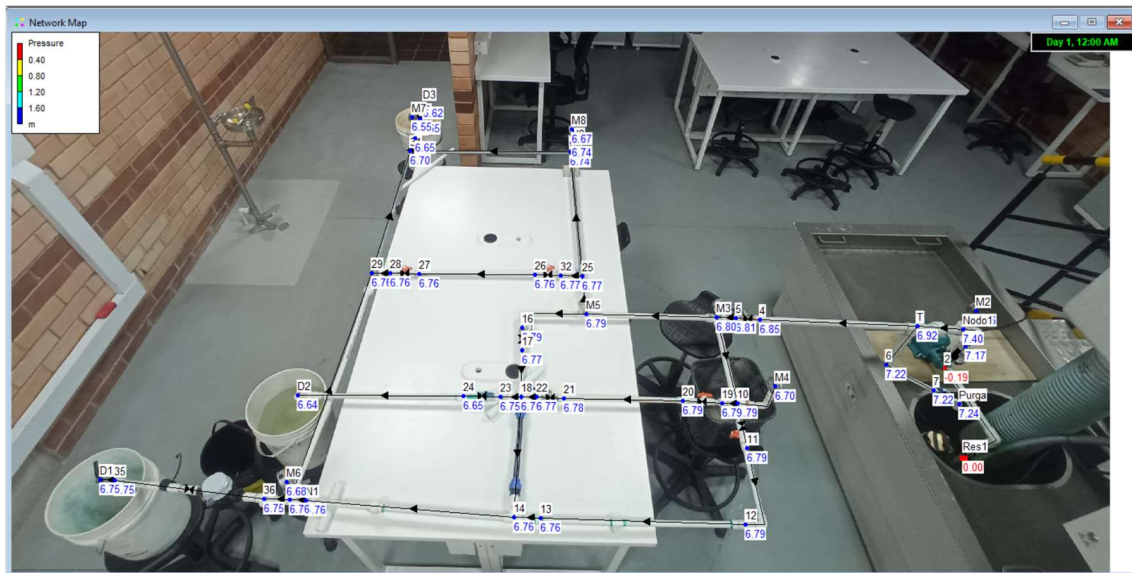
En la tabla 8, Muestro el calculo de los caudales aleatorios para simular en el modelo de epanet, siguiendo el procedimiento de la seccion 1. Para lograr datos confiables, realice la verificación de errores plazmados en la tabla 9.

Tabla 9. Calculo de errores de caudal

AFORO UNICO	Error	Demanda 1			Demanda 2			Demanda 3			
		Valvula Negra			Valvula Roja			Valvula Plateada			
	Caudal			Caudal			Caudal				
	Media	0,05	L/s	Regla	0,21	L/s	Regla	0,11	L/s	Regla	
	σ	0,007	L/s		0,020	L/s		0,012	L/s		
	$u A,Q$	0,003	L/s		0,009	L/s		0,005	L/s		
Incertidumbre	0,058	6%	Revise	0,042	4%	Cumple	0,047	5%	Cumple		
Caudal	L/s	0,05	+ -	0,0030	0,21	+ -	0,0196	0,11	+ -	0,0051	Qttotal (L/s)
											0.37

En la tabla 9. Muestro los datos finales para utilizar en la simulación, en este caso el error de las demanda 1, supero la insertidumbre del 5%, dedido a la variacion estandar de decimales en el promedio del calculo de volumen vs tiempo. Como es un caudal para simular, y los caudales de las curva de la bomba cumplen con la insertidumbre, se puede utilizar para el modelaje en la ilustración 14.

Ilustración 14. Simulación en epanet 2.0



Fuente: (propia)

Al realizar el modelaje, obtube los datos de presion en m.c.a (metros columna de agua), lo cual me permite verificar a partir del caudal ingresado para modelar, el error que hay entre los manómetros de glicerina con los que se registre los datos de presión en laboratorio, comparando con los datos simulados en EPANET 2.0, vease en las tablas 10 y 11.

Tabla 10. Registro de datos de presion EPANET 2.0

Presión tomada de epanet							
Manometro 1	Manometro 2	Manometro 3	Manometro 4	Manometro 5	Manometro 6	Manometro 7	Manometro 8
mca	mca	mca	mca	mca	mca	mca	mca
7,2	6,86	6,8	6,7	6,79	6,68	6,55	6,67

Tabla 11. errores de presion simulada

N° Manometro	Presión en laboratorio	Presión en epanet	Error	
	mca	mca	decimal	%
Manometro 2	7,7	6,86	0,11	11%
Manometro 3	7,7	6,8	0,12	12%
Manometro 4	6,3	6,7	0,06	6%
Manometro 5	7,0	6,79	0,04	4%
Manometro 6	8,4	6,68	0,21	21%
Manometro 7	7,0	6,55	0,07	7%
Manometro 8	7,7	6,67	0,14	14%

Se muestra que los datos de presión mostrados en la tabla 11, La incertdumbre del manometro 5, son los más precison debido a que en el modelo fisico este manometro se encuentra en el centro de la red y ocasiona menores perdidas por fricción y accesorios.

Conclusiones

- Este procedimiento sistemático garantiza datos confiables y minimiza la incertidumbre, clave para análisis hidráulicos precisos. La repetición de 5 aforos permite obtener un valor promedio representativo y evaluar la consistencia de las mediciones.
- La comparación entre los caudales experimentales y los simulados en EPANET confirma que el modelo hidráulico representa adecuadamente el sistema físico. Las diferencias se mantienen dentro de rangos aceptables, lo que valida la correcta construcción de la curva de calibración de la bomba. En consecuencia, existe coherencia entre los datos de laboratorio y la simulación numérica, garantizando una predicción confiable del comportamiento hidráulico.
- La revisión del procedimiento empleado para el cálculo de pérdidas menores evidencia que la metodología aplicada es técnicamente consistente y adecuada para el análisis del sistema hidráulico. El uso del método de longitud equivalente, junto con la determinación del factor de fricción mediante el diagrama de Moody y la ecuación de Colebrook bajo régimen de flujo completamente desarrollado, proporciona una base teórica sólida para la estimación del coeficiente de pérdida K.
- EPANET sintetiza todo el conocimiento hidráulico práctico desarrollado en las secciones anteriores. La confiabilidad del modelo no depende del software en sí, sino de la calidad de los datos de entrada: aforos precisos, curvas de bomba bien caracterizadas y una correcta estimación de las pérdidas. Este manual proporciona la metodología para obtener esos datos confiables y utilizarlos de manera cohesionada para crear una herramienta de simulación poderosa y precisa.

Bibliografía

- Saldarriaga, J. (2019). *Hidráulica de tuberías: Abastecimiento de agua, redes y riegos* (4.^a ed.). Alfaomega. ISBN 978-958-778-624-8
- Carmona, R. P. (2010). *Instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones* (6ta ed.). Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2012). *Mecánica de fluidos* (2nda ed.). McGrawHill.
- Mendenhall, & Beaver. (2010). *Introducción a la probabilidad y estadística* (13a ed.). CENGAGE Learning.
- Mott, R. L., & Untener, J. A. (2015). *Mecánica de Fluidos* (7ma ed.). Pearson.
- Silverio, N., & Holger, B. (2020). Determinación de pérdidas de carga en accesorios "K" de sistemas domiciliarios. *Ecuadorian Science Journal*, 4(2).
- White, F. M. (2004). *Mecánica de fluidos* (5ta ed.). McGrawHill