

UNIVERSIDAD DE  
GUANAJUATO



# Hidráulica

## CONDUCTOS A PRESIÓN

JOSEFINA ORTIZ MEDEL  
DANIEL ALBERTO RODRÍGUEZ RENDÓN  
JOSÉ DE JESÚS MORA RODRÍGUEZ  
FRANCISCO RAMÍREZ NAVARRO  
XITLALI VIRGINIA DELGADO GALVÁN

Los autores de esta publicación tienen el objetivo de apoyar a los alumnos e interesados en el tema de los conductos a presión, valiéndose de siete prácticas didácticas llevadas a cabo en el modelo físico experimental de la red de distribución de agua de un laboratorio de hidráulica.

En el presente documento se plantea el reconocimiento del modelo físico experimental de la red de distribución de agua y la exploración por medio de una simulación hidráulica, de manera que el practicante obtenga resultados y conclusiones claras, aplicables en su quehacer académico y profesional.

# HIDRÁULICA

CONDUCTOS  
A PRESIÓN

LECTORES  
UNIVERSITARIOS

# CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Dirección de Extensión Cultural



Campus Guanajuato  
División de Ingenierías

# HIDRÁULICA

## CONDUCTOS A PRESIÓN

JOSEFINA ORTIZ MEDEL  
DANIEL ALBERTO RODRÍGUEZ RENDÓN  
JOSÉ DE JESÚS MORA RODRÍGUEZ  
FRANCISCO RAMÍREZ NAVARRO  
XITLALI VIRGINIA DELGADO GALVÁN



UNIVERSIDAD  
DE GUANAJUATO

*Hidráulica*

*Conductos a presión*

Primera edición electrónica, 2019

D. R. © Universidad de Guanajuato  
Lascuráin de Retana núm. 5, Centro,  
Guanajuato, Gto., México, C. P. 36000

Producción:  
Programa Editorial Universitario  
Mesón de San Antonio, Alonso núm. 12,  
Centro, Guanajuato, Gto., C. P. 36000  
editorial@ugto.mx

Cuidado de la edición: A. J. Aragón  
Formación: Ángel Hernández Carrillo y Jorge León Soto  
Diseño de portada: Jaime Romero Baltazar  
Corrección: Martín Eduardo Martínez  
Edición digital: Jorge Alberto León Soto

Esta obra se sometió a un proceso de dictaminación por parte del comité editorial de la División de Ingenierías del Campus Guanajuato

Queda prohibida la reproducción o transmisión parcial o total de esta obra bajo cualquiera de sus formas, electrónica o mecánica, sin el consentimiento previo y por escrito del editor

ISBN PDF: 978-607-441-642-8

Impreso y hecho en México  
*Printed and made in Mexico*

# Contenido

---

Introducción .....	9
<b>Práctica 1</b>	
Reconocimiento del modelo experimental .....	11
<b>Práctica 2</b>	
Determinación del número de Reynolds .....	15
<b>Práctica 3</b>	
Resistencia al flujo en conductos a presión. Coeficiente de fricción.....	19
<b>Práctica 4</b>	
Determinación de pérdidas por fricción .....	25
<b>Práctica 5</b>	
Determinación de la pérdida de energía local generada por una válvula reductora de presión .....	31
<b>Práctica 6</b>	
Pérdidas de energía primaria y secundaria en el serpentín .....	37
<b>Práctica 7</b>	
Simulación hidráulica de la red experimental .....	43





# Introducción

---

El presente manual de prácticas ha sido formulado con el fin de apoyar la materia de Hidráulica de Conductos a Presión, ubicada en el quinto semestre de la licenciatura de Ingeniería Hidráulica.

El manual está planteado para realizar siete prácticas en el modelo físico experimental de la red de distribución de agua, instalada en el Laboratorio de Hidráulica, Sede La Perlita, de la División de Ingenierías.

En la Práctica 1 se realiza el reconocimiento del modelo físico experimental de la red de distribución de agua, con el fin de identificar los elementos que lo integran, su nombre, características, ubicación y función.

En la Práctica 2 se plantea determinar el número de Reynolds para diferentes caudales, con el fin de determinar el tipo de flujo que se presenta en conductos a presión.

En la Práctica 3 se determina la resistencia al flujo, a partir del factor de fricción, para diferentes caudales.

En la Práctica 4 se determinan pérdidas primarias o de fricción, que se producen en una tubería de fierro galvanizado de diámetro constante y el resultado se compara contra el obtenido en forma analítica.

En la Práctica 5 se determina el coeficiente de pérdida  $K$  de una válvula reductora de presión, instalada a la entrada de un circuito de la red experimental de agua potable.

En la Práctica 6 se determinan las pérdidas de energía que se presentan en la conducción de agua a través del serpentín de PVC de diámetro constante.

Finalmente, en la Práctica 7 se realiza la simulación hidráulica de la red experimental para determinar la distribución de caudal y presión. Esta simulación será representada numéricamente mediante el programa de cómputo EPANET y se contrastarán los resultados.



# Práctica 1

## **Reconocimiento del modelo experimental**

---

### **INTRODUCCIÓN**

En el Laboratorio de Hidráulica se cuenta con un modelo físico experimental que reproduce una red de distribución de agua potable. El modelo se compone de tres partes principales: 1) sistema de alimentación a la red, 2) línea de conducción a la red y 3) red de distribución.

### **OBJETIVO**

Identificar las partes que componen el modelo experimental y sus componentes con el fin de conocer su nombre, ubicación y función.

### **INSTALACIÓN Y EQUIPO UTILIZADO**

- Red experimental de agua potable
- Cuaderno de anotaciones
- Pluma o lápiz

### **DESARROLLO**

1. Realizar un recorrido por el modelo experimental, con el fin de ubicar el sistema de alimentación, la línea de conducción y la red de distribución.

2. Elaborar un croquis para ubicar los componentes anteriores.
3. Una vez ubicadas las partes del modelo experimental, identificar y cuantificar las piezas especiales que lo componen (válvulas, codos, térs, manómetros, cruces, macromedidores, micromedidores, etc.), indicando sus características (diámetro, material, etc.).

### **DATOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO**

Elaborar un croquis donde se señalen las partes que integran el modelo experimental. Completar la Tabla 1 donde se mencionen el nombre y la función de los componentes del modelo experimental.

Completar la Tabla 2 con la información relativa a las piezas especiales del modelo.

**Tabla 1. Descripción de los componentes de los elementos del modelo experimental y su función**

Elemento	Componentes	Función
Sistema de alimentación		
Línea de conducción		
Red de distribución		

**Tabla 2. Cuantificación de piezas especiales del modelo experimental e indicación del coeficiente de pérdida de energía del accesorio y longitud equivalente**

Piezas especiales	Cantidad	Coeficiente $k$	L.E. (m)
Ejemplo: Codo de fierro galvanizado de 4" de diámetro			

**CONCLUSIONES Y COMENTARIOS**

**REFERENCIAS**

Fuentes, V. S., García-Serra, J., Iglesias, P. L., López, G., Martínez, F. J. y Pérez, R. (2002), *Modelación y diseño de redes de abastecimiento de agua*, Universidad Politécnica de Valencia, Editorial Grupo Mecánica de Fluidos.

Sotelo, A. G. (2002), *Hidráulica general*, México, Editorial Limusa.

Comisión Nacional del Agua (2007), *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*, Varios Libros.

\_\_\_\_\_ (2012), *Manual de incremento de eficiencia física, hidráulica y energética en Sistemas de Agua Potable*, México, Semarnat.

# Práctica 2

## Determinación del número de Reynolds

---

### INTRODUCCIÓN

Reynolds (1874) estudió las características de flujo de los fluidos inyectando un trazador dentro de un líquido que circulaba por una tubería. A velocidades bajas del líquido, el trazador se mueve linealmente en la dirección axial. Sin embargo, a mayores velocidades, las líneas del flujo del fluido se desorganizan y el trazador se dispersa rápidamente después de su inyección en el líquido. El flujo lineal se denomina "laminar" y el flujo errático obtenido a mayores velocidades del líquido se denomina "turbulento".

Las características que condicionan el flujo laminar dependen de las propiedades del líquido y de las dimensiones del flujo. Conforme aumenta el flujo másico aumentan las fuerzas del momento o inercia, las cuales son contrarrestadas por la fricción o fuerzas viscosas dentro del líquido que fluye. Cuando estas fuerzas opuestas alcanzan un cierto equilibrio se producen cambios en las características del flujo. Con base en los experimentos realizados por Reynolds en 1874 se concluyó que las fuerzas del momento son función de la densidad, del diámetro de la tubería y de la velocidad media. Además, la fricción o fuerza viscosa depende de la viscosidad del líquido. Según dicho análisis, el número de Reynolds se definió como la relación existente entre las fuerzas inerciales y las fuerzas viscosas (o de rozamiento).

**OBJETIVO**

Determinar el número de Reynolds para diferentes caudales.

**INSTALACIÓN Y EQUIPO UTILIZADO**

- Línea de conducción de fierro galvanizado
- Medidor electromagnético

**DESARROLLO**

1. Antes de poner en marcha el equipo de bombeo, verificar que estén abiertas las válvulas necesarias para garantizar que el agua circule solo por la línea de conducción hacia la descarga en el tanque superficial y no hacia el interior de los circuitos.
2. Llenar la columna de agua antes de arrancar el equipo de bombeo.
3. Poner en marcha el equipo de bombeo. Trabajar a caudal máximo y esperar a que se estabilice el flujo.
4. Una vez estabilizado el flujo, registrar el valor que indica el medidor electromagnético instalado en la línea de conducción.
5. Fijar tres caudales más, en función del caudal máximo registrado, mediante el cierre de la válvula de compuerta instalada en el tren de descarga (si los caudales se controlan con la válvula antes de la descarga al tanque podrían generarse regímenes laminares, pero la presión en la línea sería muy alta). Esperar, en los tres casos, a que se estabilice el flujo y registrar el valor correspondiente del medidor electromagnético.

**DATOS OBTENIDOS EN LABORATORIO**

Diámetro de la tubería (m):

Medición	Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
1 (máximo)	



Medición	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
2	
3	
4	

### CÁLCULOS

- Determinar el área transversal de la tubería,  $A$  (m<sup>2</sup>):

$$A = \pi \frac{D^2}{4}$$

- Calcular la velocidad del flujo,  $V$  (m/s) mediante el cociente del caudal registrado en el medidor electromagnético y el área de la tubería:

$$V = \frac{Q}{A}$$

- Determinar el valor del número de Reynolds ( $Re$ ):

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

Donde:  $\nu$  = Viscosidad cinemática =  $1 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s

- Concentrar en la Tabla 1 los resultados obtenidos, identificando el tipo de régimen obtenido.

**Tabla 1. Resultados obtenidos**

Número	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Número de Reynolds ( $Re$ )	Tipo de régimen
1				
2				
3				
4				

**PREGUNTAS**

¿Por qué se ha obtenido ese tipo de régimen de turbulencia?

¿Qué velocidad se requeriría para obtener un régimen laminar en la línea de conducción?

**CONCLUSIONES Y COMENTARIOS****REFERENCIAS**

Sotelo Ávila, Gilberto (2011), *Hidráulica general*, México, Editorial Limusa.

# Práctica 3

## Resistencia al flujo en conductos a presión. Coeficiente de fricción

### INTRODUCCIÓN

En las líneas de conducción un fluido se desplaza por la diferencia de energía específica del mismo entre dos puntos dentro de la conducción. El movimiento del fluido por la conducción genera una pérdida de energía por fricción, debida al rozamiento viscoso de las diferentes capas del fluido y al rozamiento con la pared de la tubería, la cual presenta una rugosidad principalmente en función del tipo de material. Esta rugosidad, llamada absoluta, es equivalente a la altura media de las asperezas. Sin embargo, presenta mayor importancia la rugosidad relativa, la que relaciona la rugosidad absoluta con el diámetro del conducto. El efecto de la rugosidad sobre el flujo en conductos a presión se obtiene mediante el factor de fricción ( $f$ ), que para flujos turbulentos depende de la rugosidad ( $\epsilon$ ) y del número de Reynolds ( $Re$ ). Hay diversas maneras de obtener el factor de fricción, entre las más comunes, mediante la ecuación de Colebrook y White, a partir del cual se generó el Diagrama Universal de Moody, o mediante la expresión explícita de Swamee y Jain, válida para  $10^{-6} < \epsilon/D < 10^{-2}$  y  $10^3 < Re < 10^8$ , con un error relativo del 1%.

Considerando que el flujo en la tubería será turbulento, se pueden aplicar las tres formas de obtener el factor de fricción; en el primer caso, al ser una ecuación implícita, se deberá iterar para llegar al resultado. Para los casos prácticos, por su parte, se recurre a ecuaciones explícitas.

**OBJETIVO**

Determinar el coeficiente de fricción para diferentes caudales.

**INSTALACIÓN Y EQUIPO UTILIZADO**

- Red experimental de agua potable (línea de conducción principal)
- Medidor electromagnético

**DESARROLLO**

1. Antes de poner en marcha el equipo de bombeo, verificar que estén abiertas las válvulas necesarias para garantizar que el agua circule solo por la línea de conducción y no hacia el interior de los circuitos.
2. Llenar la columna de agua antes de arrancar el equipo de bombeo.
3. Poner en marcha el equipo de bombeo. Trabajar con caudal máximo y esperar a que se estabilice el flujo.
4. Una vez estabilizado el flujo, registrar el valor que indica el medidor electromagnético instalado en la línea de conducción.
5. Fijar tres caudales más mediante el cierre de la válvula de compuerta, instalada en el tren de descarga en función del caudal máximo. Esperar, en los tres casos, a que se estabilice el flujo y registrar el valor correspondiente del medidor electromagnético.

**DATOS OBTENIDOS EN LABORATORIO**

Diámetro de la tubería (m):

Medición	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
1	
2	
3	
4	

**CÁLCULOS**

1. Determinar el área transversal de la tubería,  $A$  ( $\text{m}^2$ ):

$$A = \pi \frac{D^2}{4}$$

2. Calcular la velocidad del flujo  $V$  ( $\text{m/s}$ ) mediante el cociente del caudal registrado en el medidor electromagnético y el área de la tubería:

$$V = \frac{Q}{A}$$

3. Determinar el valor del número de Reynolds ( $Re$ ):

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

Donde:  $\nu$  = Viscosidad cinemática =  $1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

4. Obtener el valor de la rugosidad absoluta  $\epsilon$ , para tubería de fierro galvanizado, de la referencia bibliográfica.
5. Determinar el valor del coeficiente de fricción ( $f$ ) mediante la ecuación de Colebrook y White. El cálculo se realiza de forma iterativa, proponiendo un valor inicial de  $f$  (verificar en el Diagrama de Moody un valor adecuado).

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \times \log \left[ \frac{\epsilon}{3.71D} + \frac{2.51}{Re \times \sqrt{f}} \right]$$

6. Determinar el valor del coeficiente de fricción  $f$  mediante el Diagrama de Moody. Para ello, se debe calcular la rugosidad relativa ( $\epsilon/D$ ) y el número de Reynolds.
7. Determinar el valor del coeficiente de fricción  $f$  mediante la ecuación de Swamee y Jain y comparar con el obtenido mediante el Diagrama de Moody.

$$f = \frac{0.25\epsilon}{\left[ \log \left( \frac{\epsilon}{3.7D} \right) + \frac{5.74}{Re \cdot 0.9} \right]^2}$$

8. Concentrar los resultados obtenidos en la Tabla 1.

**Tabla 1. Resultados obtenidos**

Medición	Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Velocidad ( $\text{m}/\text{s}$ )	Número de Reynolds ( $Re$ )	Factor de fricción ( $f$ )		
				Colebrook y White	Diagrama de Moody	Swamee y Jain
1						
2						
3						
4						

**PREGUNTAS:**

1. ¿De acuerdo a los valores de Reynolds fue posible aplicar ambas ecuaciones?
2. ¿Qué diferencia se obtiene entre ambas ecuaciones y con el obtenido con el Diagrama de Moody?
3. Explique si de la ecuación de Swamee y Jain se obtuvo el error relativo esperado de acuerdo a los rangos en los que se puede utilizar esta ecuación.

## CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

## REFERENCIAS

Sotelo Ávila, Gilberto (2011), *Hidráulica general*, México, Editorial Limusa.

Fuertes, V. S., García-Serra, J., Iglesias, P. L., López, G., Martínez, F. J., y Pérez, R. (2002), *Modelación y diseño de redes de abastecimiento de agua*, Universidad Politécnica de Valencia, Editorial Grupo Mecánica de Fluidos.





# Práctica 4

## Determinación de pérdidas por fricción

---

### INTRODUCCIÓN

El transporte de agua a través de tuberías provoca pérdidas de energía clasificadas en dos tipos: pérdidas por fricción, también llamadas primarias o de carga continua, y pérdidas localizadas o secundarias, debidas a los sitios en específico de la instalación en donde se presenta un cambio de dirección, de sección o cuando son provocadas por algún accesorio en la conducción.

El movimiento del agua en tuberías se lleva a cabo por medio de la energía específica del fluido, la cual está dada para fluidos incompresibles por una energía potencial, una energía de presión y una energía cinética. Entre dos puntos de una línea de conducción, el fluido se moverá del punto de mayor energía específica hacia el punto de menor energía específica. Dicha diferencia se refiere a las pérdidas de energía en el sentido del flujo, debido a la viscosidad propia del fluido y a la resistencia de contactos entre el agua y las paredes del tubo. La resistencia origina las pérdidas primarias. La fuerza con que se mueve el agua es mayor que la resistencia de contacto, por ello se produce el movimiento.

A la resistencia de contacto entre el agua y las paredes del tubo se le llama fuerza de fricción, fuerza de roce o esfuerzo de corte. El esfuerzo de corte, al ser resistente al movimiento, siempre se opone al mismo. Por lo tanto, su dirección es en sentido contrario a la dirección del movimiento del agua.

La cantidad de fricción que produce el movimiento del agua sobre las paredes de la tubería depende de la fuerza con que ambos se oprimen (peso del agua sobre las paredes). La rugosidad de las paredes de la tubería  $\epsilon$ , está direc-

tamente relacionada con la fuerza de roce; a mayor rugosidad, mayor fuerza de roce y viceversa.

### **OBJETIVO**

Determinar experimentalmente la pérdida primaria que se produce en una tubería de fierro galvanizado de diámetro constante y comparar el resultado contra el obtenido en forma analítica.

### **INSTALACIÓN Y EQUIPO UTILIZADO**

- Red experimental de agua potable (línea de conducción principal)
- Medidor electromagnético
- Manómetros
- Cinta o flexómetro

### **DESARROLLO**

1. Ubicar los manómetros a, b y c instalados en la línea de conducción del modelo experimental.
2. Medir la longitud de los tramos de la línea de conducción en que se evaluará la pérdida primaria. El tramo 1 corresponde a la distancia entre los manómetros a y b y el tramo 2 está representado por la distancia entre los manómetros a y c.
3. Antes de poner en marcha el equipo de bombeo, verificar que estén abiertas las válvulas necesarias para garantizar que el agua circule solo por la línea de conducción y no hacia el interior de los circuitos.
4. Llenar la columna de agua antes de arrancar el equipo de bombeo.
5. Poner en marcha el equipo de bombeo. Trabajar con el caudal máximo, y esperar a que se estabilice el flujo. Una vez estabilizado, anotar el valor de la presión indicado en los manómetros a, b y c y el caudal indicado en el medidor instalado en la línea de conducción (verificar las unidades en que registran los medidores de presión y caudal).

6. Fijar tres caudales más mediante el cierre de la válvula de compuerta instalada en el tren de descarga. Esperar, en los tres casos, a que se estabilice el flujo y registrar el valor correspondiente del medidor electromagnético y la presión en los manómetros a, b y c.

### DATOS OBTENIDOS EN LABORATORIO

Diámetro de la línea de conducción (m):

Longitud del tramo 1 (distancia entre los manómetros a y b) (m):

Longitud del tramo 2 (distancia entre los manómetros a y c) (m):

Registrar en la Tabla 1 los valores de caudal y presión obtenidos en el laboratorio.

**Tabla 1. Valores de gasto y presión**

Caudal (l/s)	Presión (kg/cm <sup>2</sup> )		
	Manómetro a	Manómetro b	Manómetro c

### CÁLCULOS

1. Calcular la pérdida primaria experimental para los tramos 1 y 2 en las unidades de metros de columna de agua.
  - a) Calcular la carga de presión ( $m_{ca}$ ) a partir de la presión manométrica (kg/cm<sup>2</sup>) a, b y c.
  - b) Para el tramo 1, la pérdida de energía está dada por la diferencia de presión entre los manómetros a y b.

- c) La pérdida de energía para el tramo 2 se obtiene mediante la diferencia de presión entre los manómetros a y c.
2. Determinar la pérdida primaria mediante las ecuaciones de Darcy-Weisbach, Hazen-Williams y Chezy-Manning.

- a) Calcular el área transversal de la tubería,  $A$  ( $\text{m}^2$ ):

$$A = \pi \frac{D^2}{4}$$

- b) Conocer la velocidad del flujo  $V$  ( $\text{m/s}$ ), mediante el cociente del gasto registrado en el medidor electromagnético y el área de la tubería:

$$V = \frac{Q}{A}$$

- c) Determinar el valor del número de Reynolds ( $Re$ ):

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

Donde:  $\nu$  = Viscosidad cinemática =  $1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

- d) Obtener el valor de la rugosidad relativa,  $\epsilon/D$ :

Donde:  $\epsilon$  = rugosidad absoluta =  $0.15 \text{ mm} = 0.00015 \text{ m}$

- e) A partir de los datos obtenidos en los incisos c) y d), se puede obtener el coeficiente de fricción ( $f$ ), mediante el Diagrama de Moody o la ecuación de Swamee y Jain:

$$f = 0.25 \left[ \log \left( \frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^{-2}$$

- f) Sustituir los valores obtenidos en los incisos anteriores en la ecuación de Darcy-Weisbach y determinar el valor de la pérdida primaria.

$$hf_{\text{Darcy}} = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

Donde:  $hf_{\text{Darcy}}$  = Pérdida primaria obtenida con la ecuación de Darcy-Weisbach (m)

- $f$  = Coeficiente de fricción (adimensional)  
 $L$  = Longitud de la tubería (m)  
 $V$  = Velocidad del flujo (m/s)  
 $D$  = Diámetro de la tubería (m)  
 $g$  = Aceleración de la gravedad =  $9.81 \text{ m/s}^2$

3. Calcular la pérdida primaria mediante la ecuación de Hazen-Williams:

$$hf_{\text{HW}} = \left( \frac{10.64L}{C_{\text{HW}}^{1.852} D^{4.871}} \right) Q^{1.852}$$

- Donde:  $hf_{\text{HW}}$  = Pérdida primaria obtenida con la ecuación de Hazen-Williams (m)  
 $L$  = Longitud de la tubería (m)  
 $C_{\text{HW}}$  = Coeficiente de Hazen-Williams específico para el material de la tubería  
 $D$  = Diámetro de la tubería (m)  
 $Q$  = Caudal registrado en el medidor electromagnético ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

4. Calcular la pérdida primaria mediante la ecuación de Chezy-Manning:

$$hf_{\text{CM}} = 10.3n^2 \left( \frac{Q^2}{D^{5.35}} \right) L$$

- Donde:  $hf_{\text{CM}}$  = Pérdida primaria obtenida con la ecuación de Chezy-Manning (m)  
 $n$  = Coeficiente de Manning en función del material de la tubería (adimensional)  
 $D$  = Diámetro (m)  
 $Q$  = Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )  
 $L$  = Longitud de la tubería (m)

5. Comparar los resultados de las pérdidas primarias obtenidas de manera experimental con las obtenidas mediante las ecuaciones de Darcy-Weisbach, Hazen-Williams y Chezy-Manning (Tabla 2).

**Tabla 2. Pérdidas primarias experimentales y analíticas**

Tramo número	Longitud (m)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Pérdida de energía $h_f$ (m)			
			Experi- mental	Analítica		
				Ecuación de Darcy-Weisbach	Ecuación de Hazen-Williams	Ecuación de Chezy-Manning
1						
2						

**PREGUNTAS:**

¿Por qué se presenta diferencia entre los resultados?

¿Cuál ecuación se ajusta mejor con los datos experimentales?

Mencione diferencias entre los datos experimentales y los resultados calculados.

**CONCLUSIONES Y COMENTARIOS****REFERENCIAS**

Sotelo Ávila, Gilberto (2011), *Hidráulica general*, México, Editorial Limusa.

# Práctica 5

## Determinación de la pérdida de energía local generada por una válvula reductora de presión

### INTRODUCCIÓN

Las pérdidas de energía secundarias, conocidas también como pérdidas locales o puntuales, son originadas por una infinidad de accesorios que se ubican dentro de un sistema de tuberías, como por ejemplo:

- Válvulas
- Codos
- Niples
- Reducciones
- Ensanchamientos
- Uniones universales
- Etcétera

Para evaluar las pérdidas secundarias se utiliza la siguiente ecuación:

$$h_L = K \frac{V^2}{2g}$$

Donde:  $h_L$  = Pérdida secundaria (m)

$K$  = Constante en función del tipo de accesorio que genere la pérdida en función del número de Reynolds y del material

$V = \text{Velocidad (m/s)}$

$g = \text{Aceleración de la gravedad (m/s}^2\text{)}$

Las válvulas reductoras de presión tienen como misión mantener constante la presión aguas abajo del punto de instalación. Así mismo, al limitar la presión, permiten acotar el caudal instantáneo a suministrar hacia la zona situada aguas abajo de las mismas y el volumen de fugas. La regulación de la presión se hace efectiva a través de la pérdida de carga que introduce la válvula. La pérdida de carga está en función del caudal circulante y del grado de apertura de la válvula.

### **OBJETIVO**

Determinar en laboratorio el coeficiente de pérdida  $K$  de una válvula reductora de presión, instalada a la entrada de un circuito de la red experimental de agua potable.

### **INSTALACIÓN Y EQUIPO UTILIZADO**

- Red experimental de agua potable
- Medidor electromagnético
- Válvula reductora de presión
- Manómetros
- Cronómetro

### **DESARROLLO**

1. Antes de poner en marcha el equipo de bombeo, verificar que estén abiertas las válvulas necesarias para garantizar que el agua circule hacia el interior del segundo circuito de la red experimental donde se encuentra instalada la válvula reductora de presión y no hacia la línea de conducción. Así mismo, asegurar que los desfuegos del circuito se encuentren completamente abiertos, a fin de evitar presiones elevadas en el sistema.
2. Llenar la columna de agua antes de arrancar el equipo de bombeo.
3. Poner en marcha el equipo de bombeo. Trabajar con el caudal máximo y esperar a que se estabilice el flujo. Una vez estabilizado, anotar el valor de la presión que indican los manómetros instalados aguas arriba y aguas



abajo de la válvula reductora de presión,  $P_1$  y  $P_2$ , respectivamente, y el caudal indicado en el medidor instalado en la línea de conducción.

4. Fijar tres caudales más, mediante el cierre de la válvula de compuerta instalada en el tren de descarga. Esperar, en los tres casos, a que se estabilice el flujo y registrar el valor correspondiente del medidor electromagnético, así como la presión en los manómetros aguas arriba y aguas abajo de la válvula reductora de presión.

**DATOS OBTENIDOS EN LABORATORIO**

Diámetro de la tubería (m):

**Tabla 1. Datos obtenidos en el laboratorio**

Número de lectura	Q (m <sup>3</sup> /s)	P <sub>1</sub> kg/cm <sup>2</sup>	P <sub>2</sub> kg/cm <sup>2</sup>
1			
2			
3			
4			

**CÁLCULOS**

1. Calcular la carga de presión (mca) a partir de la presión manométrica  $\left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right)$  1 y 2.

$$\frac{P}{\gamma_{\text{agua}}}(\text{mca}) = \frac{P(\text{kg/cm}^2)}{\gamma_{\text{agua}}(\text{kg/cm}^3)} \times 1 \times 10^{-2} \left(\frac{\text{m}}{\text{cm}}\right)$$

2. Determinar la pérdida secundaria debida a la válvula reductora de presión, mediante la diferencia de presión en los manómetros aguas arriba y aguas abajo de la misma,  $h_L$  (en metros):

$$h_L = \frac{P_1}{\gamma}(\text{mca}) - \frac{P_2}{\gamma}(\text{mca})$$

3. Calcular el área transversal de la tubería,  $A(\text{m}^2)$ :

$$A = \pi \frac{D^2}{4}$$

Donde:  $D$  = Diámetro de la tubería (m)

4. Encontrar la velocidad del flujo,  $V$  (m/s):

$$V = \frac{Q}{A}$$

Donde:  $Q$  = Gasto registrado en el medidor electromagnético (m<sup>3</sup>/s)  
 $A$  = Área transversal de la tubería (m<sup>2</sup>)

5. Obtener el valor del coeficiente de pérdida de la válvula,  $Kv$ , a partir de la ecuación general de pérdida localizada. Anotar los resultados en la Tabla 2.

$$Kv = \frac{h_L \times 2g}{V^2}$$

Donde:  $h_L$  = Pérdida localizada (m)  
 $g$  = Aceleración de la gravedad = 9.81 m/s<sup>2</sup>  
 $V$  = Velocidad del flujo (m/s)

**Tabla 2. Valores del coeficiente  $Kv$  para diferentes gastos**

Número de lectura	$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	$h_L$ (m)	$Kv$
1			
2			
3			
4			

## CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

## **REFERENCIAS**

Cabrera, E., Espert, V., García-Sierra, J., Martínez, F. (1996), *Ingeniería hidráulica aplicada a los Sistemas de Distribución de Agua*, España, Universidad Politécnica de Valencia.

Sotelo Ávila, Gilberto (2011), *Hidráulica general*, México, Editorial Limusa.



# Práctica 6

## **Pérdidas de energía primaria y secundaria en el serpentín**

---

### **INTRODUCCIÓN**

En las redes hidráulicas urbanas e industriales se presentan diversas geometrías, cambios de dirección y una serie de accesorios para su control y medición a lo largo de la instalación. Esto se debe a la topología del lugar donde se está construyendo, a la necesidad de proveer de manera adecuada el agua y a otros factores que pueden presentarse al momento del diseño y de la operación de la red.

La red experimental instalada en el Laboratorio de La Perlita cuenta con un serpentín (tubería en forma de espiral) construido para representar las pérdidas de energía en líneas de conducción de agua y transitorios de presión, los cuales son objeto de estudio en la hidráulica de conductos a presión.

### **OBJETIVO**

Determinar experimentalmente las pérdidas de energía que se presentan en la conducción de agua a través del serpentín de PVC de diámetro constante.

### **INSTALACIÓN Y EQUIPO UTILIZADO**

- Red experimental de agua potable
- Línea principal de fierro galvanizado y serpentín de PVC
- Cinta métrica
- Manómetros

**DESARROLLO**

1. Medir longitudes de los diversos tramos de los que se conforma el serpentín.
2. Tener ubicados tres manómetros de referencia. Al inicio del tren de descarga a la línea principal, al término de la conducción de fierro galvanizado y al final del serpentín.
3. Antes de poner en marcha el equipo de bombeo, verificar que estén abiertas las válvulas necesarias para garantizar que el agua circule solo por la línea de conducción y no hacia el interior de los circuitos.
4. Poner en marcha el equipo de bombeo.
5. Establecer un flujo constante desde la válvula de compuerta ubicada en el tren de descarga y verificar las presiones en los manómetros previamente fijados.
6. Se realizarán dos ensayos, uno para caudal máximo y otro para caudal intermedio.

**DATOS OBTENIDOS EN LABORATORIO**

Longitud de los diversos tramos de conducción,  $L$  (m)  
Diámetro de los diversos tramos de conducción,  $D$  (m)  
Gasto registrado en el medidor electromagnético,  $Q$  (l/s)  
Presión registrada en el manómetro 1,  $P_1$  (kg/cm<sup>2</sup>)  
Presión registrada en el manómetro 2,  $P_2$  (kg/cm<sup>2</sup>)  
Presión registrada en el manómetro 3,  $P_3$  (kg/cm<sup>2</sup>)

**CÁLCULOS**

1. Calcular la pérdida primaria mediante la ecuación de Darcy-Weisbach para los dos tipos de tubería.
  - a) Determinar el área transversal de la tubería,  $A$  (m<sup>2</sup>):

$$A = \pi \frac{D^2}{4}$$

- b) Conocer la velocidad del flujo,  $V$  (m/s), mediante el cociente del gasto registrado en el medidor electromagnético y el área de la tubería:

$$V = \frac{Q}{A}$$

- c) Determinar el valor del número de Reynolds ( $Re$ ):

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

Donde:  $\nu$  = Viscosidad cinemática =  $1 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s

- d) Obtener el valor de la rugosidad relativa  $\varepsilon/D$ :

Donde:  $\varepsilon$  = Rugosidad absoluta.

Consultar referencia bibliográfica.

- e) A partir de los datos obtenidos en los incisos c) y d), se puede obtener el coeficiente de fricción ( $f$ ) mediante el Diagrama de Moody. Calcular por diagrama y ecuación.

- f) Sustituir los valores obtenidos en los incisos anteriores en la ecuación de Darcy-Weisbach y determinar el valor de la pérdida primaria,  $hf_{DW}$ :

$$f = 0.25 \left[ \log \left( \frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^{-2} \quad hf_{DW} = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

Swamee y Jain

Donde:  $hf_{DW}$  = Pérdida primaria obtenida con la ecuación de Darcy-Weisbach (m)

$f$  = Coeficiente de fricción (adimensional)

$L$  = Longitud de la tubería (m)

$V$  = Velocidad del flujo (m/s)

$D$  = Diámetro de la tubería (m)

$g$  = Aceleración de la gravedad = 9.81 m/s<sup>2</sup>

2. Calcular la pérdida primaria mediante la ecuación de Hazen-Williams ( $hf_{HW}$ ):

$$hf_{HW} = \left( \frac{10.64L}{C_{HW}^{1.852} D^{4.871}} \right)$$

Donde:  $hf_{HW}$  = Pérdida primaria obtenida con la ecuación de Hazen-Williams (m)

- $L$  = Longitud de la tubería (m)  
 $C_{HW}$  = Coeficiente de Hazen-Williams específico para el material de la tubería  
 $D$  = Diámetro de la tubería (m)  
 $Q$  = Gasto registrado en el medidor electromagnético ( $m^3/s$ )

3. Calcular la pérdida de energía experimental.

- a) Calcular la carga de la presión (mca) a partir de la presión manométrica ( $kg/cm^2$ ) 1, 2 y 3.

$$\frac{P}{\gamma_{\text{agua}}} = \frac{P(kg/cm^2)}{\gamma_{\text{agua}}(kg/cm^3)} \times 1 \times 10^{-2} \left( \frac{m}{cm} \right)$$

- Donde:  $P$  = Presión leída en el manómetro 1 ( $kg/cm^2$ )  
 $\gamma_{\text{agua}}$  = Peso específico del agua ( $kg/cm^3$ )

- b) Obtener el valor de la pérdida de energía experimental ( $h_e$ )

$$h_{\text{efogo}} = P_{1(\text{mca})} - P_{2(\text{mca})}$$

$$h_{\text{epvc}} = P_{2(\text{mca})} - P_{3(\text{mca})}$$

$$h_{e \text{ experimental}} = h_{\text{efogo}} + h_{\text{epvc}}$$

4. Determinar la pérdida localizada a partir de la diferencia de presiones aguas arriba y aguas abajo,  $h_L$  (en metros):

$$h_L = P_{1(\text{mca})} - P_{2(\text{mca})}$$

Escribir los datos en la Tabla 1.

5. Obtener el coeficiente de pérdida de la válvula,  $Kv$ , a partir de la ecuación general de pérdida localizada:

$$Kv = \frac{h_L \times 2g}{V^2}$$

- Donde:  $h_L$  = Pérdida localizada (m)  
 $Kv$  = Coeficiente de pérdida de la válvula  
 $V$  = Velocidad (m/s)  
 $g$  = Aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )



**Tabla 1. Datos obtenidos en laboratorio**

Número de lectura	$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	$P_1$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$P_2$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$P_3$ (kg/cm <sup>2</sup> )
1				
2				

Al realizar los cálculos, escribir los resultados en la Tabla 2.

**Tabla 2. Resultados**

Número de lectura	$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	$h_{\text{ffogo}}$ (m)	$h_{\text{fpvc}}$ (m)	$\sum h_L$ (m)	$h_e$ calculado (m)	$h_e$ experimental (m)
1						
2						

**PREGUNTAS:**

¿En qué tubería se presenta mayor pérdida de energía por fricción? ¿Cuánto es la diferencia y por qué?

¿Cuánto es el valor de las pérdidas de energía locales a diferencia de las pérdidas por fricción?

¿Qué accesorio produce mayor pérdida de energía? Explique por qué.

¿Cuánto es la diferencia entre la pérdida de energía experimental y calculada?  
¿Por qué se presenta dicha diferencia?

## **CONCLUSIONES Y COMENTARIOS**

## **REFERENCIAS**

Sotelo Ávila, Gilberto (2011), *Hidráulica general*, México, Editorial Limusa.

# Práctica 7

## **Simulación hidráulica de la red experimental**

---

### **OBJETIVO**

Realizar la simulación hidráulica de la red experimental para determinar la distribución de caudal y presión.

### **INSTALACIÓN Y EQUIPO UTILIZADO**

- Modelo experimental
- Levantamiento topográfico de la red experimental
- Programa de cómputo para realizar la simulación hidráulica

### **DESARROLLO**

1. Realizar el levantamiento topográfico de la red experimental con el fin de elaborar su plano y determinar su topología.
2. Recopilar la información necesaria para caracterizar los componentes del modelo hidráulico: nodos, tuberías, válvulas, etc.
3. Para los nodos se requiere la siguiente información: coordenadas  $x$  y  $y$ , elevación y demanda (si es el caso).

4. Para las tuberías se requiere la siguiente información: nodo inicial y final, diámetro, longitud, coeficiente de rugosidad, conectividad o topología y material.
5. Establecer en el laboratorio tres condiciones de demandas para realizar la simulación hidráulica.

**CÁLCULOS**

1. Realizar la simulación hidráulica del modelo, en estado permanente y en periodo extendido, con el software EPANET® y el software WaterGEMS®.

**CONCLUSIONES Y COMENTARIOS****REFERENCIAS**

Sotelo Ávila, Gilberto (2011), *Hidráulica general*, México, Editorial Limusa.

UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO

Dr. Luis Felipe Guerrero Agripino  
*Rector General*

Dr. Héctor Efraín Rodríguez de la Rosa  
*Secretario General*

Dr. Sergio Antonio Silva Muñoz  
*Secretario Académico*

Mtro. Jorge Alberto Romero Hidalgo  
*Secretario de Gestión y Desarrollo*

Dra. Elba Margarita Sánchez Rolón  
*Titular del Programa Editorial Universitario*

*Hidráulica*  
*Conductos a presión*  
terminó su producción electrónica  
en agosto de 2019 en el  
Programa Editorial Universitario,  
Alonso núm. 12, Centro, C. P. 36000,  
Guanajuato, Gto.

En su composición se utilizaron las fuentes tipográficas  
Corbel, Helvetica Neue y MMCenturyNew de 11/15 puntos,  
y el cuidado de la edición estuvo a cargo  
de Martín Eduardo Martínez Granados.

Títulos de  
CIENCIA Y TECNOLOGÍA

*El proceso de enfermería. Metodología  
para la práctica profesional*

Ma. Elena Ledesma Delgado

Ma. Elena Ortiz Díaz

Evangelina Oros Elizarrarás

*Potencial eléctrico espontáneo en la exploración  
de los recursos naturales*

John Alexander Randall Roberts

*Electrónica digital y lógica programable*

René de Jesús Romero Troncoso

*Hidráulica. Conductos a presión*

Josefina Ortiz Medel

Daniel Alberto Rodríguez Rendón

José de Jesús Mora Rodríguez

Francisco Ramírez Navarro

Xitlali Virginia Delgado Galván