



## Pérdida de carga en un sistema de tuberías de agua: comparación de resultados experimentales mediante el equipo HM 150.61

### Pressure loss in a water piping system: comparison of experimental results using the HM 150.61 equipment

Marcial De La Cruz Lezama<sup>1</sup>, Armando Siles Delzo Salomé<sup>1</sup>, Ronald Jacobi Lorenzo<sup>1</sup>, Carlos Pedro Mattos Inga<sup>1</sup>

E-mail: mdelacruz@uncp.edu.pe

#### Cómo citar

De La Cruz Lezama, M.; Delzo Salomé, A. S.; Jacobi Lorenzo, R. & Mattos Inga, C. P. (2020). *Pérdida de carga en un sistema de tuberías de agua: comparación de resultados experimentales mediante el equipo HM 150.61*. *Prospectiva Universitaria, Revista de la UNCP*. 17(1), 69-79. <https://doi.org/10.26490/uncp.prospectivauniversitaria.2020.17.1388>

#### Resumen

El trabajo consistió en comparar los resultados de pérdida de carga obtenidos de manera experimental mediante el equipo HM 150.61, en un sistema de tuberías de agua. La medición de los datos primigenios se realizó con los instrumentos artesanales y el cálculo en una hoja de cálculo Excel, y para la medición electrónica se utilizó el equipo HM 150.61 que cuenta con sensores de medición, proveído por la empresa Gunt Hamburg.

El objetivo principal fue determinar la desviación entre la medición experimental y electrónica, pudiendo evidenciar que existe poca desviación; y se comprobó la efectividad de dicho equipo como medio de aprendizaje para los estudiantes de ingeniería y carreras afines; también la medición con el equipo y los resultados experimentales muestran la efectividad de combinar los dos métodos para medir y estimar las pérdidas de carga y poder tomar decisiones mucho más acertadas a la hora de ejecutar proyectos de redes de distribución de agua potable. Se determina el comportamiento de la curva de pérdida de carga, para calcular la potencia de bomba necesaria para hacer circular el agua en un sistema de tuberías.

**Palabras clave:** pérdida de carga, sistema de tuberías, medición experimental, medición electrónica, hidráulica

#### Abstract

The work consisted of comparing the pressure loss results obtained experimentally by the HM 150.61 equipment, in a water piping system. The measurement of the original data was carried out with traditional instruments and the calculation in an Excel spreadsheet, and for the electronic measurement, the HM 150.61 equipment was used, which has measuring sensors, supplied by the Gunt Hamburg company.

The main objective was to determine the deviation between experimental and electronic measurement, being able to evidence that there is little deviation; and the effectiveness of this equipment as a means of learning for engineering and related career was proven. The measurement with the equipment and the experimental results show the effectiveness of combining the two methods to measure and estimate the pressure losses and being able to make much better decisions when implementing projects of drinking water distribution networks. The behavior of the pressure drop curve is determined to calculate the pump power required to circulate water in a piping system.

**Keywords:** pressure loss, piping system, experimental measurement, electronic measurement, hydraulics

<sup>1</sup>Docente de la Facultad de Ingeniería Mecánica- UNCP

## Introducción

El equipo HM 150.61 y su respectivo DataLogger son instrumentos para realizar los ensayos de pérdida de carga en sistema de tuberías de PVC y accesorios. Sin estos equipos, no habría sido posible realizar dichos ensayos. Con el presente trabajo, también se busca satisfacer las necesidades que tienen los grupos de interés, para poder entender el comportamiento y las leyes que gobiernan la hidráulica, para así poder llevarlos a aplicar dichos principios a la hora de realizar instalaciones de sistemas hidráulicos. Estas instalaciones se pueden llevar a cabo en pequeños proyectos o de gran envergadura. Dolinšek et al. (2002) mencionan que los métodos generalmente aceptados para calcular las pérdidas de presión dentro de las tuberías planas, tal como se presentan en la literatura y se utilizan en la práctica, se basan en el número de Reynolds.

Indudablemente, el nivel de vida que caracteriza a una población está ligado, en gran parte, al agua. Las condiciones de presión y calidad del suministro varían en el espacio y en el tiempo. Factores como el crecimiento poblacional y el desarrollo industrial influyen en la dinámica de crecimiento de la red de abastecimiento de una población. Las consecuencias de estas variaciones deben poder preverse con el objetivo de implantar las soluciones técnicas necesarias a tiempo, a fin de que la demanda quede satisfecha. El compromiso de hacer llegar el líquido elemento a cada toma, bajo unos requisitos mínimos de presión y calidad, obliga a estudiar todas y cada una de las posibles características y sus componentes para diseñar una red mucho más eficiente, para esto ayudará la simulación y ensayo que se llevaran a cabo en el presente trabajo. Stadelmann & Lutz (1990) afirman que, la resistencia hidráulica puede relacionarse directamente con el porcentaje de pérdida de presión sin necesidad de utilizar el tamaño del diámetro. Usando este método de cálculo, incluso es posible calcular un sistema de tuberías ramificadas independientemente del caudal. Se dan ejemplos de aplicaciones.

“La ingeniería en las últimas décadas ha visto la irrupción de numerosos paquetes informáticos destinados a facilitar el análisis, diseño y el cálculo de pérdida de carga en sistemas hidráulicos” (Liu & Yu, 2014). Las redes de distribución de agua a presión, cuyo análisis antaño eran complejos y tediosos, hoy en día con las herramientas de simulación es mucho más sencillo. Además, uno de los elementos o variables analizados dice que el diámetro de la tubería debe ser el mínimo para reducir el costo, pero paradójicamente conviene que el diámetro de la tubería sea el máximo para reducir la pérdida de carga y, en consecuencia, el costo de bombeo. Así, como en el análisis anterior, se extraerán muchas más problemáticas, primando en este caso el diseño de un sistema hidráulico

mucho más eficiente y barato; siendo objeto de la presente investigación. Wuennenberg et al. (1984), aclaran que teniendo en cuenta los desarrollos recientes, es importante evitar el colapso frecuente en el sistema de presión. A este respecto, la cuestión de la previsibilidad de las pérdidas de presión y la optimización del sistema de suministro adquiere especial importancia. Giustolisi et al. (2007) menciona que, cada vez más la pérdida de agua por fugas se reconoce como uno de los principales desafíos que enfrenta la operación del sistema de distribución de agua”. Zhu et al. (2011) concluyen que; para superar los problemas de cálculo exactos para la pérdida de carga de luz y el sistema de riego por aspersión pequeño, se discutieron los problemas relacionados en función del mecanismo básico de fluidos. Liu & Yu (2014) dicen que es sabido que las fugas son un tipo de flujo dependiente de la presión en los sistemas de distribución de agua. Rivas & Sánchez, (s/f) (Navarra – España 2007 – 2008) realizaron un estudio sobre pérdidas de carga en los componentes de las instalaciones hidráulicas; donde en el banco de ensayo de la práctica se midió el caudal que circula por cada elemento y la caída de presión que sufre el fluido que lo atraviesa. A partir de estos datos y utilizando la ecuación de Bernoulli es posible obtener las pérdidas de carga que sufre el fluido al circular por cada elemento.

## Materiales y métodos

Los materiales están constituidos por el kit del módulo HM 150, el cual se encuentra en los ambientes de investigación de la FIME.

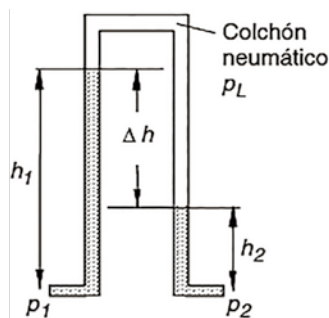
“Las siguientes descripciones nos describe el método sobre la realización del ensayo y sobre los ensayos sobre mecánica de fluidos”(http://e-educativa.catedu.es/, n.d.).

- Colocar la construcción de ensayo en el módulo básico para ensayos sobre mecánica de fluidos HM 150 con la evacuación encima del depósito.
- Soltar las tuercas moleteadas en cruz de la parte trasera de las fijaciones de manómetro. Colocar el manómetro un agujero más abajo. Volver a apretar las tuercas moleteadas en cruz.
- Establecer la unión de mangueras entre HM 150 y el equipo.
- Abrir el desagüe HM 150.
- Conectar la bomba y abrir lentamente el grifo principal de HM 150.
- Conectar el manómetro a los puntos de medición deseados.
- Abrir lentamente el grifo esférico del trayecto de medición deseado y purgar el manómetro. (Indirect full span calibration method for a digital vacuumeter in cities above sea level, n.d.)

- Ajustando al mismo tiempo la válvula de purga y la válvula de desagüe en el manómetro, debe regularse el nivel de agua de tal modo que ambas columnas de agua se encuentren dentro del rango de medición.

### Medición de la presión diferencial

“En este proceso, la válvula de purga está cerrada. Encima de ambas columnas de agua se forma un colchón neumático con la presión  $p_L$ ” (Rivas & Sánchez, s/f). De esta manera se obtienen los siguientes valores para las presiones a medir  $p_1$  y  $p_2$ :



$$p1 = pL + h1 \cdot \rho \cdot g$$

$$p2 = pL + h2 \cdot \rho \cdot g$$

La presión diferencial asciende entonces a:

$$\Delta P = p1 - p2 = pL + h1 \cdot \rho \cdot g - pL - h2 \cdot \rho \cdot g \quad (1)$$

La presión  $pL$  se elimina, lo que da lugar a:

$$\Delta P = \Delta h \cdot \rho \cdot g$$

Siendo:

$$\Delta P = h1 - h2$$

“Mediante la presión  $pL$  puede ajustarse el punto cero para la medición de la presión diferencial” (Çengel & Cimbala, 2012).

Para un margen de medición máximo resulta conveniente situar el punto cero, o bien, el valor medio  $\frac{h1+h2}{2}$  en el centro de la escala de medición  $\frac{hmax}{2}$ .

$$\frac{h1+h2}{2} + \frac{hmax}{2} = \frac{p1-pL+p2-pL}{2 \cdot \rho \cdot g} \quad (2)$$

De esta manera, resulta el siguiente valor para la presión del colchón neumático.

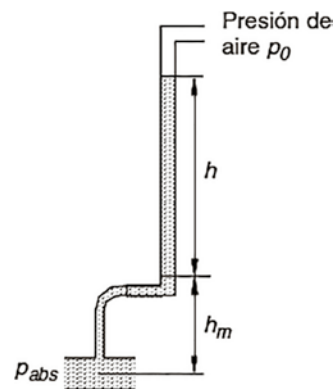
$$pL = \frac{p1+p2-hmax \cdot \rho \cdot g}{2} \quad (3)$$

La presión se ajusta mediante la válvula de purga.

### Medición de la presión absoluta

Para medir la presión absoluta debe abrirse la válvula de purga y determinar la sobrepresión frente a la atmósfera. La presión  $pL$  corresponde a la presión de aire atmosférica  $p0$ .

En este proceso debe tenerse, también en cuenta, la altura  $hm$  entre el punto de medición y el punto cero del manómetro.



$$Pabs = p0 + (h + hm) \cdot \rho \cdot g \quad (4)$$

### Conexión de manómetro y manejo

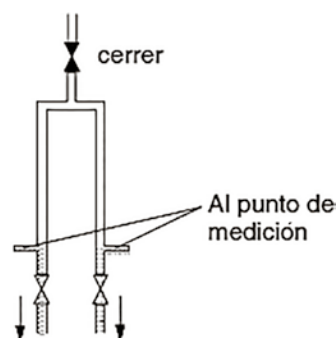
Conectar el manómetro a los puntos de medición deseados mediante las mangueras con los acoplamientos rápidos autoblocantes.

- Abrir el grifo esférico del desagüe.
- Conectar la bomba en HM 150.

### Purga

- Cerrar la válvula de purga superior.
- Abrir ambas válvulas de desagüe inferiores.
- Abrir lentamente el grifo esférico en la afluencia del trayecto de tubo a medir.

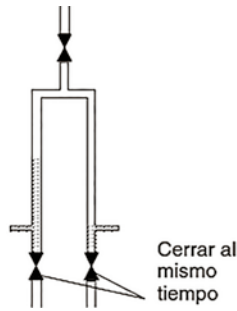
El trayecto de tubo y las mangueras de unión se purgan mediante una corriente de agua potente.



Cuando no queden burbujas de aire en las mangueras de unión:

- Cerrar el trayecto de tubo del desagüe.
- Cerrar lentamente ambas válvulas de desagüe inferiores al mismo tiempo.

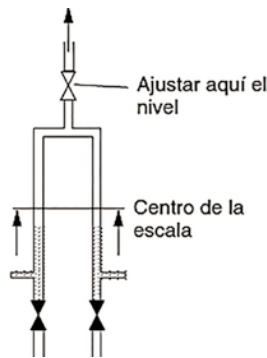
Prestar atención a que ambas columnas de agua asciendan de forma proporcionada y que no se produzca ningún derrame entre los tubos de nivel.



### Ajuste del punto cero

“Para garantizar el máximo margen de medición, el punto cero del manómetro debe encontrarse en el centro de la escala”(Sandoval et al., 2009).

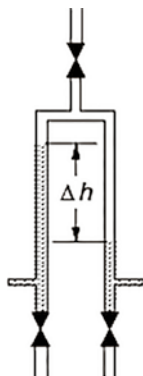
- Cerrar el trayecto de tubo del desagüe.
- El caudal es igual a cero.
- El nivel es el mismo en ambos tubos de medición.
- Ajustar con cuidado el nivel con la válvula de purga al centro de la escala.



### Realización de la medición

- Regular el caudal deseado mediante el grifo de entrada.
- Leer la presión diferencial como diferencia de altura entre ambas columnas de agua.
- En caso de un indicador inestable debe estimarse el valor medio.

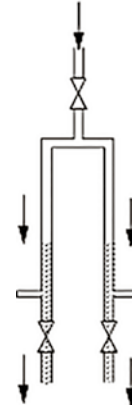
“En caso de las mediciones de la presión diferencial no importa tanto la exactitud absoluta, sino que las lecturas resultan ser reproducibles” (Morales, 2016).



### Terminación de la medición

- Tras la finalización de la medición, debe cerrarse el trayecto de tubo del desagüe.
- Desconectar la bomba en HM 150.
- Abrir completamente el trayecto de tubo de trayecto de tubo de afluencia.
- Abrir la válvula de purga y ambas válvulas de desagüe.

El manómetro se va vaciando y el trayecto de tubo está sin presión.



### Resultados

Para el presente cálculo, con el objeto de mayor exactitud y facilidad, se hace uso de la hoja de cálculo Excel.

### Pérdida de carga por fricción

Ecuaciones:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (5)$$

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (6)$$

$$v = \frac{Q}{A} \quad (7)$$

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad (8)$$

$$f = \frac{0.3164}{\sqrt[4]{Re}} \quad (9)$$

$$h_f = \frac{\lambda \cdot l \cdot v^2}{d \cdot 2 \cdot g} \quad (10)$$

Datos:

$$Q(l/min) = 3.4, 5.1, 9.9, 16.7, 19.2, 21.2, 23.8, 25.6, 28.9 \text{ y } 30$$

$$d = 0.017 \text{ m}$$

$$l = 0.8 \text{ m}$$

$$\nu = 1.134 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$g = 9.80665 \text{ m/s}^2$$

**Cálculo de pérdida de carga por fricción ( $h_f$ )**

En esta trayectoria, el agua circula de izquierda a derecha. La dimensión del tubo redondo de PVC es de 20 x 1,5 mm de diámetro y 800 mm de longitud.

**Figura 5**

Tubo de PVC



**Tabla 21**

Resultados de medición con el equipo HM 150.61.

	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
Magnitud de pérdida $h_f$ en m	0.015	0.020	0.040	0.090	0.130	0.160	0.200	0.225	0.280	0.300
Corriente volumétrica $V$ en l/min	3.4	5.1	9.9	16.7	19.2	21.2	23.8	25.6	28.9	30

**Tabla 21**

Resultados de medición con el equipo HM 150.61.

	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
Magnitud de pérdida $h_f$ en m	0.015	0.020	0.040	0.090	0.130	0.160	0.200	0.225	0.280	0.300
Corriente volumétrica $V$ en l/min	3.4	5.1	9.9	16.7	19.2	21.2	23.8	25.6	28.9	30
Corriente volumétrica $V$ en m <sup>3</sup> /min	5.67E-05	8.50E-05	1.65E-04	2.78E-04	3.20E-04	3.53E-04	3.97E-04	4.27E-04	4.82E-04	5.00E-04
Velocidad de corriente en m/s	0.24965481	0.374482219	0.726936072	1.226245698	1.409815413	1.55667119	1.74758369	1.87975388	2.12206591	2.20283658
Número según Reynolds $Re$	3742.62065	5613.930973	10897.63071	18382.87201	21134.79896	23336.3405	26198.3445	28179.7319	31812.2755	33023.1234
Índice de fricción del tubo según Blasius $\lambda$	0.04045224	0.036552721	0.030967308	0.027172721	0.026241397	0.02559931	0.02486955	0.02442037	0.02369124	0.02347102
Magnitud de pérdida calculada $h_f$ en m	0.00604941	0.012299077	0.039263254	0.098034406						
Desviación en %	-148 %	-63 %	-2 %	8 %	-4 %	-7 %	-10 %	-9 %	-9 %	-10 %

**Pérdida de carga en codos**

Ecuaciones:

$$Q = \frac{V}{t} \tag{11}$$

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \tag{12}$$

$$v = \frac{Q}{A} \tag{13}$$

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \tag{14}$$

$$f = \lambda = \frac{0.3164}{\sqrt[4]{Re}} \tag{15}$$

$$k = \zeta = \frac{2 \cdot h_{f \text{ total}} \cdot g}{v^2} - \lambda \frac{l}{d} \tag{16}$$

$$h_m = k \frac{v^2}{2 \cdot g} \tag{17}$$

$$h_{v \text{ total}} = h_f + h_m = \frac{\lambda \cdot l}{d} \frac{v^2}{2 \cdot g} + k \frac{v^2}{2 \cdot g} \tag{18}$$

Datos:

$$Q = 27.3 \text{ l/min}$$

$h_f$  : Lectura

$$d = 0.017 \text{ m}$$

$$l = 0.203 \text{ m}, 0.322 \text{ m y } 0.378 \text{ m}$$

$$\nu = 1.134 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$g = 9.80665 \text{ m/s}^2$$

**Cálculo de pérdida de carga en codos ( $h_m$ )**

En esta trayectoria, el agua circula de izquierda a derecha. La dimensión del tubo redondo de PVC es de 20 x 1,5 mm de diámetro y dos codos.

**Figura 6**

Codo de PVC de 90°.



**Figura 7**

Codo arco de PVC de 90°.



**Figura 8**

Codo de PVC de 45°.



**Tabla 23**

Resultados de medición con el equipo HM 150.61.

Codo	Corriente Volumétrica v <sub>max</sub> en l/min	Magnitud de pérdida hm total en mm
Ángulo de 90°	27.3	690
Arco de 90°	27.3	705
Ángulo de 45°	27.3	260

**Tabla 24**

Resultados de medición de manera experimental.

Trayectoria de medición	Diámetro interior D en m	Longitud en m	Corriente volumétrica		Velocidad de corriente V en m/s	Número según Reynolds Re	ε/D
			V en l/min	V en m³/s			
Ángulo de 90°	0.017	0.203	28	4.67E-04	2.05598081	30821.5818	0.00006
Arco de 90°	0.017	0.322	28	4.67E-04	2.05598081	30821.5818	0.00006
Ángulo de 45°	0.017	0.378	28	4.67E-04	2.05598081	30821.5818	0.00006

Trayectoria de medición	λ Cálculo según	Índice de fricción del tubo λ	hf	k dos codos	hm (2 ángulos)	hm individual	Magnitud de pérdida hv total	Desviación en %
Ángulo de 90°	Blasius	0.02388	0.061	3.16	0.68104299	0.34052149	742.4980	7%
Arco de 90°	Blasius	0.02388	0.097	3	0.6465598	0.3232799	744.0402	5%
Ángulo de 45°	Blasius	0.02388	0.114	0.72	0.15517435	0.07758718	269.6078	4%

**Pérdida de carga en modificaciones de sección**

**Expansión súbita**

Ecuaciones:

$$Q = \frac{V}{t} \tag{19}$$

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \tag{20}$$

$$v_1 = \frac{Q}{A} \tag{21}$$

$$Re_1 = \frac{v_1 \cdot d_1}{w} \tag{22}$$

$$Re_2 = \frac{v_2 \cdot d_2}{w} \tag{23}$$

$$f_1 = \lambda_1 = \frac{0.3164}{\sqrt[4]{Re_1}} \tag{24}$$

$$f_2 = \lambda_2 = \frac{0.3164}{\sqrt[4]{Re_2}} \tag{25}$$

$$k = \zeta = \left[ 1 - \left( \frac{A_1}{A_2} \right)^2 \right] = \left[ 1 - \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^2 \right] \tag{26}$$

$$h_m = k \frac{v_1^2}{2 \cdot g} \tag{27}$$

Datos:

Q = 28 l/min

h<sub>v</sub> : Lectura

d<sub>1</sub> = 0.017 m

d<sub>2</sub> = 0.0284 m

l<sub>1</sub> = 0.125 m

l<sub>2</sub> = 0.065 m

V = 1.134\*10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s

g = 9.80665 m/s<sup>2</sup>

Cálculo de la pérdida de carga en ensanchamiento (h<sub>m</sub>)

En esta trayectoria el agua circula de izquierda a derecha. La dimensión del tubo redondo de PVC pasa de 0.017 m a 0.0284 m de diámetro interno.

**Figura 9**

Tubo de PVC con ensanchamiento de sección.



**Tabla 25**

Resultados de medición con el equipo HM 150.61.

Ensayo: Ensanchamiento de sección 20 mm – 32 mm regular, d1 = 17 mm, d2 = 28.4 mm, l1 = 125 mm	
Corriente volumétrica V en l/min	Magnitud de pérdida hv total en mm
27.9	115

**Tabla 26**

Resultados de medición de manera experimental.

Ensayo: Ensanchamiento de sección 20 mm - 32 mm regular; d1 = 17 mm, d2 = 28.4 mm; l1 = 125 mm, l2 = 65 mm							
V en l/min	V en m³/s	Velocidad de corriente v1 en m/s	Velocidad de corriente v2 en m/s	Re1	Re2	λ1	λ2
hf1	hf2	D2/D1	k	hm	hv total en mm	Desviación en %	
0.03784176	0.00171927	1.67058824	0.4	0.08620797	125.769002	9%	

Estrechamiento

Ecuaciones:

$$Q = \frac{V}{t} \tag{28}$$

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \tag{29}$$

$$v_1 = \frac{Q}{A} \tag{30}$$

$$Re_1 = \frac{v \cdot d_1}{w} \tag{31}$$

$$Re_2 = \frac{v \cdot d_2}{w} \tag{32}$$

$$f_1 = \lambda_1 = \frac{0.3164}{\sqrt[4]{Re_1}} \tag{33}$$

$$f_2 = \lambda_2 = \frac{0.3164}{\sqrt[4]{Re_2}} \tag{34}$$

$$k = \zeta = \left[ 1 - \left( \frac{A_1}{A_2} \right) \right]^2 = \left[ 1 - \left( \frac{D_1}{D_2} \right) \right]^2 \tag{35}$$

$$h_m = k \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \tag{36}$$

Datos:

$$Q = 28 \text{ l/min}$$

$h_v$ : Lectura

$$d_1 = 0.0284 \text{ m}$$

$$d_2 = 0.017 \text{ m}$$

$$l_1 = 0.065 \text{ m}$$

$$l_2 = 0.125 \text{ m}$$

$$V = 1.134 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$g = 9.80665 \text{ m/s}^2$$

Cálculo de la pérdida de carga en estrechamiento ( $h_m$ )

En esta trayectoria el agua circula de izquierda a derecha. La dimensión del tubo redondo de PVC pasa de 0.017 m a 0.028 m de diámetro interno.

**Figura 10**

Tubo de PVC con estrechamiento de sección.



**Tabla 27**

Resultados de medición con el equipo HM 150.61.

Estrechamiento de sección 32 mm – 20 mm regular, d1 = 28.4 mm, d2 = 17 mm, l = 125 mm	
Corriente volumétrica V en l/min	Magnitud de pérdida hv total en mm
27.9	275

**Tabla 28**

Resultados de medición de manera experimental.

Estrechamiento de sección 32 mm - 20 mm regular; d1 = 28.4 mm, d2 = 17 mm; l1 = 65 mm, l2 = 125 mm							
V en l/min	V en m³/s	Velocidad de corriente		Re1	Re2	λ1	λ2
		v1 en m/s	v2 en m/s				
28	0.00046667	0.73668227	2.05598081	18449.5384	30821.5818	0.02714814	0.02387936
hf1	hf2	D2/D1	k	hm	hv total en mm	Desviación en %	
0.00171927	0.03784176	1.67058824	1	0.21551993	255.080961	-8%	

Pérdida de carga en ramificaciones de tuberías

Separación en Y

Ecuaciones:

$$Q = \frac{V}{t} \tag{37}$$

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \tag{38}$$

$$v = \frac{Q}{A} \tag{39}$$

$$Re = \frac{v \cdot d}{w} \tag{40}$$

$$f = \lambda = \frac{0.3164}{\sqrt[4]{Re}} \tag{41}$$

$$k = \zeta = \frac{2 \cdot h_{v, total} \cdot g}{v^2} - \lambda \frac{l_e}{d} \tag{42}$$

(En caso de una separación homogénea en piezas T)

**Nota:** Cuando dependen del ángulo de bifurcación  $\Phi$  y de la relación  $Q_a/Q$ , se utilizan los diagramas presentados en la parte teórica.

$$h_m = k \frac{v^2}{2 \cdot g} \tag{43}$$

Datos:

$$Q = 32.2 \text{ l/min}$$

$$d = 0.017 \text{ m}$$

$$l_e = 0.150 \text{ m}$$

$$W = 1.134 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$g : 9.80665 \text{ m/s}^2$$

Cálculo de la pérdida de carga en separación en Y ( $h_m$ )

En esta trayectoria, el agua circula de izquierda a derecha. La dimensión del tubo redondo de PVC pasa de 0.017m de diámetro interno.

**Figura 11**

Pieza de separación en Y de PVC.



**Tabla 29**

Resultados de medición con el equipo HM 150.61

Pieza en Y		
Separación		
V en l/min	Magnitud de pérdida en mm	
	hva	hvd
32.4	5	120

**Tabla 30**

Resultados de medición de manera experimental.

Pieza en Y di = 17 mm, I = 200 mm						
Separación						
V l/min	V m³/s	Velocidad	Re	λ Blasius	Magnitud	
		en m/s			de pérdida en mm	
					hva	hvd
32.2	0.000536667	2.36437793	35444.8191	0.023059	70	110

**Confluencia en Y**

Ecuaciones:

$$Q = \frac{V}{t} \tag{44}$$

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \tag{45}$$

$$v = \frac{Q}{A} \tag{46}$$

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \tag{47}$$

$$f = \lambda = \frac{0.3164}{\sqrt[4]{Re}} \tag{48}$$

$$k = \zeta = \frac{2 \cdot h_{v, total} \cdot g}{v^2} - \lambda \frac{l_e}{d} \tag{49}$$

(En caso de una separación homogénea en piezas T)

Nota: Cuando dependen del ángulo de bifurcación  $\theta$  y de la relación  $Q_a/Q_b$ , se utilizan los diagramas presentados en la parte teórica.

$$h_m = k \frac{v^2}{2 \cdot g} \tag{50}$$

Datos:

$$Q = 30 \text{ l/min}$$

$$d = 0.017 \text{ m}$$

$$l_e = 0.150 \text{ m}$$

$$\nu = 1.134 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$g = 9.80665 \text{ m/s}^2$$

Cálculo de la pérdida de carga en confluencia ( $h_m$ )

En esta trayectoria, el agua circula de izquierda a derecha. La dimensión del tubo redondo de PVC pasa de 0.017 m a 0.028 m de diámetro interno.

**Figura 12**

Pieza de confluencia de PVC.



**Tabla 31**

Resultados de medición con el equipo HM 150.61.

Pieza en Y		
Separación		
V en l/min	Magnitud de pérdida en mm	
	hva	hvd
30	130	-190

**Tabla 32**

Resultados de medición de manera experimental.

Pieza en Y di = 17 mm, I = 200 mm						
Separación						
V l/min	V m³/s	Velocidad	Re	λ Blasius	Magnitud	
		en m/s			de pérdida en mm	
					hva	hvd
30	0.0005	2.20283658	33023.1234	0.023471	325	335

**Separación en T**

Ecuaciones:

$$Q = \frac{V}{t} \tag{51}$$

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \tag{52}$$

$$v = \frac{Q}{A} \tag{53}$$



$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \tag{54}$$

$$f = \lambda = \frac{0.3164}{\sqrt[4]{Re}} \tag{55}$$

$$k = \zeta = \frac{2 \cdot h_{v \text{ total}} \cdot g}{v^2} - \lambda \frac{l_e}{d} \tag{56}$$

$$h_m = k \frac{v^2}{2 \cdot g} \tag{57}$$

Datos:

$$Q = 30 \text{ l/min}$$

$$d = 0.017 \text{ m}$$

$$l_e = 0.150 \text{ m}$$

$$\nu = 1.134 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$g = 9.80665 \text{ m/s}^2$$

Cálculo de la pérdida de carga en separación ( $h_m$ )

En esta trayectoria, el agua circula de izquierda a derecha. La dimensión del tubo redondo de PVC de 0.017 m de diámetro interno.

**Figura 13**

Pieza en T de PVC.



**Tabla 33**

Resultados de medición con el equipo HM 150.61.

Pieza en T		
Separación		
V en l/min	Magnitud de pérdida en mm	
	hva	hvd
30	130	-190

**Tabla 34**

Resultados de medición de manera experimental.

Pieza en T di = 17 mm, l = 150 mm					
Separación					
V	V	Velocidad en	Re	λ	Magnitud de pérdida en mm
l/min	m³/s	m/s		Blasius	hva hvd
30	0.0005	2.20283658	33023.1234	0.023471	0 -40

## Pérdida de carga en griferías

### Válvula de compuerta

Ecuaciones:

$$Q = \frac{V}{t} \tag{58}$$

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \tag{59}$$

$$v = \frac{Q}{A} \tag{60}$$

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \tag{61}$$

$$f = \lambda = \frac{0.3164}{\sqrt[4]{Re}} \tag{62}$$

$$k = \zeta = \frac{2 \cdot h_{v \text{ total}} \cdot g}{v^2} - \lambda \frac{l_e}{d} \tag{63}$$

$$h_m = k \frac{v^2}{2 \cdot g} \tag{64}$$

Datos:

$$Q = 29.3 \text{ l/min}$$

$$d = 0.017 \text{ m}$$

$$l_e = 0.420 \text{ m}$$

$$\nu = 1.134 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$g = 9.80665 \text{ m/s}^2$$

Cálculo de la pérdida de carga en válvula de compuerta ( $h_m$ )

En esta trayectoria, el agua circula de izquierda a derecha. La dimensión del tubo redondo de PVC es de 0.015 m de diámetro interno.

**Figura 14**

Válvula de compuerta.



**Tabla 35**

Resultados de medición con el equipo HM 150.61.

Grifería	Corriente volumétrica V en l/min	Magnitud de pérdida hv total en mm
Corredera de cierre de manguito	29.3	850

Tabla 36

Resultados de medición de manera experimental.

Grifería	Diámetro interior d en m	Longitud en m	Corriente volumétrica		Velocidad de corriente v en m/s	Número según Reynolds Re
			v en l/min	v en m <sup>3</sup> /s		
Corredera de cierre de manguito	0.015	0.28	29.3	0.00048833	2.15143706	32252.58383

Trayecto de tubo	$\lambda$ Cálculo según	Índice de fricción del tubo $\lambda$	hf	k	hm	Magnitud de pérdida total	Desviación en %
Corredera de cierre de manguito	Blasius	0.023609965	0.09177219	2.5	0.58999269	681.7648739	-25%

Tabla 37

Resultados de medición de manera experimental.

Válvula de compuerta	
Revoluciones	Corriente volumétrica V en l/min
0 (cerrado)	0.00
1/2	4.50
3/4	9.70
1	16.70
1 1/4	22.20
1 1/2	25.00
1 3/4	26.50
2	27.30
2 1/2	30.30
3	33.30
3 1/2 (abierto)	33.30

## Discusión

Los valores de la pérdida de carga  $h_{m\text{total}}$  (0.742 m, 0.744 m y 0.269 m) obtenidos son muy cercanos a los valores obtenidos con el sensor del equipo HM 150.61 en los codos antes mencionado.

Como se puede observar, el coeficiente de resistencia del ángulo de 90° corresponde bastante cerca al valor indicado en la bibliografía respecto al tubo acodado rugoso ( $\zeta_{\text{rugoso}}=1.68$ ).

El coeficiente de resistencia para el arco es superior al indicado en la bibliografía (para R/d = 2,35 puede leerse en el diagrama un valor de  $\zeta_{\text{liso}}=0.14$ , o bien,  $\zeta_{\text{rugoso}}=0.28$ ). La prominente desviación puede explicarse con unas transiciones inexactas entre el tubo y el arco.

También, el coeficiente de resistencia para el ángulo de 45° corresponde casi al valor indicado en la bibliografía para  $\zeta_{\text{rugoso}}=0.36$ .

## Conclusiones

- Debido a la poca desviación que existe entre los resultados de medición experimental y el equipo HM 150, es posible utilizar como módulo de aprendizaje en los cursos que tienen afinidad con el uso de estos equipos.

## Referencias bibliográficas

- Çengel Yunus A. & Cimbala John M. (2012). *Mecánica de fluidos Fundamentos y aplicaciones*. Ed. Mc Graw Hill; Segunda ed.
- Dolinšek, S.; Bavec, C.; Mihelič, A. & Prodan, I. (2002). *Upravljanje tehnologije - Ključ konkurenčnosti*. Strojniski Vestnik/Journal of Mechanical Engineering, 48(3), 178–182.
- Giustolisi, O.; Kapelan, Z. & Savic, D. (2007). *A hydraulic simulation model for pipe networks with leakage outflows and pressure-driven demands*. Restoring Our Natural Habitat - Proceedings of the 2007 World Environmental and Water Resources Congress.
- [Http://e-educativa.catedu.es/](http://e-educativa.catedu.es/). (n.d.). Ecuación de continuidad. Retrieved March 10, 2020, from [http://e-educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4918/html/22\\_eacuacin\\_de\\_continuidad.html](http://e-educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4918/html/22_eacuacin_de_continuidad.html)
- Indirect full span calibration method for a digital vacuumeter in cities above sea level*. (s/f). Retrieved March 10, 2020, from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0121-44702016000200002#f1](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-44702016000200002#f1)
- Liu, J. & Yu, G. (2014). *Analysis of demand and leakage distributing uniformly along pipes*. Procedia Engineering, 89, 603–612. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.484>
- Morales, M. D. (2016). *Levitation and suspension forces measurement system for high tc superconductors*. Momento, 60, 55–66. <https://doi.org/10.15446/mo.n60.84228>
- Rivas, A., & Sánchez, G. (n.d.). *Pérdidas de carga en los componentes de las instalaciones hidráulicas*. Retrieved March 7, 2020, from [https://www.academia.edu/28988933/PÉRDIDAS\\_DE\\_CARGA\\_EN\\_LOS\\_COMPONENTES\\_DE\\_LAS\\_INSTALACIONES\\_HIDRÁULICAS](https://www.academia.edu/28988933/PÉRDIDAS_DE_CARGA_EN_LOS_COMPONENTES_DE_LAS_INSTALACIONES_HIDRÁULICAS)
- Sandoval, C.; Caram, J. & Salinas, J. (2009). *La engañosa simplicidad del método de Stokes*. Revista Brasileira de Ensino de Física, 31(4), 4310–4322. <https://doi.org/10.1590/s1806-11172009000400012>

- Stadelmann, W., & Lutz, F. M. (1990). *Vereinfachte Berechnung von Stromungs - druckverlusten in hydraulischen Systemen*. BWK: BRENNSTOFF WARME KRAFT, 42(3, Mar., 1990), 124–128.
- Wuennenberg, W.; George, D.; Habermehl, D. & Rohde, W. (1984). *Unsetzung von ungereinigtem koks-fengas im schwingrohr*. Gluckauf: Die Fachzeitschrift Fur Rohstoff, Bergbau Und Energie, 120(9), 155–156, 557.
- Zhu, X., Cai, B. & Tu, Q. (2011). *Head loss hydraulic calculation step by step for light and small sprinkler irrigation system*. Paiguan Jixie Gongcheng Xuebao/Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 29(2), 180–184. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-8530.2011.02.18>
- Çengel Yunus A. & Cimbala John M. (2012). *Mecánica de fluidos Fundamentos y aplicaciones*. Ed. Mc Graw Hill; Segunda ed.
- Dolinšek, S.; Bavec, C.; Mihelič, A. & Prodan, I. (2002). *Upravljanje tehnologije - Ključ konkurenčnosti*. Strojnikski Vestnik/Journal of Mechanical Engineering, 48(3), 178–182.
- Giustolisi, O.; Kapelan, Z. & Savic, D. (2007). *A hydraulic simulation model for pipe networks with leakage outflows and pressure-driven demands*. Restoring Our Natural Habitat - Proceedings of the 2007 World Environmental and Water Resources Congress.
- <http://e-ducativa.catedu.es/>. (s/f). *Ecuación de continuidad*. Retrieved March 10, 2020, from [http://e-ducativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4918/html/22\\_eacuacin\\_de\\_continuidad.html](http://e-ducativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4918/html/22_eacuacin_de_continuidad.html)
- Indirect full span calibration method for a digital vacuometer in cities above sea level*. (s/f). Retrieved March 10, 2020, from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0121-44702016000200002#f1](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-44702016000200002#f1)
- Liu, J. & Yu, G. (2014). *Analysis of demand and leakage distributing uniformly along pipes*. Procedia Engineering, 89, 603–612. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.484>
- Morales, M. D. (2016). *Levitation and suspension forces measurement system for high TC superconductors*. Momento, 60, 55–66. <https://doi.org/10.15446/mo.n60.84228>
- Rivas, A. & Sánchez, G. (s/f). *Pérdidas de carga en los componentes de las instalaciones hidráulicas*. Retrieved March 7, 2020, from [https://www.academia.edu/28988933/PÉRDIDAS\\_DE\\_CARGA\\_EN\\_LOS\\_COMPONENTES\\_DE\\_LAS\\_INSTALACIONES\\_HIDRÁULICAS](https://www.academia.edu/28988933/PÉRDIDAS_DE_CARGA_EN_LOS_COMPONENTES_DE_LAS_INSTALACIONES_HIDRÁULICAS)
- Sandoval, C.; Caram, J. & Salinas, J. (2009). *La engañosa simplicidad del método de Stokes*. Revista Brasileira de Ensino de Física, 31(4), 4310–4322. <https://doi.org/10.1590/s1806-11172009000400012>
- Stadelmann, W. & Lutz, F. M. (1990). *Vereinfachte Berechnung von Stromungs - druckverlusten in hydraulischen Systemen*. BWK: Brennstoff WarmeKraft, 42(3, Mar., 1990), 124–128.
- Wuennenberg, W.; George, D.; Habermehl, D. & Rohde, W. (1984). *Unsetzung von ungereinigtem koks-fengas im schwingrohr*. Gluckauf: Die Fachzeitschrift Fur Rohstoff, Bergbau Und Energie, 120(9), 155–156, 557.
- Zhu, X.; Cai, B. & Tu, Q. (2011). *Head loss hydraulic calculation step by step for light and small sprinkler irrigation system*. Paiguan Jixie Gongcheng Xuebao/Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 29(2), 180–184. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-8530.2011.02.18>