

Determinación de pérdidas de carga en accesorios “k” de Sistemas Domiciliarios

Determination of load in fittings Home Systems “k”

Néstor Silverio¹ y Holger Benavides-Muñoz²

RESUMEN

Las pérdidas de carga hidráulica en accesorios son importantes al momento de diseñar sistemas hidrosanitarios para estimar la presión de servicio que se tendrá en ciertos puntos de demanda. El objetivo de este estudio fue determinar las pérdidas de carga hidráulica en los accesorios más frecuentemente utilizados en sistemas de abastecimiento hidráulico domiciliario, mediante la creación de un banco hidráulico de pruebas con diferentes diámetros de tuberías y accesorios en material PVC. A través de una bomba centrífuga el agua se impulsó con presión y caudal determinados y mediante un datalogger se registraron las presiones antes y después de cada elemento instalado que fue analizado. Con el banco hidráulico construido se determinó que el factor de resistencia “k” en cada ramal instalado varía en función del diámetro interno y caudal circulante de cada línea de tubería, teniendo como resultado que en los accesorios: Universal, Codo 90° y TEE son inversamente proporcionales a su diámetro en cambio el accesorio de Unión es directamente proporcional a su diámetro.

Palabras claves: Banco hidráulico, accesorios en tuberías, coeficiente de resistencia “k”

ABSTRACT

Hydraulic load losses in fittings are important when designing hydro sanitary systems to estimate the service pressure that will be taken at certain demand points. The objective of this study was to determine the hydraulic load losses in the most frequently used fittings in household hydraulic supply systems, by creating a hydraulic test bench with different diameters of pipes and fittings in PVC material. Through a centrifugal pump the water was propelled with determined pressure and flow and through a data logger the pressures were recorded before and after each installed element that was analyzed. With the built hydraulics bench, it was determined that the resistance factor “k” in each installed branch varies depending on the internal diameter and circulating flow of each pipeline, resulting in the accessories: Universal, Elbow 90 ° and TEE are inversely proportional to its diameter. On the other hand, the union fitting is directly proportional to its diameter.

Keywords: Hydraulic bench, pipefittings, resistance factor “k”

Fecha de recepción: Marzo 6, 2020

Fecha de aceptación: Julio 18, 2020

Introducción

En el análisis y diseño de redes a presión el método para transportar los fluidos de un punto a otro es a través de la unión de un sistema de tuberías (Flores & Brito, 2018), es importante conocer todos los elementos que producen disminución de la energía hidráulica o la disipación de la energía generada en los elementos instalados (Wameedh, Al, & Pierre, 2019). Estas pérdidas se originan en un fluido por la fricción de las moléculas contra las paredes de la tubería que lo conduce (Saldarriaga, 2016), pueden ser calculadas por diferentes métodos como: i) la ecuación de Darcy-Wisbach (1858) de resistencia fluida, la cual resulta de aplicar las leyes físicas de movimiento de Newton, que proporciona por su fundamentación física una base racional para el análisis y cálculo de las pérdidas por fricción (Anaya-Durand, Cauch-Segovia, Funabazama-Bárceñas, & Alfonso Gracia-Medrano-Bravo, 2014); ii) la ecuación de Hazen-Williams (1906) que incluye la velocidad del fluido, y un coeficiente de rugosidad C (“Coeficiente de Hazen-Williams”, 1906) el cual depende de la rugosidad del material por donde circula el fluido (Calderón & Pozo, 2011).

Además de las pérdidas por fricción en tuberías existen pérdidas de carga en los accesorios instalados en la red: (p.ej. codos, uniones, universales, tee, válvulas principalmente).

Como la pérdida de carga en accesorios es generalmente pequeña estas son denominadas pérdidas menores (Olmos, Saiz, Rodríguez, & Prados, 2006). Sin embargo, las tuberías plásticas modernas son las más utilizadas en las instalaciones de tipo doméstico (Bombardelli, Camargo, Frizzone, Lavanholi, & Rocha, 2019) en donde debido a la gran cantidad de accesorios utilizados producen pérdidas menores que pueden lograr un nivel de entre el 40% al 60% de las pérdidas totales (Kazmierczak et al., 2019), al instalar un accesorio en una línea de tubería esto produce un cambio en la geometría del conducto y por ende en la dirección de su flujo (Yambombo, 2012). Esto resulta en una alteración en la línea de corriente del fluido y la energía hidráulica se reduce (Rivas & Sánchez, 2008).

Muchos diseñadores consideran únicamente las pérdidas totales (Mederos, 2012). Sin embargo, las pérdidas por accesorios en la red hidráulica son menospreciadas o sobredimensionadas (Domingo, 2011), no se utiliza un factor de resistencia “k” de pérdidas reales y no toman en cuenta la resistencia del fluido dentro de un accesorio (Wichowski, Siwiec, & Kalenik, 2019). Ante esta problemática surgen algunas interrogantes: ¿Se puede determinar un factor de pérdida para cada accesorio? ¿Cómo afecta el caudal y la velocidad en las pérdidas por accesorios?

Con el presente estudio se determinaron las pérdidas de carga en los accesorios más comercializados en la ciudad de Loja en

¹ Ing. Civil, Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador. E-mail: nfsilverio@utpl.edu.ec

² Doctor en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador. E-mail: hmbenavides@utpl.edu.ec

Como citar: Silverio, N., & Benavides Muñoz, H. (2020). Determinación de pérdidas de carga en accesorios “k” de Sistemas Domiciliarios. *Ecuadorian Science Journal*, 4(2), 7-11.
DOI: <https://doi.org/10.46480/esj.4.2.58>

el año 2018. Para esto se implementa un banco hidráulico en laboratorio para medir la pérdida de carga hidráulica (presión) antes y después del paso del fluido por un accesorio, utilizando diferentes diámetros de tubería y combinaciones de accesorios con caudales que fluctúan entre los 0,4 L/s a 1,3 L/s siendo este el rango de consumo más frecuente en sistemas hidráulicos domiciliarios (Benavides-Muñoz, Morocho Guailas, & Ojeda-Salazar, 2018); (Manco, Guerrero, & Ocampo, 2012).

Se recolecta datos del mercado para determinar los accesorios más vendidos en el año 2018, como también los 3 tipos de diámetros de tubería en PVC más comerciales. Las tuberías se usan para construir 3 ramales donde se conectan con diferentes accesorios. Mediante una bomba se inyecta un caudal desde 0,68 a 1,24 L/s cuyas presiones se registraron antes y después de cada accesorio con equipo de medición automático. En base a las mediciones se puede determinar que el factor de resistencia "k" es directamente proporcional al diámetro interno de la tubería, es decir, al aumentar su diámetro se produce mayores pérdidas a lo largo de la longitud de la tubería.

Es así, que mediante la creación de un banco hidráulico y bajo condiciones controladas se puede obtener el factor de resistencia "k" experimental con varios materiales y combinaciones de accesorios teniendo en cuenta el tipo de bomba a implementar ya que los resultados están en función del caudal circulante en las líneas de tubería. Además, esta investigación puede ser tomada como guía para el análisis de otros accesorios no considerados en este documento.

Materiales y Métodos

Para el diseño y construcción del banco hidráulico se utilizó material de PVC que es el más utilizado por los constructores en la zona de estudio (tuberías y accesorios). La fuente de información respecto al material de PVC fue entregada mediante oficio por el Ing. Luis Burneo Valarezo copropietario de empresa CONSTRUCTORA AUSTRORIEGO CIA. LTDA. radicada en la ciudad de Loja, quien se encarga de la venta y distribución de accesorios y tuberías para redes de agua potable. La información facilitada incluye los registros de ventas efectuadas desde el 01 de enero al 09 de noviembre del 2018. La tabla 1 indica las ventas por tipo de accesorio:

Tabla 1: Ventas de accesorios

Diámetro		Unidades Vendidas					Tubería PVC Long. 6 m.
Pulgadas	Milímetros	Codo HH 90°	Unión RR	TEE	Unión Universal		
1/2"	12,5	1122	482	33	245	1936	
3/4"	20	159	291	82	108	949	
1"	25	108	329	88	604	474	
1.25"	32	4	12	4	89	476	
1.5"	40	43	35	41	987	1002	
2"	50	27	59	15	1330	2157	

Fuente: Constructora Austroriego CIA. LTDA. (2018)

Se ha escogido los diámetros de 12,5 mm; 20,0 mm y 25,0 milímetros para armar el banco hidráulico, estos diámetros son los más comunes en la construcción de sistemas hidrosanitarios en edificaciones en la ciudad de Loja. En total se diseñó 3 tipos de bancos hidráulicos, cada uno con diámetros de tuberías diferentes y con accesorios colocados en serie (codo HH 90°, Unión, Tee, Universal) en donde cada ramal permite el flujo libre del agua mediante una bomba marca Pedrollo Cpm de 3.0 HP y 220 voltios.

Para el respectivo diseño de cada ramal se cortó y roscó los tramos de tubería en ambos extremos mediante una roscadora y prensa de tubos manualmente. Luego se unió todos los tramos de tubería con sus respectivos accesorios y para evitar

cualquier tipo de filtraciones o fugas se utilizó un sellante de cinta de polietileno insoluble (teflón) para taponar las uniones. Además, se conectó la bomba centrífuga y se dejó circular agua a través de las líneas de tubería para identificar cualquier otro tipo de filtraciones o fugas en el sistema.

Después, se perforó un orificio 10 cm antes y después de cada accesorio mediante un taladro eléctrico, para instalar un collarín de polipropileno y colocar un medidor de presión con datalogger omega para medir las presiones en cada punto (figura 1), este proceso se repite para la creación de los 3 ramales con los tres diámetros de tubería seleccionados. Ver la descripción en la tabla 2.

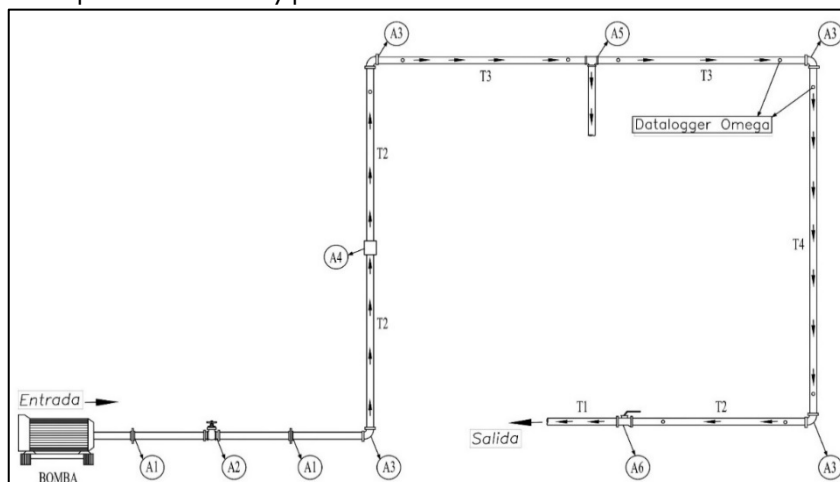


Figura 1: Esquema de la red

Fuente: Los autores

Tabla 2: Descripción de los tramos del banco hidráulico

Signo	Descripción	Cantidad	Longitud m
A1	Universal	2	
A2	Válvula de compuerta	1	
A3	Codo roscable 90°	4	
A4	Unión roscable	1	
A5	Tee roscable	1	
A6	Válvula de bola	1	
T1	Tubería PVC	6	0,20
T2	Tubería PVC	2	0,50
T3	Tubería PVC	2	0,60
T4	Tubería PVC	1	1,00

Fuente: Los autores

Cada ramal del sistema se conecta de forma independiente al grupo motor- bomba para registrar las presiones aguas arriba y aguas abajo de cada accesorio, por un lapso de 20 minutos, y así determinar la diferencia de presiones por accesorio estudiado.

Se evaluó los caudales que el grupo motor-bomba puede impulsar para cada ramal (Flores & Brito, 2018) mediante la técnica de aforo volumétrico, la cual consiste en determinar qué tiempo transcurre en acumular un volumen determinado en un depósito graduado (Yambombo, 2012), obteniendo así caudales de aforo entre 24 L/min hasta 78 L/min.

Cálculo de las pérdidas (factor k): Cada uno de los sistemas se analizarán por separado para calcular el factor de resistencia “k” para cada accesorio estudiado.

Para determinar la pérdida de carga de cada accesorio, primero se obtuvo la diferencia de presiones a la entrada y salida de cada elemento (ecuación 1) (Anaya-Durand et al., 2014).

$$\Delta h = \text{Entrada} - \text{Salida} \tag{1}$$

Para conocer el caudal que se trasegó por los ramales de tubería se partió del principio de conservación de la masa (Cengel & Cimbala, 2010) (ecuación 2):

$$m_1 = m_2 \tag{2}$$

Al ser un perfil de velocidades plano se tiene la ecuación 3.

$$m = \rho \times \sigma \times A_f = \text{Constante} \tag{3}$$

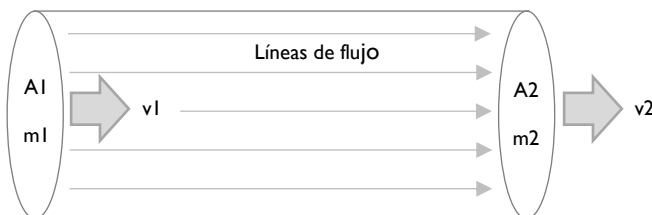


Figura 2: Conservación de la masa
Fuente: Los autores

La figura 2 nos muestra el principio de la conservación de la masa en dinámica de fluidos, que establece que todas las tasas de flujo macizo a la entrada son iguales a todas las tasas de flujo macizo a la salida (Domingo, 2011).

La ecuación de continuidad se describe entonces tal como se presenta en la ecuación 4.

$$\rho_1 \times v_1 \times A_{f_1} = \rho_2 \times v_2 \times A_{f_2} \tag{4}$$

Para flujos no compresibles como líquidos la densidad es constante, por lo tanto, se produce una continuidad, según la ecuación 5.

$$v_1 \times A_{f_1} = v_2 \times A_{f_2} = Q \tag{5}$$

Sabemos que el Volumen se puede expresar en función del producto del Área y la Longitud y reemplazando el área de flujo por el volumen sobre la longitud en la ecuación 5 se tiene la ecuación 6 (Cengel & Cimbala, 2010):

$$Q = \frac{W}{L} \times v \rightarrow \left[\frac{m^3}{m} \times \frac{m}{s} \right] \tag{6}$$

Donde W es el volumen del líquido, L la longitud del tramo y v la velocidad del flujo, por consiguiente, de la ecuación 6 se obtiene que el caudal (Q) se expresa en las siguientes unidades:

$$Q \rightarrow \left[\frac{m^3}{s} \right] \rightarrow \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo}}$$

Entonces, se determina el volumen de agua circulante por cada ramal de tubería tomando el tiempo que demora en llenar un volumen de 3,7854 L (1 galón), y calcular el caudal circulante en cada tramo, aplicando la ecuación 7.

Una vez establecido el caudal (Q) se pudo calcular la velocidad de flujo mediante la ecuación 7.

$$v = \frac{Q}{A} \rightarrow \left[\frac{\frac{m^3}{s}}{m^2} \right] \tag{7}$$

Donde, A representa el área interna del tubo o la sección viva. Finalmente, se calculó el factor de resistencia “k” para cada accesorio mediante la ecuación fundamental de pérdidas de carga por accesorio (García, 2006) (ecuación 8).

$$k = \frac{\Delta h \times 2g}{v^2} \tag{8}$$

En donde, “Δh” es la diferencia de presiones en metros, “g” la aceleración de la gravedad y “v” la velocidad en m/s.

Resultados

En las tablas 3 a 5 se observa un incremento del caudal, debido al aumento del diámetro interno de tubería, esto ocasiona una disminución de la presión en los accesorios de tipo universal, codo 90° y TEE, pero un aumento de la presión en el accesorio de tipo Unión.

En la tabla 3 se presentan los valores calculados en el ramal I de diámetro de tubería de 12.5 mm, teniendo un valor de “k” experimental entre 1.08 y 0.84 en los accesorios universal y codo, respectivamente; similar a los resultados obtenidos con el ramal de 20 mm (2,49 y 3,36, respectivamente), esto debido a la fuerte disipación de energía que se produce cuando el flujo se ve afectado por un cambio en su dirección en el trayecto de su recorrido.

Tabla 3: Ramal 1 con diámetro de 12.5 mm

Accesorios	Di (mm)	Área (m ²)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Presiones		Δh	k accesorio
					Entrada	Salida		
Universal	10,3	0,00008	0,68	8,16	30,21	26,55	3,66	1,08
Codo 90°					26,55	23,70	2,85	0,84
Unión					23,69	23,25	0,44	0,13
TEE					20,51	17,89	2,62	0,77

Fuente: Los autores

En la tabla 4 y 5 correspondientes a los ramales 2 y 3 se expresan los valores obtenidos en un diámetro de tubería de 20 mm y 25 mm, teniendo valores para "k" más altos para el

ramal de 20 mm en los accesorios tipo universal y codo 90°; en cambio, para el ramal de 25 mm el "k" de accesorio con valor más elevado se presenta en la unión y en la TEE.

Tabla 4: Ramal 2 con diámetro de 20 mm

Accesorios	Di (mm)	Área (m ²)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Presiones		Δh	k accesorio
					Entrada	Salida		
Universal	17,8	0,00025	0,97	3,90	27,61	25,68	1,93	2,49
Codo 90°					24,36	21,75	2,61	3,36
Unión					25,53	24,71	0,82	1,06
TEE					21,31	20,04	1,27	1,64

Fuente: Los autores

Tabla 5: Ramal 3 con diámetro de 25 mm

Accesorios	Di (mm)	Área (m ²)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Presiones		Δh	k accesorio
					Entrada	Salida		
Universal	21,8	0,00037	1,24	3,32	15,10	14,76	0,34	0,60
Codo 90°					10,21	9,28	0,93	1,65
Unión					11,64	10,22	1,42	2,51
TEE					9,76	8,40	1,36	2,41

Fuente: Los autores

Discusión

El factor de resistencia "k" de accesorios aumenta a medida que el diámetro de la tubería también aumenta y está en relación directa con el caudal que se trasiega por cada ramal de tubería instalado, similar efecto hidráulico acontece con la velocidad del fluido en el tramo de tubería estudiado.

En el caso del ramal de tubería de 20 mm se observa que existe un factor de resistencia "k" muy alto para el accesorio de universal y codo a 90°, como también en la TEE, debido a que el cambio de dirección del flujo es brusco en un tramo demasiado corto, produciendo mayores pérdidas en estos tramos.

A medida que el diámetro de tubería aumenta su caudal de salida también, proporcionalmente esto produce que el factor de resistencia "k" aumente y que la sección de paso del fluido produzca más pérdidas que en las secciones de menor diámetro.

El orden de accesorios que presentan mayores pérdidas de carga es de la siguiente manera, para el ramal de 20 mm con un coeficiente "k" de 3,36 para el accesorio de 90°, en el ramal de 25 mm con un coeficiente "k" de 2,51 para la unión, para el ramal de 20 mm con un coeficiente "k" de 2,49 para la universal y por último para el ramal de 25 mm con un coeficiente "k" de 1,65 para el accesorio tipo TEE.

En la tabla 7 se observa el resultado de la comparación realizada con el estudio de Flores and Brito (2018), quien obtuvo para todos los accesorios de su estudio una pendiente negativa hasta llegar a un caudal de 20 L/s.

Tabla 6: Comparación de resultados

Accesorio	"k" (Flores and Brito, 2018)	"k" Banco hidráulico construido		Pendiente (Flores and Brito, 2018)	
		12,5 mm	20 mm 25 mm		
Válvula de Bola	6,81			-0,006	
Válvula de compuerta	0,2			-0,0002	
TEE	0,4	0,77	1,64	2,41	-0,0005
Codo 90°	0,68	0,84	3,36	1,65	-0,0102

Fuente: Los autores; (Flores & Brito, 2018)

Conclusiones

Con la construcción del banco hidráulico construido se determinó que el factor de resistencia "k" de los accesorios: universal, codo 90°, unión y TEE están inversamente relacionados con el caudal y velocidad circulante en el tramo de tubería y a su vez están en función del diámetro interno de la línea de tubería.

Para tener resultados más confiables en la medición de las pérdidas de carga mediante la implementación de los datalogger omega se necesita tiempo para eliminar el aire presente dentro de las tuberías.

El banco hidráulico nos permite tener simuladores de flujo permitiendo un análisis cuantitativo y cualitativo que puede usarse como una guía instructiva para la generación de nuevos factores de resistencia "k" en donde se pueden incluir nuevos materiales y diferentes tipos de accesorios.

El coeficiente de resistencia "k" para cada uno de los accesorios analizados no va a ser constante, va a depender mucho del caudal circulante, tipo de material y sección de la tubería.

Referencias Bibliográficas

- Anaya-Durand, A. I., Cauich-Segovia, G. I., Funabazama-Bárceñas, O., & Alfonso Gracia-Medrano-Bravo, V. (2014). Evaluación de ecuaciones de factor de fricción explícito para tuberías. *Educación Química*, 25(2), 128-134. doi:10.1016/s0187-893x(14)70535-x
- Benavides-Muñoz, H., Morocho Guaitas, J., & Ojeda-Salazar, M. (2018). Comparación de caudales de consumo con aquellos propuestos en la normativa ecuatoriana CPE INEN 005-9-2:1998. Universidad Técnica Particular de Loja.
- Bombardelli, W. W. Á., Camargo, A. P. d., Frizzone, J. A., Lavanholi, R., & Rocha, H. S. d. (2019). Local head loss caused in connections used in micro-irrigation systems. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 23(7), 492-498. doi:10.1590/1807-1929/agriambi.v23n7p492-498
- Calderón, J., & Pozo, C. (2011). Diseño y construcción de un banco de pruebas para pérdidas de carga en tuberías y accesorios con simulación. Universidad Politécnica Salesiana SEDE Quito, Ecuador.
- Cengel, Y., & Cimbala, J. (2010). *Mecánica de fluidos. Fundamentos y aplicaciones (Vol. II)*. México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Domingo, A. (2011). *Macánica de Fluidos. España*.
- Flores, C., & Brito, H. (2018). Design of a piping system to measure constant accessories.
- García, A. (2006). *HIDRÁULICA. PRÁCTICAS DE LABORATORIO (Vol. I)*. VALENCIA: EDITORIAL DE LA UPV.
- Każmierczak, B., Ligaj, K., Widomski, M. K., Musz-Pomorska, A., Jadwiszczak, P., Kutytowska, M., & Miller, U. (2019). Minor pressure losses for different connections of PP-R and PEX/Al/PEX installation pipes. *E3S Web of Conferences*, 100. doi:10.1051/e3sconf/201910000045
- Manco, D., Guerrero, J., & Ocampo, A. M. (2012). Eficiencia en el consumo de agua de uso residencial. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 11, 23-38.
- Mederos, G. (2012). Obtención de modelos matemáticos para los coeficientes de pérdidas de carga en accesorios hidráulicos. Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría".
- Olmos, C. F. G., Saiz, J. R. Á., Rodríguez, S. L., & Prados, J. C. (2006). Diseño de instalaciones para acondicionamiento de aguas mediante tecnologías limpias. *Revista Colombia Forestal*, 9, 177-185.
- Rivas, A., & Sánchez, G. (2008). *Guiones de las prácticas del laboratorio de mecánica de fluidos: Tecnum*.
- Saldarriaga, J. (2016). *Hidráulica de tuberías: Emma Ariza H.*
- Wameedh, T. M., Al, T., & Pierre, R. (2019). Pressure-loss coefficient of 90° sharp-angled mitre elbows. *ASME Journal of Fluids Engineering*.
- Wichowski, Siwiec, & Kalenik. (2019). Effect of the Concentration of Sand in a Mixture of Water and Sand Flowing through PP and PVC Elbows on the Minor Head Loss Coefficient. *Water*, 11(4). doi:10.3390/w11040828
- Yambombo, J. (2012). Diseño y construcción de un banco de pruebas para ensayos de pérdidas de carga en tuberías y accesorios. Universidad Central del Ecuador, Ecuador.