

XII Simposio Iberoamericano sobre planeación de sistemas de abastecimiento y drenaje

“ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS LOCALES Y SU IMPORTANCIA EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE”

Oscar Arturo Fuentes Mariles (1), Arabeli Hurtado R. (2), Faustino De Luna Cruz (3)

Instituto de Ingeniería UNAM - Universidad Nacional Autónoma de México
ofm@pumas.iingen.unam.mx - arahr81@gmail.com - FLunaC@iingen.unam.mx

RESUMEN

Para ciertas relaciones entre la longitud, diámetro y como del valor de número de Reynolds del flujo de los conductos de una red de agua potable, es importante estimar las pérdidas locales, ya en algunos casos el cálculo de cargas de presión podría impreciso.

Como no hay datos suficientes de las pérdidas por accesorios de redes, se probaron experimentalmente de uniones de tuberías en cruz. Se presentan varias gráficas y ecuaciones obtenidas en el laboratorio para incorporarlas en los métodos de cálculo.

Se comparan los resultados obtenidos con modelo del Instituto de Ingeniería con los del paquete de cómputo Epanet.

Palabras claves: Modelos matemáticos, Redes agua, México.

ABSTRACT

For certain relationships between the length and diameter as the value of Reynolds number flow ducts in a water network is local losses estimated amount and in some cases the pressure load calculation could imprecise.

As there are insufficient data losses of networking accessories were tested experimentally cross pipe joints. We present several graphs and equations obtained in the laboratory for inclusion in the calculation methods.

We compare the results obtained with the Institute of Engineering model with Epanet computer package

Key words: Mathematical models, Water networks, México.

SOBRE EL AUTOR PRINCIPAL

Autor 1: Ingeniero Civil egresado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Cuenta con maestría obteniendo mención honorífica y doctorado en el área de Hidráulica. Ingresó al Instituto de Ingeniería de la UNAM en 1973 donde actualmente es Investigador .

ANTECEDENTES

La energía del flujo de agua en las redes de abastecimiento es reducida por la fricción provocada entre el agua y el material interior de la tubería, pero también existen otras pérdidas (locales) originadas por la existencia de piezas especiales (accesorios) en las mismas, que debido a cambios de dirección del flujo, reducciones o ampliaciones de diámetro, paso por válvulas parcialmente abiertas, entre otros. Los elementos mencionados inducen perturbaciones en el flujo a presión normalmente desarrollado (figura 1), ocasionan la aparición de turbulencias, torbellinos y vórtices, haciendo que parte de la energía del fluido se disipe en forma de calor.

Las pérdidas locales suelen ser despreciadas en los cálculos hidráulicos para definir las cargas de presión y los gastos del flujo de las redes de tuberías; sin embargo, existen condiciones bajo las cuales las pérdidas locales son de suma importancia.

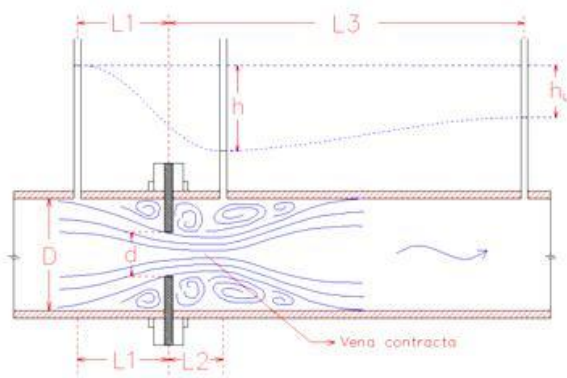


Figura 1. Variación en una longitud relativamente corta de la carga de presión por un accesorio dentro de una tubería

Las pérdidas locales se suelen expresar como:

$$h_L = K \frac{V^2}{2g}$$
 siendo h_L pérdida de carga local (m), K coeficiente de pérdida local (adimensional), V velocidad media del flujo (m/s) en el tubo y la aceleración de la gravedad (m/s^2).

COEFICIENTES DE PÉRDIDA LOCAL

Se muestran algunas gráficas y ecuaciones para estimar el coeficiente de pérdida local en términos del número de Reynolds del flujo en su interior.

Coeficientes de pérdida local en cruces a 90°

El coeficiente de pérdida local depende, en general, de la pieza especial y el valor del número de Reynolds del flujo del fluido. Si bien existe una amplia información bibliográfica sobre los valores de este coeficiente, pero no es suficiente, para precisar su valor dentro de las redes de tuberías funcionando a presión.

Por lo que respecta a las cruces, es decir, la unión de 4 tuberías a 90°, se consideran las formulas y consideraciones obtenidas en el IUNAM (Patiño, 2011) para los cuatro casos de funcionamiento que se presentan en la figura 2.

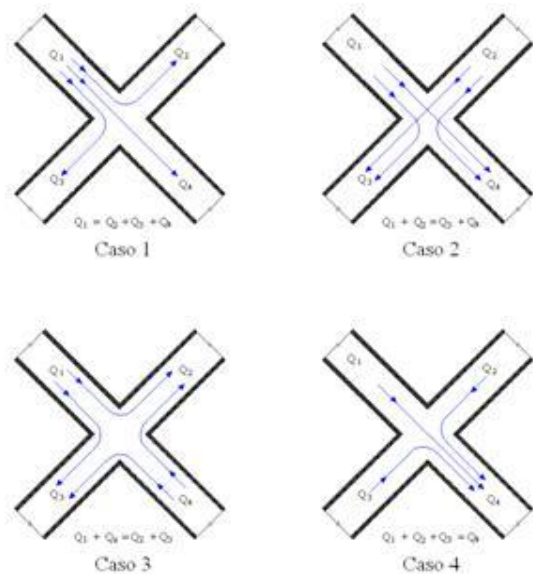


Figura 2. Cuatro casos de flujo en cruces de tuberías

Para el caso 1 de la figura 2, se obtuvieron los resultados mostrados en las figuras 3 y 4. En la ecuación de ajuste de la figura 3 el coeficiente de determinación R^2 fue de 0.88.

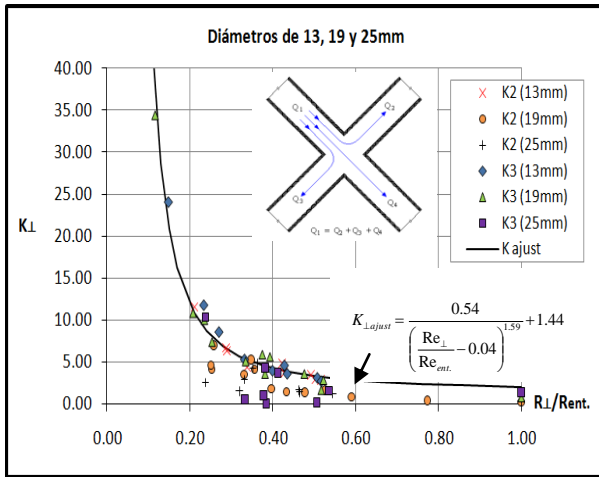


Figura 3. Gráficas de K2 y K3 unificadas para cruces de 13, 19 y 25mm. (Trifurcación)

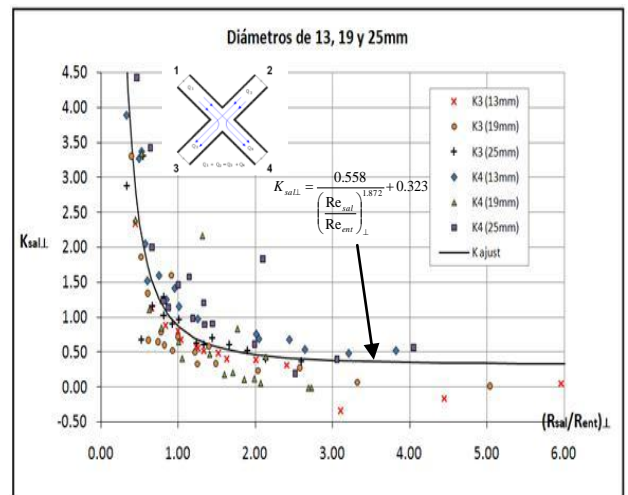


Figura 5. Ajuste unificado para el coeficientes de pérdidas K para 13, 19 y 25mm

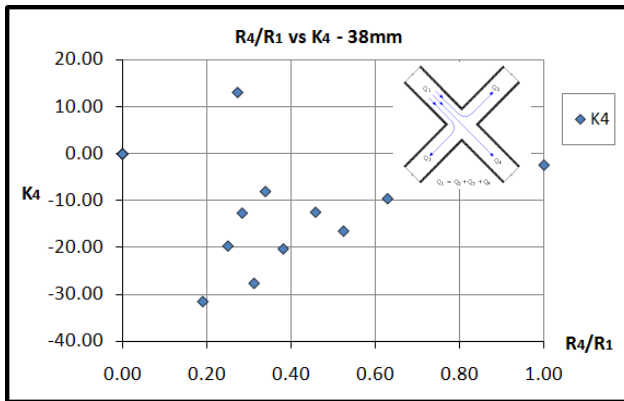


Figura 4. Mediciones para K4 no han sido confiables para cruces (están en proceso de revisión)

Para el caso 2 de la figura 2, se obtuvo la figura 5, donde le ecuación de ajuste tiene un coeficiente de determinación (R^2) de con 0.81.

Coefficientes de pérdida local de "tes"

A partir de los valores propuestos por diversos autores, se obtuvieron ecuaciones que dependen únicamente de la relación entre los caudales Q de entrada y salida que circulan en su interior (se ha supuesto que el diámetro es el mismo en las tres conexiones).

Los principales casos que se encuentran en el funcionamiento de las tuberías de abastecimiento. Como se puede observar, el ángulo α puede ser 45° , 60° y 90° .

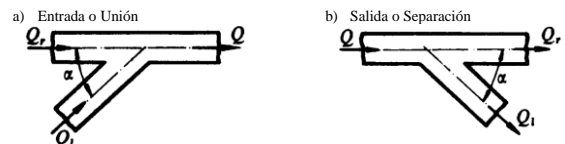


Figura 6. Entrada y salida de tes en redes [Fuente: artemisa.unicauca.edu.co]

Tabla 1. Coeficientes de pérdida local k para entradas tes

Ángulo	Dirección	Ecuación
90°	$Q_r - Q$	$k = -0.795 \left(\frac{Q_i}{Q}\right)^2 + 1.204 \left(\frac{Q_i}{Q}\right) + 0.083$
	$Q_i - Q$	$k = -1.6775 \left(\frac{Q_i}{Q}\right)^2 + 3.6678 \left(\frac{Q_i}{Q}\right) - 0.9591$
60°	$Q_r - Q$	$k = -1.497 \left(\frac{Q_i}{Q}\right)^2 + 1.1292 \left(\frac{Q_i}{Q}\right) + 0.1393$
	$Q_i - Q$	$k = -1.6413 \left(\frac{Q_i}{Q}\right)^2 + 3.1151 \left(\frac{Q_i}{Q}\right) - 0.8277$
45°	$Q_r - Q$	$k = -1.4566 \left(\frac{Q_i}{Q}\right)^2 + 0.8608 \left(\frac{Q_i}{Q}\right) + 0.0639$
	$Q_i - Q$	$k = -1.7334 \left(\frac{Q_i}{Q}\right)^2 + 2.9575 \left(\frac{Q_i}{Q}\right) - 0.8888$

Tabla 2. Coeficientes de pérdida local k para salidas tes

Ángulo	Dirección	Ecuación
90°	Q - Q _r	$k = 0.685 \left(\frac{Q_l}{Q}\right)^2 - 0.3282 \left(\frac{Q_l}{Q}\right) + 0.0142$
	Q - Q _l	$k = 0.9739 \left(\frac{Q_l}{Q}\right)^2 - 0.6966 \left(\frac{Q_l}{Q}\right) + 1.0205$
60°	Q - Q _r	$k = 0.658 \left(\frac{Q_l}{Q}\right)^2 - 0.3033 \left(\frac{Q_l}{Q}\right) + 0.0142$
	Q - Q _l	$k = 1.1383 \left(\frac{Q_l}{Q}\right)^2 - 1.4599 \left(\frac{Q_l}{Q}\right) + 1.0782$
45°	Q - Q _r	$k = 0.6653 \left(\frac{Q_l}{Q}\right)^2 - 0.3161 \left(\frac{Q_l}{Q}\right) + 0.015$
	Q - Q _l	$k = 1.2321 \left(\frac{Q_l}{Q}\right)^2 - 1.7547 \left(\frac{Q_l}{Q}\right) + 0.9723$

VARIACIÓN DE LAS PÉRDIDAS LOCALES EN EL TIEMPO EN UNA RED SIMPLE

Para mostrar la importancia de considerar las pérdidas locales y su cambio a lo largo del día, se realizaron varios ensayos matemáticos en una red de tuberías de acero sencilla (figura 7), con la misma longitud (100, 300 y 600m) de las tuberías y diámetro (4, 6 y 8 pulgadas), para la curva de demanda horaria propuesta para el Distrito Federal en México (Figura 8).

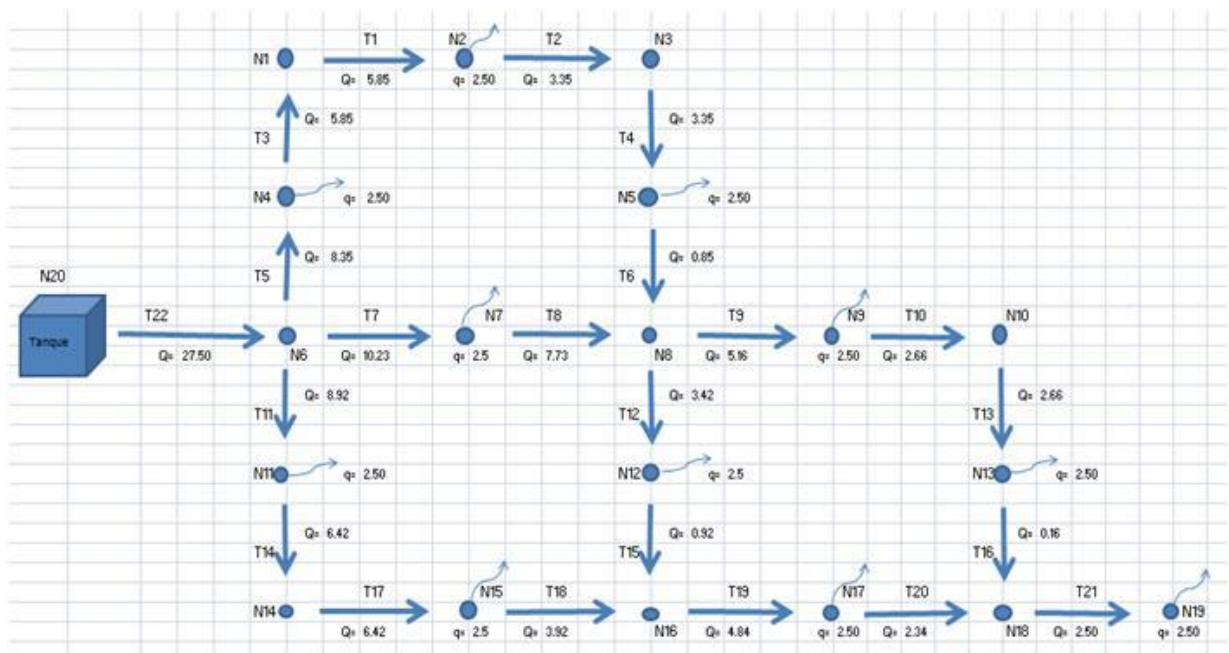


Figura 7. Red de distribución con gasto de demanda (q) de 2.5 l/s [3h]

Para estimar las pérdidas de carga locales en los modelos de cálculo de redes del Instituto de Ingeniería, UNAM se plantearon como si fuesen pérdidas por fricción a través de un tubo virtual con una determinada longitud, denominada equivalente, que tiene la velocidad media y el diámetro del tubo donde se desarrolla, con ayuda de la ecuación de Darcy-Weibach.

- En el cálculo de la red se empleó Codos (4 piezas)
- Se consideró K=1.265 para todos los codos en la red.
- Tes (2 piezas)
- Cruces (2 piezas)

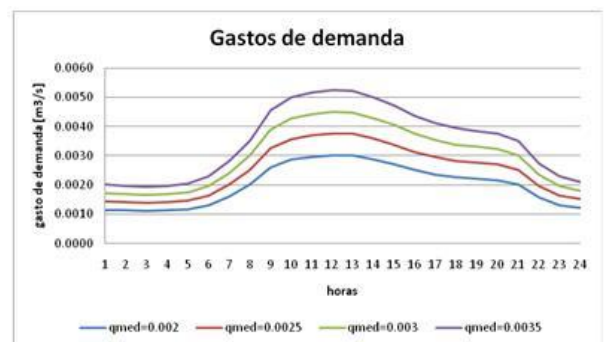


Figura 8. Variación del gasto de demanda en los nodos con salida de agua

RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LA RED SIMPLE, CON Y SIN PÉRDIDAS LOCALES

a) Se observa en la figura 9 que al no considerar las pérdidas locales en el cálculo supondría tener la carga de presión suficiente para satisfacer la demanda principalmente en hora pico; sin embargo, se nota que en ningún momento sobrepasa los 2m.

Debido a que los gastos de demanda dependen directamente de los factores de variación de demanda horaria diaria en el DF, el porcentaje en el que se altera es el mismo durante las 24 horas en cada tubo.

b) Se encontró una clara tendencia a presentar los valores en dos variaciones únicamente, cuando se tiene una longitud grande y un diámetro pequeño, y viceversa; se enfatiza el máximo representativo de las tes, codos y cruces.

c) Para las tuberías que presentan una directa transformación de la energía directamente por piezas especiales, tiene los máximos porcentajes de variación, es decir, donde se presenta la mayor importancia en tomar en cuenta las pérdidas locales, cuando se tienen diámetros grandes (8") y longitudes pequeñas (100 m).

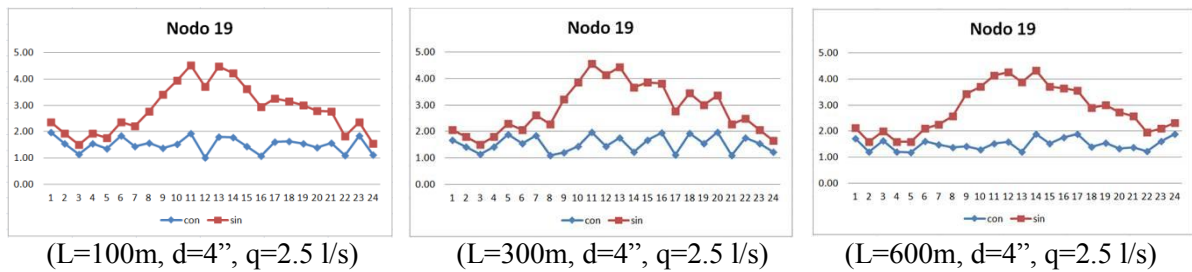


Figura 9. Comportamiento de carga en 24 horas, nodo 19

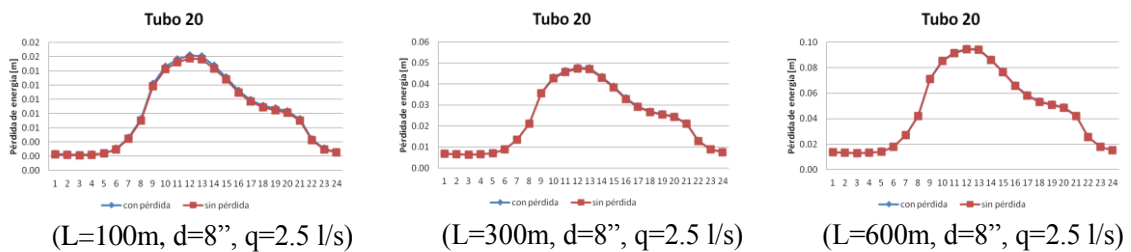


Figura 10. Comportamiento de carga en 24 horas, nodo 20

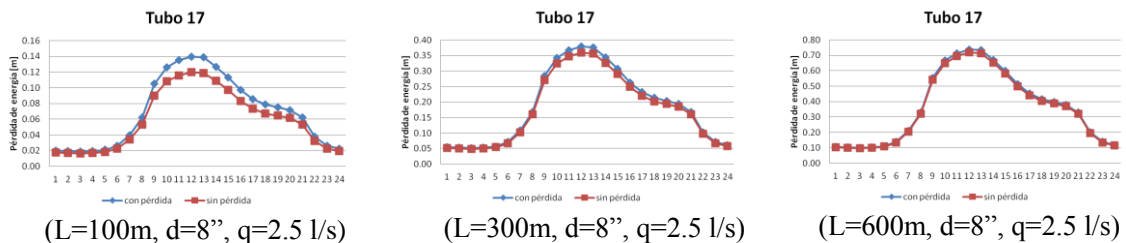


Figura 11. Grafica comportamiento en tubos con codos

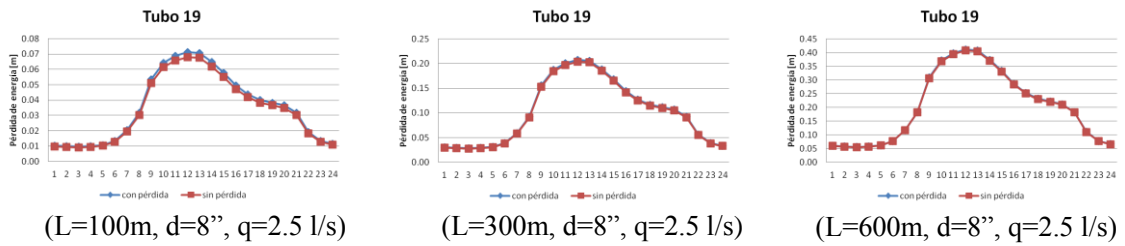


Figura 12. Grafica comportamiento en tubos con tes

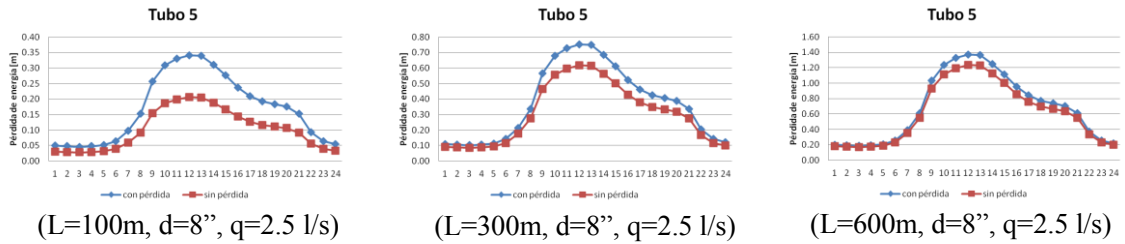


Figura 13. Grafica comportamiento en tubos con cruces

d) Se notó que el mayor porcentaje de variación que se presenta es aquel derivado del paso de una “cruz”, incrementándose de manera significativa con el aumento del caudal que circula a través de los ductos.

notando que estas últimas alcanzan su valor mayor a la hora de máxima demanda.

e) Para apreciar el impacto de las diferentes piezas es dibujar los valores de carga que se transforma en la tubería (la diferencia de carga entre nodos), tomando como ejemplo la red de 100m de longitud, 8 pulgadas de diámetro y 2.5 l/s como gasto mínimo de demanda horaria diaria, en las tuberías que presentaron la máxima diferencia de variación porcentual. En la figura 10 se presentan algunos casos. Sin piezas especiales: no es apreciable la diferencia al considerar o no las pérdidas locales.

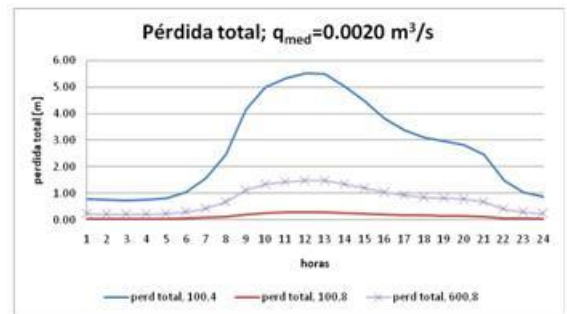


Figura 14. Cambio de la pérdida total (fricción más local) a lo largo del día

- Codos: Se aprecia diferencia entre valores, siendo mayor la diferencia al considerar la pérdida local (Figura 11).
- Tes: es poca la variación que existe entre las diferencias (Figura 12).
- Cruz: resultó la pieza cuya pérdida local es más significativa (Figura 13).

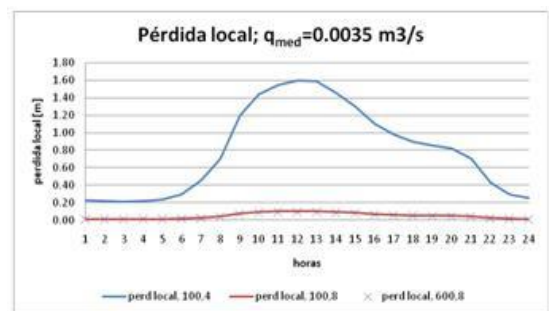


Figura 15. Cambio de la pérdida local a lo largo del día

Se puede determinar que las tuberías que no cuentan con la influencia directa de piezas especiales, no son de gran relevancia en el presente análisis por lo inapreciable de su variación.

f) En la figura 14 y 15 se muestra la variación de las pérdidas totales y las locales a lo largo del día,

g) En la figura 16 se muestra la variación de las cargas de presión a lo largo del día, considerando las pérdidas locales para dos condiciones distintas. El nudo 20 corresponde al tanque de almacenamiento y el 19 al más alejado de él.

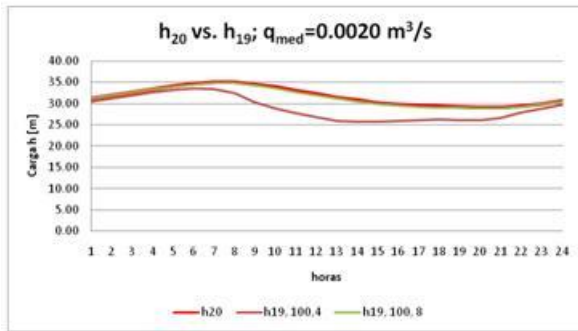


Figura 16. Cambio de la carga de presión en dos nudos distintos a lo largo del día

h) En la tabla 3 se muestran las cargas de presión correspondientes a una red con longitud de 100m, diámetro de 8 pulgadas y un caudal de demanda en cada nudo de 6. 818 l/s correspondiente a las 12 h del día. Se encontraron diferencias porque el método de Epanet no estimaba bien el coeficiente de Darcy ya que no variaba el coeficiente de pérdida local a lo largo del día.

Tabla 3. Comparación entre los resultados de las cargas de presión en los nudos de la red sencilla con el método Epanet y el del Instituto de Ingeniería, UNAM

Nodo	EPANET			Instituto de Ingeniería, UNAM		
	Pérdida local		Diferencia Porcentual	Pérdida local		Diferencia Porcentual
	sin	con		sin	con	
1	1.89	1.85	2.16%	1.48	1.35	9.63%
2	1.79	1.73	3.47%	1.38	1.23	12.20%
3	1.75	1.7	2.94%	1.34	1.2	11.67%
4	2	1.95	2.56%	1.58	1.45	8.97%
5	1.71	1.66	3.01%	1.31	1.16	12.93%
6	2.2	2.2	0.00%	1.79	1.79	0.00%
7	1.9	1.83	3.83%	1.48	1.33	11.28%
8	1.71	1.65	3.64%	1.31	1.16	12.93%
9	1.62	1.55	4.52%	1.23	1.06	16.04%
10	1.6	1.52	5.26%	1.21	1.04	16.35%
11	1.97	1.92	2.60%	1.56	1.41	10.64%
12	1.67	1.6	4.37%	1.27	1.11	14.41%
13	1.57	1.49	5.37%	1.19	1.02	16.67%
14	1.84	1.79	2.79%	1.44	1.29	11.63%
15	1.72	1.65	4.24%	1.32	1.15	14.78%
16	1.66	1.6	3.75%	1.27	1.11	14.41%
17	1.59	1.52	4.61%	1.2	1.04	15.38%
18	1.57	1.49	5.37%	1.19	1.02	16.67%
19	1.54	1.47	4.76%	1.17	1	17.00%

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La se requiere tomar en cuenta a las pérdidas locales en el diseño de redes de agua potable, para asegurarse de cumplir con las cargas de presión requeridas, sobre todo en

el intervalo de tiempo que se tienen los mayores caudales de demanda.

- Se deben valorar las pérdidas locales sobre todo en tuberías cortas y en función del número de Reynolds del flujo.
- El funcionamiento de los sistemas de abastecimiento de las ciudades, presentan variaciones de niveles de carga en el tanque; incrementando la importancia de considerar las pérdidas locales, cuando los tanques tienen carga baja, por estar casi vacíos.
- En una red de agua potable, con tuberías cortas y diámetros grandes, es grande la reduccuín de la energía por las pérdidas debidas a la fricción y las locales.
- Existen programas de computadora que facilitan el proceso de cálculo y diseño de redes de abastecimiento, de manera adecuada, sin necesidad de excluir las pérdidas locales.
- La comparación realizada con los resultados obtenidos con el método Epanet y el del Instituto de Ingeniería, UNAM mostró una variación considerable en los valores de carga en el tanque al incrementar la longitud de la tubería y disminuir el diámetro; es decir, los valores de h20 mínimos para L=100m, d=8” y q=2.5 l/s fueron los mismos para los dos métodos, siendo menores los empleados en Epanet para L=600m, d=4” y q=2.5 l/s. Aunque la diferencia en la carga en el nudo 20, no afecto el porcentaje de variación al estimar o no las pérdidas locales.
- En los dos métodos empleados, la combinación más crítica es L=100m, d=8” y d=2.5 l/s, empleando la misma carga mínima en el tanque.
- El Epanet no calcula automáticamente la pérdida local generada, ni su cambio de acuerdo con el número de Reynolds del flujo.

BIBLIOGRAFÍA

- Conagua (2009) “Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento”, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México
- Crane (1992) “Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías”. División de ingeniería de Crane, México, McGraw Hill.
- Sotelo A. G (1999) “Hidráulica General”, Volumen 1, México, Limusa-Noriega Editores.
- Ribas, A. y G. Sánchez (2008) “Pérdidas de carga en los componentes de las instalaciones hidráulicas”, Tecnológico de la Universidad de Navarra, España.
- Patiño M. J. A. (2011) “Perdidas menores de energía en redes de tubería de agua potable” Tesis de maestría. Secretaría de Posgrado e Investigación de la Facultad de Ingeniería, UNAM.

artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/ayudas_fpresion.pdf

www.es.scribd.com/doc/53617183/Abastecimiento-de-Agua-Potable

www.instagua.upv.es/Epanet/EpanetCastellano.htm

www.apuntesingenierocivil

www.claitonfranchi.com/administra/upload/2/Diagrama-Moody.jpg

www.ingenierocivilinfo

www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/noticias/2012/Documents/

www.uclm.es/area/ing_rural/Trans_hidr/Tema8.PDF