

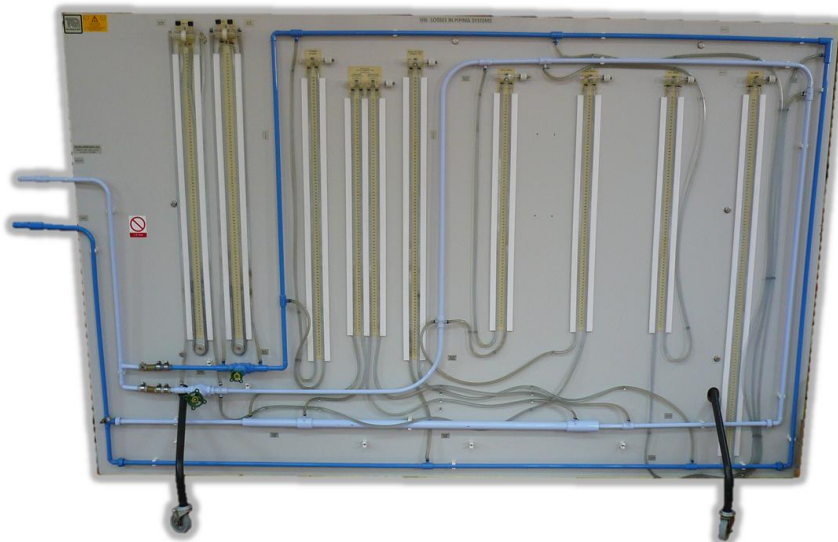
PÉRDIDAS EN UN SISTEMA DE TUBERÍAS

I.1.OBJETIVO

- Determinar los valores de las pérdidas para un sistema de tuberías.
- Calcular las pérdidas en un tramo recto de tubería por medio del factor de fricción y el número de Reynolds.
- Determinar el valor de las constantes de pérdidas para contracciones y expansiones.
- Determinar el valor de la constante K para codos y válvulas.

I.2.EQUIPO

TecQuipment H16 Losses in Piping Systems apparatus, TecQuipment HydraulicBench, H1.



Fuente: Propia

Fig. 1 Equipo pérdidas en sistema de tuberías

Otros elementos

Circuito Azul Oscuro: tuberías de cambios bruscos

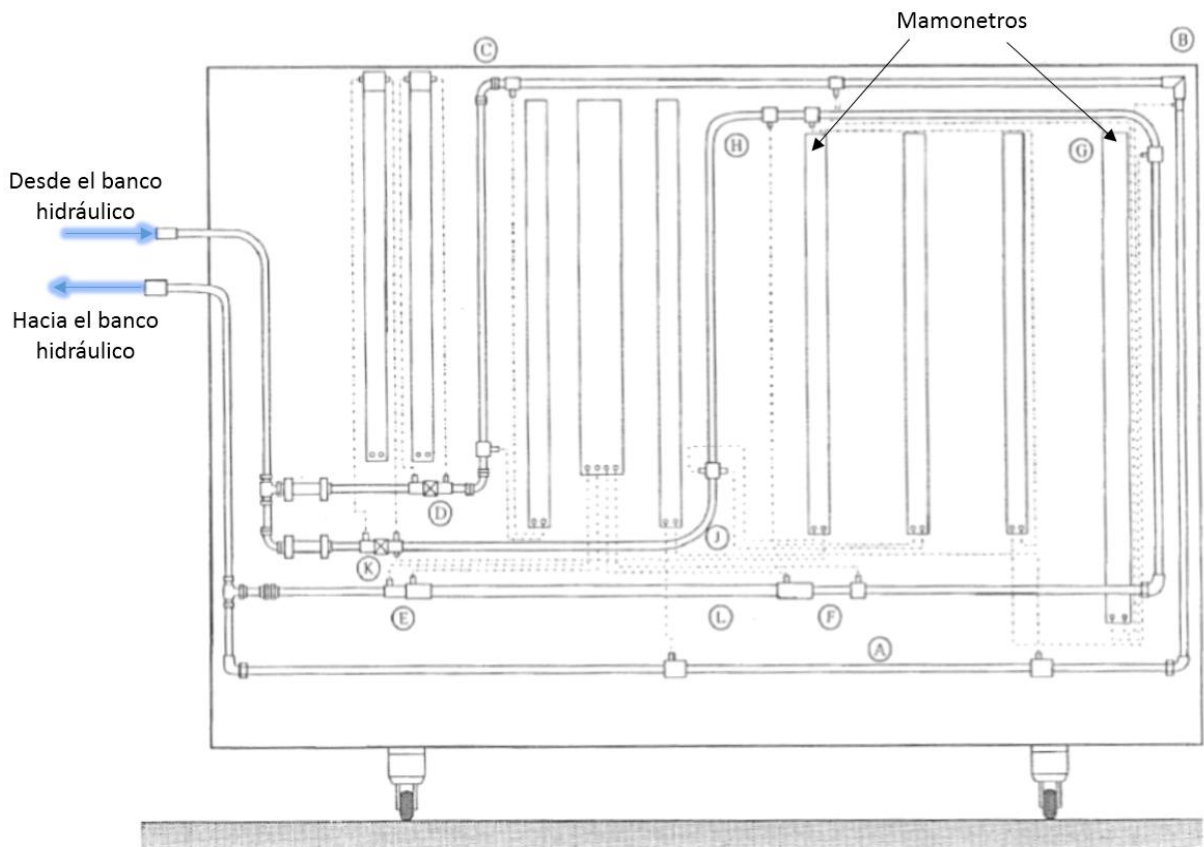
<i>Aditamento</i>	<i>Piezómetro</i>
Tubería Recta $\phi = 13.6 \text{ mm}$, $L = 914.4 \text{ mm}$	3 y 4
Codo de 90°, ángulo recto	5 y 6
Codo de 90° estándar	1 y 2
Válvula de compuerta	Manómetro de mercurio

Circuito azul claro: tuberías de cambios suaves

<i>Aditamento</i>	<i>Piezómetro</i>
Expansión súbita $\phi = 13.6 \text{ mm}$ a $\phi = 26.2 \text{ mm}$	7 y 8
Tramo recto $\phi = 26.2 \text{ mm}$, $L = 914.4 \text{ mm}$	8 y 9
Contracción súbita $\phi = 26.2 \text{ mm}$ a $\phi = 13.6 \text{ mm}$	9 y 10
Codo de radio largo $R = 50 \text{ mm}$	15 y 16
Codo de radio = 100 mm	11 y 12
Codo de radio = 150 mm	13 y 14
Válvula globo	Manómetro de mercurio

Descripción de la instalación

El aparato mostrado en la Fig. 2 está compuesto por dos circuitos hidráulicos separados, uno de color azul oscuro y otro de color azul claro, cada uno con sus propios componentes en el sistema tal como se presenta en el apartado anterior (TecQuipment, 2010, p3).



Adaptado de: <http://bc.inter.edu/facultad/omeza/3110/Annex-Lab6.docx>

Fig. 2 Diagrama esquemático del montaje

La relación de los aditamentos mostrados en la figura es la siguiente:

- A Tramo recto de 13.7 mm de diámetro
- B Curva brusca 90° (Inglete)
- C Codo estándar 90°
- D Válvula de compuerta
- E Expansión súbita - 13.7 mm/26.4 mm
- F Contracción súbita - 26.4 mm/13.7 mm
- G Curva suave 90° 50 mm radio
- H Curva suave 90° 100 mm radio
- J Curva suave 90° 150 mm radio
- K Válvula de globo
- L Tramo recto de 26.4 mm de diámetro

En todos los casos (excepto las válvulas de compuerta y globo) los cambios de presión a lo largo de cada uno de los componentes son medidos por un par de tubos piezométricos. En el caso de las válvulas la medición de presión

se realiza por medio de manómetros en U que contienen mercurio (TecQuipment, 2010, p5).

I.3.MARCO TEÓRICO

Para un fluido incompresible fluyendo a través de una tubería aplican las siguientes ecuaciones:

$$Q = V_1A_1 = V_2A_2 \quad (\text{continuidad})$$

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + h_{L1-2} \quad (\text{Bernoulli} + \text{pérdidas})$$

Donde:

Q = Tasa de flujo volumétrico (m^3/s)

V = Velocidad media (m/s)

A = Área de la sección transversal (m^2)

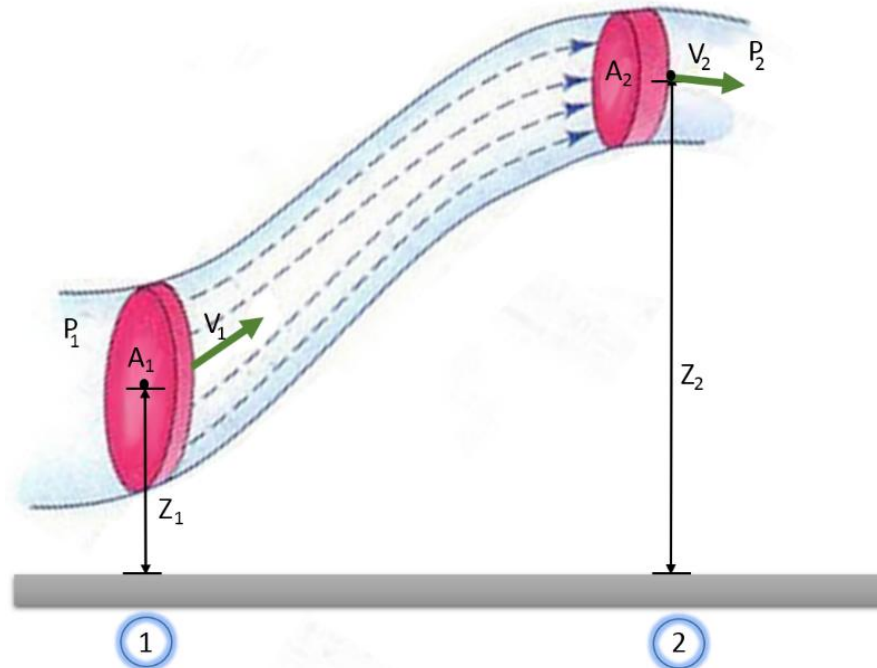
Z = Altura medida desde el Datum

P = Presión estática (N/m^2)

h_L = Pérdidas de carga (m)

ρ = Densidad (kg/m^3)

g = aceleración de la gravedad (9.81m/s^2)



Adaptado de: <http://fisica-samuelguevara.blogspot.com/2008/10/ecuacion-de-continuidad.html>

Fig. 3 Tubo de flujo con área de sección transversal cambiante

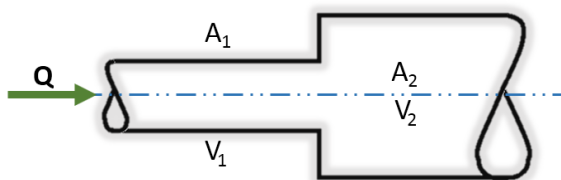


Fig. 4 Extensión

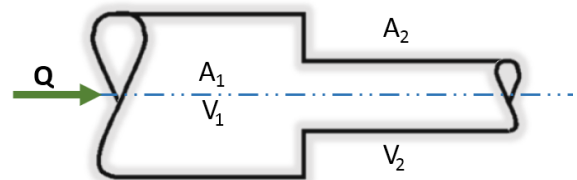


Fig. 5 Contracción

Adaptado de: Adaptado de: USTA 2011, Pérdidas en un sistema de tuberías, J. LUIS DÍAZ A.

I.3.1.1. Pérdidas de carga

Las pérdidas de carga en un circuito de tuberías se enmarcan en dos categorías:

- a) Las debidas a la resistencia de la viscosidad que se extienden a través de la longitud total del circuito, y
- b) Las debida a efectos localizados tales como válvulas, cambios repentinos en el área del flujo, y curvaturas.

Las pérdidas de carga totales corresponden a una combinación de estas dos categorías. Debido a las interferencias mutuas entre componentes vecinos en un circuito complejo, las pérdidas de carga totales pueden diferir de las consideradas tomando los componentes de forma aislada (TecQuipment, 2010, p7).

Pérdidas de carga en tuberías rectas

Las pérdidas de carga a los largo de una longitud L en una tubería recta de diámetro d están dadas por la expresión:

$$h_L = \frac{4fLV^2}{2gd},$$

Donde f es una constante adimensional que es función del número de Reynolds del flujo y de la rugosidad de la superficie interna de la tubería

(TecQuipment, 2010, p8).

Pérdidas de carga debidas a cambios repentinos en el área del flujo

Expansión súbita: La pérdida de carga en una expansión súbita está dada por la ecuación:

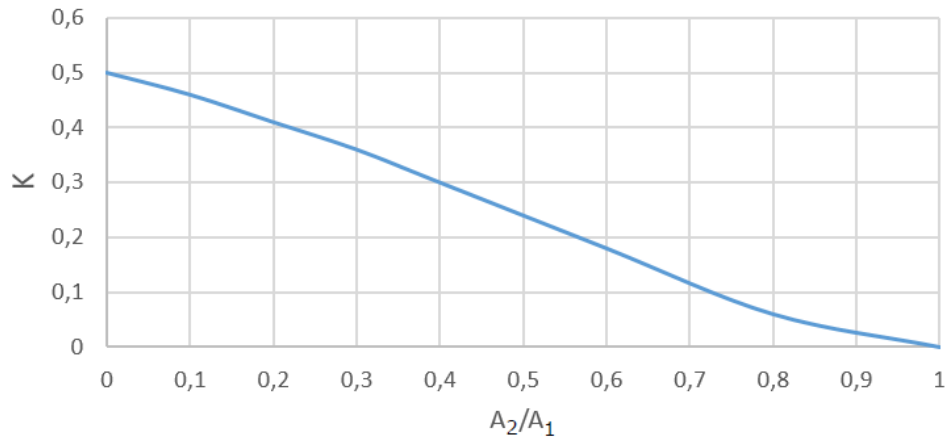
$$h_L = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$$

Contracción súbita: La pérdida de carga en una contracción súbita está dada por la expresión:

$$h_L = \frac{KV_2^2}{2g},$$

donde K es un coeficiente adimensional que depende de la relación de áreas tal como se muestra en la siguiente tabla, la cual puede ser encontrada en los libros de texto de mecánica de fluidos (TecQuipment, 2010, p8).

Tabla 1 Coeficiente de pérdidas para contracciones súbitas



Adaptado de: Adaptado de: USTA 2011, Pérdidas en un sistema de tuberías, J. LUIS DÍAZ A.

Pérdidas de carga por curvas

Las pérdidas de carga debidas a una curva están dadas por la expresión:

$$h_L = \frac{K_B V^2}{2g},$$

donde K es un coeficiente adimensional que depende de la relación radio de la curvatura/radio de la tubería y el ángulo de la curva (TecQuiment, 2010, p8).

Nota:

Las pérdidas de carga dadas por esta expresión no corresponden a las pérdidas totales causadas por la curvatura, sino a las pérdidas que serían causadas por la geometría de la curva ignorando la fricción, es decir el exceso de pérdida que sería causado por un tubo recto de longitud igual a la longitud sobre el eje de la tubería.

En la Fig. 12 se puede visualizar una gráfica de coeficientes típicos de pérdidas.

Pérdidas de carga por válvulas

Las pérdidas de carga debida a válvulas están dadas por la expresión:

$$h_B = \frac{KV^2}{2g},$$

donde el valor de K depende del tipo de válvula y los grados de abertura (TecEquipment, 2010, p9).

La siguiente tabla da valores típicos de coeficientes de pérdidas para válvulas de compuerta y de globo.

Tabla 2

<i>Válvula de Globo, completamente abierta</i>	10.0
<i>Válvula de compuerta, completamente abierta</i>	0.2
<i>Válvula de compuerta, apertura media</i>	5.6

Fuente: <http://bc.inter.edu/facultad/omeza/3110/Annex-Lab6.docx>

I.3.1.2.Principio de medición de las pérdidas de carga

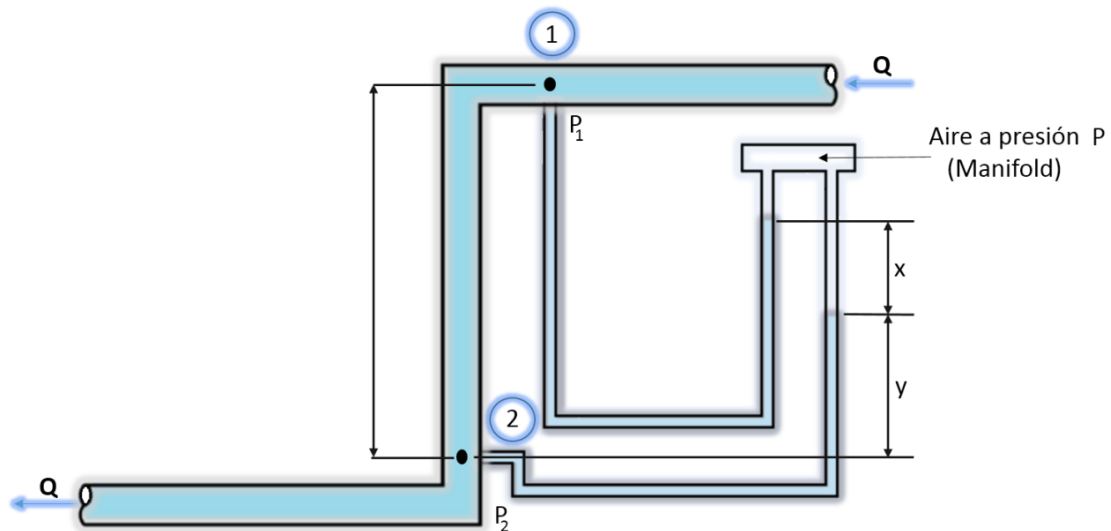


Fig. 6 Tubos piezométricos presurizados para medir las pérdidas de presión entre dos puntos a diferente altura

Adaptado de: Adaptado de: USTA 2011, Pérdidas en un sistema de tuberías, J. LUIS DÍAZ A.

Considerando la Fig. 6 y aplicando la ecuación de Bernoulli con pérdidas entre los puntos 1 y 2:

$$Z + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + h_L$$

pero,

$$V_1 = V_2 \quad (1)$$

por consiguiente,

$$h_L = Z + \frac{(P_1 - P_2)}{\rho g} \quad (2)$$

considerando los tubos piezométricos:

$$P = P_1 - \rho g[Z - (x + y)] \quad (3)$$

$$P = P_2 - \rho g y \quad (4)$$

dando,

$$x = Z + \frac{(P_1 - P_2)}{\rho g} \quad (5)$$

Comparando la ecuación (2) y (5) se tiene que:

$$h_L = x \quad (6)$$

Principio de la medición de pérdidas de presión

Considerando la Fig. 7 puesto que los puntos 1 y 2 tienen igual elevación y diámetro de tubería:

$$\frac{(P_1 - P_2)}{\rho_{H_2O} g} = h_L \quad (7)$$

Considerando el tubo en U la presión en ambos brazos del tubo es igual al nivel 00, (TecQuipment, 2010, p11). Por consiguiente la presión equivalente en 00:

$$P_2 - \rho_{H_2O} g(x + y) + \rho_{H_2O} g x = P_1 g y \quad (8)$$

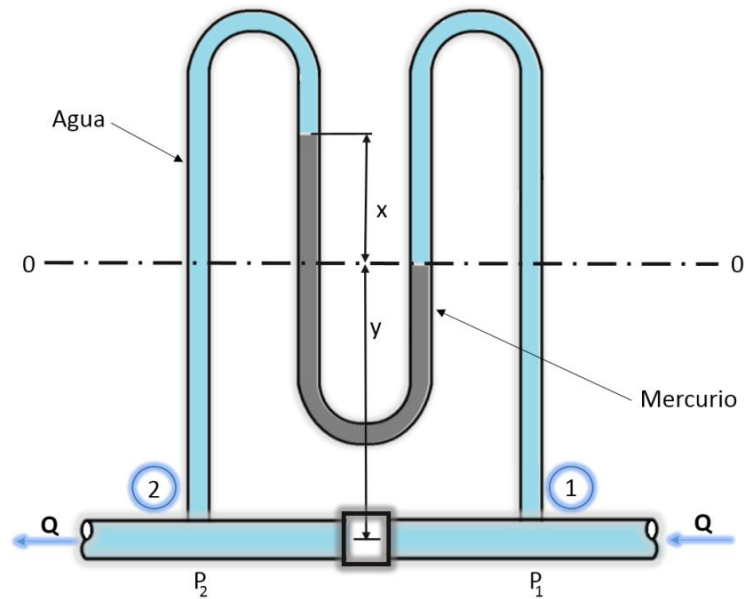


Fig. 7 Tubo en U de con mercurio utilizado para medir las pérdidasde presión a través de las válvulas

Adaptado de: USTA 2011, Pérdidas en un sistema de tuberías, J. LUIS DÍAZ A.

dando

$$P_1 - P_2 = xg(\rho_{H_2O} - \rho_{Hg}) \quad (9)$$

por consiguiente:

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho_{H_2O} g} = x(s - 1) \quad (10)$$

Considerando las ecuaciones (7) y (10) y tomando la gravedad específica del mercurio como 13.6:

$$h_L = 12.6x$$

I.4.PROCEDIMIENTO

- a. Conecte el suministro del banco hidráulico a la entrada del aparato y coloque la manguera de salida en el banco volumétrico.
- b. Cierre la válvula de globo, abra la válvula de compuerta y permita la entrada de agua en el circuito azul oscuro encendiendo la bomba y abriendo la válvula de descarga del banco hidráulico.
- c. Permita que el agua fluya por dos o tres minutos.
- d. Cierre la válvula de compuerta y manipule todo el aire atrapado en los tubos piezométricos. Revise que todos los tubos piezométricos indican una diferencia de presión de cero.
- e. Abra la válvula de compuerta y manipule los tornillos de purga asegurándose que no quede aire en el tubo en U.
- f. Cierre la válvula de compuerta, abra la válvula de globo y repita el procedimiento anterior para el circuito azul claro. El aparato está ahora configurado para realizar las mediciones en los componentes del circuito. La posición del nivel de referencia del piezómetro puede ser ajustado a cualquier posición deseada, ya sea suministrando aire con la bomba de bicicleta o dejando escapar aire a través de la válvula del colector principal (TecQuiment, 2010, p12).

Procedimiento experimental

1. Abrir completamente la válvula de control de agua del banco hidráulico. Con la válvula de globo cerrada, abrir completamente la válvula de entrada para obtener el máximo fluido a través del circuito azul.
2. Registrar las lecturas de los piezómetros y las del tubo en U, y utilizando el banco efectuar la medida del caudal que está circulando a través del circuito.
3. Repetir el procedimiento anterior para diez (10) caudales diferentes, obtenidos de cerrar paulatinamente la válvula de entrada. Registrar la temperatura del agua en el sumidero del Banco Hidráulico con un termómetro de mercurio cada vez que se cambie el caudal.
4. Cerrar la válvula de entrada, abrir la de globo y repetir todo el procedimiento anterior para el circuito azul claro.
5. Antes de apagar la máquina, cerrar ambas válvulas. Esto previene el acceso del aire al sistema y economiza tiempo.

I.5.DATOS, OBSERVACIONES Y RESULTADOS

Datos Básicos:

Diámetro tubería	13.7 mm
Diámetro tubería entre expansión y contracción	26.4 mm
Material de la tubería	Cobre
Distancia entre tomas de presión para el tramo recto y curvas	0.914 m

Radios curvas:

Codo 90° (inglete)	0
Codo 90° estándar	12.7 mm
Curva suave 90°	50 mm
Curva suave 90°	100 mm
Curva suave 90°	150 mm

Pérdidas en la tubería de tramo recto

El objeto de este experimento es obtener las siguientes relaciones:

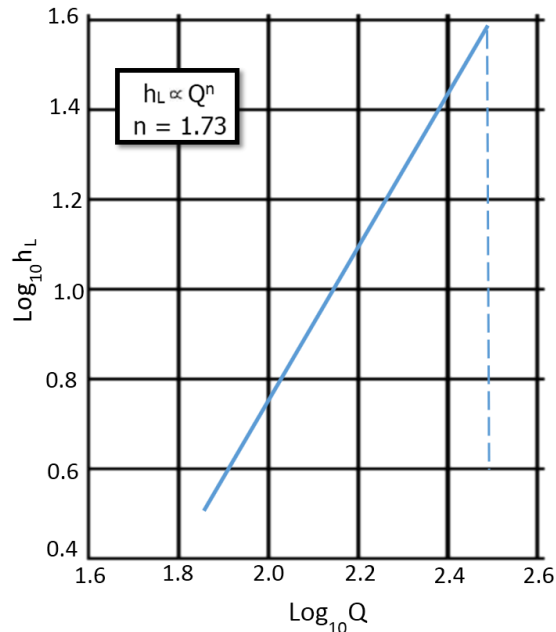
- Las pérdidas de carga en función de las tasas de flujo volumétrico
- El factor de fricción como función del número de Reynolds

Tabla 3 Resultados experimentales para el circuito azul oscuro

Prueba	Tiempo (s)	Volumen (L)	Lecturas Piezométricas (cm)						Tubo U (cm) Hg	
			1	2	3	4	5	6	Válvula Compuerta	
										*

* Completamente abierta Temperatura del agua =

La Fig. 8 representa para unos datos tomados experimentalmente la relación entre las pérdidas de carga y el flujo volumétrico graficada en forma logarítmica ($\text{Log } h_L$ vs $\text{Log } Q$). La gráfica muestra que la relación es de la forma $h_L \propto Q^n$ con $n = 1.73$.

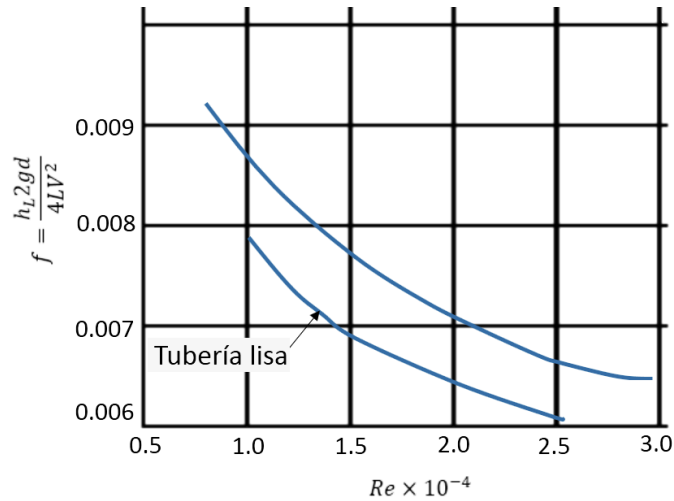


Fuente: <http://bc.inter.edu/facultad/omeza/3110/Annex-Lab6.docx>

Fig. 8 Pérdidas de carga – Tasa volumétrica

En la Fig. 9 se puede visualizar la relación entre el factor de fricción y el número de Reynolds para datos tomados experimentalmente. Esta gráfica también muestra por comparación la relación de la ecuación de Blasius para conductos hidráulicamente lisos (TecQuipment, 2010, p18).

$$f = \frac{0.0785}{Re^{1/4}} \text{ para el rango } 10^4 < Re < 10^5$$

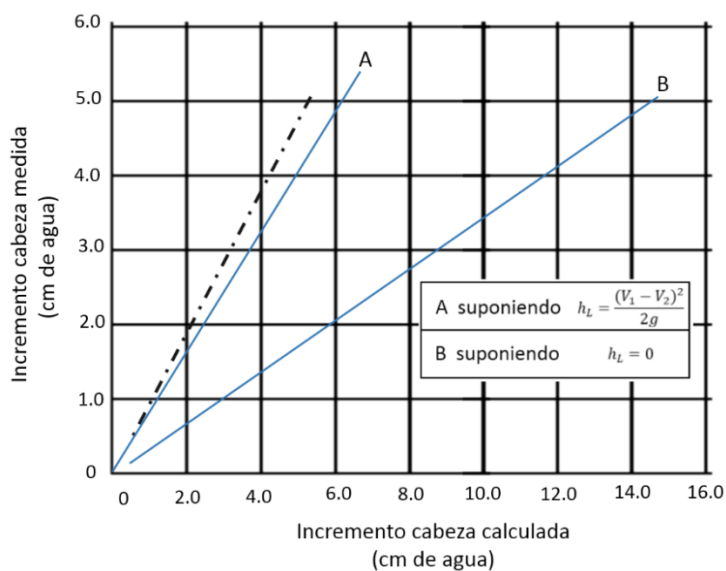


Fuente: <http://bc.inter.edu/facultad/omeza/3110/Annex-Lab6.docx>

Fig. 9 Factor de fricción – Número de Reynolds

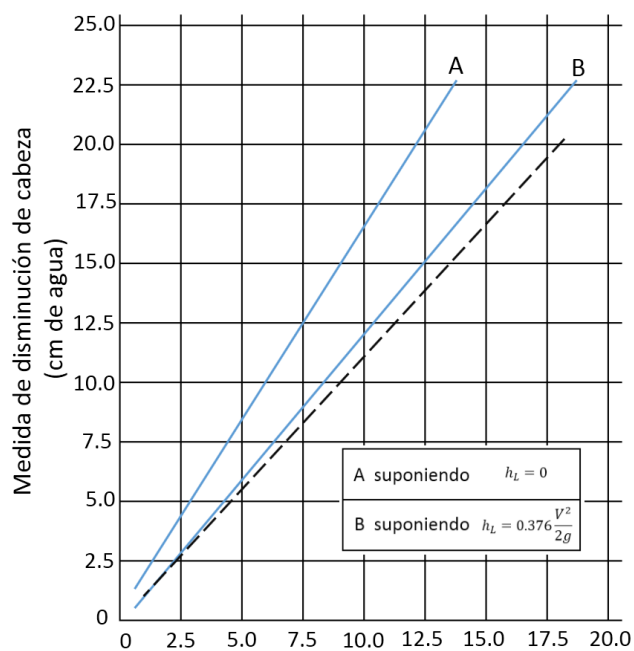
En la Fig. 10 se puede visualizar para datos tomados de forma experimental la gráfica del aumento de carga medida contra el aumento de carga calculado en la expansión. La comparación con la línea punteada de la gráfica muestra claramente que el aumento de carga está dado de forma más exacta asumiendo una expansión con pérdidas de carga simple, que no asumiendo pérdidas de carga.

La Fig. 11 muestra para un conjunto de datos experimentales de la caída de carga medida contra la caída de carga calculada en la contracción.



Fuente: <http://bc.inter.edu/facultad/omeza/3110/Annex-Lab6.docx>

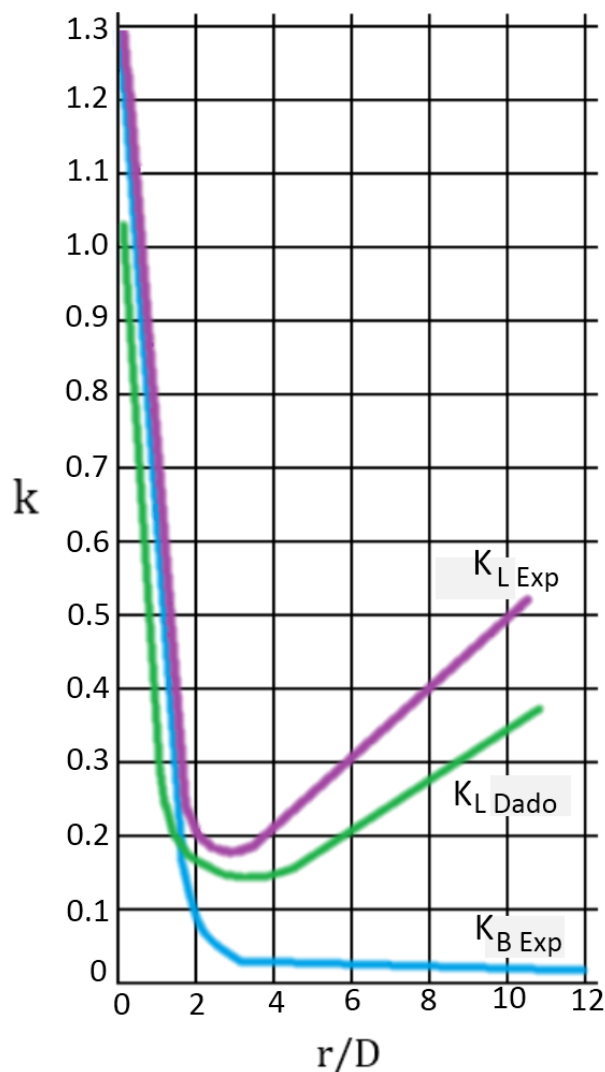
Fig. 10 Aumento de carga a través de la expansión



Fuente: <http://bc.inter.edu/facultad/omeza/3110/Annex-Lab6.docx>

Fig. 11 Caída de carga en la contracción

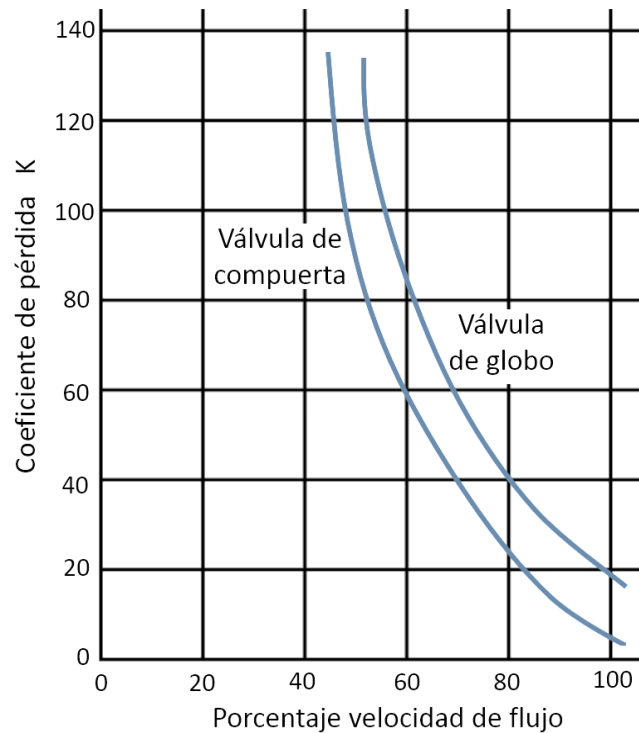
En cuanto a las pérdidas de carga en las curvas se tienen las pérdidas de carga totales en la curva (K_L , h_L), y aquellas debidas solamente a la geometría de la curva, ignorando las pérdidas por fricción (K_B , h_B). En la Fig. 12 se visualizan resultados experimentales para K_B y K_L . Una de las curvas es tomada de un libro de texto (TecQuipment, 2010, p28).



Fuente: <http://bc.inter.edu/facultad/omeza/3110/Annex-Lab6.docx>

Fig. 12 Gráfica del coeficiente de pérdidas

En la Fig. 13 se visualiza una gráfica de la relación de los coeficientes de pérdida de las válvulas y el porcentaje de la cantidad de flujo volumétrico para un conjunto de datos experimentales.



Fuente: <http://bc.inter.edu/facultad/omeza/3110/Annex-Lab6.docx>

Fig. 13 Coeficiente de pérdidas para válvulas de globo y compuerta

I.6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

1. Para los tramos rectos y horizontales de tubería (8-9, 3-4) determinar los factores de fricción f , utilizando la ecuación de Bernoulli con pérdidas. (Ecuación de Darcy).
2. Para cada uno de los aditamentos del sistema de tuberías determinar los valores de K utilizando el valor del factor de fricción hallado en el punto

anterior. Comparar los valores obtenidos con los libros de referencia.

3. Para los caudales de la práctica graficar h contra $V^2/2g$ determinar K y comparar con los resultados del punto anterior.
4. Pérdidas por válvulas: determinar la relación entre los coeficientes de pérdida (k) y el flujo, para una válvula de globo y una de compuerta. Graficar y concluir.
5. Con los datos y resultados obtenidos realizar las gráficas mostradas en el apartado anterior, analizar y concluir.

I.7.HOJA DE RESULTADOS

Diámetro de la tubería $d =$

Temperatura =

Prueba	Tiempo (s)	Volumen (L)	Lecturas Piezométricas (cm)						Tubo U (cm) Hg	
			1	2	3	4	5	6	Válvula Compuerta	
										*

I.8. BIBLIOGRAFÍA

Chaparro R., F.A.; León P., L. (2004) "Elaboración de la documentación requerida para un sistema de gestión de la calidad basado en las normas ISO 9001:2000 e ISO 1705 para los laboratorios de suelos, hidráulica y ensayos mecánicos de la universidad Santo Tomás" Proyecto de Grado. Universidad Santo Tomás, Facultad de Ingeniería Mecánica, División de Ingenierías, Bogotá D.C. 2004.

H16 Losses in Piping Systems, Lecture06, Annex- Theory, https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CB0QFjAA&url=http%3A%2F%2Ffacultad.bayamon.inter.edu%2Fomez%2F3110%2Fannex-lab6.docx&ei=2EjKVOBKDI7dsATZpICoDg&usq=AFQjCNHAXs117097_Pm9kAMVyx2-WYTPXw&bvm=bv.84607526,d.cWc. Fecha de recuperación: 5 de agosto de 2011.

H16 Losses in Piping Systems. TecEquipment, (2010). Recuperado de: http://www.learneasy.info/MDME/MEMmods/MEM23006A/fluid_mech/lab-pipe-flow-files/losses-in-piping-lab.pdf. Fecha de recuperación: 5 de agosto de 2011.