

PÉRDIDAS EN ACCESORIOS

I.1.OBJETIVO

Establecer las pérdidas de carga ocasionados por diferentes accesorios utilizados frecuentemente en sistemas de tuberías.

I.2.EQUIPO

Pipework Energy Losses H34, TecQuipment Hydraulic Bench, H1.



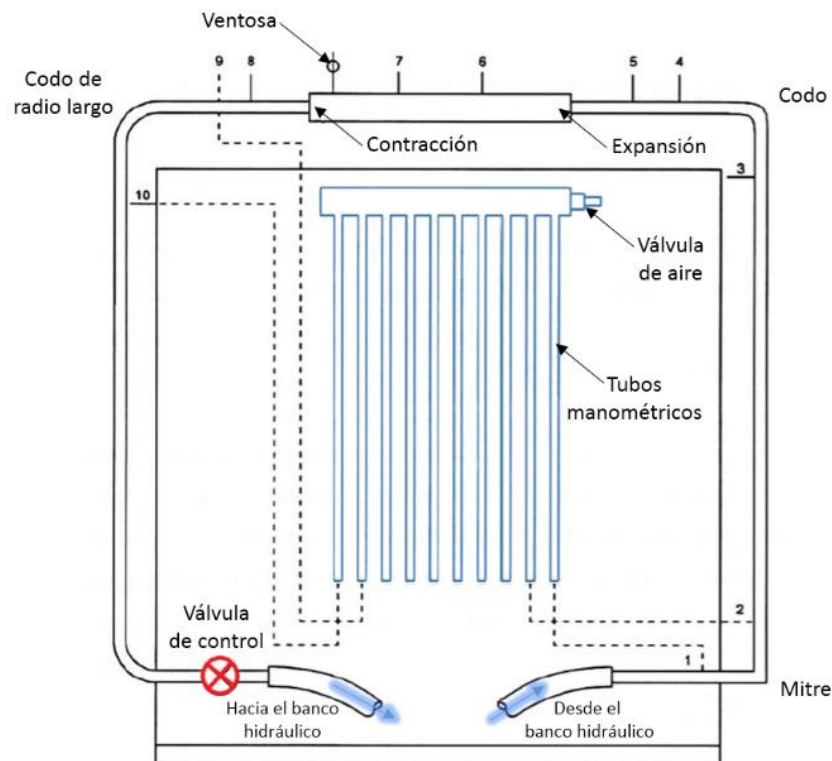
Fuente: Propia

Fig. 1 Aparato para determinar pérdidas de energía por accesorios (H34)

Otros elementos:

- Pipeta
- Cronómetro
- Termómetro
- Banco de prueba

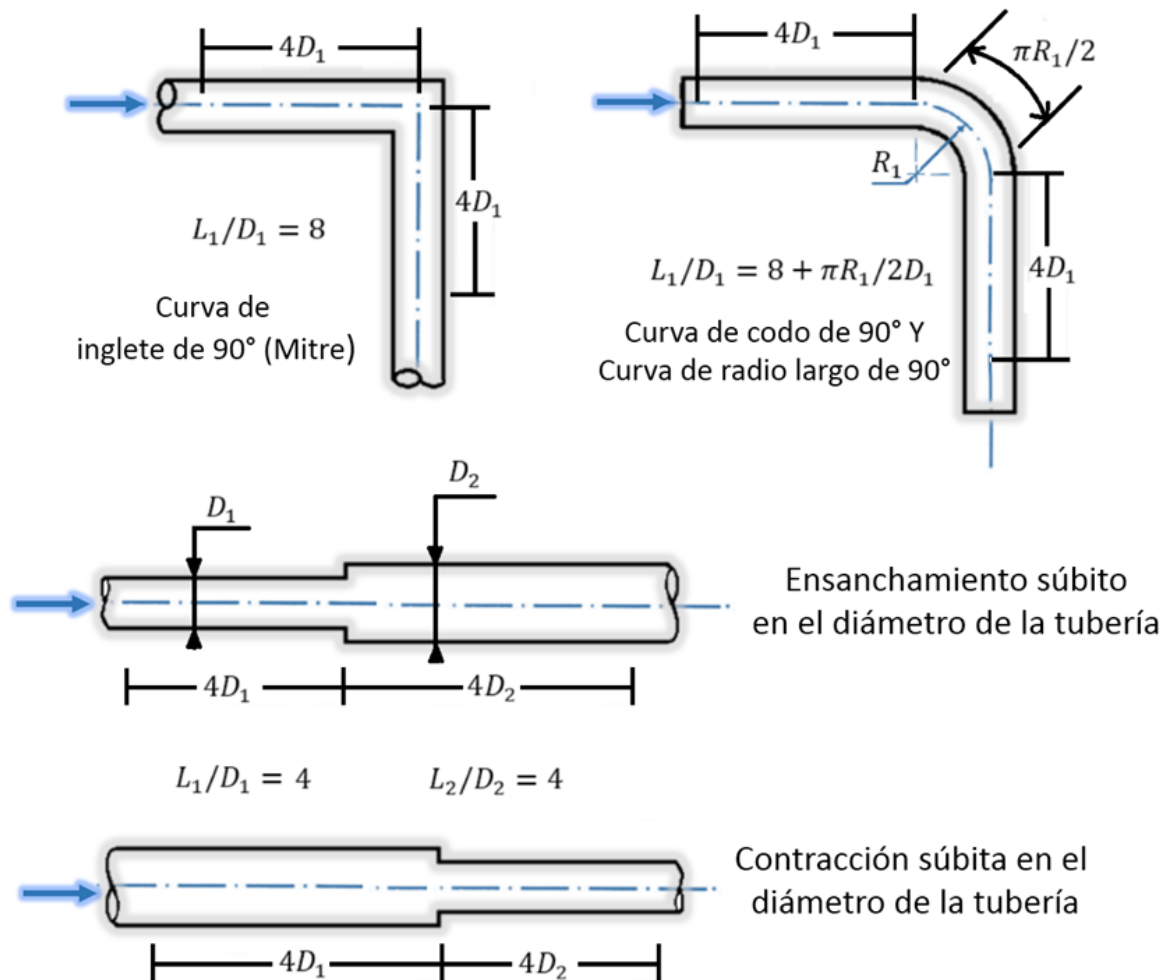
Descripción de la instalación



Adaptado de: Markland, E. (1994) "A first course in Hydraulics", TecQuipment Limited
Fig. 2 Diagrama esquemático del aparato H34

Se dispone de varios arreglos del equipo que incorporan la selección de diferentes configuraciones de los accesorios. El equipo ilustrado en la Fig. 2 presenta la ventaja de la portabilidad. Éste puede ser operado en el banco hidráulico. Se provee de un recorrido de tubería hecho de componentes de material plástico rígido, apoyado en el plano vertical de una placa base con un panel vertical en la parte trasera. El agua se suministra a la entrada de la tubería desde el banco hidráulico y se descarga a la salida al tanque de medida. En el recorrido de la tubería se tienen los siguientes accesorios:

- Curva de inglete de 90°
- Curva de codo de 90°
- Curva de radio largo de 90°
- Ensanchamiento súbito en el diámetro de la tubería
- Contracción súbita en el diámetro de la tubería



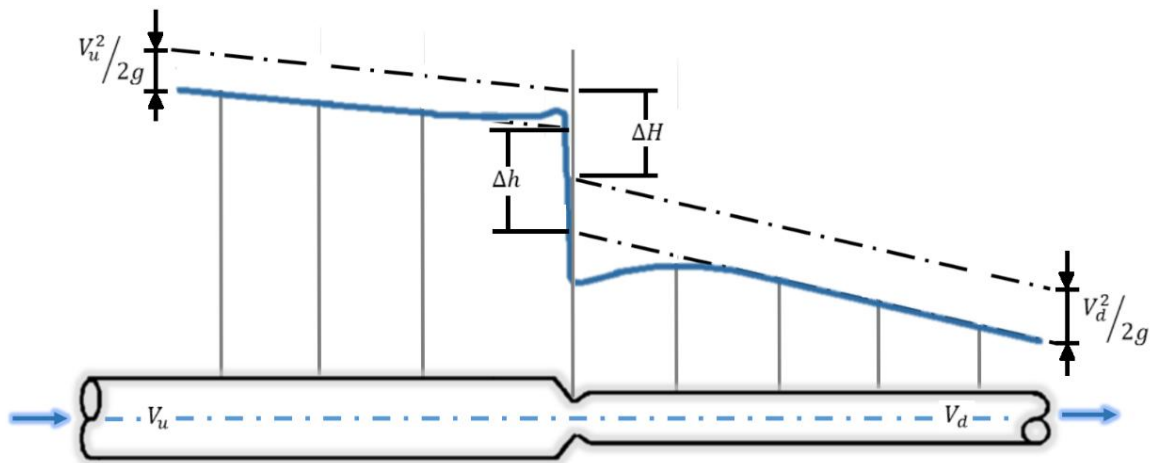
Adaptado de: Markland, E. (1994) "A first course in Hydraulics", TecEquipment Limited
Fig. 3 Ilustración de las posiciones de las tomas piezométricas

Las tomas piezométricas (Fig. 3) se ubican en la pared del tubo a longitudes de 4 veces el diámetro del mismo aguas arriba y aguas abajo de cada uno de los accesorios. Las tomas están conectadas a un manómetro multitubo de vidrio el cual puede ser presurizado haciendo uso de una bomba bicicleta. El sistema puede ser purgado de aire por ventilación a la atmósfera a través del manómetro y, a través de una válvula de ventosa en el punto más alto del recorrido. La tasa de flujo a través del equipo puede ser variada ajustando la válvula cercana a la salida del tubo (Markland, 1994).

I.3.MARCO TEÓRICO

Las pérdidas de carga a lo largo de una tubería son debidas principalmente a la fricción ejercida por el material de la tubería y, por los accesorios tales como curvaturas o válvulas. En tuberías largas con pocos accesorios las pérdidas en general se deben a la fricción, sin embargo, para tuberías cortas con numerosos accesorios las pérdidas principales son ocasionadas por los disturbios producidos en los accesorios (Markland, 1994).

La Fig. 4 representa agua fluyendo a una velocidad V_u a lo largo de una tubería de diámetro D_u hacia un accesorio tal como una curvatura o una válvula, pero mostrada por simplicidad como una restricción simple en la sección transversal del flujo. Aguas abajo del accesorio el agua fluye a lo largo del tubo de otro diámetro D_d en el cual la velocidad del flujo es V_d . La figura indica la variación de la carga piezométrica a lo largo del recorrido de la tubería, como se mostraría por numerosas tomas de presión en las paredes del tubo. En la región del flujo sin perturbaciones aguas arriba lejos del accesorio, la distribución de velocidad a través de la tubería permanece incambiable de una sección transversal a otra; esta es la condición de flujo completamente desarrollado. Sobre esta región, la carga piezométrica disminuye con una pendiente uniforme y suave como resultado de la fricción constante en las paredes de la tubería en el flujo completamente desarrollado. Cerca al accesorio, sin embargo, se presentan perturbaciones locales bruscas y sustanciales para la carga piezométrica, causadas por cambios rápidos en dirección y velocidad como el agua pasando a través del accesorio. En la región aguas abajo estas perturbaciones se desvanecen y la línea de cabeza piezométrica vuelve asintóticamente a un gradiente lineal suave, así como la condición de velocidad regresa gradualmente a la condición de flujo completamente desarrollado.



Adaptado de: Markland, E. (1994) "A first course in Hydraulics", TecQuipment Limited

Fig. 4 Representación esquemática de las pérdidas en un accesorio

Si las líneas aguas arriba y aguas abajo del gradiente de fricción lineal se extrapolan al plano del accesorio se encuentra una pérdida Δh debida al accesorio (Markland, 1994). Para establecer la pérdida correspondiente de carga total ΔH es necesario introducir la carga de velocidad en el recorrido aguas arriba y aguas abajo de la tubería. De la Fig. 4 se tiene que:

$$\Delta H = \Delta h + \frac{V_u^2}{2g} - \frac{V_d^2}{2g} \quad (1)$$

Es conveniente expresar esto en términos de un coeficiente de pérdidas adimensional K dividiendo por la carga de velocidad en la tubería aguas arriba o aguas abajo (dependiendodel contexto). El resultado es:

$$K = \frac{\Delta H}{V_u^2 / 2g} \quad \text{o} \quad \frac{\Delta H}{V_d^2 / 2g} \quad (2a)$$

Para el caso donde $D_u = D_d$ las velocidades del flujo aguas arriba y abajo son idénticas, así la definición se puede simplificar a:

$$K = \frac{\Delta H}{V^2/2g} \quad \text{o} \quad \frac{\Delta H}{V^2/2g} \quad (2b)$$

Donde V indica la velocidad del flujo en el recorrido aguas arriba o aguas abajo (UTEXAS, s.f., p1).

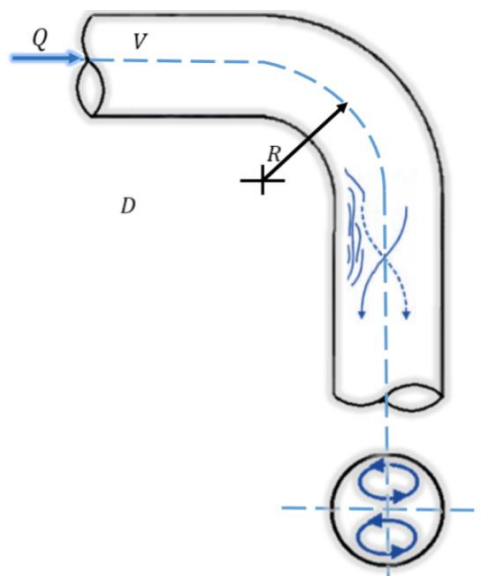
Para obtener resultados de gran exactitud son necesarias secciones largas de tubería recta (de 60 diámetros o más) para establecer con certeza las posiciones relativas de las secciones lineales de las líneas piezométricas. Tales longitudes no son prácticas en un aparato compacto tal como el que se describe en esta guía. Por tanto, son utilizados dos piezómetros, uno colocado aguas arriba y otro aguas abajo del accesorio, a una distancia suficiente como para evitar perturbaciones graves. Estos muestran las pérdidas de carga piezométrica $\Delta h'$ entre los puntos de muestreo. Entonces se hace un estimativo de las pérdidas de carga por fricción Δh_f en lo cual incurriría el flujo completamente desarrollado a lo largo del recorrido del tubo entre los puntos piezométricos de muestreo (Markland, 1994). La diferencia de carga piezométrica Δh a través del accesorio se encuentra por la resta:

$$\Delta h = \Delta h' - \Delta h_f \quad (3)$$

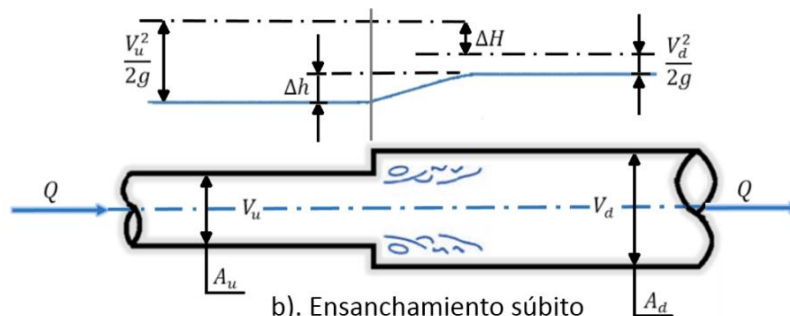
Características del flujo a través de curvaturas y cambios de diámetro

La Fig. 5(a) ilustra el flujo en una curvatura de 90° que tiene una sección transversal circular constante de diámetro D . El radio de la curvatura es R , medido a la línea central. El valor del coeficiente de pérdidas K será función de la relación geométrica R/D ; al incrementarse esta relación, se hace la curvatura menos pronunciada y se esperaría que el valor de K caiga. El menor valor posible de R/D es 0.5 para el cual la curvatura interior tiene un ángulo interno pronunciado. Para este caso se toma usualmente un valor de K de 1.4. Como

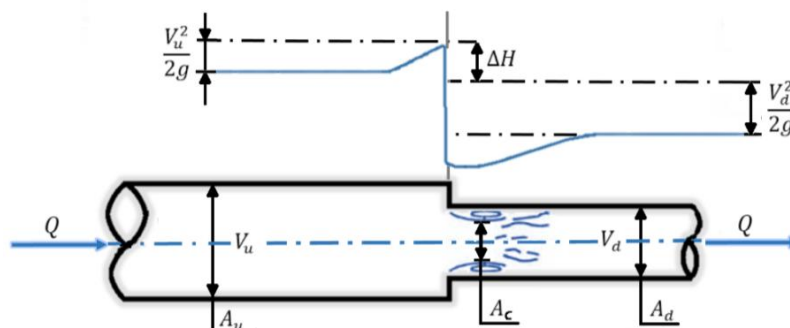
R/D aumenta el valor de K decae llegando hasta 0.2 y R/D aumenta hasta 2 o 3. También se tiene una leve dependencia con el número de Reynolds Re .



a). Curva de codo de 90°



b). Ensanchamiento súbito en el diámetro de la tubería



c). Contracción súbita en el diámetro de la tubería

Adaptado de: Markland, E. (1994) "A first course in Hydraulics", TecQuipment Limited
Fig. 5 Flujo en una curva, ensanchamiento súbito y contracción súbita

La Fig. 5(b) muestra el flujo en un ensanchamiento súbito. El flujo se separa a la salida de la tubería de menor diámetro formando un chorro, el cual se esparce en el tubo grande y se vuelve a unir a las paredes de la tubería una distancia aguas abajo (Markland, 1994). Asumiendo que la presión piezométrica en la cara del ensanchamiento es igual a la del chorro emergente y que el momento del flujo se conserva, las pérdidas de carga total se pueden representar como:

$$\Delta H = (V_u - V_d)^2 / 2g \quad (4)$$

El aumento correspondiente en carga piezométrica es:

$$\Delta H = 2V_d(V_u - V_d) / 2g \quad (5)$$

En este caso el coeficiente de pérdidas K esta mejor correlacionado con la velocidad aguas arriba V_u , así que:

$$K = \frac{(V_u - V_d)^2 / 2g}{2V_d / 2g} = [1 - (V_d / V_u)]^2 = [1 - (A_u / A_d)]^2 \quad (6)$$

Esto indica que K se incrementa de cero cuando $A_u / A_d = 1.0$ (el caso cuando no existe ensanchamiento) a 1.0 cuando $A_u / A_d = 0$.

Por último, en la contracción súbita mostrada en la Fig. 5(c) el flujo se separa de la orilla donde la cara de la contracción conduce a la tubería más pequeña, formando un chorro que converge a una sección contraída de área de sección transversal A_c . Las pérdidas por tanto se espera que sean aquellas

debidas al ensanchamiento del área contraída A_c al área A_d aguas abajo. Siguiendo el resultado de la ecuación (4) las pérdidas totales de carga en la contracción serían:

$$\Delta H = \frac{(V_c - V_d)^2}{2g} \quad (7)$$

La elección obvia de la velocidad de referencia en este caso es V_d , así que el coeficiente de pérdidas K es:

$$K = \left[\left(\frac{V_c}{V_d} \right) - 1 \right]^2 = \left[\left(\frac{A_d}{A_c} \right) - 1 \right]^2 \quad (8)$$

De aquí, si el valor de la relación de contracción en la tubería es de 1.0, es decir, si $A_d/A_u = 1.0$ no se tiene contracción y no habrá separación del flujo, por tanto $A_d/A_c = 1$ (el resultado de la ecuación 8 es cero). Por otra parte, si la contracción es muy severa, es decir, $A_d/A_u \rightarrow 0$ entonces la tubería aguas arriba tiende a una reserva infinita en comparación con la otra aguas abajo. Se podría esperar razonablemente que el flujo a la entrada de la tubería de aguas abajo se pareciera al de una gran reserva a través de un orificio de área A_d . Para tal orificio el coeficiente de contracción tiene un valor aproximado de 0.6, así que:

$$A_d/A_c = 1/0.6 = 1.667$$

Sustituyendo este valor en la ecuación 7 se tiene:

$$K = 0.44$$

Podría por tanto esperarse que K pasara de cero cuando la relación de área en la tubería si $A_d/A_u = 1.0$, a un valor de 0.44 cuando la relación si A_d/A_u tiende a cero.

I.4.PROCEDIMIENTO

La manguera de suministro del banco hidráulico se conecta a la entrada de la tubería. Una manguera más se fija a la tubería de salida por la que la descarga fluye hacia el tanque de medición del banco. Se enciende la bomba y la válvula de control a la salida es abierta para permitir el flujo de agua a través de la tubería.

Para garantizar la expulsión del aire del sistema se afloja o remueve la válvula de aire en la parte superior del manómetro y se abre la válvula de ventosa ubicada en la parte superior de la tubería. La válvula de control a la salida se cierra parcialmente tal que la presión dentro de la tubería lleve agua fuera a través de la ventosa y de los piezómetros por los tubos conectados, y encima de los tubos manométricos. Este flujo de agua llevará burbujas de aire. La válvula de control se deberá cerrar suficientemente hasta producir un flujo vigoroso fuera de la válvula de ventosa y del manómetro, garantizando así que el sistema está purgado de aire. Cuando esto se ha completado, la válvula de ventosa deberá ser cerrada y la válvula de aire del manómetro reemplazada y ajustada. La bomba de bicicleta es entonces utilizada para conducir los niveles de agua en los tubos manométricos a alturas convenientes.

Con la válvula de salida cerrada, los tornillos de nivelación se ajustan para colocar el tablero de manómetros completamente horizontal, es decir para mostrar una lectura uniforme a través del tablero.

El aparato está entonces listo para utilizar. La válvula de salida se abre cuidadosamente mientras son observados los niveles de agua en los tubos manométricos. La admisión o liberación de aire es permitida para mantener

todas las lecturas dentro del rango de la escala. Cuando es alcanzado el máximo flujo posible, las lecturas de los piezómetros diferenciales a través de cada uno de los accesorios son registradas, mientras que la cantidad de agua es cronometrada en el tanque de medida. Estas mediciones son repetidas para diferentes cantidades de tasas de flujo. Puede ser necesario bombear más aire al manómetro para mantener las lecturas dentro de los límites cuando la válvula de salida está cerrada, como alternativa, la válvula del banco se pueden utilizar para llevar a cabo parte de la reducción de flujo. Si se piensa que se puede agrupar aire en la parte superior de la tubería, esto puede ser verificado en cualquier momento abriendo la válvula de ventosa por un instante.

I.5.DATOS, OBSERVACIONES Y RESULTADOS

Tabla 1 Pérdidas de carga piezométrica para diferentes tasas de flujo

			Carga Piezométrica Diferencial $\Delta h'$				
<i>Volumen</i>	<i>Tiempo</i>	<i>Q</i>	<i>Inglete</i>	<i>Codo</i>	<i>Ensanch.</i>	<i>Contrac.</i>	<i>Curva</i>
<i>(l)</i>	<i>(s)</i>	<i>(l/s)</i>	<i>1-2</i>	<i>3-4</i>	<i>5-6</i>	<i>7-8</i>	<i>9-10</i>

Dimensiones de las tuberías y accesorios

Diámetro del tubo más pequeño: $D_1 = 22.5 \text{ mm}$ $A_1 = 3.98 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

Diámetro del tubo más grande: $D_2 = 29.6 \text{ mm}$ $A_1 = 6.88 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

Radio a la línea central del codo: $R_e = 35.0 \text{ mm}$

Radio a la línea central de la curvatura: $R_b = 69.1 \text{ mm}$

Longitud de la tubería recta entre las

tomas piezométricas y los accesorios $4D_1$ o $4D_2$

Tabla 2 Pérdidas de carga total para diferentes tasas de flujo

					Carga Piezométrica Diferencial				
Q	V_1	V_2	$V_1/2g$	$V_2/2g$	Inglete	Codo	Ensanch.	Contrac.	Curva
(kg/s)	(m/s)	(m/s)	(mm)	(mm)	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10

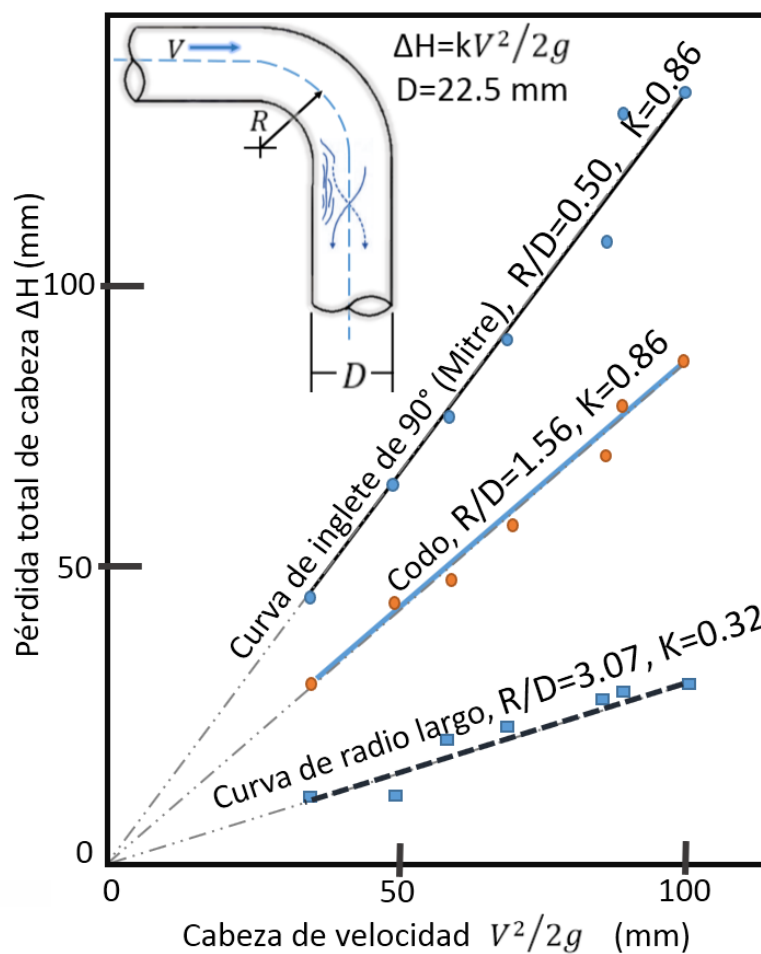
Las pérdidas de carga por fricción se estiman eligiendo un valor adecuado del factor de fricción f para flujo completamente desarrollado a lo largo de una tubería lisa. Se tienen diferentes opciones entre otras la ecuación de Prandtl:

$$\frac{1}{f} = 4 \log (Re \sqrt{f}) - 0.4$$

Para evaluar f tomar un valor promedio de caudal.

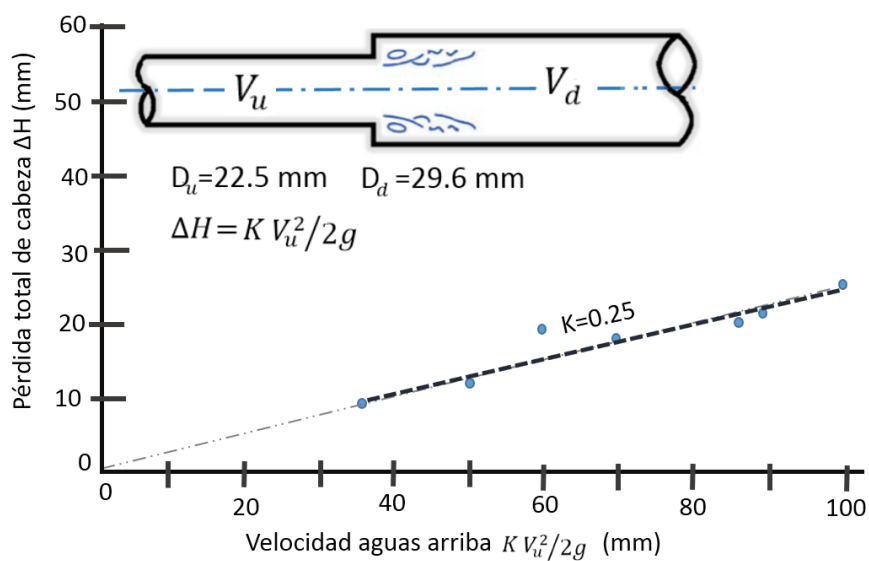
I.6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

1. ¿Qué sugerencia haría para mejorar el montaje?
2. Obtener los coeficientes de pérdida K experimentales para cada uno de los accesorios.
3. Graficar las pérdidas totales de carga ΔH en las curvas de 90° .



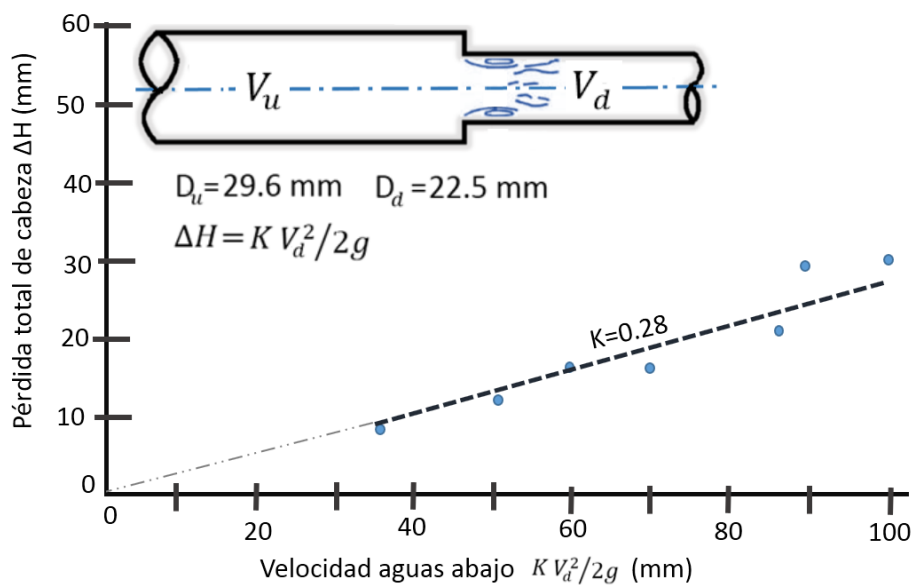
Adaptado de: Markland, E. (1994) "A first course in Hydraulics", TecQuipment Limited

4. Graficar las pérdidas en el ensanchamiento súbito



Adaptado de: Markland, E. (1994) "A first course in Hydraulics", TecQuipment Limited

5. Graficar las pérdidas en la contracción súbita.



Adaptado de: Markland, E. (1994) "A first course in Hydraulics", TecQuipment Limited

6. Comentar los resultados y gráficas obtenidas.

7. No se ha realizado corrección a las lecturas piezométricas diferenciales para la diferencia en alturas entre las tomas de piezómetros. ¿Podría explicar porque sería erróneo realizar tal corrección?
8. ¿Cuáles son las fuentes de error? En particular, que porcentaje de error en el valor de K para cualesquiera de las curvas resultaría de un error de 0.1 mm en el diámetro medido D1?
9. El efecto de la fricción de las paredes de la tubería en la longitud de la misma entre los piezómetros ha sido estimada para una única tasa de flujo. ¿Se obtendrían mejores resultados estimando el efecto de la fricción sobre todo el rango de tasas de flujo?

I.7.BIBLIOGRAFÍA

Markland, E. (1994) "A first course in Hydraulics", TecQuipment Limited.

Pérez R., H. (2011) "Guías para prácticas de laboratorio mecánica de fluidos", Pérdidas por Fricción en Tuberías, versión 2, Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás.

Laboratory #8 - Head Losses in Pipe Flow. The University of Texas at Austin (UTEXAS). Recuperado de: <http://www.ce.utexas.edu/prof/kinnas/319LAB/Lab/Lab%208-Head%20Losses%20in%20Pipe%20Flow/Lab8.htm>. Fecha de recuperación: 12 de Agosto de 2014.