



II CAIM 2010
Segundo Congreso Argentino
de Ingeniería Mecánica
San Juan - Noviembre 2010

Banco didáctico de pruebas hidráulicas: determinación experimental indirecta de la rugosidad de cañerías

José Di Paolo ^{*1}, Gustavo Torres ², Diego Campana ³, Sebastián Ubal ³, Marcelo Berli ⁴, Federico Brunelli ⁵, Eduardo Cánepa ⁵ y Nahuel Valiente ⁵

^{*1, 3, 4, 5} **Cátedra Mecánica de Fluidos, Departamento Físico – Química**
Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de Entre Ríos
Ruta 11, km 10, 3100 Oro Verde, Entre Ríos, Argentina
e-mail: jdipaolo@bioingenieria.edu.ar

² **Dpto. de Hidráulica, Fac. de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral,**
Paraje El Pozo, 3000 Santa Fe, Prov. de Santa Fe, Argentina

RESUMEN

Dentro de los diversos inconvenientes para el correcto funcionamiento de una instalación se encuentra la pérdida de carga por la fricción en conductos y accesorios. Debido a la gran importancia que constituye el transporte de fluidos en los sistemas de la salud, el cálculo y dimensionamiento de cañerías es un tema que forma parte del programa de la asignatura Mecánica de Fluidos de la carrera de Bioingeniería de la Facultad de Ingeniería (FI) de la Universidad Nacional de Entre Ríos (UNER). A los fines de asegurar el aprendizaje del tema se llevó a cabo el desarrollo y montaje de un banco de pruebas hidráulicas para medición de factores de fricción en tubos rectos de sección circular y pérdidas de carga en accesorios, el cual cuenta con instrumentos didácticos de medición de presiones y caudal, que son las variables hidrodinámicas que determinan la mecánica del flujo en la tubería.

La rugosidad interna de las tuberías no es un parámetro conocido cuando las mismas presentan rugosidades generadas por adherencias a través del tiempo. En este trabajo se muestra una actividad práctica que consiste en la determinación de la rugosidad de tuberías con mucho tiempo de uso, en forma indirecta a través de la determinación experimental del factor de fricción para diversos caudales caracterizados por el número de Reynolds. La representación de las mediciones en el diagrama de Moody permite trazar curvas que, al ser interpoladas entre las del diagrama, permiten inferir un valor de la rugosidad relativa al diámetro del tubo y por ende de la rugosidad absoluta. La experiencia fue realizada sobre dos caños de 6 m de longitud, uno de 21,7 mm de diámetro interno y otro de 43,3 mm, los cuales muestran depósitos minerales en su interior; las rugosidades absolutas obtenidas con la metodología referida fueron de 0,65 mm y 0,26 mm respectivamente, valores muy superiores a 0,15 mm correspondiente a tubos nuevos del mismo tipo.

Palabras Claves: Banco didáctico de pruebas hidráulicas, pérdida de carga, rugosidad en cañerías

1. INTRODUCCIÓN

Los elementos que comúnmente forman parte de una instalación hidráulica son las tuberías encargadas de transportar el fluido y los denominados accesorios (codos, válvulas y acoples con cambios de sección entre otros) cuya misión es bifurcar, cambiar la dirección o regular de alguna forma el flujo.

En el análisis y diseño de las instalaciones hidráulicas es necesario conocer las expresiones que relacionan las variaciones de energía hidráulica que sufre el flujo al atravesar un determinado elemento o componente de la instalación en relación con el caudal circulante. En este sentido es muy habitual designar a las pérdidas de energía hidráulica como “Pérdidas de Carga”, debiéndose éstas a la fricción del fluido consigo mismo y con las paredes sólidas, o también por la fuerte disipación de energía hidráulica que se produce cuando el flujo se ve perturbado por un cambio en su dirección o área de paso debido a la presencia de componentes tales como adaptadores, codos, curvas, válvulas u otros accesorios [1].

Se puede separar el estudio de las pérdidas de carga en conductos de aquellas que se producen en los accesorios (en ocasiones pérdidas menores). Las primeras son debidas a la fricción y cobran importancia cuando las longitudes de los conductos son considerables, las segundas por el contrario, se producen en una longitud relativamente corta por lo que no se deben a la fricción sino a que el flujo en el interior de los accesorios es tridimensional y complejo, produciéndose una gran disipación de energía para que el flujo vuelva a ser desarrollado aguas abajo del accesorio [2].

Dada la naturaleza compleja de los mecanismos que provocan la pérdida de energía en un flujo impulsado por una cañería, como por ejemplo la turbulencia, el estudio del problema posee una fuerte raíz experimental que puede ser recreada a través de un equipamiento que simule las condiciones globales en las que se encuentra un fluido al circular por una instalación. Este equipamiento es el denominado “Banco de Pruebas Hidráulicas”.

En este trabajo se expone la experiencia de la cátedra Mecánica de Fluidos de la Facultad de Ingeniería de la UNER en la construcción y utilización con fines prácticos de un banco de pruebas hidráulicas para la carrera de Bioingeniería. El equipo fue construido por el personal docente de la cátedra y los servicios de los talleres de la institución.

2. FUNDAMENTOS

El esfuerzo por comprender el fenómeno de la pérdida de energía de un flujo en un conducto no es nuevo y hasta podríamos decir que es tan antiguo como las obras hidráulicas mismas que ha encarado el hombre desde que habita el planeta. Desde mediados del siglo XIX se movilizaron acciones científicas para dar con las leyes y variables principales involucradas en el problema. Así, Osborne Reynolds encontró que el criterio para la transición de un flujo laminar (ordenado) a un flujo turbulento (errático) en una tubería está dado por el valor numérico de una relación adimensional que luego recibiría su nombre: el número de Reynolds. Éste se define como la relación $\rho V D / \mu$ donde D es el diámetro de la tubería y el parámetro característico de longitud, V la velocidad media del flujo y ρ y μ la densidad y viscosidad dinámica del fluido respectivamente. En el experimento, el número de Reynolds se incrementaba continuamente aumentando la velocidad del fluido (o bien el caudal), y encontró que un valor de aproximadamente 2.300 denotaba la inminencia de una transición de flujo laminar a flujo turbulento.

La turbulencia produce una agitación de las partículas de fluido y en consecuencia el vector velocidad no está siempre dirigido según la dirección principal del flujo, sino que tiene una componente secundaria transversal que es característica de la misma y ocasiona la transferencia de partículas y por ende de cantidad de movimiento de unas capas a otras. Cuando se produce la turbulencia, la fuerza de arrastre que el fluido ejerce en las superficies sólidas, se incrementa bruscamente, y se requiere una mayor diferencia de presión para mantener un determinado caudal [3].

Hasta ahora todos los experimentos indican que por debajo de 2.300 solamente puede existir flujo laminar y este valor del número de Reynolds se conoce como “número de Reynolds crítico”. El flujo correspondiente a un número de Reynolds que exceda 2.300 y hasta el valor 4000 puede considerarse inestable debido a que cualquier perturbación producirá la aparición de las fluctuaciones aleatorias comunes de un flujo turbulento. Para valores mayores a 4000 la turbulencia es total.

En problemas prácticos de ingeniería relacionados con tuberías, siempre existen perturbaciones locales suficientes que precipitan la aparición del flujo turbulento cuando se excede el número de Reynolds crítico; la más característica es la rugosidad interior de los conductos que promueve la agitación cuando el flujo es muy rápido.

El estudio de las pérdidas de carga por fricción del flujo turbulento completamente desarrollado en conductos es muy complejo. Son pocos los resultados que llegan a una solución analítica o semiempírica del problema. Sin embargo existe una gran cantidad de datos y conclusiones experimentales proporcionados por investigadores o empresas fabricantes de tuberías y accesorios que se pueden encontrar en la literatura en forma de fórmulas, tablas, ábacos y/o gráficos.

En el caso de un conducto rectilíneo horizontal de sección circular constante por el cual fluye una corriente estacionaria de un fluido incompresible y viscoso, el Balance de Energía Mecánica (BEM) [2] permite obtener la siguiente relación

$$\frac{\Delta p}{\rho g} = h_f \quad (1)$$

Siendo Δp : diferencia de presiones entre dos puntos de la tubería, ρ : densidad del fluido y g : aceleración de la gravedad. Esta ecuación expresa que la pérdida de carga se manifiesta en una disminución del trabajo de flujo. Dicho de otro modo: es necesario un gradiente de presión para hacer circular un caudal de fluido por una tubería horizontal.

Asimismo, es un hecho experimental que el fenómeno de pérdida de energía en una tubería está influido por variables como: la longitud (L) y el diámetro de la tubería, la velocidad media del flujo, la densidad y la viscosidad del fluido, la rugosidad absoluta del conducto (ε_r) y la diferencia de presiones en la longitud L del caño. La relación compleja y desconocida entre las variables puede ser manipulada mediante la utilización del análisis dimensional y, teniendo en cuenta la ecuación (1), se llega a:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (2)$$

donde $f = G(R_e, \varepsilon_r)$ es el denominado "factor de fricción" y es función de dos parámetros: Re que es el número de Reynolds en el tramo recto y $\varepsilon_r = \varepsilon / D$, que es la rugosidad relativa del mismo tramo. G es una función que no tiene expresión analítica y la relación se ha determinado a través de experimentos efectuados inicialmente por Nikuradse en tuberías de rugosidad preestablecida y actualmente, están ordenados en una carta adimensional que se conoce como el diagrama de Moody [3].

Del mismo modo, la pérdida de carga que experimenta el flujo a través de un accesorio puede analizarse desde el BEM que toma una expresión análoga a la ecuación (1):

$$\frac{\Delta p}{\rho g} = h_m = K \frac{V^2}{2g} \quad (3)$$

Comúnmente se refiere la pérdida de carga en el accesorio, a una proporción de la energía cinética del flujo aguas arriba o aguas abajo del mismo, que se establece a través de un coeficiente adimensional que lo caracteriza. Es decir que, midiendo el caudal y midiendo la caída de presión en el accesorio, es posible determinar el coeficiente de pérdida característico de dicho accesorio.

3. OBJETIVOS

- Determinar, indirectamente, las rugosidades absolutas de dos cañerías galvanizadas con mucho tiempo de uso, una de 21,7 mm y otra de 43,3 mm de diámetro interno.
- Comparar los valores de rugosidades obtenidos experimentalmente con valores tabulados.

Para el logro de los objetivos se sitúan los resultados experimentales en el diagrama de Moody el cual presenta todos los casos posibles de flujo en tubos rectos de sección circular.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

En la FI-UNER se ha diseñado y desarrollado un banco de pruebas hidráulico de bajo costo para evaluar las pérdidas de carga en cañerías rectas de sección circular y accesorios a través de las diferencias de presión medidas en distintas partes de la cañería para cada caudal circulante. Dicho equipamiento fue desarrollado tomando como comparación un equipo similar que se halla en la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral (UNL) en la ciudad de Santa Fe.

4.1. Descripción del banco de pruebas hidráulicas

Este dispositivo consiste en un circuito cerrado por el cual circula agua impulsada por una bomba centrífuga y está formado principalmente por tres tuberías de diferentes diámetros en las cuales se realizan las mediciones, el esquema puede verse en la Figura 1 y el banco real en la Figura 2. El mismo tiene como objetivo principal el análisis y cuantificación de las pérdidas de energía que se producen en una conducción a presión y está destinado principalmente para fines académicos, por ello el desarrollo se orientó a realizar las mediciones por métodos que utilizan principios físicos fundamentales.

El banco consta básicamente de: un tanque de agua de 400 l; una bomba centrífuga de 1,9 HP, 31.000/9.800 l/hora a una altura de 0/15 m; una tubería de abastecimiento o entrada; un tramo central compuesto por 3 tuberías de distintos diámetros y accesorios; una tubería de retorno; un caudalímetro,

diversas tomas piezométricas; colectores piezométricos; un sistema de medición por manómetros de aguja en baño de glicerina de 0,02 bar de apreciación; un vacuómetro de apreciación 2 cmHg y un sistema de medición por columna de líquido con regla de apreciación 1 mm.

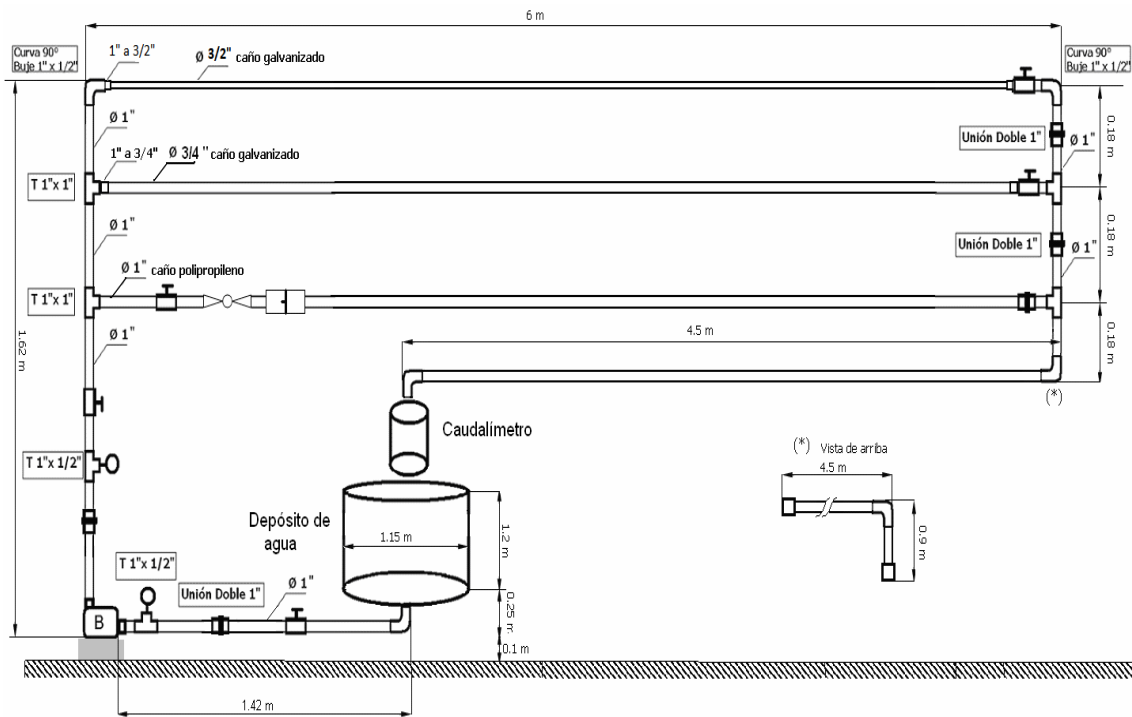


Figura 1 Esquema del banco de pruebas hidráulicas



Figura 2 Fotografía del banco de pruebas realizado según el esquema de la Figura 1

Para este trabajo se utilizó el dispositivo realizándose experiencias sobre cañerías de hierro galvanizado de 21,7 mm y 43,3 mm de diámetro interno, ambas están conectadas a los sistemas de entrada y salida a través de accesorios y tienen 6 m de longitud. La Figura 1 es un esquema básico del banco y la Figura 2 la fotografía de la instalación finalmente construida donde el caño de mayor diámetro se ha colocado arriba.

Se utilizaron, de forma intencional, caños muy rugosos debido a corrosión y depósitos minerales en su interior para que las pérdidas de carga resultaran más significativas. A una distancia convenientemente alejada de los extremos de dichas cañerías, para evitar la influencia del cambio de dirección de la corriente (codos y/o bifurcaciones), se encuentran tomas de presión que se conectan con los manómetros analógicos para el registro de la presión de entrada y salida de las mismas.

4.1.1 Medición de presión con manómetros de aguja en baño de glicerina

Las Figuras 3-a y 3-b muestran los sectores del banco de pruebas hidráulicas donde se realizan las mediciones de presión a la entrada y a la salida de los tubos ensayados. A través de tomas de presión, mangueras y llaves de tres vías, se conecta el flujo a un colector sobre el cual toma el registro cada manómetro. El mismo esquema se repite en los dos extremos del banco.



a)



b)

Figura 3 Medición de presión en las tuberías evaluadas. a) a la entrada, b) a la salida

4.1.2 Caudalímetro

Para la medición de pérdidas de carga y sus variables asociadas, es crucial el conocimiento del caudal circulante por la instalación que debe ser medido a través de algún dispositivo al efecto. En el desarrollo de la FI-UNER se ha optado por medir todo lo que se pueda mediante arreglos basados en la misma Mecánica de Fluidos, por ello se ha diseñado un caudalímetro que consta de un recipiente que colecta el flujo de retorno del banco y lo deja salir por toberas de diámetro calibrado (ver Figura 4). Como consecuencia y según sea la magnitud del caudal, en el recipiente habrá una acumulación de fluido que será indicativa del caudal. Dado que el recipiente es de sección constante, se mide el caudal circulante en forma indirecta a

través de la medición de la altura de fluido acumulado en el recipiente, altura que es estática en estado estacionario y directamente proporcional al caudal.

Un análisis completo del dispositivo a través de los balances de masa y energía mecánica, permite obtener una expresión como la siguiente

$$Q = C \sqrt{h} \quad (4)$$

Donde la constante C involucra datos geométricos y dinámicos relativos al recipiente y a las toberas como diámetros, número de toberas y coeficientes de pérdida de carga para dichos accesorios. h es la altura del nivel de líquido acumulado en el recipiente medida desde la altura de las bocas de las toberas.

El dispositivo ha sido calibrado en funcionamiento a través del llenado de recipientes aforados en tiempos cronometrados.

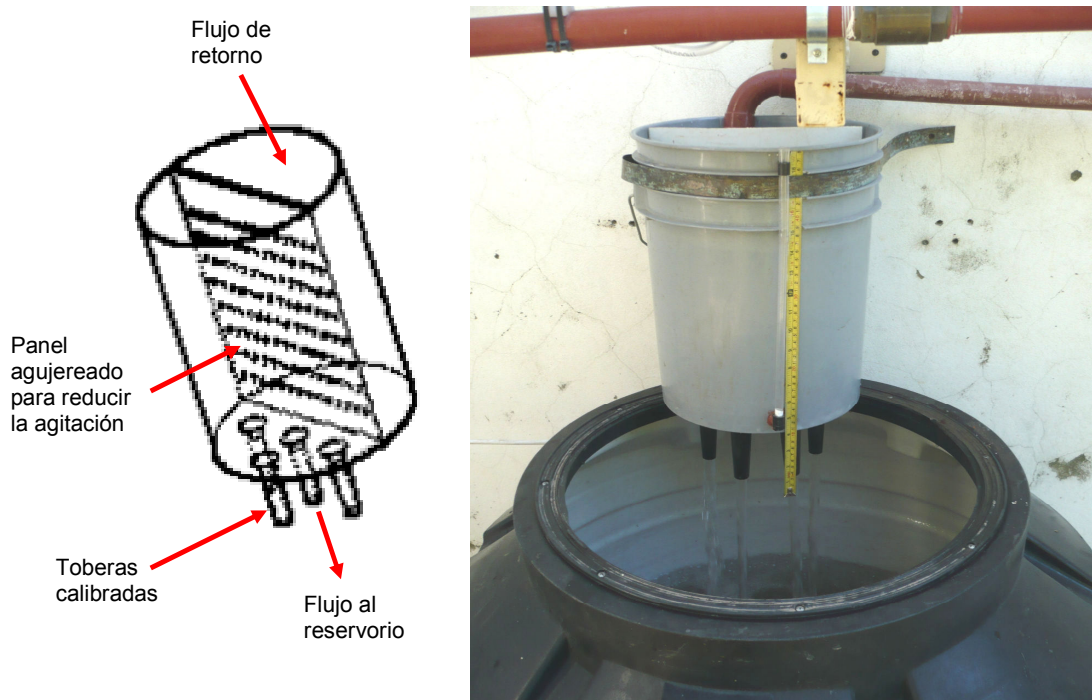


Figura 4 Detalle del caudalímetro diseñado para la instalación

4.1.3 Sistema de contrapresión para la medición de presiones elevadas con columna de líquido

La medición de presiones elevadas con manómetros de columna del mismo líquido que circula por la cañería, encierra la dificultad de que las columnas devienen muy altas si la medida manométrica se refiere a la atmósfera. Por ejemplo, la medición de una presión de 1,1 bar requiere una altura de columna de agua de 11 m.

Dado que en el banco desarrollado deben medirse diferencias de presión entre dos presiones elevadas, a la entrada y salida de un accesorio cercano a la bomba, se utilizaron columnas de líquido referidas a una presión relativa superior a la atmosférica, es decir a una contrapresión lograda por aire comprimido (entre 0,8 y 1 bar) en una garrafa de gas refrigerante en desuso. El detalle del arreglo se ve en la Figura 5 donde

las mangueras se conectan a un colector y éste a su vez con la garrafa con aire a presión. De este modo las diferencias de alturas que se producirían alrededor de los 10 m de altura, se producen entre dos y tres metros del nivel del suelo.

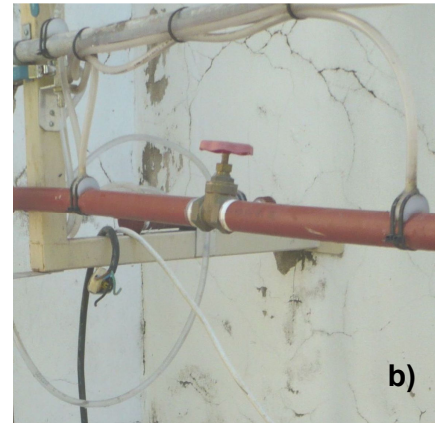


Figura 5 a) Detalle del arreglo de contrapresión para medición por columna de líquido (agua) de diferencias de presión entre presiones elevadas. b) Ampliación del sector donde se encuentra la válvula exclusiva y las tomas de presión aguas abajo y arriba de la misma

4.2 Método

Como ya se ha dicho, a medida que un fluido fluye por un conducto o cualquier otro dispositivo, ocurren pérdidas de energía debido a la fricción. Éstas, en un tubo horizontal, traen como resultado una disminución de la presión entre dos puntos de la misma. La ecuación (1) es la que establece la relación entre ambas. A partir de la ecuación (2) puede obtenerse el factor de fricción f correspondiente a la tubería estudiada si se conoce el caudal y la diferencia de presión entre la entrada y salida de la tubería [4].

Se registran diferencias de presión para distintos caudales circulantes y se determinan los factores de fricción correspondientes como se ha indicado precedentemente. Luego, para cada caudal y con las propiedades del fluido (densidad y viscosidad dinámica) se determina el número de Reynolds que junto con los factores de fricción calculados representan puntos que se sitúan sobre el diagrama de Moody, quedando superpuestos a las líneas características que para cada rugosidad relativa presenta el diagrama.

Cada punto representado en el diagrama ha surgido del promedio de una serie de 10 mediciones para minimizar las dispersiones provenientes de la naturaleza errática del flujo turbulento. Se realizaron tres experiencias: dos sobre cañerías y una sobre un accesorio.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 muestra los valores correspondientes a las mediciones efectuadas donde sus columnas aparecen en la secuencia correspondiente a: medición de presiones, medición de caudal, cálculo del número de Reynolds y cálculo del factor de fricción. En la Figura 6 se puede observar la representación de los datos experimentales superpuestos al diagrama de Moody. Las curvas en color negro fueron extraídas del diagrama y reproducidas en la figura; cada una corresponde a una rugosidad relativa distinta. En color rojo se hallan los valores determinados para el caño más delgado y en color azul los determinados para el tubo de mayor diámetro. Puede verse que los valores en rojo se aproximan a la curva de rugosidad relativa de valor 0,03 que, para un diámetro interno de la cañería de 21,7 mm, corresponde una rugosidad absoluta de 0,65 mm. Asimismo, se observa que los valores en azul se aproximan a la curva de rugosidad relativa de valor 0,006 que, para un tubo de diámetro interno de 43,3 mm, implica una rugosidad absoluta de 0,26 mm. En ambos casos la rugosidad absoluta para tubos nuevos es de 0,15 mm.

Tabla 1 Resultados típicos medidos y calculados indirectamente para el flujo en las tuberías de 21,7 mm y 43,3 mm de diámetro interno

Medida de la presión del flujo de entrada a la tubería P_e [bar]	Medida de la presión del flujo de salida a la tubería P_s [bar]	Medida del caudal circulante Q [l/min]	Cálculo del número de Reynolds Re	Cálculo del factor de fricción f
Tubería de 21,7 mm				
1,20	0,24	73,2	$6,55 \times 10^4$	$5,79 \times 10^{-2}$
1,10	0,22	69,3	$6,20 \times 10^4$	$5,80 \times 10^{-2}$
1,05	0,20	67,7	$6,05 \times 10^4$	$6,01 \times 10^{-2}$
0,76	0,14	58,8	$5,26 \times 10^4$	$5,94 \times 10^{-2}$
0,60	0,12	51,8	$4,64 \times 10^4$	$5,80 \times 10^{-2}$
Tubería de 43,3 mm				
0,70	0,65	124,3	$5,57 \times 10^4$	$3,25 \times 10^{-2}$
0,60	0,56	107,2	$4,81 \times 10^4$	$3,30 \times 10^{-2}$
0,52	0,49	94,7	$4,25 \times 10^4$	$3,42 \times 10^{-2}$
0,40	0,37	83,3	$3,74 \times 10^4$	$3,39 \times 10^{-2}$
0,30	0,27	82,3	$3,69 \times 10^4$	$3,47 \times 10^{-2}$

Es notable que en ambas experiencias los valores del número de Reynolds son del mismo orden. Esto tiene una explicación directa si se analizan las condiciones de cada experiencia a partir del Re . Es decir, el Re en términos del caudal puede escribirse como $4\rho Q/\pi D\mu$ y dado que Q y D cambian en promedio en proporciones del mismo orden (entre 2 y 1,5 respectivamente), el orden de Re se mantiene en ambas experiencias.

Debe admitirse que para llegar a obtener resultados en la zona de flujo en donde el factor de fricción se independiza del Re , será necesario reformar el banco actual a través de conducciones de mayor diámetro y con la menor cantidad de accesorios posibles o utilizar una bomba con mayor potencia y capacidad.

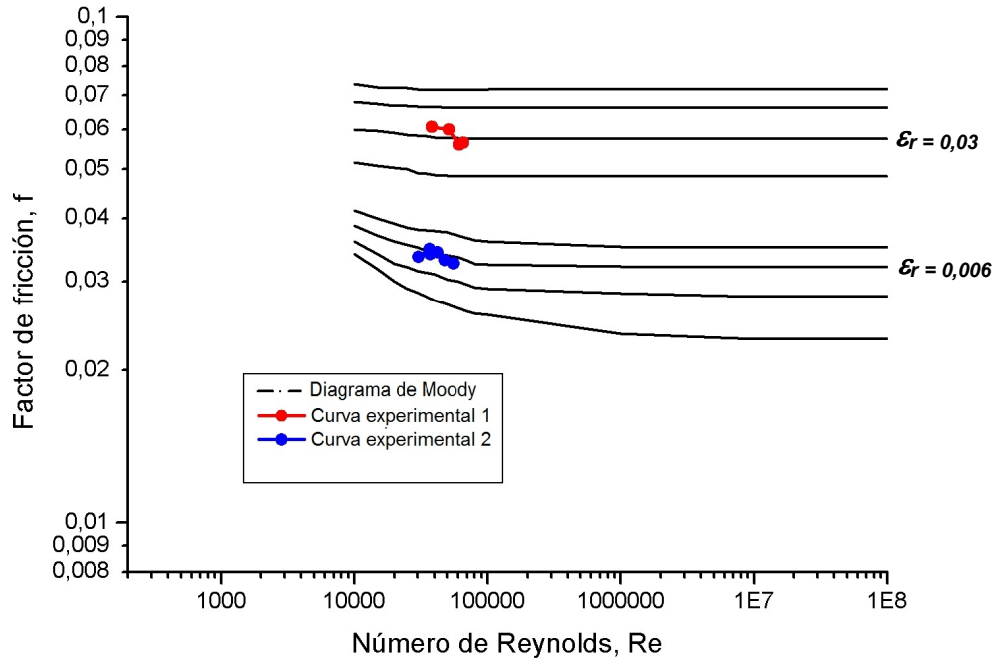


Figura 6 Resultados de las mediciones experimentales en contraste con el diagrama de Moody

Adicionalmente a los objetivos iniciales, se obtuvo un coeficiente de pérdida de carga en un accesorio válvula esclusa completamente abierta para conexión con cañería de 1" como puede verse en el detalle de la Figura 5-b. Ello implicó la medición de la diferencia de presión aguas arriba y aguas abajo de la misma y la medición del caudal, luego a través de la expresión (3) se obtuvo el coeficiente K adimensional correspondiente. Éste resultó ser 1,00, valor menor a 1,14 sugerido por los fabricantes de la válvula. En la tabla 2 se condensa un resultado de la serie de mediciones donde la diferencia de presión se expresa en mm de columna de agua dado que fue medida con el sistema de manómetros con contrapresión (ver subapartado 4.1.3).

Tabla 2 Resultados típicos medidos y calculados para la determinación del coeficiente de pérdida de carga de una válvula esclusa para conexión con tubería de 1"

Diferencia de presiones ($P_e - P_s$) medida en [mm H ₂ O]	Caudal circulante Q medido en [l/min]	Coficiente calculado de pérdida de carga de la válvula K
720	94,8	1,00

6. CONCLUSIONES

Se han obtenido valores representativos del factor de fricción en función del número de Reynolds para dos tuberías de rugosidad desconocida, dichos valores ubicados en el diagrama de Moody permitieron interpolar un valor de rugosidad relativa que a su vez permitió obtener un valor promedio de la rugosidad absoluta de dichas tuberías. Asimismo, fue obtenido un coeficiente de pérdida de carga para una válvula esclusa

completamente abierta, similar a los sugeridos por catálogos. Los resultados obtenidos por medios experimentales muestran un cierto desvío respecto a los valores de las curvas del diagrama de Moody que pueden atribuirse a la precisión con que se obtuvieron las mediciones, al número de experiencias realizadas y a los errores accidentales. Por otra parte, en las mediciones indirectas hay una fuerte propagación de incertezas y esto se manifiesta por ejemplo, en la medición indirecta del caudal. No obstante y como se aprecia en la Figura 6, los resultados obtenidos pueden ser admitidos ya que se encuentran dentro de valores esperados, más aún cuando las experiencias han sido realizadas utilizando instrumentos ad hoc (caudalímetro y manómetros de columna de líquido con contrapresión) e instrumentos de uso diario en la práctica ingenieril (manómetros de aguja en baño de glicerina).

Debido a que se utilizaron en forma intencional cañerías que presentaban corrosión y depósitos minerales, la rugosidad absoluta obtenida en cada caso resultó coherentemente mucho mayor que la de tubos nuevos. Para una cañería nueva la rugosidad es de 0,15 mm, mientras que para el caño de 21,7 mm se obtuvo un valor de 0,65 mm y para el caño de 43,3 mm se obtuvo un valor de 0,26 mm.

La realización de un banco de pruebas hidráulicas de bajo costo no sólo ha permitido observar a través de las mediciones el fenómeno de las pérdidas de carga en tubos de sección recta circular, sino que también ha permitido realizar una experiencia innovadora como es la determinación indirecta de la rugosidad absoluta de una tubería. Ello le ha conferido al dispositivo un valor adicional al permitir a los alumnos introducirse en las prácticas experimentales de la Mecánica de Fluidos.

7. REFERENCIAS

- [1] White, F. M., "Mecánica de Fluidos". McGraw-Hill, 5ª edición, 2003.
- [2] Whitaker, S., "Introduction to Fluid Mechanics". Prentice Hall, Inc, 1981.
- [3] Shames, I. H., "La Mecánica de los Fluidos". McGraw-Hill, 3ª edición, 1995.
- [4] Fox, R.W., Mc Donald, A. T., "Introducción a la Mecánica de Fluidos", Mc Graw Hill, 4ª edición, 1995.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Departamento de Física y Química, al servicio de Taller y a las autoridades de la Facultad de Ingeniería de la UNER, el apoyo recibido tanto económico como manual para la realización del banco de pruebas hidráulicas y las experiencias que aquí se han mostrado.