

2 of Doc 12

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

---

FACULTAD DE QUIMICA



DETERMINACION DE PERDIDAS DE PRESION  
DEBIDO A LA FRICCION DE FLUIDOS A TRAVES  
DE TUBERIAS, ACCESORIOS, VALVULAS Y  
MEDIDORES DE FLUJO

TESIS

DANIEL BURRUEL GARCIA  
INGENIERO QUIMICO



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**CAPITULO**

- I INTRODUCCION
- II GENERALIDADES
- III APARATO DE FRICCION DE FLUIDOS
- IV DETERMINACION EXPERIMENTAL
- V DISEÑO DE PRACTICAS
- VI CONCLUSIONES Y COMENTARIOS
- VII BIBLIOGRAFIA

## INTRODUCCION

En el trabajo industrial que desarrolla el Ingeniero Químico, es muy importante tener bases firmes en los conceptos teóricos, pero además es muy importante poder llevar a la práctica éstos conceptos; es decir, conocer y saber manejar el equipo en el cuál se efectúan los procesos de la Industria Química.

El conocimiento práctico se puede adquirir, por medio de prácticas de Laboratorio, para irse formando una idea del trabajo y del equipo utilizado en la Industria; además que ayuda a facilitar el entendimiento y hacer más ameno el estudio teórico.

Por tal motivo, se encuentra instalado un Laboratorio de Ingeniería Química, en la Facultad de Química, que cuenta con el equipo necesario, para que los alumnos, tengan una idea del trabajo a realizar, durante el desempeño de la industria.

El Laboratorio, está a disposición del estudiante, para que acudan a él, en el momento que lo deseen; además que en él se imparten clases obligatorias referidas exclusivamente a prácticas efectuadas en éste Laboratorio.

Actualmente, se está realizando en éste Laboratorio, una labor intensa para acondicionar todos los equipos, para que funcionen perfectamente y poder realizar en ellos los experimentos con mayor precisión.

Una parte de éste acondicionamiento es la renovación o diseño de nuevas prácticas.

Por la importancia que el aspecto práctico representa para la preparación profesional de los alumnos de Ingeniería Química, es por lo que se tuvo la idea de diseñar prácticas, donde sean aplicados los conocimientos teóricos de flujo de fluidos, ya -

que es uno de los temas de mayor aplicación en la Industria Química.

En éste caso se estudiará y se desarrollará una tesis, refiriéndose concretamente al uso del Nuevo Equipo de Fricción de Fluidos, para medir caídas de presión, debido a pérdidas por fricción en tubería lisa de P.V.C. y rugosa artificialmente, así como en válvulas y accesorios.

Para realizar ésta tesis; el primer paso es acondicionar el aparato, para realizar en él la parte experimental y obtener datos más confiable con respecto al equipo utilizado hasta la fecha.

El segundo paso, es comparar los resultados obtenidos, con los publicados en la bibliografía; cumpliendo así con el objetivo de proporcionar a los alumnos la oportunidad de aplicar sus conocimientos y confirmarlos.

Las prácticas a diseñar son :

- 1.- FACTOR DE FRICCIÓN
- 2.- DETERMINACION DE "K" Y LONGITUD EQUIVALENTE (L/D).
- 3.- MEDIDORES DE FLUJO
- 4.- DETERMINACION DE VARIABLES.

- 2.1 Generalidades
- 2.2 Pérdidas primarias
- 2.3 Pérdida de energía en régimen lamina y turbulento.
- 2.4 Ecuación general de pérdidas de energía,
  - 2.4.1 Factor de fricción
- 2.5 Cálculo del factor de fricción
- 2.6 Cálculo de "f" en régimen laminar y tuberías lisas.  
Cálculo de la ecuación de Hagen-Poiseuille.
- 2.7 Cálculo de "f" en régimen turbulento y tuberías lisas  
para  $2000 < R < 1000\ 000$ : Fórmula de Blasius.
  - 2.7.1 Cálculo de .f. en régimen turbulento y tuberías lisas  
para  $R > 100\ 000$ : Primera fórmula de Karman Prandtl.
- 2.8 Cálculo de "f" en régimen turbulento y tuberías rugosas.
  - 2.8.1 Tubería artificialmente rugosa: Trabajo de Nikuradse.
  - 2.8.2 Tuberías comerciales o de rugosidad comercial.  
Segunda ecuación de Karman-Prandtl y fórmula de  
Colebrook-White.
- 2.9 Diagrama de Moody
- 2.10 Pérdidas por fricción en conexiones.

2.1

- G E N E R A L I D A D E S . -

Los conductos que se usan para transportar fluidos, son de dos clases :

- Conductos cerrados o tuberías, en los cuáles el fluido se encuentra bajo presión o depresión.
- Conductos abiertos o canales (acueductos, canales de riego, etc.).

Las pérdidas de energía en tuberías son de dos clases :

Primarias y Secundarias

Las pérdidas primarias, son las pérdidas de superficie en el contacto del fluido con la tubería (capa límite), rozamiento de unas capas de fluido con otras. (régimen laminar) o de las partículas de fluido entre sí. (régimen turbulento). Tienen lugar en flujo uniforme, por tanto; principalmente en tramos de tubería de sección constante.

Las pérdidas secundarias son : la forma que tienen lugar en transiciones (estrechamientos o expansiones de la corriente). codos, válvulas y en toda clase de accesorios.

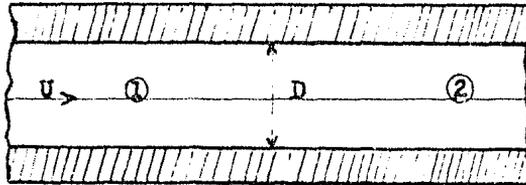


Fig. 2.1

### PERDIDAS PRIMARIAS .-

Supongamos una tubería horizontal de diámetro constante - - - D (Fig.2.1) por el cuál circula un fluido cualquiera, cuya velocidad media en la tubería es U.

La energía en el punto 2, será igual a la energía en el punto 1, menos la energía perdida entre 1 y 2, o sea según la ecuación de Bernoulli.

$$\frac{P_1}{\rho} + z_1 + \frac{U_1^2}{2g} = h_{L_{1-2}} + \frac{P_2}{\rho} + z_2 + \frac{U_2^2}{2g} \quad (2.1)$$

En el caso particular del ejemplo :

$z_1 = z_2$  (Tubería Horizontal) y  $U_1 = U_2$  (Sección Transversal, etc.)

luego

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho} = h_{L_{1-2}} \quad (2.2)$$

### 2.3

#### PERDIDAS DE ENERGÍA EN REGIMEN LAMINAR Y TURBULENTO .-

En el cálculo de las pérdidas de energía en tuberías, juegan - un papel discriminante, dos factores :

El que la tubería sea lisa o rugosa y que el régimen de la corriente sea laminar o turbulento.

En la Fig. (2.2), se representa la pérdida de energía por unidad de longitud de la tubería como ordenada y la velocidad como abscisa.

Si la velocidad del flujo en la tubería es pequeña el régimen, es laminar.

Entonces, como se ve, en la Figura trazada, en papel doblemente logarítmico, la pérdida de energía es proporcional a la velocidad.

En el punto (A), el régimen pasa de laminar a turbulento, - - (zona de transición), en éste punto (c), el régimen ya es francamente turbulento.

Como se ve, en régimen turbulento la pérdida de energía es mucho mayor, siendo, en éste caso proporcional al cuadrado de la velocidad.

En realidad, no es la velocidad, la que condiciona éste fenómeno, sino el número de Reynolds. En el punto (B), el régimen - - empieza hacerse turbulento.

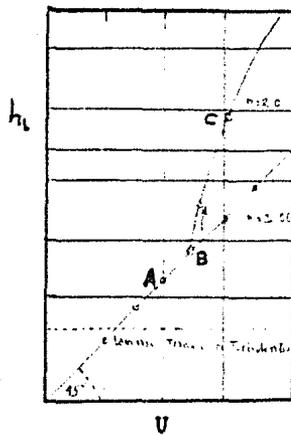


FIGURA 2.2 .- En régimen laminar, la pérdida de energía es proporcional a la primera potencia de la velocidad; en régimen turbulento, a la segunda potencia, y en el régimen de transición a una potencia de la velocidad entre 1 y 2.

ECUACION GENERAL DE PERDIDAS DE ENERGIA PRIMARIAS.-

ECUACION DE DARCY-WEISBACH

Los manuales de hidráulica, están llenos de tablas, curvas, ábacos y monogramas, para el cálculo del término  $h_L$ , en la ecuación (2.1), que es preciso usar con precaución.

Hay tablas por ejemplo, que sólo sirven para las tuberías de fundición.

En éstas tablas, no se menciona para nada la rugosidad, porque es un factor constante en las tuberías de fundición; pero sería erróneo utilizar éstas tablas, por ejemplo; para pérdidas de energía en tubería de uralita.

Otras tablas, se han construido para utilizarlas únicamente para el agua.

En éstas tablas no se menciona, para nada la viscosidad, porque es un factor constante en el flujo con agua; pero sería erróneo utilizar éstas tablas cuando se trata de calcular la pérdida de energía en un conducto de lubricación.

Ya a fines del Siglo pasado, experimentos realizados con tubería de agua de diámetro constante, demostraron que la pérdida de energía por fricción, era directamente proporcional al cuadrado de la velocidad media y a la longitud de la tubería e inversamente proporcional al diámetro de la misma.

La fórmula fundamental que expresa lo anterior es: LA ECUACION DE DARCY- WEISBACH

$$h_L = f \frac{L U^2}{D^2 g}$$

(2.3)

Donde :

$h_L$  - Pérdidas de energía primarias (m)

$f$  - Factor de fricción (Adimensional)

$L$  - Longitud de la tubería m

$D$  - Diámetro de la tubería m

$U$  - Velocidad media del fluido  $\text{ms}^{-1}$

$g$  - Aceleración de gravedad  $9.8 \text{ ms}^{-2}$

Esta fórmula es de uso universal en el mundo entero en libros y formularios de hidráulica.

Las tablas, ábacos y monogramas a que nos referimos al principio de ésta sección, sirven sólo para obtener el factor " $f$ ", - que llevada a la ecuación (2.3), nos dá la pérdida de energía por fricción primaria.

Una ecuación similar fué establecida posteriormente por : - - Fanning, quién obtuvo valores de " $f$ " cuatro veces menores que los de Darcy.

Esta diferencia se debe al uso del radio hidráulico en lugar del diámetro de la tubería al formular su correlación.

#### 2.4.1

##### EL FACTOR DE FRICCIÓN .-

El factor " $f$ " en la ecuación (2.3), es adimensional,  $L/D$ , y  $U^2/2g$ , tiene la misma dimensión que  $h_L$  o sea (L).

El factor " $f$ " depende de la velocidad, del diámetro de la tubería, de la densidad del fluido, de la viscosidad, de la rugosidad  $\mu$  en Unidades de Longitud.

De lo que se deduce :

$$f = \phi (U, D, \rho, \mu, \epsilon) \quad (2.4)$$

Donde :

$$\begin{aligned} \text{UDP} / \mu &= \text{Número de Reynolds} \\ \epsilon/D &= \text{Rugosidad relativa} \end{aligned}$$

En el caso más general "f" factor de fricción adimensional es función de dos variables :

El Número de Reynolds, y la Rugosidad Relativa

Podemos escribir la ecuación (2.3), en función del gasto volumétrico :

$$Q = \frac{D^2 \pi U}{4} \quad (2.6)$$

Sustituyendo la ecuación (2.6) en : (2.3), obtenemos :

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{1}{2g} \frac{16Q^2}{\pi^2 D^4} = \frac{16}{2g} f \frac{L}{D^5} Q^2 = 0.0828 f L \frac{Q^2}{D^5} \quad (2.7)$$

o sea que :

$$h_L = CL \frac{Q^2}{D^5} \quad (2.8)$$

( f = C )

2.5

#### CALCULO DEL FACTOR DE FRICCIÓN "f" .-

Todos los casos que pueden presentarse pueden reducirse a estos cuatros :

- Régimen Laminar

a).- Con tubería lisa (  $\epsilon/D=0$  : Tubo de vidrio, acríli-

co, P.V.C.).

b).- Con tubería rugosa (Tubos de hierro, hormigón, etc.).

#### REGIMEN TURBULENTO :

a).- Con tuberías lisas

b).- Con tuberías rugosas

#### 2.5.1

##### EL FACTOR "f" .-

- En general  $f=f(R, \epsilon/D)$

- En régimen laminar  $f=f(R)$ , "f", no es función de la rugosidad relativa.

- En régimen turbulento, con número elevado de Reynolds (R).

$f=f(\epsilon/D)$ ; "f", no es función del número de Reynolds.

#### 2.6

##### CALCULO DE "f", EN REGIMEN LAMINAR Y TUBERIAS LISAS

##### ECUACION DE HAGEN-POISEULLE

G. Hagen y J. L. Poiseulle, dedujeron una ley que relaciona el gasto volumétrico y las fuerzas que causan el flujo, es decir; las fuerzas asociadas con la caída de presión y la aceleración de gravedad.

Para el desarrollo de esta ley, se ha tomado en cuenta los siguientes puntos :

a).- El flujo es laminar a Reynolds, menores de 2100.

b).- La densidad es constante (Fluido incompresible)

- c).- El flujo es independiente del tiempo (Régimen permanente).
- d).- El fluido es Newtoniano
- e).- Los efectos terminales son casi nulos.
- f).- No hay bordes en la pared.

La expresión obtenida por : Hagen-Poiseulle es :

$$U = \frac{(P_0 - P_1) r^2 g_c}{8 \mu L} = \frac{\Delta P r^2 g_c}{8 \mu L} \quad (2.9)$$

Sustituyendo el valor de la velocidad promedio, de la ecuación(2.9), en la ecuación (2.3) y despejando "f" :

$$f = \frac{16}{R} \quad (2.10)$$

## 2.7

### CALCULO DE "f", EN REGIMEN TURBULENTO Y TUBERIAS LISAS PARA $2000 < R < 100\ 000$ : FORMULA DE BLASIUS.-

Como éstas tuberías son lisas "f", no es función de la rugosidad relativa  $\epsilon/D$ , ya que ésta es nula :  $\epsilon=0$ , o sea

$$f = f(R)$$

en éste caso se aplica la "Ecuación de Blasius" :

$$f = \frac{0.316}{R^{1/4}} \quad (2.11)$$

N O T A : El límite inferior de aplicabilidad de ésta ecuación :  $R=2000$ ; está indeterminado; que la aplicabilidad de la ecuación (2.11), exige que :  $R < 100\ 000$  y que el régimen sea turbulento (el número crítico superior de Reynolds es indeterminado)

## 2.7.1

CALCULO DE "f", EN REGIMEN TURBULENTO Y TUBERIAS  
LISAS PARA R > 100 000 : PRIMERA FORMULA DE -----  
KARMAN - PRANDTL .-

La primera ecuación de KARMAN-PRANDTL es :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log R \sqrt{f} - 0.8 \quad (2.12)$$

## 2.8

CALCULO DE "f", EN REGIMEN TURBULENTO Y TUBERIAS -  
RUGOSAS .-

En los tubos rugosos :

- Si el número de Reynolds es bajo (  $R < 2000$  ), la rugosidad no influye en la pérdida de energía :

(2.13)

$$f = \phi (R)$$

- Si el número de Reynolds, es elevado por el contrario, "f", deja de ser función de : R y se tiene :

(2.14)

$$f = \phi ( \epsilon / D )$$

- Si el número de Reynolds, tiene un valor intermedio, se tendrá en general :

(2.15)

$$f = \phi ( R, \epsilon / D )$$

## 2.8.1

TUBERIA ARTIFICIALMENTE RUGOSA; TRABAJO DE NIKURADSE

Nikuradse, ingeniero alemán, discípulo de Prandtl, experimentó con tubería de rugosidad artificial obtenida, - con granitos de arenas esféricos de diámetro y controlado exactamente con los que recubría interiormente la tubería.

Como una protuberancia pequeña puede ser insignificante en una tubería grande, la variable representativa del fenómeno, no será a la rugosidad absoluta, sino  $\epsilon/D$ , - la rugosidad relativa, los valores corrientes de  $\epsilon/D$ , - oscilan entre : 0.0333 y 0.000985, en tuberías comerciales.

La rugosidad natural de las tuberías comerciales (hierro fundido, hormigón, etc.), es naturalmente irregular.

Sin embargo, la rugosidad absoluta de una tubería comercial, se puede caracterizar también por un valor de  $e$ , - que es igual al diámetro  $e$  de los granitos de arena de una tubería de rugosidad artificial que diera el mismo valor de "f", para un número de Reynolds suficientemente elevado, que cumpla con la ecuación (2.14).

## 2.8.2

TUBERIAS COMERCIALES O DE RUGOSIDAD COMERCIAL .-  
SEGUNDA ECUACION DE KARMAN-PRANDTL Y FORMULA DE -  
COLEBROOK-WHITE .-

En las tuberías comerciales pueden ocurrir los tres casos expresados por la ecuación (2.13), (2.14) Y (2.15)

En una zona de transición (en que  $f = f(R, \epsilon/D)$ ) se cumple la Ecuación de Colebrook-White

(2.16)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[ \frac{\epsilon/\tau}{7.4} + \frac{2.51}{R\sqrt{f}} \right]$$

Donde :  $r=D/2$

La ecuación (2.16) :

- Es la fórmula universal de energía en los conductos industriales.

Los problemas prácticos con frecuencia se encuentran en la zona de transición.

A números de Reynolds tanto más elevados cuando la tubería es más rugosa, se cumple la Ecuación Segunda de KARMAN-PRANDTL :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{r}{\epsilon} + 1.74 \quad (2.10)$$

Podemos concluir que :

- Para números de Reynolds grandes (tanto mayores, cuanto es menor la rugosidad relativa), la pérdida de energía es función del cuadrado de la velocidad.
- Para el número de Reynolds pequeños, la pérdida de energía es proporcional a la primera potencia de la velocidad.
- Para números de Reynolds intermedios la pérdida de energía, es proporcional a la velocidad elevada a un exponente comprendido entre : 1 y 2.

## 2.9

DIAGRAMA DE MOODY .-

- a).- Resuelve todos los problemas de pérdida de energía primarias, en tuberías de cualquier diámetro, cualquier material y cualquier gasto volumétrico.
- b).- Puede emplearse con tuberías de sección no circular, sustituyendo, el diámetro  $D$  por el radio hidráulico :  $r_H = D/4$ .
- c).- Se usa para determinar el coeficiente "f", - el cual, luego se lleva a la ecuación de Darcy-Weisbach.

Por el contrario, las tablas y curvas etc, de que están llenos los formularios de Hidráulica.

- a).- No suelen ser de uso universal.
- b).- Sirven también para determinar el coeficiente "f" de la Ecuación Darcy-Weisbach.
- c).- Con frecuencia, no toman en cuenta todas las variables.

La ecuación de Poiseuille (2.10), para flujo laminar junto, la Ecuación de Colebrook-White (2.16), permiten el cálculo del coeficiente "f" en todos los casos que se presentan en la práctica; pero la última ecuación, es de cálculo muy laborioso.

Por eso en la práctica se conoce como el ábaco (Diagrama de Moody), representado en la figura (2.3).

Otro ábaco muy importante; es el obtenido del Manual para Tubería de P.V.C., el cual relaciona el número de Reynolds y el factor de fricción, sin tomar en cuenta la rugosidad, ya que la tubería es lisa; éste ábaco, está representado en la figura (2.4)..

En la figura (2.5), se presenta un monograma que relaciona el gasto volumétrico, el diámetro nominal en : mm y - pulgadas, las pérdidas de energía y la longitud de la - tubería en metros.

## 2.10.

PERDIDAS POR FRICCIÓN EN CONEXIONES .-

Los codos, las válvulas y las conexiones, así como todo tipo de aditamentos, incrementan las pérdidas de presión por fricción en el sistema.

En el mejor de los casos; éstas pérdidas adicionales - de presión, sólo pueden ser estimadas en forma aproximada. Ellas deben de incluirse en el análisis de un sistema considerando que cada conexión, es sustituida por una longitud equivalente de tubería recta ( $L/D$ ), la cual producirá, la misma pérdida de presión por fricción que la conexión real. La longitud equivalente de cada conexión, se agrega a la longitud axial de la tubería ( $L$ ), antes de calcular la pérdida de presión total del sistema. Los valores aproximados de  $L/D$ , para válvulas comunes y otras conexiones en flujo turbulento, pueden obtenerse mediante el monograma mostrado en la figura - (4.1).

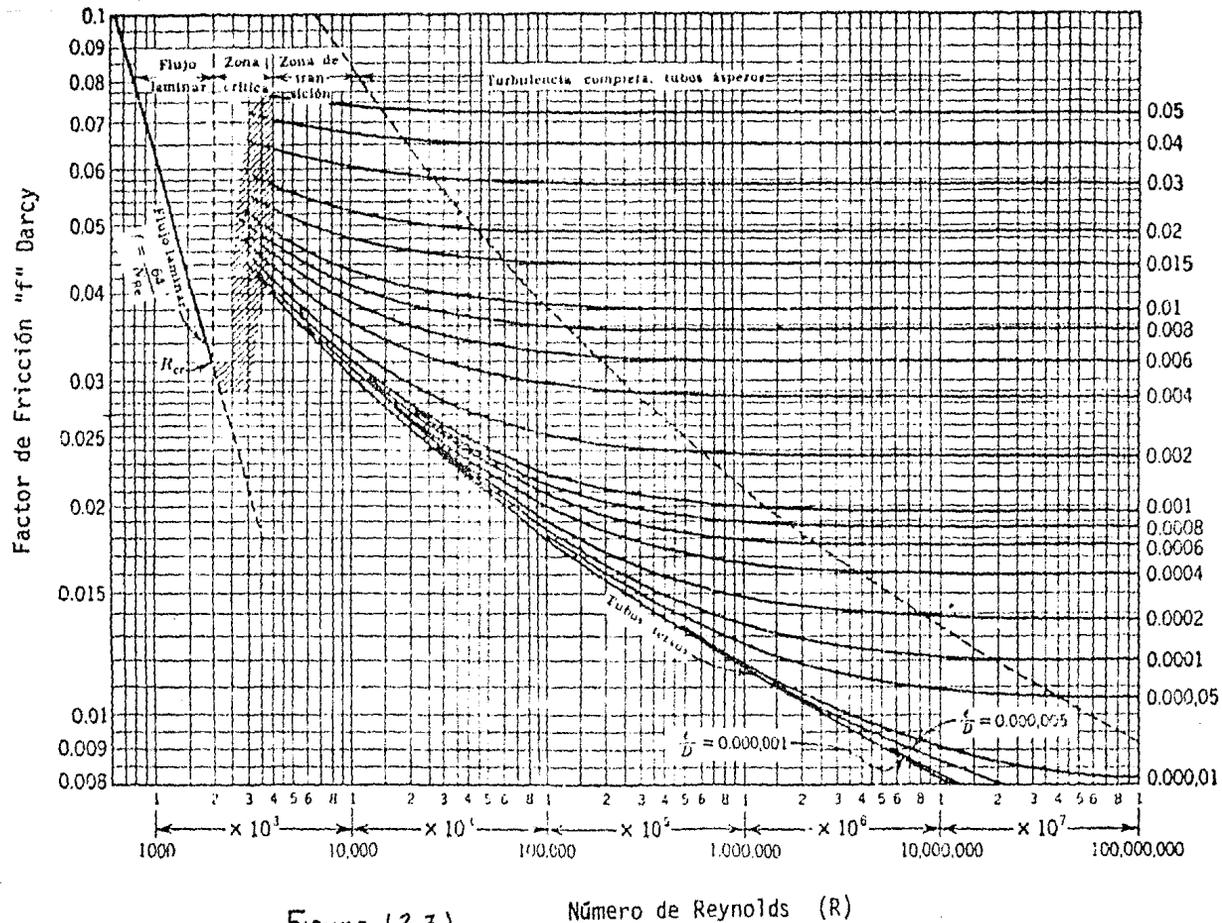


Figura (2.3)

Número de Reynolds ( $R$ )

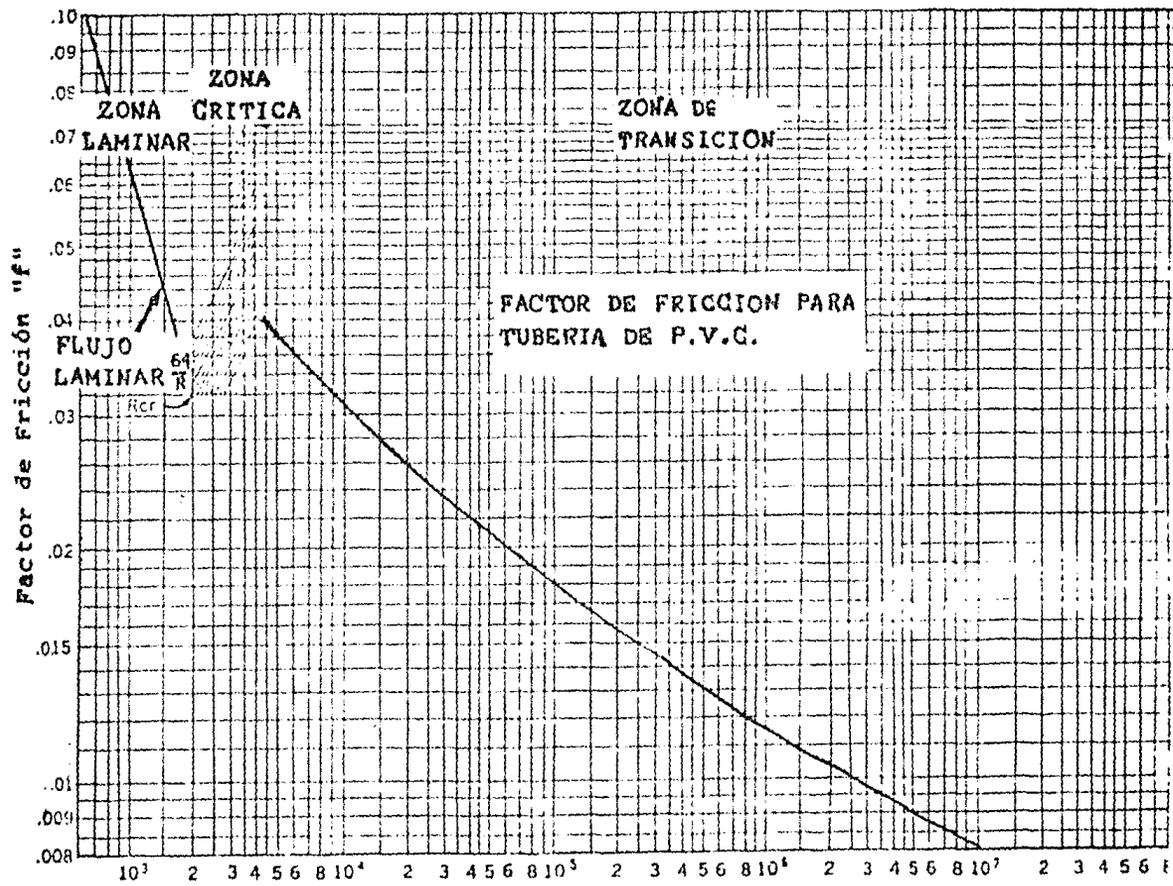
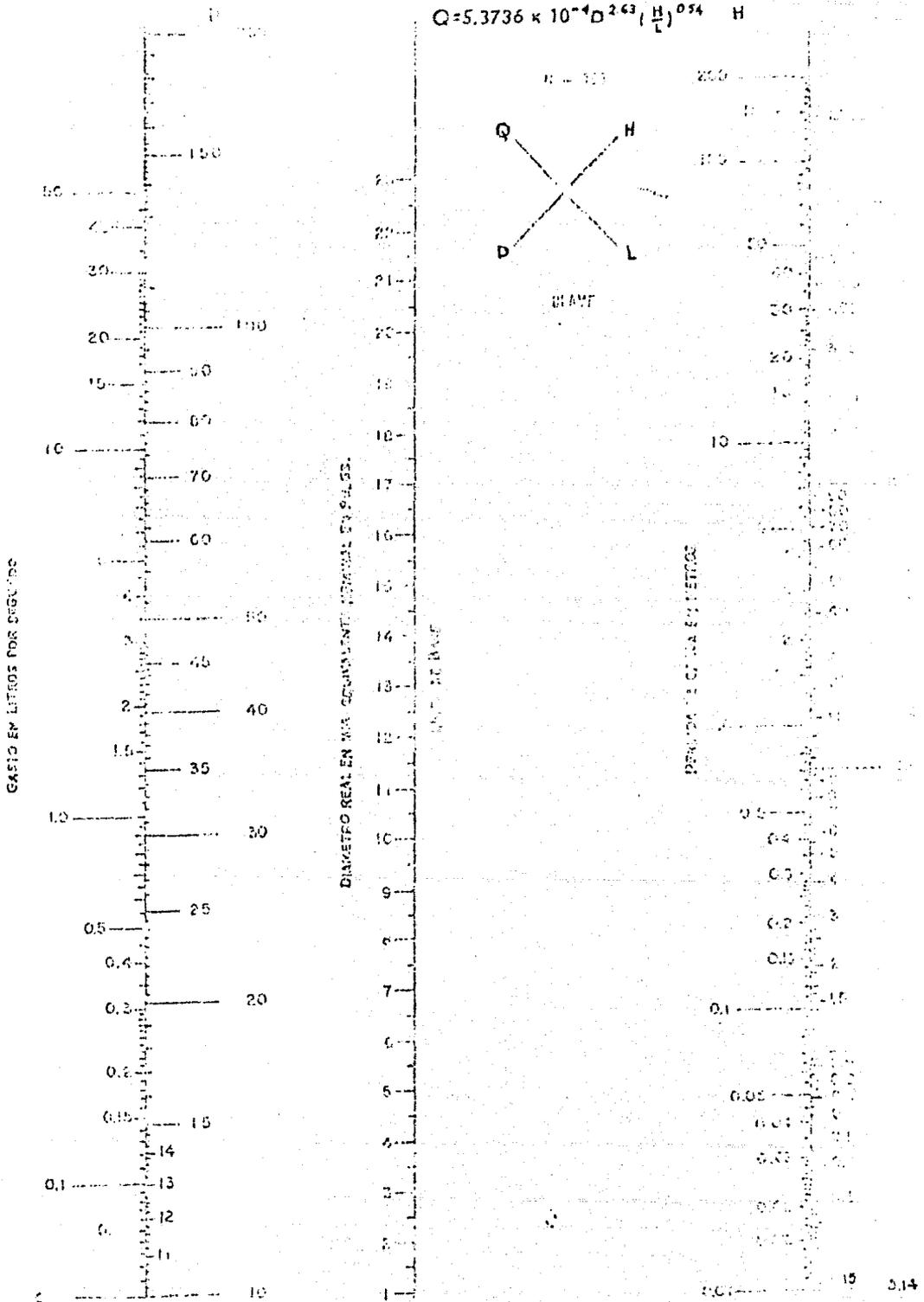


Figura (2.4) Número de Reynolds, R

Figura (2.5) para tuberfa P.V.C.

$$Q = 5.3736 \times 10^{-4} D^{2.43} \left( \frac{H}{L} \right)^{0.54} H$$



## APARATO DE FRICCION DE FLUIDOS

- 3.1 DESCRIPCION Y ARREGLO GENERAL DEL APARATO
- 3.2 PREPARACION DEL APARATO
- 3.3 OPERACION DEL APARATO DE FRICCION DE FLUIDOS
  - 3.3.1 OPERACION DE MANOMETROS
- 3.4 INDICE Y DIAGRAMA GENERAL DEL APARATO
  - 3.4.1 VALVULAS

## APARATO DE FRICCIÓN DE FLUIDOS

### INTRODUCCIÓN

El aparato está diseñado para permitir el estudio detallado de pérdidas de energía por fricción, las cuales ocurren cuando un fluido incompresible fluye a través de tubos, vueltas, válvulas y medidores de flujo. Las pérdidas por fricción en tubos rectos de diferentes tamaños pueden ser investigados en un intervalo amplio de número de Reynolds de  $10^3$  a  $10^5$ , aproximadamente, cubriendo el flujo laminar y turbulento en tubería lisa.

El aparato cuenta, con un tubo artificialmente rugoso, que para números de Reynolds altos, muestra una clara diferencia de la tubería lisa.

La fricción en tuberías, es uno de los experimentos clásicos en laboratorio y se lleva a cabo en centros de enseñanza práctica de Mecánica de Fluidos, Transporte de Momentum y Fenómeno de transporte.

### 3.1

#### DESCRIPCIÓN Y ARREGLO GENERAL DEL APARATO

El aparato consta de tubos rectos y lisos, así como un tubo artificialmente rugoso y un gran número de accesorios, válvulas de control, medidor de venturí, medidor de orificio y un tubo pitot.

En la sección (3.4), se muestra un arreglo general y un índice, donde se dan las referencias numéricas con respecto a dicho arreglo.

Los circuitos de prueba, están instalados en un tablero vertical reforzado, donde se encuentran colocados seis tubos, para realizar las siguientes pruebas :

Tubería Lisa de diferentes diámetros (1), (2), y -  
(4).

Un tubo artificialmente rugoso	(3)
Una vuelta de 90°	(14)
Un codo de 90°	(13)
Un codo de 45°	(8)
Unión "Y" de 45°	(9)
Unión "T" de 90°	(15)
Expansión brusca	(6)
Reducción brusca	(5)
Válvula de compuerta	(10)
Válvula de globo	(11)
Válvula de bola	(7)
Válvulas macho de tres vías	(V8)
Un colador	(12)
Un medidor de orificio	(18)
Un medidor de venturi	(17)
Una sección de tubo hecha de Perpex*, con un tubo Pitot estático	(16)
*(Perpex : Acrílico bastante resistente).	

Se dispone de una muestra pequeña de cada tubo de prueba para medir el diámetro y observar el acabado interno del tubo.

Un sistema de válvulas de aislamiento (V4), por medio del cuál se pueden seleccionar los tubos, sin desconectar el sistema o descargarlo.

El equipo cuenta con un tanque de almacenamiento (23), y un tanque volúmetrico (22).

Las lecturas pueden ser obtenidas, sobre un intervalo de trabajo del aparato. El volumen en el tanque volúmetrico se determina a través de un indicador de nivel (25), localizado en frente del tanque volúmetrico.

Para medir flujos muy bajos (condiciones laminares), se utiliza una probeta de  $250 \text{ cms}^3$  de capacidad.

Un sistema de válvulas macho de tres vías (V8), conectadas a los manómetros, aseguran el rápido drenado de toda la tubería de trabajo.

El equipo incluye, una bomba centrífuga con motor (24), y la tubería necesaria para hacer un llenado completo del sistema, así como un arrancador (26), protegido contra sobrecarga y voltaje.

Cada toma de presión, se fija con una conexión de autopurgado.

Un par de probadores, con rosca y una adecuada cantidad de manguera de poliétileno, para escoger un par de presiones en cualquier punto de prueba seleccionado.

Se dispone de un par de manómetros diferenciales de mercurio (20) y de agua (21).

## 3.2

PREPARACION DEL APARATO

Habiendo instalado el aparato, el siguiente paso es la preparación del mismo.

El tanque de almacenamiento (23), se debe de llenar con agua - limpia (de preferencia destilada, para evitar que entren al sistema basura y sus inscrustantes), aproximadamente 50 mm. - abajo del nivel superior del tanque.

El aparato, se conecta al suministro de corriente eléctrica - del laboratorio.

Cerrar la válvula(V1), de recirculación y la válvula de entrada (V2).

Oprimir el botón de arranque de la bomba y observar la operación audible de la misma.

Abrir la válvula(V1) y observar la descarga del agua en el tanque del almacenamiento (23).

Cerrar la válvula (V1) de recirculación.

Cerrar las válvulas de venteo (V3).

Abrir la válvula de bola (7) y la válvula de salida (V6).

Cerrar la válvula de salida (fino) (V5).

Con la bomba operando, abrir la válvula de entrada (V2) y - - observar la descarga de agua, en el tanque volúmetrico (22).

Levantar el accionador de la válvula de descarga (29), situada en la parte superior del tanque volúmetrico, girar para retener en posición elevada y observar, que el agua es regresada, - de nuevo al tanque de almacenamiento (23).

Toda la tubería de trabajo, debe ser llenada con la operación - alternada de las válvulas de aislamiento (V4) y la válvula de bola (7).

La tubería auxiliar, se debe llenar, cerrando las válvulas - (V4) y (7) y abriendo las válvulas de prueba (10) y (11).

Las válvulas de venteo (V3), sirven para expulsar el aire del sistema utilizando, manquera flexible que descargue en el tanque volúmetrico.

Cuando el sistema, está completamente lleno se debe, cerrar en primer lugar la válvula de salida (V6) y luego la válvula de - hola (7), continuando con (V2), antes de apagar la bomba.

Esto mantendrá el sistema lleno de agua.

El manómetro de mercurio (20), se debe llenar con mercurio - - limpio, a un nivel de 0.5 metros en ambas ramas.

El indicador, se debe calibrar de la siguiente manera :

Oprimir el botón de arranque de la bomba y abrir las válvulas (V6), (7) y (V2), observando la descarga del agua en el tanque volúmetrico; entonces girar el actuador de la válvula de descarga (29), y permitir que el tanque se llene, hasta que el agua sea regresada al tanque de almacenamiento por sobreflujo.

Con el tanque lleno, observar que el indicador de nivel (25), - también lo esté y que además no se presenten burbujas.

Ajustar el nivel de agua, hasta que la superficie coincida con el escalón del tanque. Aflojar los tornillos de seguridad --- arriba y abajo del indicador de nivel y ajustar una posición - de tal manera que el menísco coincida con la raya negra grabada, entre la escala grande y pequeña del tubo. Esto asegurará que la escala pueda ser utilizada, para la medición de flujo - volúmetrico.

## 3.3

OPERACION DEL APARATO DE FRICCIÓN DE FLUIDOS

Los flujos a través del aparato, se controlan con la válvula de salida (V6), flujos grandes y (V5), flujos pequeños.

La operación de la válvula (V1), permite la reducción de la presión estática, cuando el aparato funciona a flujos muy bajos.

Para medir el flujo, en el tanque volúmetrico, es necesario colocar, una mampara de calma dentro del tanque, para reducir la turbulencia.

El indicador de nivel, consiste de un tubo de vidrio y escala. Está conectado a la base del tanque y da una indicación exacta del nivel del agua.

Dicha escala está dividida en dos zonas correspondientes al volumen de arriba y abajo del escalón del tanque volúmetrico.

La válvula de descarga, que está situada en la base del tanque volúmetrico y es operada con un actuador a control remoto (29).

En operación, el tanque volúmetrico, es vaciado levantando la válvula de descarga, permitiendo la entrada de agua al tanque de almacenamiento. (23).

Cuando las condiciones se establecen, la esfera de la válvula de descarga se baja, entrando el agua al tanque volúmetrico.

Los flujos son muy pequeños, se miden con una probeta graduada de 250 ml. (28), la cual se usa en lugar del tanque volúmetrico. Cuando se usa la probeta para diversos flujos, el arranque y parada del cronómetro deben ser lo más sincronizado posible; procurando no usar un tiempo y volumen definido.

## 3.3.1

OPERACION DE LOS MANOMETROS DIFERENCIALES

Los manómetros diferenciales de mercurio y agua están fijos a conexiones probadoras y a tubería de trabajo de autopurgado - cada toma de presión en el aparato, cuenta con una conexión au to-sellada.

En operación, el cubre-polvo, es destornillado de la toma de - presión seleccionada y el probador es incertado, dentro del - receptáculo expuesto. Atornillar el collar del probador, sobre la toma de presión.

Cada toma de presión, se puede tomar de la rama un manómetro diferencial; por medio de una válvula macho de tres vías (V8), las cuáles, están situadas sobre el tanque volumétrico.

En operación, las válvulas son puestas en posición de 90° y los probadores atornillados, en las tomas de presión seleccionadas.

La presión en dicho punto, conducirá el fluido a través de la manquera de polietileno, empujando las burbujas de aire hacia las válvulas (V8), donde se lleva a cabo la mezcla aire-agua, - sobre el tanque volumétrico, por medio de un agujero colocado en la parte inferior de las válvulas (V8).

En éstas condiciones, las válvulas y los manómetros permanecen selladas, manteniendo el sistema completamente lleno (los manómetros).

Cuando las burbujas, han sido expulsadas, la válvula macho - es girada 90° para la posición de alivio conectándose así la toma de presión con el manómetro.

Antes de trasladar el probador, la válvula macho es regresada (90°), para prevenir la pérdida de agua en los manómetros.

Usando el procedimiento anterior; una vez lleno dicho manómetro permanecerá libre de burbujas, asegurando la exactitud en las lecturas.

el manómetro de agua cuenta; con una válvula Sharader, la -  
cuál, está conectada por detrás del manómetro, hasta la - -  
parte superior, ésto permite que el nivel en las ramas, se  
ajusten para medir pequeñas presiones diferenciales.

Se requerirá de una bomba de mano o de pie, para efectos -  
de reducción de nivel a presiones estática elevadas.

En la Fig.(3.2), se muestra un esquema, del sistema de ma--  
nómetros de mercurio y agua con sus válvulas macho de tres  
vías tipo bola.

## 3.4

INDICE Y DIAGRAMA DEL APARATO

Todas las partes del aparato, están representadas en el Diagrama de la Fig. (3.1)

## 3.4.1

VALVULAS

V1	Válvulas de recirculación (By-Pass)
V2	Válvulas de control de flujo de entrada
V3	Válvulas de venteo
V4	Válvulas de aislamiento
V5	Válvulas de control de flujo de salida (fino)
V6	Válvulas de control de flujo de salida (brusco)
V8	Válvulas macho de tres vías tipo bola
1	Tubo de prueba liso 6 mm de diámetro
2	Tubo de prueba 10 mm de diámetro
3	Tubo de prueba artificialmente rugoso
4	Tubo de prueba liso de 17.5 mm de diámetro
5	Reducción brusca
6	Expansión brusca
7	Válvula de bola
8	Codo de 45°
9	Unión "Y" de 45°
10	Válvula de compuerta
11	Válvula de globo
12	Colador
13	Codo de 90°
14	Vuelta de 90°
15	Unión "T" de 90°
16	Tubo Pitot estático

- 17 Medidor de venturi
- 18 Medidor de orificio
- 19 Muestra de tubería de prueba
- 20 Manómetro diferencial de mercurio
- 21 Manómetro diferencial de agua
- 22 Tanque volúmetrico
- 23 Tanque de almacenamiento
- 24 Bomba con motor
- 25 Indicador de nivel
- 26 Arranque y paro de la bomba
- 27 Cronómetro
- 28 Probeta graduada de 250 ml.
- 29 Válvula de descarga a control remoto.

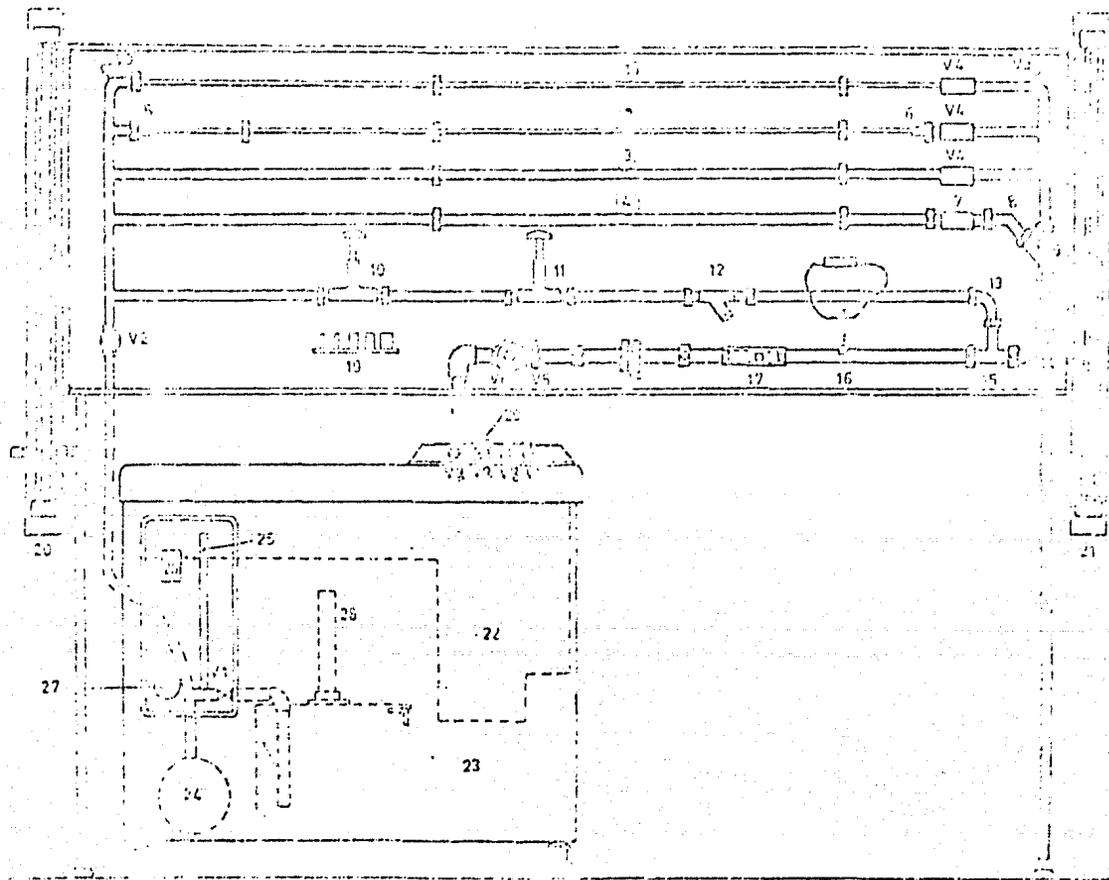


Fig.(3.1) APARATO DE FRICCION DE FLUIDOS.

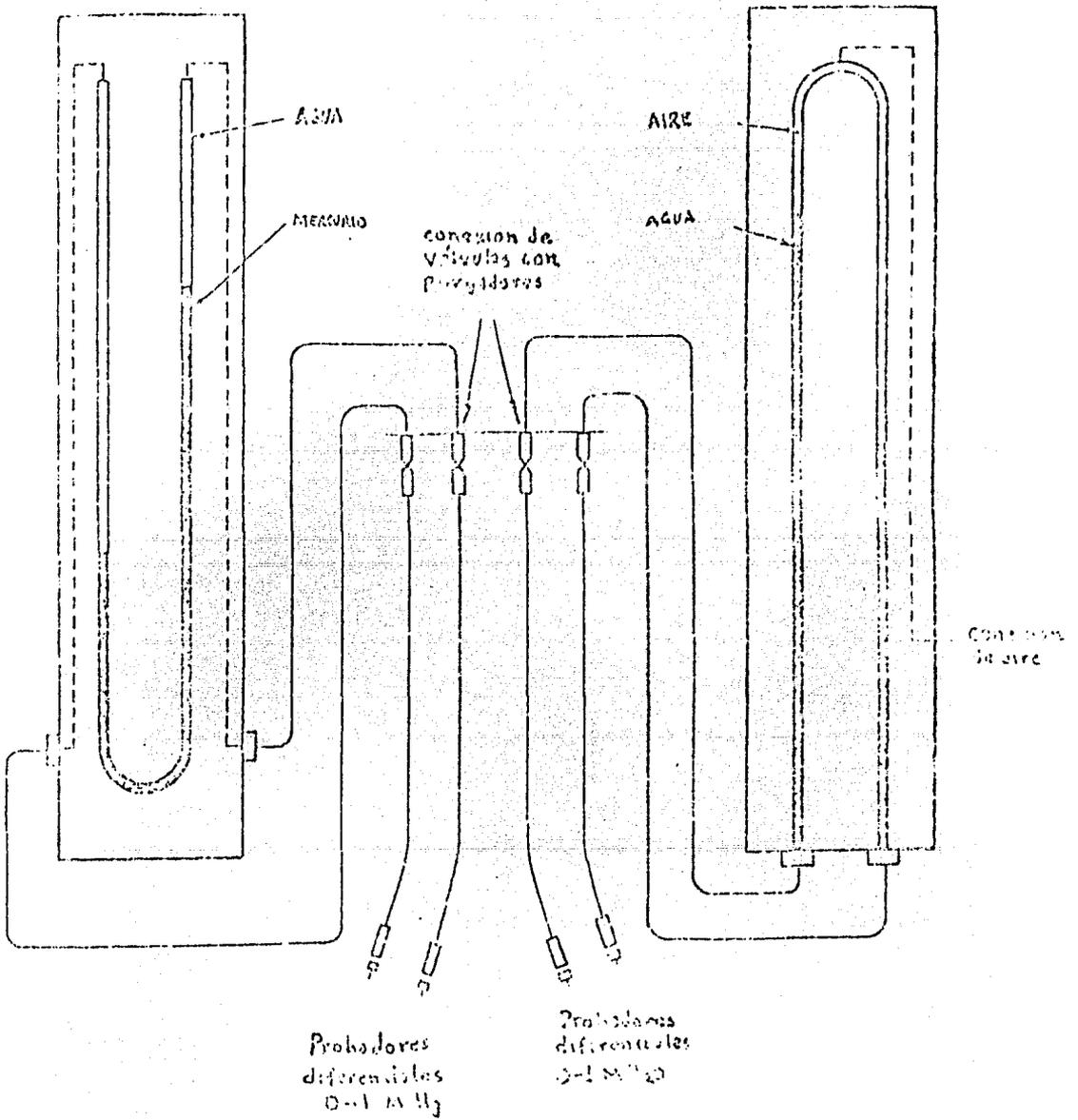


Fig.32 DIAGRAMA DE CONEXION DE MANOMETROS

DETERMINACION EXPERIMENTAL DEL FACTOR DE FRICCION Y PERDIDAS  
DE ENERGIA, COEFICIENTE K Y LONGITUD EQUIVALENTE

## DETERMINACION EXPERIMENTAL

- 4.1 Bases Teóricas
- 4.2 Pérdidas de Energía, debido al cambio o dirección de flujo.
- 4.3 Cálculo del Factor de Fricción
- 4.4 Determinación del Factor de Fricción en Tuberías Lisas y Rugosas Artificiales
- 4.5 Contrastación
- 4.6 Determinación de "K" y Longitud Equivalente, en Accesorios y Válvulas
- 4.7 Ejemplos Numéricos
- 4.8 Tablas y Gráficas

4.1

### BASES TEORICAS

En general, se pueden distinguir dos tipos de Flujo :

Flujo Laminar : Se caracteriza por velocidades de flujo pequeñas ( $R < 2100$ ). Las pérdidas de energía por fricción son proporcionales a la velocidad.

Flujo Turbulento : Se caracteriza por velocidades de flujo altas ( $R > 4000$ ). Las pérdidas de energía por fricción son proporcionales a la velocidad al cuadrado. En Ingeniería Práctica, éste flujo es el más común.

Para un tubo circular completamente lleno, las pérdidas de energía por fricción se calculan con la fórmula :

$$h_L = \frac{f' \cdot 4L \cdot U^2}{2gD} \quad (4.1)$$

Donde, :

- $h_L$  = Pérdidas de energía por fricción en m
- $f'$  = Factor de Fanning (Adimensional)
- $L$  = Longitud de la tubería m
- $U$  = Velocidad media del fluido  $\text{ms}^{-1}$
- $D$  = Diámetro interno del tubo m
- $g$  = Aceleración de gravedad  $9.8 \text{ ms}^{-2}$
- $f$  = Factor de Darcy ( $f = 4f'$ )

Se tienen tres tubos de diferentes diámetros para medir las pérdidas de energía en tubería lisa, en un intervalo de número de Reynolds de 4000 a 80000.

Para comparar las pérdidas de energía, que ocurren en tubería rugosa, se cuenta con un tubo de P.V.C. artificialmente rugosa. Además, se dispone de muestras de cada tubo para su revisión y medición, así como válvulas de control que permiten que el agua circule a través de la tubería seleccionada.

Cada tubo cuenta, con tomas de presión colocados a un metro de distancia, para conectar a un manómetro ( $\Delta P$ ). El líquido descarga en el tanque volúmetrico y es recirculado al tanque de almacenamiento.

El factor de fricción, se determina conociendo la ( $\Delta P$ ), el flujo volúmetrico y el diámetro interno del tubo (Secc.4.3).

#### 4.2

#### PERDIDAS DE ENERGIA DEBIDO AL CAMBIO DE SECCION O DIRECCION DEL FLUJO

Si la velocidad del fluido, cambia bruscamente de magnitud y dirección, los efectos de inercia producidos, elevan la turbulencia local. Esto ocasionará pérdidas de energía.

Dichas pérdidas de energía se pueden reducir, por el cambio -- gradual de la velocidad. En éstos casos se puede demostrar que:

$$h_L = K \frac{u^2}{2g} \quad (4.2)$$

Donde :

K es un coeficiente que depende principalmente, en como se lleva a cabo el cambio de velocidad. U, es la velocidad antes y después del cambio, g, es la aceleración de gravedad.

Los valores teóricos de K, no siempre son reales y en la práctica, su valor se verifica por experimentación. El valor K, se puede obtener teóricamente con las siguientes ecuaciones :

ENSANCHAMIENTO BRUSCO

$$h_L = \frac{U_1^2}{2g} \left[ 1 - \left( \frac{a_1}{a_2} \right)^2 \right] \quad (4.3)$$

Donde :

$U_1$  = Velocidad en el tubo, antes del ensanchamiento  $\text{ms}^{-1}$

$a_1$  = Area del tubo, antes del ensanchamiento  $\text{m}^2$

$a_2$  = Area del tubo, después del ensanchamiento  $\text{m}^2$

REDUCCION BRUSCA

$$h_L = \frac{U_2^2}{2g} \left[ \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{a_2}{a_1} \right) \right] \quad (4.4)$$

Donde :

$U_2$  = Velocidad en el tubo, después de la "vena contracta"

El aparato cuenta, con tubería estándar de sección reducida, para investigar las pérdidas de energía, que ocurren en una reducción y una expansión brusca.

Todos los accesorios, cuentan con tomas de presión para conectar en forma directa los probadores.

CODOS, VUELTAS, ACCESORIOS Y VALVULAS EN GENERAL

$$h_L = \frac{K \cdot U_2^2}{2g} \quad (4.5)$$

Donde :

$$U_2 = \text{Velocidad del fluido, después del codo, -} \\ \text{vuelta, etc.}$$

Los accesorios de tubo P.V.C. proporcionados, facilitan la comparación, entre pérdidas de energía, coeficiente de resistencia K y la longitud equivalente (L/D), mediante el flujo y la caída de presión

En el diagrama de la Fig.(4.1), se muestran, varios accesorios y válvulas.

Como antes se estableció, las pérdidas de energía por fricción en tubería lisa y rugosa, se determina, mediante la ecuación - (4.1) :

$$h_L = (f.L/D) \frac{U^2}{2g} \quad (4.6)$$

Esto significa que :

$$K = (f.L/D)$$

La relación L/D, es la longitud equivalente en diámetro de tubo recto, que causará la misma caída de presión, que la obstrucción, bajo las mismas condiciones de flujo. Puesto que el coeficiente de resistencia, es constante para todas las condiciones de flujo, el valor de L/D, para cualquier válvula o accesorio, será inversamente proporcional con el cambio del factor de fricción para diferentes condiciones de flujo.

En la Fig.(4.2), se muestran un Nomograma, edición métrica que relaciona :  $K$  : L/D y diámetro del tubo o accesorio.

4.3

CALCULO DEL FACTOR DE FRICCION

De acuerdo a la sección anterior, las pérdidas de energía por fricción en tubería recta se calculan en la ecuación (4.1) :

$$h_L = \frac{f' L U^2}{2 D g_c}$$

Donde :

$h_L$  = Se refiere a las pérdidas de energía, por fricción que están directamente relacionadas con la caída de presión mediante la siguiente ecuación : (4.7)

$$h_L = \frac{\Delta P}{\rho}$$

Sustituyendo la ecuación (4.7), en la ecuación (4.1) y despejando "f", obtenemos :

$$f' = \frac{(\Delta P) D g_c}{2 L U^2 \rho} \quad (4.8)$$

Donde :

$\Delta P$  = Caída de presión  $\text{Kg.m}^{-2}$

$D$  = Diámetro interno del tubo m

$g_c$  = Constante dimensional

$U$  = Velocidad media del fluido  $\text{ms}^{-1}$

$\rho$  = Densidad del fluido  $\text{kgm}^{-3}$

$f'$  = Factor de Fanning adimensional

En caso de utilizar el manómetro de mercurio :

$$\Delta P = 13.6 \Delta P' \quad \Delta P' = \text{Caída de presión observada mm de Hg}$$

En caso de utilizar el manómetro de agua la lectura de ( $\Delta P$ ) se sustituye idéntica en la ecuación (4.8)

La velocidad del fluido a través del tubo es : (4.9)

$$U = \frac{Q}{A} \quad \text{ó} \quad U = 1.2732 \frac{Q}{D^2}$$

Donde :

D = Diámetro interno del tubo m

Q = Flujo volumétrico  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$

A = Sección transversal del tubo  $\text{m}^2$

Sustituyendo la ecuación (4.9) :

En la ecuación (4.8), obtenemos :

$$f' = \frac{13.6 \text{ g}_c D^5}{2 L f' (1.6221)} \frac{\Delta P'}{Q^2} \quad (4.10)$$

Simplificando , obtenemos :

$$f' = B \left( \frac{\Delta P'}{Q^2} \right) \quad (4.11)$$

Donde :

$$B = \frac{(13.6 \text{ g}_c D^5)}{2 L f' (1.6221)}$$

B = Constante que depende del diámetro del tubo.

$\Delta P'$  = Caída de presión observada mm de mercurio

Q = Flujo volumétrico  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$

Si calculamos el valor numérico de B, para cada tubo y conocemos el valor del flujo volumétrico y caída de presión, entonces podemos sustituir en la ecuación (4.11), para determinar el valor del factor Fanning, que multiplicado por 4, nos dé el factor de Darcy, que viene graficado en la bibliografía.

NUMERO DE REYNOLDS

El número de Reynolds, determina la naturaleza del flujo y se calcula con la ecuación :

$$R = \frac{D U \rho}{\mu} \quad (4.12)$$

Donde :

$$\begin{aligned} R &= \text{Número de Reynolds (Adimensional)} \\ D &= \text{Diámetro interno del tubo m} \\ U &= \text{Velocidad del fluido } \text{ms}^{-1} \\ \rho &= \text{Densidad del fluido } \text{Kg m}^3 \\ \mu &= \text{Viscosidad del fluido } \text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1} \end{aligned}$$

El fluido utilizado fué agua y las lecturas se tomaron a temperatura ambiente, por lo que la densidad es aproximadamente  $1000 \text{ kg m}^{-3}$  y la viscosidad igual a  $1 \text{ cp}$  ( $0.001 \text{ Kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ), -- entonces la ecuación (4.12), se transforma a :

$$R = 10^6 D \cdot U \quad (4.13)$$

Conociendo el valor del diámetro interno y la velocidad del -- agua a través del tubo, podemos determinar el número de Rey-- nolds.

Con el valor del número de Reynolds y con la ayuda de la gráfi-- ca del factor de fricción en Tubería P.V.C., podremos conocer el valor del factor de Darcy teórico.

Para la tubería artificialmente rugosa, se puede emplear el -- diagrama de Moody tradicional; ya que también, se toma en cuen-- ta además del número de Reynolds la rugosidad relativa

En la Fig. (2.4), se representa una gráfica que relaciona : -- Número de Reynolds, contra el factor de fricción para P.V.C.

4.4

DETERMINACION DEL FACTOR DE FRICCION DE TUBERIAS LISAS  
(1), (2) Y (4), DESCRITAS ANTERIORMENTE (CAP. III).

4.4.1

DETERMINACION DE LA VELOCIDAD

Para determinar la velocidad se requiere el flujo volúmetrico y el diámetro de la tubería.

a).- Tubería Lisa (1)

Para esta tubería se utilizó una probeta de dos litros, para medir el flujo volúmetrico, ya que este era muy pequeño.

b).- Para las Tuberías (2), (3) y (4)

Se utilizó el tanque volúmetrico (descrito anteriormente Cap. III).

c).- Accesorios y Medidores

Para estos, se determinó el flujo utilizando el tanque volúmetrico.

Para el cálculo de la velocidad, se utilizó la ecuación (9), es decir :

$$U = \frac{4Q}{D^2} \quad \text{ó} \quad U = 1.2732 \quad Q/D^2$$

4.4.2

CAIDA DE PRESION

Para obtener las lecturas de caída de presión, el tubo o accesorio, se conectan las tomas de presión al manómetro diferencial de mercurio.

### CALCULO DEL FACTOR DE FRICCIÓN FANNING

Sustituyendo los valores de caída de presión y flujo volumétrico en la ecuación (11), se obtiene el Factor de Fanning, - que multiplicado por 4, nos dá el Factor de Darcy.

#### 4.4.4

### NUMERO DE REYNOLDS

Con el valor de la velocidad de flujo y la ecuación (4.13), - se calcula el número de Reynolds.

Experimentalmente, se obtuvieron valores mayores de 4500 (Régimen Turbulento)

#### 4.4.5

### TUBERIA ARTIFICIALMENTE RUGOSA (3)

En éste tubo, además de calcular el Factor de Fanning y Darcy, es necesario conocer el valor de la rugosidad relativa, para poder usar así la gráfica de Moody (Fig.2.3), y las ecuaciones a qué nos referimos en el cap. III.

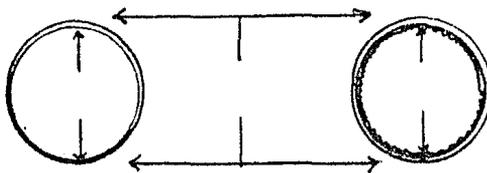


Fig.(4.3) COMPARACION ENTRE UNA TUBERIA LISA Y UNA RUGOSA DE P.V.C., DEL MISMO DIAMETRO

El valor numérico de  $\lambda = .23 \text{ cm} = 2.3 \text{ E } -03 \text{ m}$ , que multiplicado por dos es igual  $\lambda = 4.6 \text{ E } -03 \text{ m}$ .

4.5

#### CONTRASTACION

Para obtener el valor de "f" (Darcy), en la literatura y compararlo con los valores obtenidos experimentalmente, se utilizó el número de Reynolds experimental y la gráfica de la figura (4.2), resultando una desviación entre .5 y .7 milésimas.

Los valores experimentales de caída de presión, flujo volumétrico velocidad de flujo y número de Reynolds y factor de fricción, están reportados en la tabla 4.5 a 4.8 en la sección (4.8)

## 4.6

DETERMINACION DEL COEFICIENTE K Y LA LONGITUD EQUIVALENTE L/D EN ACCESORIOS Y VALVULAS .-

En el aparato de fricción de fluidos se dispone de varios accesorios, válvulas y medidores de flujo tipo Venturi y orificio.

Las pérdidas de energía debido, a la fricción dependen del coeficiente de resistencia K y la Longitud equivalente de cada válvula o accesorio.

La ecuación a utilizarse es la ecuación (4.2) :

$$h_L = K \cdot \frac{U^2}{2 g_c}$$

Según la ecuación (4.6) :  $K = (f \cdot L/D)$ , y según la ecuación (4.7) :  $h_L = \frac{\Delta P}{\rho}$ , sustituyendo éstos términos en la ecuación (4.2), y despejando obtenemos :

(4.14)

$$K = \frac{\Delta P \cdot 2 g_c}{\rho U^2}$$

como  $\Delta P = 13.6 \Delta P'$ ; entonces la ecuación (4.14), se convierte en :

$$K = \frac{13.6 \Delta P' \cdot 2 g_c}{\rho U^2}$$

rearrreglando el término obtenemos :

(4.15)

$$K = \frac{(13.6) (2) (g_c)}{\rho} \cdot \frac{\Delta P'}{U^2}$$

Si consideramos la densidad del agua a temperatura ambiente de  $1000 \text{ Kg m}^{-3}$ , entonces la ecuación (4.15), se transforma en :

$$K = \frac{(13.6) (2) (9.8)}{1000} \frac{\Delta P'}{U^2} \quad (4.16)$$

Donde :

- $\Delta P$  = Caída de presión observada en el accesorio o válvula en milímetros de mercurio.
- $U$  = Velocidad del agua después del codo, válvula etc.

Utilizando la ecuación (4.16), podremos obtener el coeficiente  $K$  para cada accesorio y válvula del sistema de medición.

La longitud equivalente se determinó comparando la caída de presión en un tubo liso de 1 mt. de longitud y un diámetro interno de  $1.75 \text{ E-}02 \text{ m.}$ , con la caída de observada en la válvula o accesorio.

Los valores de :  $K$  y  $L/D$ , experimentales están representados en las tablas (4.9 a 4.15).

En la Fig. (4.2), se muestran una gráfica que relaciona  $K$ ,  $L/D$  obtenida del Crane (Edición Métrica(1982)).

#### 4.7

#### EJEMPLOS NUMERICOS

Determinación del factor de fricción en la tubería lisa número (4).

DATOS :

Longitud del tubo	=	1 m
Diámetro interno	=	$1.75 \text{ E-}02 \text{ m}$ (T.4.1)
Sección Transversal	=	$2.4053 \text{ E-}04 \text{ m}^2$ (T.4.7)
$P'$ observada	=	72 mm de Hg (T.4.7)
Flujo Volúmetrico Máximo	=	$9.804 \text{ E-}04 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (T.4.7)
Velocidad del agua	=	$4.076 \text{ m s}^{-1}$
Coeficiente $\lambda$	=	$6.47 \text{ E-}11$ (T.4.1)

Utilizando la ecuación (11), obtenemos :

$$f' = B \frac{P'}{Q^2} = \frac{(6.47 \text{ E-11}) (72 \text{ mm de Hg})}{(9.804 \text{ E-04})^2}$$

Donde :

$$f' = 4.8465 \text{ E-03 (Fanning)}$$

$$f = 4 (4.8465 \text{ E-03}) = 1.9382 \text{ E-02 (Darcy)}$$

El número de Reynolds, se determina con la ecuación (4.13)

$$R = 10^6 \text{ D.U}$$

$$R = 10^6 (1.75 \text{ E-02 m}) (4.076 \text{ ms}^{-1})$$

$$R = 71 \text{ 330 (Régimen Turbulento)}$$

En la gráfica de la Figura (4.2), entrando con un :  $R=7.33 \text{ E04}$  obtenemos un factor de Darcy de : 0.0197.

$$f \text{ Experimental} = 1.9382 \text{ E-02}$$

$$f \text{ Teórico} = 1.97 \text{ E-02}$$

#### DETERMINACION DE K Y L/D, EN LA VALVULA DE COMPUERTA

Caída de presión observada  $\Delta P' = 39 \text{ mm de Hg}$

Flujo Volúmetrico  $Q = 4.819 \text{ E-04 m}^3 \text{ s}^{-1}$

Velocidad después de la  
válvula abierta  $U_L = 2.0035 \text{ ms}^{-1}$

Utilizando la ecuación (16)

$$K = 0.2656 \Delta P' U^2$$

$$K = \frac{(0.2656) (39 \text{ mm de Hg})}{(2.0035 \text{ ms}^{-1})^2}$$

$$K = 2.5805$$

La caída de presión observada en el tubo liso (4) a flujo máximo

fué de : 72 mm de Hg y en la válvula de compuerta fué de 39 mm de Hg, entonces la razón es :

$$\frac{\Delta P'_v}{\Delta P'_T} = \frac{39 \text{ mm de Hg}}{72 \text{ mm de Hg}} = .5416$$

así :

$$.5416 / 1.75 \text{ E-02 m} = 30.95$$

La longitud equivalente en la válvula totalmente abierta es :

$$L/D = 30.95$$

## 4.7.1

## USO DE LAS CAIDAS DE PRESION EN MEDIDORES DE FLUJO

## 1. Placa de orificio (bordes afilados con 45° bisaldo)

El flujo volumétrico y las caídas de presión están relacionadas por la ecuación de Bernoulli con coeficientes de corrección para degradación de energía debida a la contracción.

$$Q = C_d C_c A_o \left\{ 1 - \left( \frac{A_o}{A_1} \right)^2 \right\}^{1/2} \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (4.17)$$

$Q$  = Flujo volumétrico  $m^3/s$

$C_d$  = 0.98 coeficiente de velocidad

$C_c$  = 0.6 coeficiente de Contracción

$A_o$  = Area de orificio  $m^2$  ( $d_o = 20$  mm)

$A_1$  = Area del tubo  $m^2$  ( $d_1 = 24$  mm)

$h$  = Caída de presión, m  $H_2O$

Los datos experimentales (caída de presión y flujo volumétrico) se tabulan y se grafican. Posteriormente se comparan con los obtenidos con la ec. (4.17).

La gráfica se puede utilizar para medir el flujo volumétrico directamente usando un manómetro diferencial (ver figura 3.2).

## 2. Medidor de Venturi

El flujo y la caída de presión se relacionan por medio de la ecuación de Bernoulli con un coeficiente de corrección para la degradación de energía.

$$Q = C_d A_o \left\{ 1 - \frac{A_o^2}{A_1^2} \right\}^{-1/2} \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (4.18)$$

$Q$  = Flujo volumétrico

$C_d$  = 0.98 coeficiente de descarga

$A_1$  = Area del tubo corriente arriba  $m^2$   
( $d_1 = 24$  mm)

$A_o$  = Area de garganta,  $m^2$  ( $d_2 = 14$ mm)

$h$  = Caída de presión diferencial, m de  $H_2O$

Se grafican los valores de flujo volumétrico contra caída de presión y se comparan con los resultados obtenidos con la ec. (4.18). Esta curva también se puede utilizar para calcular el flujo del agua directamente conociendo la caída de presión usando un manómetro diferencial.

Nota: En el caso del medidor de Venturi  $d_o = d_2$  para evitar confusión con el diámetro de orificio.

T.4.1. Datos generales de la tubería de prueba

Tubería	Diámetro nominal m	Diámetro interno m	Area transversal. m <sup>2</sup>	Coefficient e. B
Liso No.1	6 E-03	3.6 E-03	1.017 E-05	2.481 E-14
Liso No.2	1 E-02	6.8 E-03	3.631 E-05	5.976 E-13
Rugoso artificialmente.(3)	2.145 E-02	1.52 E-02	1.814 E-04	3.335 E-11
Liso No.4	2.145 E-02	1.75 E-02	2.405 E-04	6.747 E-11

E.4.2. Datos generales de medidores de flujo

Medidor tipo orificio (13)	Medidor tipo venturi (17)
Diámetro del tubo m 2.4 E-02	Diámetro del tubo m 2.4 E-02
Diámetro de orificio m 2 E-02	Diámetro de garganta m 1.4 E-02
Coefficiente de velocidad 0.98	Coefficiente de descarga 0.98
Coefficiente de contracción 0.6	
Material de construcción acrílico	Material de construcción Acrílico

T.4.3. Resultados experimentales (Tubo liso No.1)

Corrida	$\Delta P'$ mm de Hg.	Q $m^3 s^{-1}$	U $m.s^{-1}$	$f'$	$f = 4f'$ Darcy	R
1	280	3.7 E <sub>05</sub>	3.635	5.083 E-03	2.033 E-02	13086
2	249	3.47 "	3.402	5.14 "	2.056 "	12273
3	200	3.03 "	2.9763	5.414 "	2.16 "	10717
4	170	2.73 "	2.7312	5.467 "	2.187 "	9832
5	127	2.38 "	2.3332	5.572 "	2.228 "	8417
6	100	2.13 "	2.0926	5.478 "	2.191 "	7533

T.4.4. Resultados experimentales (Tubo liso No.2)

Corrida	$\Delta P'$ mm de Hg.	Q m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	U m.s <sup>-1</sup>	f' Fanning	f=4f' Darcy	R
1	430	2.381 E-04	6.956	4.53 E-03	1.81 E-02	44,592
2	390	2.22 "	6.1184	4.721 "	1.889 "	41,605
3	350	2.033 "	5.7356	4.821 "	1.928 "	39,000
4	300	1.8e7 "	5.1959	5.035 "	2.014 "	35,332
5	248	1.701 "	4.6838	5.1228 "	2.0491 "	31,849
6	215	1.533 "	4.238	5.432 "	2.172 "	28,793
7	148	1.282 "	3.530	5.432 "	2.192 "	24,000
8	100	1.022 "	2.3141	5.722 "	2.2889 "	19,135

T.4.5. Resultados experimentales (Tubo artificialmente rugoso)

Corriente	$\Delta P$ mm de Hg	Q m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	U m.s <sup>-1</sup>	f' Fanning	f=4f' Darcy	R
1	512	5.747E-04	3.167	5.170E-02	2.06 E-01	48,140
2	473	5.525 "	3.044	5.168 "	2.067 "	46,280
3	440	5.291 "	2.9158	5.242 "	2.096 "	44,320
4	350	4.673 "	2.5752	5.34 "	2.1383 "	39,143
5	250	3.899 "	2.1448	5.4849 "	2.194 "	32,660
6	155	3.049 "	1.6803	5.561 "	2.224 "	25,540
7	100	2.433 "	1.3408	5.6344 "	2.2538 "	20,380

T.4.6. Resultados experimentales (Tubo liso No.4)

Corrida	$\Delta P'$ mm de H <sub>2</sub> O	Q m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	U m.s <sup>-1</sup>	f' Panning	f <sub>D</sub> =4f' Darcy	R
1	75	2.025E-03	4.26	4.81 E-05	1.92 E-02	74,550
2	72	2.8 E-04	4.076	5.053 "	2.021 "	71,330
3	66	3.302 "	3.8673	5.146 "	2.05 "	67,676
4	55	3.403 "	3.493	5.255 "	2.102 "	61,130
5	45	7.576 "	3.143 "	5.289 "	2.115 "	57,710
6	35	6.667 "	2.7713	5.3187 "	2.125 "	48,506
7	25	5.556 "	2.3099	5.464 "	2.1356 "	40,423

T.4.7. Resultados experimentales (Válvula de compuerta)

Corriente ó Posición	$\Delta P'$ mm de H <sub>2</sub> O	Q m <sup>3</sup> /s	U m. s <sup>-1</sup>	$h_L$ m	K	L/D
Abierta Total	39	4.819E-04	2.003	5.304	2.5385	30.95
1 vuelta cerrada	140	4.537 "	1.9071	1.904	10.26	111.11
1.5 vuelta cerrada	281	4.141 "	1.7216	3.821	25.26	223.01
2 vuelta cerrada	555	3.316 "	1.3745	7.543	78.30	440.47
2.5 vuelta cerrada	945	1.449 "	1.6024	12.852	694.15	750

T.4.8. Resultados experimentales (Válvula de globo)

Posición	$\Delta P'$	Q	U	$h_L$	K	L/D
Abierta	413	4.37E-04	2.023	5.6348	27.09	331.74
1 vuelta cerrada	460	4.63 "	1.924	6.256	33.09	365
1.5 vuelta cerrada	496	4.44 "	1.8452	6.7456	33.3	393.65
2 vueltas cerrada	547	4.237 "	1.7615	7.4392	46.99	434.12
2.5 vuelta cerrada	586	4.032 "	1.6763	7.9696	55.53	465.3
3 vueltas cerrada	690	3.54 "	1.4718	9.384	34.9	547.52

T.4.9 Resultados experimentales (Válvula de bola)

Corriente	$\Delta P'$ mm de Hg.	$Q$ $m^3/s$	$U$ m/s	$h_L$ Kg. w/kg	K	L/D
1	72	9.85 E-04	4.096	.3792	1.14	54.8
2	50	7.84 "	3.26	.680	1.254	38.1
3	30	5.37 "	2.48	.403	1.30	22.8
4	16	4.44 "	1.847	.2176	1.250	12.19

T.4.10 Resultados experimentales ( vuelta suave de 90°).

Corrida	$\Delta P'$ mm H <sub>2</sub> O	$Q$ m <sup>3</sup> /s	$U$ r/s	$h_L$ Eg. m/kg	$K$	$L/D$
1	74	9.53 E-04	3.9596	1.0064	1.258	56.38
2	50	8.163 "	3.3933	.680	1.1571	33.09
3	37	6.667 "	2.7718	.5032	1.2337	23.19
4	15	4.577 "	1.9029	.204	1.1042	11.42

T.4.11 Resultados experimentales ( Unión "T" inclinada 45°)

Corrida	$\Delta P'$	$Q$	$U$	$h_L$	$K$	$L/D$
1	45	9.524E-04	3.9596	.612	.7650	34.28
2	30	8.163 "	3.3933	.403	.6942	22.85
3	15	5.98 "	2.445	.2401	.6635	11.42
4	11	5.131 "	2.1540	.1496	.6319	8.33

T.4.12. Resultados experimentales ( Unión "T" de 90°)

Corrida	$\Delta P'$ H <sub>g</sub>	$Q$ m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	U m.s <sup>-1</sup>	$\frac{h_L}{K \cdot U}$	K	L/D
1	58	2.7563-04	4.0561	.7888	.3397	44.19
2	50	9.524 "	3.9596	.690	.85	38
3	45	9.022 "	3.7832	.612	.8381	34.28
4	40	8.696 "	3.6154	.544	.8157	30.47

T.4.13 Resultados experimentales ( Codo de 45°)

Corrida	$\Delta P'$	Q	U	$h_T$	K	L/D
1	132	2.7563-04	4.0561	1.7952	2.192	100.5
2	127	9.524 "	3.9596	1.7272	2.1593	96.76
3	120	9.390 "	3.9039	1.632	2.098	91.4
4	105	8.869 "	3.6375	1.423	2.055	80

2.4.14 Resultados experimentales( Reducción brusca)

Corriente	$\Delta P$ mm de Hg.	Q $m^3 \cdot s^{-1}$	U $m \cdot s^{-1}$	$\frac{h}{L}$ Kg.m.m	K	L/D
1	317	2.4613-04	6.8315	4.3112	1.8105	241.52
2	273	2.260 "	6.223	3.7123	1.8797	208
3	200	1.923 "	5.2951	2.72	1.9014	152.38
4	151	1.673 "	4.6204	2.3536	1.8353	115.04

2.4.15. Resultados experimentales( Ensanchamiento brusco)

Corriente	$\Delta P$	Q	U	$\frac{h}{L}$	K	L/D
1	30	2.45 E-04	6.7462	.408	.1757	22.3
2	24	2.36 "	5.6723	.326	.1985	13.23
3	19	1.71 "	4.7086	.253	.2280	14.47
4	13	1.19 "	3.2767	.136	.2432	7.61

T.4.16 Resultados experimentales (Medidor de Venturi)

Corrida	$\Delta P'$	h	$Q \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$		U m $\cdot$ s $^{-1}$
	mm de Hg		m de H <sub>2</sub> O	Correlación	
1	169	2.2977	1.01 E-03	1 E-03	6.5767
2	100	1.3596	7.73 E-04	7.4 E-04	5.0592
3	50	.6793	5.50 "	5.4 "	3.5774
4	25	.3399	3.89 "	3.63 "	2.5295

T.4.17 Resultados experimentales (Placa de orificio)

Corrida	$\Delta P'$	h	$Q \text{ m}^3/\text{s}$		U m/s
	mm de Hg		m H <sub>2</sub> O	Correlac.	
1	46	.6254	.9 E-04	9.7 E-04	2.36
2	40	.5438	8.38 "	9.09 "	2.668
3	30	.4078	7.253 "	7.84 "	2.3103
4	15	.2039	5.132 "	5.142 "	1.6336



LONGITUD EQUIVALENTE L Y L/D Y COEFICIENTE DE RESISTENCIA K.

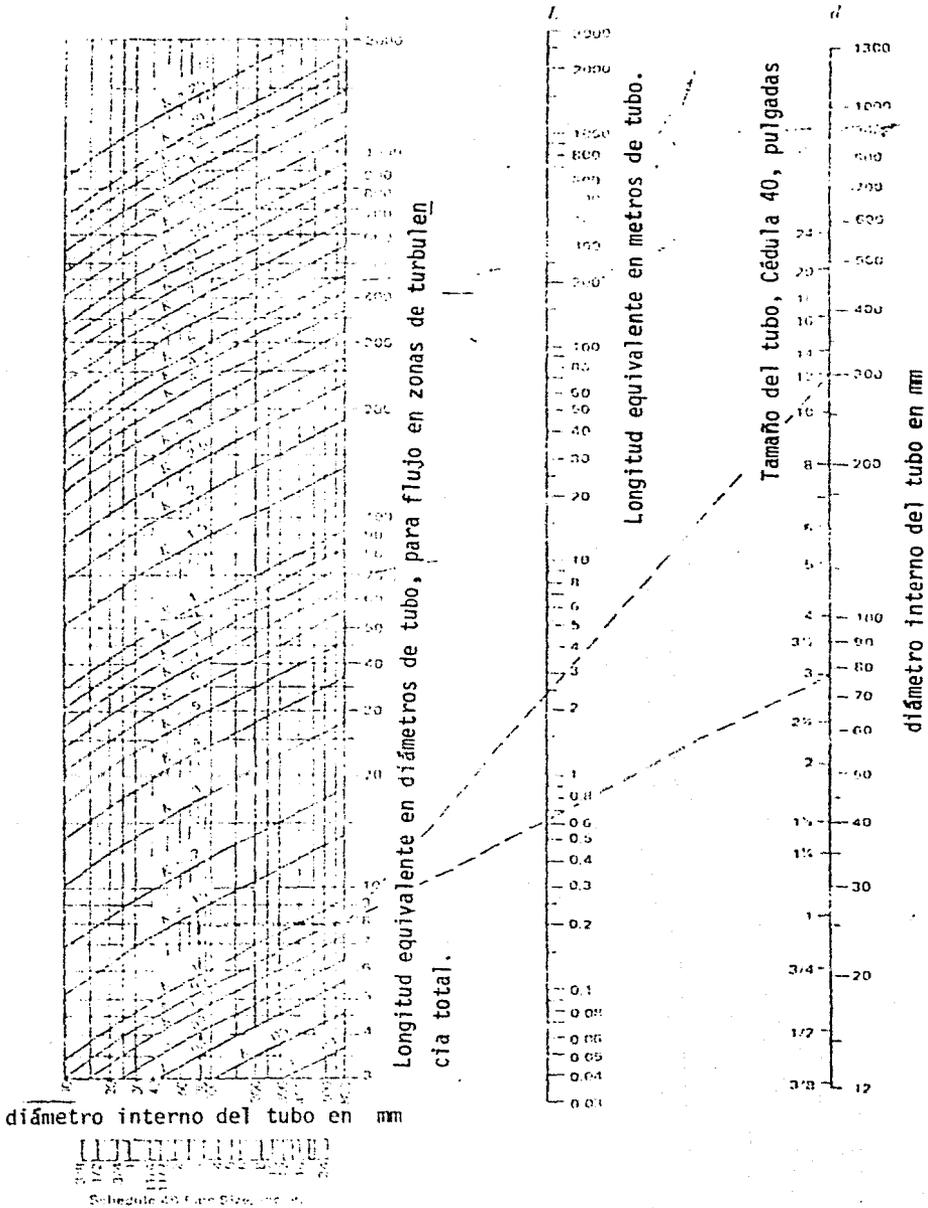


Figura (4.2)

## DISEÑO DE PRACTICAS

5.2

FACTOR DE FRICCIÓN

5.2

DETERMINACION DE COEFICIENTE K Y LONGITUD  
EQUIVALENTE (L/D), EN ACCESORIOS Y VALVULAS

5.3

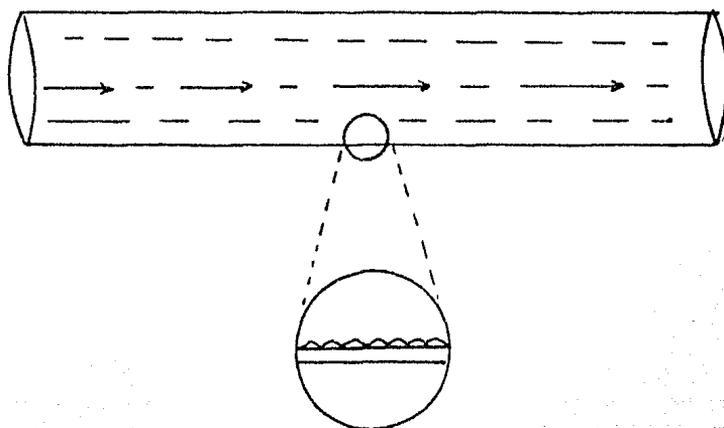
MEDIDORES DE FLUJO

5.4

DETERMINACION DE VARIABLES

# LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA.

## FACTOR DE FRICCION



FACULTAD DE QUIMICA  
DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
Area de Ingenieria



FACTOR DE FRICCIÓN

O B J E T I V O

El Aluminio determinará experimentalmente el factor de fricción "f", en tuberías lisas y rugosas de P.V.C., así como en : accesorios, válvulas y medidores de flujo Tipo Venturi y Orificio, contrastando con los obtenidos en la literatura.

## I N T R O D U C C I O N

El método más empleado para transportar fluidos de un punto a otro es : a través de un sistema de tuberías.

El tubo más comúnmente usado en la industria es : el de sección circular, porque esa forma no sólo ofrece la fuerza estructural más fuerte, sino que ofrece también la sección transversal, más grande por unidad de superficie, que cualquier otra forma.

Se han propuesto una gran cantidad de fórmulas empíricas para problemas de flujo entuberías, pero éstas son extremadamente - ilimitadas y pueden ser aplicadas cuando las condiciones del - problema se aproxima a las condiciones de los experimentos de las cuales se han derivado dichas ecuaciones.

La fórmula de Darcy, puede ser obtenida racionalmente por análisis dimensional.

Sin embargo, una variable involucrada en ésta ecuación es el - Factor de Fricción, el cuál debe ser determinado experimentalmente.

Esta fórmula tiene una amplia aplicación en mecánica de fluidos.

La fórmula de Darcy es conocida también como, la Fórmula de - - Weisbach o Fórmula de Darcy-Weisbach; otra fórmula, la de - - - Fanning, que cuyo factor es una cuarta parte del Factor de Darcy.

$$f = 4f'$$

$$f = \text{Factor de Darcy}$$

$$f' = \text{Factor de Fanning}$$

F U N D A M E N T O S

La fuerza que ejerce el fluido sobre las paredes pueden ser de dos tipos :

Cuando el fluido está en reposo, tiene una magnitud definida

Y cuando está en movimiento, se le asocia una cantidad de fuerza adicional, que se puede expresar - así:

$$F = A E f$$

Donde :

- A = Área característica, donde el flujo ejerce la fuerza
- E = Energía cinética, característica por unidad de volumen.
- f = Cantidad adimensional, llamada factor de fricción.

La ecuación (2), es una definición arbitraria, que ayuda a comprender el significado del factor de fricción, puesto que "f", no se define, hasta que A y E sean especificadas.

Generalmente, para el flujo<sub>2</sub> a través de tuberías, A es la superficie mojada y E, es  $1/2 \frac{\rho U^2}{g_c}$ , para tubos de radio r y Longitud L, por lo tanto :

$$F = (2\pi r L) \frac{\rho U^2}{2g_c} \quad (3)$$

Experimentalmente, sólo se puede conocer la caída de presión que ejerce un fluido a través de una tubería, haciendo uso de la definición de presión :

$$F = (P_0 - P_1) \pi r^2 \quad (4)$$

Substituyendo (4) en (3) :

$$f = \frac{\Delta P D g_c}{2 L U^2 \rho} \quad (5)$$

De acuerdo con la ecuación de Bernoulli, la pérdida de energía - por fricción del fluido, con las paredes del tubo, puede medirse experimentalmente a partir de la caída de presión que se origina en dicho tubo.

Aplicando, la ecuación de Bernoulli, a un sistema comprendido - entre dos puntos de una tubería, se tiene :

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho} + (Z_1 - Z_2) + \frac{U_1^2 - U_2^2}{2g_c} + W = h_L \quad (6)$$

$h_L$  = Representa las pérdidas de energía por fricción.

Si la tubería, está en forma horizontal, la energía potencial es la misma, en los dos puntos del tubo, por lo tanto :

$$Z_1 - Z_2 = 0$$

El gasto que pasa a través de la tubería, es constante ya que el diámetro y el área transversal no varían, de acuerdo a la ecuación de continuidad :

$$Q = VA \quad (7)$$

Gasto volúmetrico  $m^3/\text{seg.}$

$$Q_1 = Q_2$$

Por lo tanto : (8)

$$V_1 = V_2 \quad V_1 - V_2 = 0$$

Sí entre los puntos 1 y 2 del tubo no existe trabajo de bombeo :

$$W = 0$$

Entonces :

Tomando en cuenta todas las consideraciones anteriores, la ecuación se convierte en :

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho} = h_L \quad (9)$$

Esta ecuación da la pérdida de energía por fricción, a partir de la caída de presión experimental del tramo del tubo analizado.

Esta caída de presión es :

$$\Delta P = P_1 - P_2 = \rho \cdot h_L \quad (10)$$

$$\Delta P = h_L = 2 f' \frac{LV^2}{Dg_c} \quad (11)$$

$$\frac{\Delta P}{\rho} = h_L = f \frac{LV^2}{2Dg_c} \quad (12)$$

Donde :

$f'$  = Factor de Fanning

$f$  = Factor de Darcy

$f = 4 f'$

Se ha comprobado experimentalmente por análisis dimensional, que el factor de fricción "f", es función del número de Reynolds y de la rugosidad relativa  $\epsilon/D$ .

Otra forma de conocer el factor de fricción es el uso de correlaciones empíricas, tales como las siguientes :

ECUACION DE HAGEN - POISEUILLE

G. Hagen y J.L. Poiseuille, dedujeron una ley que relaciona el --gasto volúmetrico con las fuerzas que causan el flujo, es decir, las fuerzas asociadas con la caída de presión y la aceleración de gravedad.

Para el desarrollo de ésta ley, se tomaron en cuenta, los siguientes puntos :

- a) El flujo es laminar a Reynolds menores de 2,100
- b) La densidad es constante (fluido incomprensible)
- c) El flujo es independiente del tiempo (régimen permanente)
- d) El fluido es Newtoniano
- e) Los efectos terminales, son casi nulos
- f) El flujo es continuo
- g) No hay bordes en la pared

La expresión obtenida por Hagen-Poiseuille es :

$$U = \frac{(P_0 - P_1) r^2 g_c}{8 \mu L} = \frac{\Delta P r g_c}{8 \mu L} \quad (13)$$

Substituyendo el valor de la velocidad promedio de la ecuación (13), en la ecuación (5), el factor de fricción es el siguiente :

$$f' = \frac{16}{R} \quad \text{ó} \quad f = \frac{64}{R} \quad (14)$$

Para flujo laminar, el valor de "f", es independiente de la rugosidad relativa, debido a que la película cercana a la pared, es casi estacionaria y no existe fricción sólido-fluido.

Para el flujo turbulento en tubos lisos, Prandtl, desarrolló una ecuación empírica aproximada para calcular "f" : (14-A)

$$f = 0.0032 + \frac{0.221}{(Re)^{0.237}}$$

El flujo turbulento, la rugosidad relativa, tiene un efecto muy grande en el valor de "f", debido a que la película cercana a la pared, tiene una velocidad apreciable, y hace que la rugosidad de la superficie, afecte el fluido, por lo tanto :

(15)

$$f = f(R, \epsilon/D)$$

Teniendo en cuenta, ésta relación, se concluye lo siguiente :

- 1.- La diferencia física entre los flujos laminar y turbulento, lo indica el cambio, en la relación de "f", con respecto al número de Reynolds.
- 2.- El régimen laminar, se caracteriza, por la curva dada por la ecuación (13), para cualquier rugosidad de la superficie.
- 3.- En el flujo turbulento, la curva "f" contra Re, para cualquier valor de  $\epsilon/D$ , demuestra, que el valor de "f" para tubos rugosos, se encuentra afectado en mayor cantidad, por la rugosidad de la superficie, que por el número de Reynolds.
- 4.- A números de Reynolds muy grandes, el valor de "f", permanece constante, dependiendo únicamente de la rugosidad del tubo. Frecuentemente, se encuentra en la literatura, la gráfica de Factor de Fricción de Darcy (f), contra número de Reynolds y la rugosidad relativa como parámetro.

Es importante, resaltar, que en la zona laminar, el valor del Factor de Fricción de Fanning es :  $f = 16/R$

$$f' = 16/Re$$

y para el Darcy es :

$$f = 64/Re$$

### ECUACIONES DE VON KARMAN Y NIKURADSE

Para la zona turbulenta, Von Karman y Nikuradse, proponen las siguientes, ecuaciones para calcular el Factor de Fricción en función de la rugosidad relativa :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 4.06 \log \frac{R}{\epsilon} + 3.36 \quad (16)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 4.0 \log \frac{R}{\epsilon} + 3.48 \quad (17)$$

Para flujo transicional :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 4.0 \log \frac{D}{\epsilon} + 2.28 - 4 \log |4.67 \quad (18)$$

Las ecuaciones anteriores se presentan, en forma gráfica en la Figura (2) de la siguiente página.

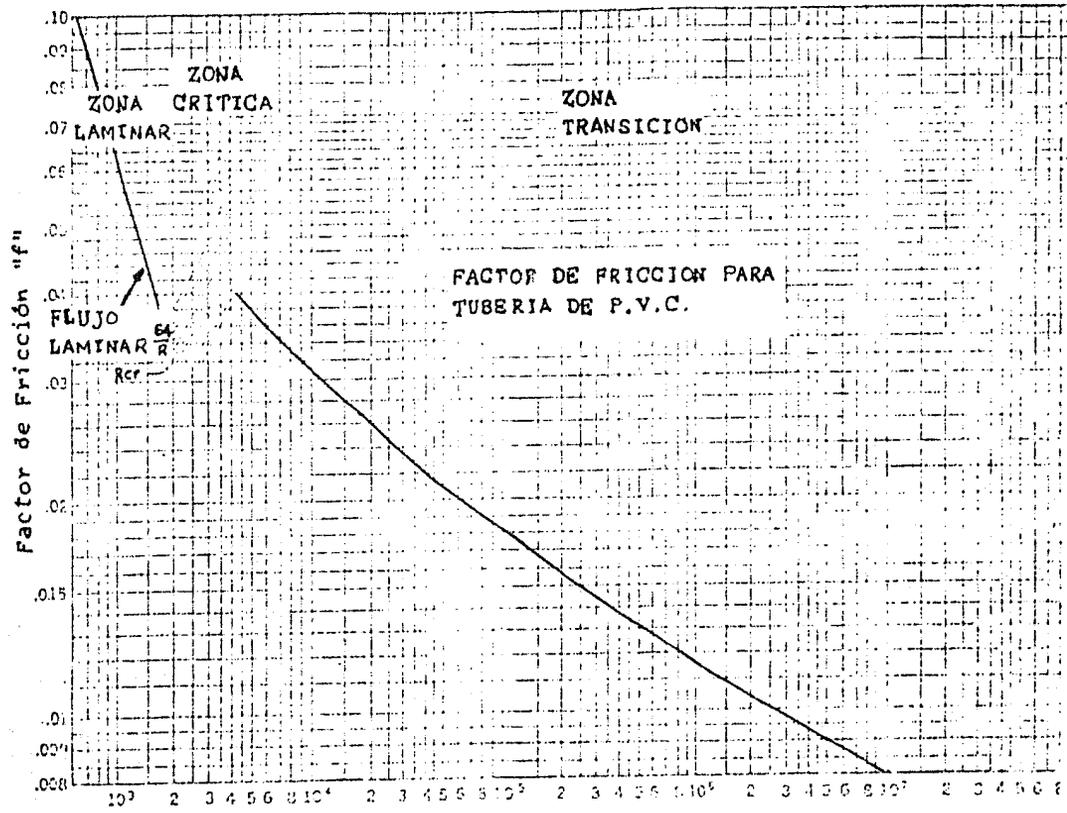


Figura ( 1 ) Número de Reynolds, R.

E Q U I P O

El Aparato de Fricción de Fluidos consta de : **Ver figura (2).**

- a) Tuberías Lisas diferentes diámetros (1), (2) y (4)
- b) Tubería Artificialmente rugosa (3)
- c) Accesorios :
  - Reducción brusca (5)
  - Ensanchamiento brusco (6)
  - Codo de 45°(8)
  - Union "T" de 45°(4)
  - Colador en línea (12)
- d) Válvulas de :
  - Compuerta (10)
  - Globo (11)
  - Bola (7)
  - Recirculación (V1)
  - Entrada (V2)
  - Salida, flujo grueso (V2)
  - Paso, tipo bola (V4)
  - Venteo (V3)
  - Tipo macho de tres vías (V8)
  - Válvulas de descarga (29)
- e) Medidores de Flujo :
  - Tipo Venturi (17)
  - Tipo Orificio (18)
  - Tubo Pitot estático (16)
- f) Tanque de Almacenamiento (23)
- g) Tanque volimétrico (22)
- h) Bomba (24)
- i) Indicador de nivel
- j) Manómetros diferenciales de :
  - Mercurio (20)
  - Agua (21)

CARACTERISTICAS DEL APARATO

	DIAMETRO NOMINAL (PULGADAS)	DIAMETRO INTERNO (m)
Tubo (1)	1/8	$3.8 \times 10^{-3}$
Tubo (2)	1/4	$6.8 \times 10^{-3}$
Tubo (3)	(RUGOSO)	$1.52 \times 10^{-2}$
Tubo (4) y (5)	11/16	$1.75 \times 10^{-2}$
Tubo (6)	15/16	$2.4 \times 10^{-2}$
Diámetro de Orificio		$2 \times 10^{-2}$
Diámetro de Venturi		$1.4 \times 10^{-2}$

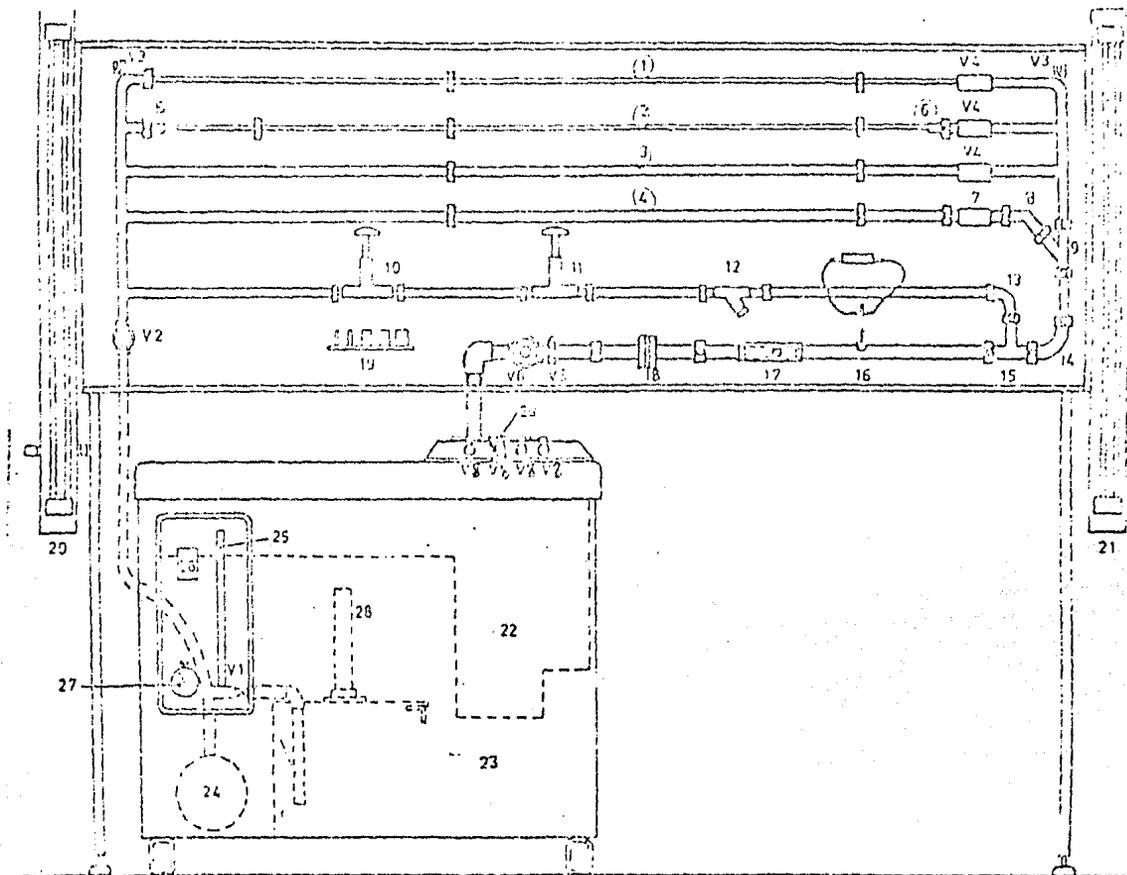
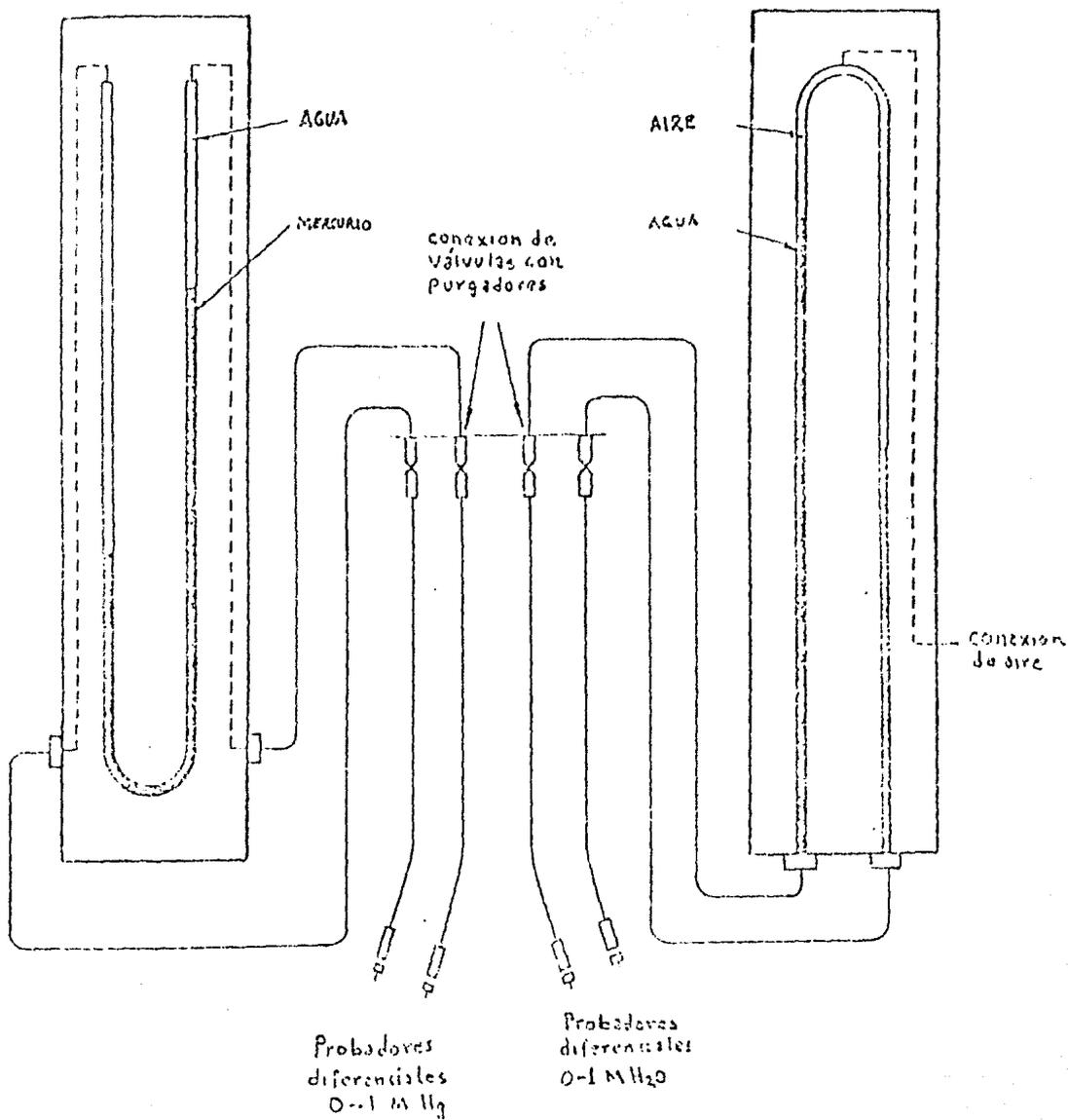


Fig. 2 APARATO DE FRICCIÓN DE FLUIDOS.



Fig(3) DIAGRAMA DE CONEXION DE MANOMETROS

TECNICA DE OPERACION

- 1.- Llenar el tanque de almacenamiento (23) con agua limpia aproximadamente 50 mm abajo del nivel superior.
- 2.- Conectar el aparato al suministro de corriente
- 3.- Cerrar todas las válvulas (consultar Diagrama de Arreglo General), excepto las dos válvulas de Venteo (V3)
- 4.- Accionar el botón de arranque (26) y estar atento a la operación audible de la bomba (24); si la bomba no cavita puede continuar, si cavita, abrir la válvula (VI) y observar si el agua es descargada en el tanque de almacenamiento (23), Si no hay flujo pedir se purque la bomba, si hay flujo cerrar totalmente la válvula (VI).
- 5.- Cerrar las válvulas de Venteo
- 6.- Abrir las válvulas de salida de flujo (V6), luego la válvula (V7).
- 7.- Con la bomba operando abrir la válvula de entrada (V2), y observar la descarga de agua en el tanque volúmetrico (22), y observar el indicador de nivel (25).
- 8.- Levantar el accionador de la válvula de descarga (29), situado en la parte superior del tanque volúmetrico (22) y observar que el agua regrese nuevamente al tanque de almacenamiento.
- 9.- Seleccione la tubería a probar, abrir la válvula (V4), correspondiente (que permite el flujo a través de la tubería), y cerrar la válvula (V7).
- 10.- Colocar en las tomas de presión, los probadores que están conectados a las válvulas machos (V8), y que a -

vez, están conectados al manómetro diferencial de mercurio, para leer la caída de presión.

- 11.- Para medir el gasto volumétrico, se cierra la válvula de descarga (29), bajando el tapón estérico y se observa el indicador de nivel, anotando el volumen inicial y con la ayuda de un crónometro se determina el flujo.

En la tubería (1), el flujo es muy pequeño, por lo cuál se recomienda usar una probeta de dos litros, en lugar del tanque volumétrico, con su medidor de nivel, así como también; es conveniente usar la válvula de salida (V5).

- 12.- Cerrando parcialmente la válvula de salida, ya sea la (V6) o (V5), se controla el flujo con la válvula para obtener la lectura deseada.

- 13.- Se tabulan los datos.

A C T I V I D A D E S

- Medir la caída de presión en tubería lisa y rugosa, utilizando el manómetro diferencial de mercurio y además medir el gasto volumétrico en cada corrida.
- Calcular el Factor de Fricción de Fanning, Factor de Darcy y el número de Reynolds, con los datos obtenidos experimentalmente en cada corrida, usando la ecuación adecuada.
- Hacer una gráfica de Factor de fricción, contra número de Reynolds, con los datos obtenidos experimentalmente.
- A un flujo determinado, calcular el número de Reynolds y el factor de fricción de las tuberías (3) y (4) y analice la diferencia en la caída de presión.
- Determinar el factor de fricción, utilizando la gráfica de la literatura.
- Analizar, los resultados experimentales, obtenidos por correlación y con los obtenidos en la gráfica.
- Escribir las conclusiones .

## CUESTIONARIO.

## FACTOR DE FRICCIÓN

Nombre del alumno (a): \_\_\_\_\_

Grupo: \_\_\_\_\_

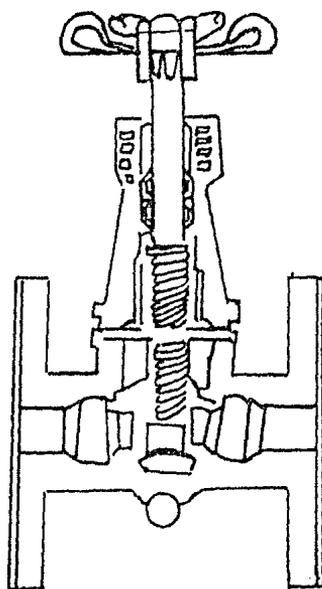
- 1.-¿ Qué es esfuerzo cortante?
2. Describa la ley de Newton para flujo de fluidos.
3. ¿Qué es la viscosidad?
4. Deduzca la ecuación 7.
5. Por medio del análisis dimensional deduzca la relación entre el factor de fricción, con el número de Reynolds y el cociente E/D.
6. Explique el uso de la gráfica de  $f$  vs el N $^{\circ}$ . de Reynolds.
- 7 Explique la diferencia entre el factor de Darcy y el factor de Fanning.
8. Demuestre como se obtiene la ecuación (15).
9. Demuestre como se obtiene la ecuación (14).
- 10.¿Qué consideraciones tomaron en cuenta G.Hegen y J.L. Poiseuille para la ley que dedujeron?
- 11.¿Por qué disminuye la presión al cerrar la válvula de control de flujo de salida?
- 12.¿Cómo se determina la rugosidad del tubo artificialmente rugoso?
- 13.¿Qué es el factor de rugosidad?
- 14.¿Por que Von Karman y Nikurasde proponen las ecuaciones (16), (17), (18)?
- 15.Indique como se puede obtener experimentalmente el factor de fricción?
- 16.¿Como afecta el término  $\epsilon$  al factor de fricción?
- 17.¿Como medirá el gasto de agua y la velocidad de flujo en esta práctica?

18. Mencione las precauciones necesarias para el manejo del equipo.
19. ¿Por qué el factor de Fanning es un cuarto del factor de Darcy?
20. ¿Cómo influye el factor de fricción y las pérdidas de energía debido a la fricción en la selección de la bomba y material de la tubería de trabajo?.

# LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA

DETERMINACION DEL COEFICIENTE  $K$  Y LA LONGITUD

EQUIVALENTE  $L/D$  EN ACCESORIOS Y VALVULAS.



FACULTAD DE QUIMICA  
DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
Area de Ingenieria



DETERMINACION DEL COEFICIENTE K Y LA LONGITUD EQUIVALENTE  
L/D, ACCESORIOS Y VALVULAS.

O B J E T I V O

El alumno determinará, el coeficiente de resistencia K y la longitud equivalente, en función de la caída de presión y el flujo volumétrico en accesorios y válvulas; haciendo un análisis comparativo entre sí y en con los reportados en la literatura.

I N T R O D U C C I O N

Nosotros sabemos que la caída de presión en un tubo rugoso, es mayor que en un tubo liso, esta diferencia, se debe a la turbulencia local en las paredes del tubo que hacen que las pérdidas de energía sean mayores o menores.

En forma similar, la presencia de accesorios, válvulas y cambios en la dirección del flujo ocasionará la separación de la capa - frontera que resulta en una fricción debido a la configuración geométrica.

De hecho, la fricción en un accesorio es una porción significativa de la caída de la presión, debido a fricción de sistemas - cortos de flujo.

Las pérdidas por fricción, a través de accesorios, reducciones y expansiones, así como en válvulas, se obtiene más fácilmente en términos de la longitud equivalente de una tubería recta.

Esta longitud equivalente se suma a la longitud de la tubería recta para dar la longitud total equivalente del sistema.

La ventaja de ésta aproximación, es la de que toda tubería, como los accesorios, están expresados en términos de una longitud equivalente de tubería de la misma aspereza.

La longitud equivalente de reducciones, expansiones o accesorios pueden correlacionarse mediante un coeficiente de resistencia K.

Este coeficiente, se define con un número de pérdidas de cabezas de velocidad debidas al accesorio.

Una cabeza de velocidad es igual a :  $(U^2/2g_c)$

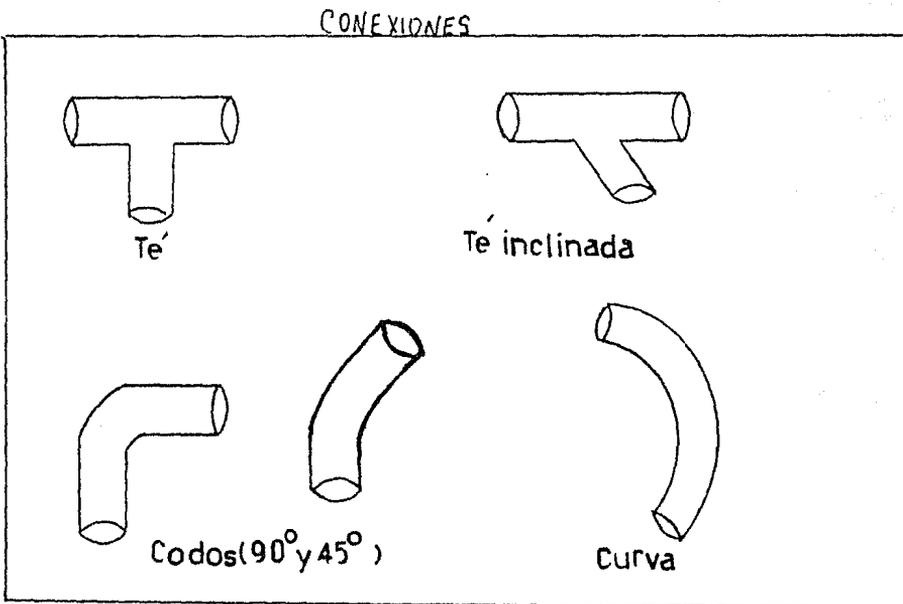


Fig.1

G E N E R A L I D A D E SA C C E S O R I O S

Se entiende por accesorios una pieza de tubo que son :

- a).- Juntar dos piezas de tuberfa por ejemplo :  
Coples y Tuercas unión.
- b).- Cambiar la dirección del flujo por ejemplo :  
Codos y Tes
- c).- Cambiar el diámetro de la tuberfa ejemplo :  
Reducciones y Expansiones.
- d) Terminar la tuberfa por ejemplo :  
Tapones y Válvulas
- e).- Juntar dos corrientes, para formar una tercera  
por ejemplo :  
Tes, Cruces y Yes
- f) Controlar el flujo, por ejemplo ;  
Válvulas

## V A L V U L A S

Una válvula, es un accesorio, pero tiene un uso más importante que conectar la tubería. Las válvulas se usan, para controlar el flujo volumétrico o bien para cerrarlos completamente. Los diseños básicos de válvulas, condicionan su empleo como : equipos selladores o reguladores de flujo.

Las dos válvulas más usadas son las de : Tipo Compuerta y Tipo Globo.

### VALVULA DE COMPUERTA

Es un diseño muy sencillo, consiste de un disco que se corre normalmente al flujo, su uso principal es para sellar o de tener un flujo, en virtud de que mediante ajustes laterales pequeños del disco se obtienen cambios muy grandes, en el área de flujo y lógicamente en la caída de presión.

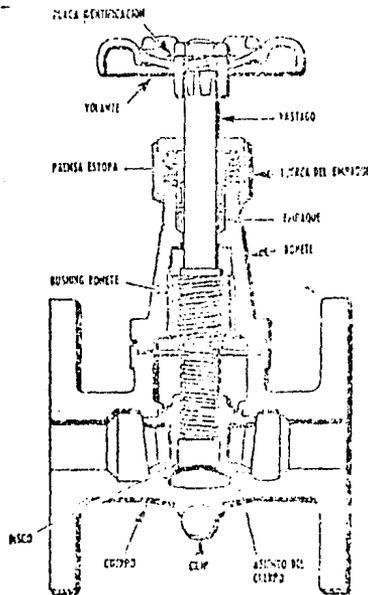


Fig.2  
Válvula de compuerta  
Convencional.

## VALVULA DE GLOBO

En virtud de su diseño, es mucho más adecuada para controlar el flujo. En ésta válvula, el fluido pasa a través de una abertura circular, se controla mediante un disco colocado en una forma casi paralela a la dirección del flujo.

Mediante, ésta válvula, se puede controlar en buena forma el flujo, aunque si bien; la pérdida de presión es mayor, que en el caso de las válvulas de compuerta.

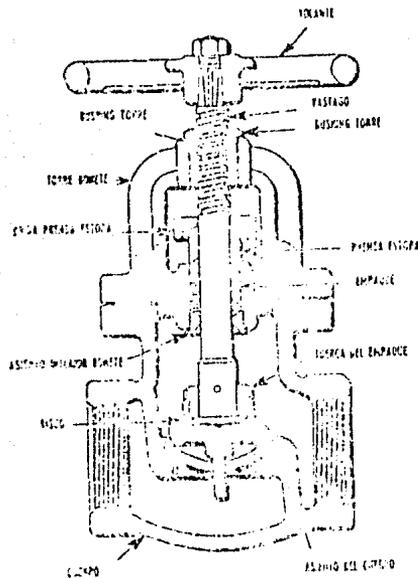


Figura (3) Válvula de globo Convencional

Otras válvulas de uso común y corriente incluyen las válvulas de taponamiento de gallo (macho), las válvulas de check, para controlar la dirección del flujo, las válvulas de seguridad -- para controlar la presión, y las válvulas de diafragma o de -- fuelle, que eliminan la necesidad de empaques.

PERDIDAS DEBIDO AL CAMBIO DE SECCION Y/O DIRECCION DEL FLUJO

VOLUMETRICO

Si la velocidad del fluido cambia bruscamente de magnitud y dirección, los efectos de inercia producido elevan la turbulencia local. Esto ocasiona, pérdidas de energía. Estas pérdidas de energía, se pueden reducir por el cambio gradual de la velocidad.

En estos casos, se puede demostrar teórica y experimentalmente que:

$$h_L = \frac{K U^2}{2g} \quad (1)$$

Donde:

K Es un coeficiente que depende principalmente en como se lleva el cambio de velocidad (Coeficiente de Resistencia)

U Es la velocidad antes y después del cambio ( $\text{ms}^{-1}$ )

g Es la aceleración de gravedad ( $\text{ms}^{-2}$ )

Los valores teóricos de K, no siempre, son reales y en la práctica, su valor se verifica experimentalmente.

El valor de K, se obtiene teóricamente con las siguientes ecuaciones.

ENSANCHAMIENTO BRUSCO

$$h_L = \frac{U_1^2}{2g} \left[ 1 - \left( \frac{a_1^2}{a_2^2} \right)^2 \right] \quad (1a)$$

Donde:

$U_1$  = Velocidad del fluido antes del ensanchamiento ( $\text{ms}^{-1}$ )

$a_1$  = Area del tubo, antes del ensanchamiento  $m^2$ .

$a_2$  = Area del tubo, después del ensanchamiento  $m^2$ .

### REDUCCION BRUSCA

En éste caso, las pérdidas de energía son causadas por el ensanchamiento brusco, después de la vena contracta.

$$h_L = \frac{U_2^2}{2g} \left[ \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{a_2}{a_1} \right) \right] \quad (2)$$

Donde:  $U_2$  = Velocidad del fluido, después de la vena contracta.

El aparato de fricción de fluidos, cuenta con tubería standard, de sección reducida, para investigar las pérdidas de energía, que ocurren en una reducción y ensanchamiento brusco.

Todos los accesorios, cuentan con tomas de presión, para conectar en forma directa los probadores y así obtener la lectura de caída de presión.

### CODOS, VUELTAS, ACCESORIOS Y VALVULAS EN GENERAL

$$h_L = \frac{K \cdot U_2^2}{2g} \quad (3)$$

Donde:

$U_2$  = Velocidad del agua, después del codo, vuelta, etc.

Las pérdidas de energía por fricción, en tubería lisa y rugosa se determina, mediante la ecuación de Darcy :

$$h_L = (f \ L/D) \frac{U^2}{2g} \quad (4)$$

Esto significa que :

$$K = (f \ L/D) \quad (5)$$

La relación  $L/D$ , es la longitud equivalente en diámetros de tubo recto, que causará la misma caída de presión que la obstrucción bajo la misma condición del flujo.

Puesto que el coeficiente de resistencia, es constante para todas las condiciones del flujo, el valor de  $L/D$ , para cualquier válvula o accesorio, será inversamente proporcional con el cambio del factor de fricción para diferentes condiciones de flujo.

DESCRIPCION DEL APARATO

El aparato de fricción de fluidos consta de :

- a).- Tubería lisa de diferentes diámetros (1), (2) y (4).
- b).- Tubería artificialmente rugosa (3)
- c) Accesorios :
  - Reducción brusca (5)
  - Ensanchamiento brusco (6)
  - Codo de 45° (8)
  - Unión T inclinada (Y de 45°) (4)
  - Colador (12)
- d).- Válvulas de :
  - Compuerta (10)
  - Globo (11)
  - Bola (7)
  - Recirculación (By-Pass) (VI)
  - Entrada (V2)
  - Salida flujo grueso (V6)
  - Salida flujo fino (V5)
- e).- Medidores de Flujo :
  - Tipo Venturi (17)
  - Tipo Orificio (18)
  - Tubo Pitot estático (16)
- f).- Tanque de almacenamiento (23)
- g).- Tanque volumétrico (22)
- h).- Bomba (24)
- i).- Indicador de nivel (25)
- j).- Manómetros diferenciales de :
  - Mercurio (20)
  - Agua (21)

CARACTERISTICAS DEL APARATO

T U B E R I A	DIAMETRO NOMINAL (Pulgadas)	DIAMETRO INTERNO (Metros)
---------------	--------------------------------	------------------------------

Lisa No. 1	1/8	3.6 E-03
------------	-----	----------

Lisa No. 2	1/4	6.8 E-03
------------	-----	----------

Rugosa No. 3	11/16	1.56 E-02
--------------	-------	-----------

Lisa No. 4 y 5	11/16	1.75 E-02
----------------	-------	-----------

Lisa No. 6	15/16	2.4 E-02
------------	-------	----------

<u>ACCESORIOS</u>	1/2	
-------------------	-----	--

<u>VALVULAS</u>	1/2	
-----------------	-----	--

EXPANSIONES

REDUCCIONES

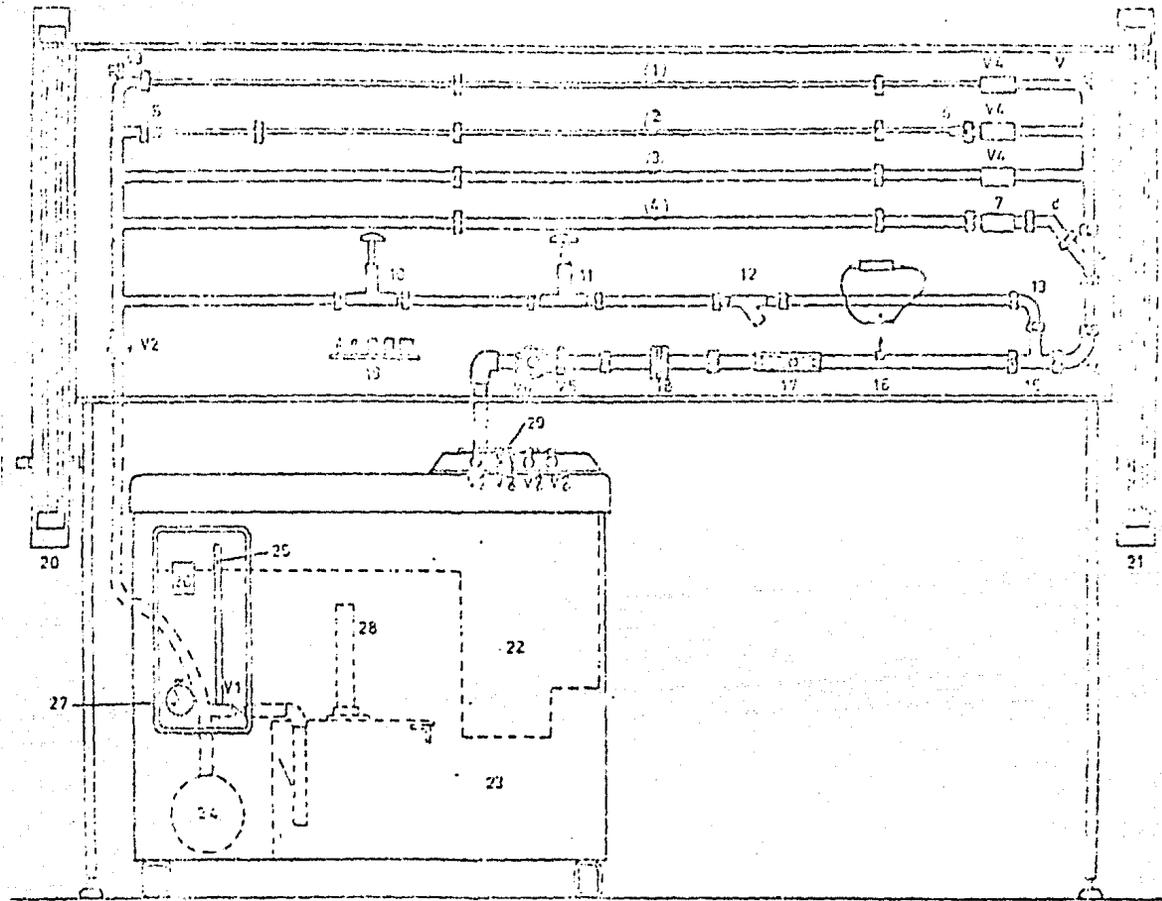
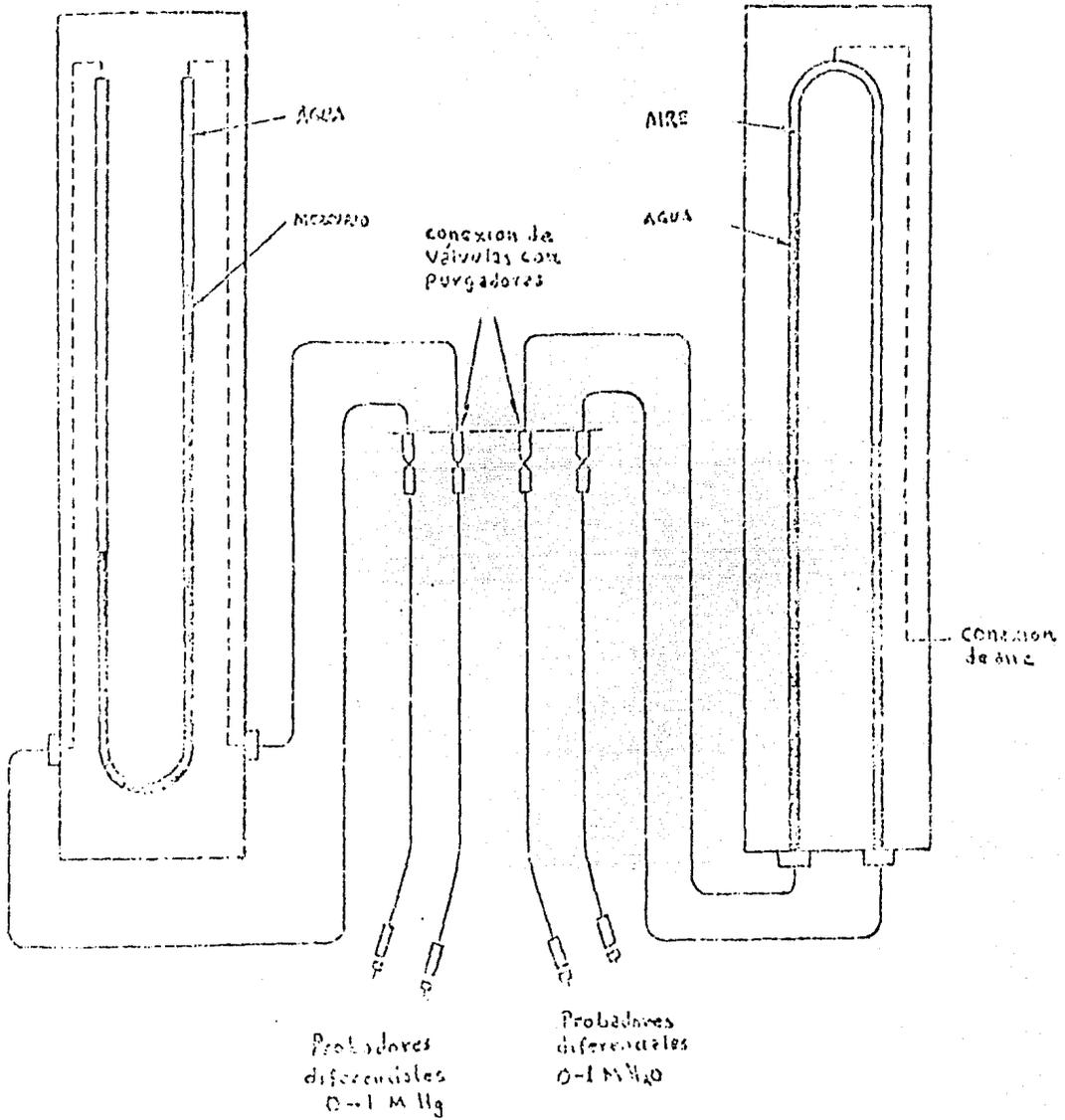


Fig. (4) APARATO DE FRICCIÓN DE FLUIDOS.



Fig(5) DIAGRAMA DE CONEXION DE MANOMETROS

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

- 1.- Llenar el tanque de almacenamiento (23), con agua limpia aproximadamente 50 mm, abajo del nivel superior
- 2.- Conectar el aparato al suministro de corriente.
- 3.- Cerrar todas las válvulas (ver diagrama del aparato), excepto las dos válvulas de Venteo (V3).
- 4.- Accionar el botón de arranque (26), y estar atento a la operación audible de la bomba (24); si la bomba cavita -- abrir la válvula de recirculación (VI), y observar si el agua es regresada al tanque de almacenamiento (23),, si no hay flujo, pedir el purque de la bomba, si hay flujo, cerrar la válvula (VI) y continuar.
- 5).- Cerrar las válvulas de Venteo (V3)
- 6).- Abrir la válvula de salida del flujo grueso (V6) y luego la (7).
- 7.- Con la bomba operando abrir la válvula de entrada (V2), y observar la descarga del agua en el tanque volúmetrico (22), y observar el indicador de nivel (25)
- 8.- Levantar el accionador de la válvula de descarga (29), situado en la parte superior del tanque volúmetrico (22) y observar que el agua, regrese nuevamente al tanque de almacenamiento.
- 9.- Seleccione el accesorio o válvula a probar para determinar la caída de presión, cerrando la válvula de bola (7) y abriendo las válvulas de compuerta y de globo.
- 10.- Colocar en las tomas de presión, los probadores que están

N O T A :

Las válvulas macho están colocadas encima del tanque volúmetrico con el fin de purgar el punto de prueba y evitar las burbujas de aire que interfieren en las lecturas manométricas.

11.- Para medir el flujo volúmetrico, se cierra la válvula de descarga (29), bajando el tapón esférico y se observa el indicador de nivel; anotando el volumen inicial y con la ayuda del cronómetro se determina el flujo volúmetrico.

En el tubo(1), el flujo es muy pequeño. por lo que es recomendable utilizar una probeta de dos litros , en lugar de tanque volúmetrico, con su medidor de nivel, así como también es conveniente usar la válvula de salida flujo fijo (V5).

12.- Cerrando parcialmente la válvula de salida, ya sea la -- (V6) o la (V5); se controla el flujo con la válvula para obtener las lecturas deseadas.

13).- Se tabulan los datos, de flujo volúmetrico y caída de presión para cada corrida.

## A C T I V I D A D E S

- 1.- Determinar el flujo volumétrico y medir la caída de presión en cada accesorio o válvula de que dispone el aparato.
- 2.- Con los datos obtenidos determinar  $K$  y  $L/D$ , para cada accesorio y válvula.
- 3.- Hacer un análisis de los valores obtenidos en comparación con los valores de la literatura.
- 4.- Graficar :
  - Abertura de válvula contra gasto volumétrico
  - Caída de presión en válvula contra gasto volumétrico

B I B L I O G R A F I A

- 1.- Fousta A. J : Wenzel L.A. "PRINCIPIOS DE OPERACIONES UNITARIAS" (Cfa. Editorial Continental México 1961).
- 2.- Knudsen and Katz Fluids Dynamic and Heat Transfer (Mc. Graw Hill Co. 1960)
- 3.- Crame "Flow of Fluids Through Valves Fittings and Piper (Crane Co. 1982 Nueva Edición Métrica).
- 4.- Burruel García Daniel "DETERMINACION DE PERDIDAS DE PRESION DEBIDO A LA FRICCION DEL FLUIDO A TRAVES DE TUBERIAS, VALVULAS, ACCESORIOS Y MEDIDORES DE FLUJO" (Tesis Experimental México 1984 F. de Química).

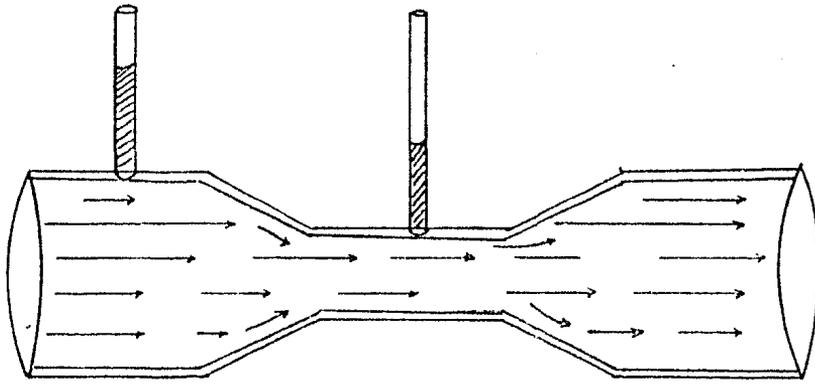
## CUESTIONARIO.

## "DETERMINACION DE K y L/D EN ACCESORIOS Y VALVULAS".

1. ¿ Que representa el coeficiente de resistencia K en un accesorio y una válvula.
2. Que es la longitud equivalente L/D?
3. Como influye la rugosidad relativa en el calculo de K en un accesorio o válvula?
4. Que es un accesorio?
5. Que es una válvula?
6. Escribir diez tipos de accesorios.
7. Que tipos de valvulas existen?
8. Que válvula presenta mayor resistencia al flujo?
9. En que tipo de valvula las caídas de presión son mayores?
10. Que ecuación se usa para calcular K en reducciones y expansiones?
11. Como se determina la velocidad de flujo a través de una válvula o accesorio?
12. Que se entiende por cabeza de velocidad?
13. Como influye el factor de fricción en el cálculo de K?
14. Como se determina la longitud equivalente en una válvula o accesorio?

# LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA

## MEDIDORES DE FLUJO



FACULTAD DE QUIMICA  
DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
Area de Ingenieria



MEDIDORES DE FLUJOO B J E T I V O

El alumno determinará la caída de presión en los medidores de orificio y venturi a diferentes flujos de agua; calculará los coeficientes de orificio y descarga respectivos.

I N T R O D U C C I O N

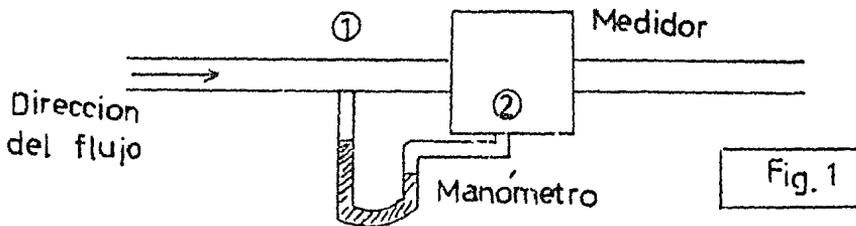
Uno de los métodos más comunes para determinar la velocidad de flujo de gases, vapores o líquidos; se usa en la medición de las caídas de presión causadas por la insecercción, en la línea por donde pasa el fluido, de una obstrucción que reduce la sección.

Cuando el fluido pasa a través de la reducción, aumenta su velocidad y su energía cinética.

Por medio de una combinación de los balances de energía y de masa se puede obtener la velocidad del fluido en función de sus propiedades y de la caída de presión, provocada por la obstrucción.

F U N D A M E N T O S

Consideremos una tubería provista de un medidor de flujo cuya lectura depende de la diferencia de presiones.



Los puntos 1 y 2, representan, los puntos en los cuales, se hará el balance de energía.

Estos están separados por una distancia pequeña en comparación, con la longitud total del sistema.

El comportamiento del medidor se puede analizar, a partir de la ecuación de Bernoulli.

$$-\int V dP = \frac{U^2}{2g_c} + w + \Delta Z + h_L \quad (1)$$

Donde :

- V : Volúmen Específico
- U : Velocidad
- w ; Trabajo de bombeo
- $\Delta Z$  : Diferencia de Altura
- $h_L$  : Pérdidas de Energía por fricción.

Si aplicamos la ecuación (1), a un fluido incomprensible, y si :  $Z = 0$  y  $w = 0$ , se tiene :

$$U_2^2 - U_1^2 = - 2g_c \left[ V(P_2 - P_1) + h_L \right] \quad (2)$$

Por la ecuación de continuidad :

$$U_1 \rho_1 S_1 = U_2 \rho_2 S_2 \quad (3)$$

Donde :

$$\rho_1 = \rho_2$$

Entonces :

$$U_2 = \frac{U_1 S_1}{S_2} \quad (4)$$

Substituyendo, la ecuación (4), en la ecuación (2), esta se convierte en :

$$U_1 = \sqrt{\frac{2 \left[ \frac{(\Delta P)}{\rho} - h_L \right]}{\left( \frac{S_1^2}{S_2^2} - 1 \right)}} \quad (5)$$

El término, entre los parentésis rectangulares representa la caída de presión atribuible a los cambios de energía cinética, entre los puntos 1 y 2. El término fricción, incluirá pérdidas debidas a la fricción de forma y la fricción de superficie.

La ecuación (5), recibe el nombre de "Ecuación General de Medidores de Flujo",

Esta ecuación, se aplica a cada tipo especial de medidor.

### MEDIDOR DE ORIFICIO

Un medidor de orificio consiste en una placa con una perforación, que se instala perpendicularmente a la dirección del flujo, obligando al fluido a pasar a través de la abertura; la cual se localiza generalmente en el centro de la tubería y tiene un diámetro que fluctúa entre el 30 y 80 % del diámetro interno del tubo.

El paso de un fluido a través de un orificio se ilustra en la siguiente figura.

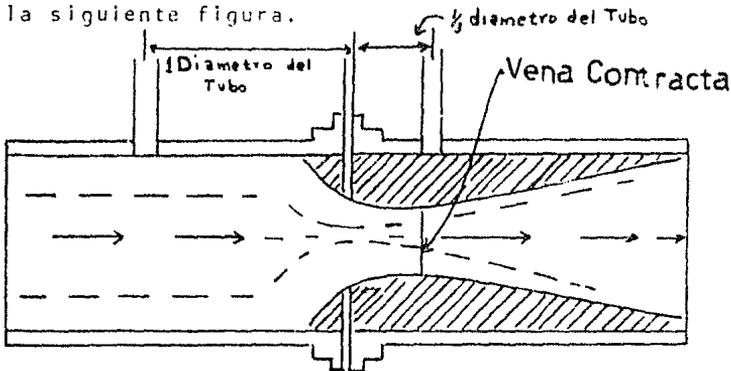


Figura 2

En las zonas cercanas al orificio, los elementos próximos a la pared del tubo, se dirigen hacia el centro para poder pasar a través de la abertura. Experimentalmente se comprueba que este efecto comienza a corta distancia de la placa y -- que la contracción continua una cierta distancia más allá de la misma, donde el fluido se ensancha hasta llenar nuevamente el tubo. La sección más estrecha del tubo se llama "Vena Contracta".

En efecto del orificio sobre el flujo se puede analizar a partir de la ecuación general de medidores.

Si consideramos el término entre llaves cuadrangulares de la ec(5) el término  $(\Delta P/P)$  representa la diferencia total de presión entre los puntos 1y2 y el término  $h_L$  incluye toda la fricción del fluido entre los mismos puntos. La diferencia entre estos términos representa el cambio de energía cinética entre los puntos 1y2 como se indica en la ec (2). Esta diferencia se puede expresar como una fracción de la caída total de presión  $(\Delta P)$  o sea:

$$-\frac{\Delta P}{P} - h_L = C_1^2 \frac{(-\Delta P)}{P} \quad (6)$$

Donde  $C_1^2$  factor de proporcionalidad siempre menor que 1. -- Las ecuaciones (5) y (6) se pueden combinar para obtener:

$$U = C_1 \sqrt{\frac{2g_c(-\Delta P)}{\left(\frac{S_1^2}{S_2^2} - 1\right)}} \quad (7)$$

Aunque las tomas de presión se pueden colocar sobre la vena contracta, es difícil medir con exactitud el area seccional Sin embargo por geometría:

$$S_2 = C_2 S_0 \quad (8)$$

Donde  $C_2 =$  constante geométrica

$S_0 =$  area de la sección transversal del orificio  $m^2$ .

Así pues combinando la ecuación (5) con la (7) obtenemos:

$$U_1 = C_1 \sqrt{\frac{2g_c(-\Delta P)}{\left(\frac{S_1^2}{C_2^2 S_0^2} - 1\right)}} \quad (8a)$$

Ahora definamos un coeficiente  $C_0$  tal que

$$C_0 \sqrt{\frac{2g_c(-\Delta P)}{\frac{S_1^2}{S_0^2} - 1}} = C_1 \sqrt{\frac{2g_c(-\Delta P)}{\frac{S_1^2}{C_2^2 S_0^2} - 1}}$$

El coeficiente  $C_0$  recibe el nombre de coeficiente de orifi-

cio y la ecuación final para el orificio se puede escribir de la siguiente forma:

$$U_1 = C_o \sqrt{\frac{2g_c(\Delta P)}{\frac{S_1^4}{S_0^4} - 1}} \quad (9)$$

Si usamos gasto en lugar de velocidad, resulta:

$$U = \frac{w}{S_1 \rho_1}$$

w = gasto másico

$$w = \rho C_o S_1 \sqrt{\frac{2g_c(-\Delta P)}{\frac{S_1^4}{S_0^4} - 1}} \quad (10)$$

$$\Delta P = P_1 - P_v$$

P<sub>v</sub> = presión en la vena contracta.

El coeficiente de orificio se correlaciona como una función del número de Reynolds en el orificio. Para ello se grafican los valores experimentales de C<sub>o</sub> contra el número de Reynolds del orificio D<sub>o</sub> U<sub>o</sub> ρ / μ (ver figura 3)

Los datos para orificios con bordes afilados y con conexiones en la garganta, se representan en las curvas de la siguiente gráfica.

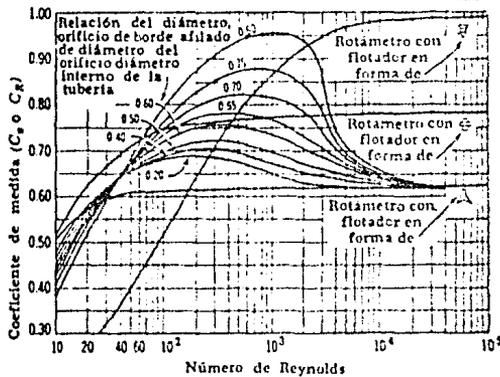


Figura (3)

Cuando el  $R$  es mayor que 30,000 el resultado se puede predecir usando  $C_o = 0.61$ , independientemente de la relación de diámetros. Experimentalmente si la presión  $P_2$  dependerá de la posición de las tomas de presión. Si comenzamos a medir la presión desde atrás de la placa,  $P_2$  decrecerá poco a poco al mover la toma, hasta que en la posición de la vena contracta sea mínima.

En este punto la sección del fluido es mínima y corresponde al valor de máxima velocidad y energía cinética. Al mover la toma hacia adelante, la presión aumentará gradualmente pero sin recobrar su valor inicial debido a las pérdidas irreversibles por fricción causadas principalmente por las turbulencias en el orificio.

Si en la ec(10) sustituimos  $P_v$  por  $P_2$  y  $C_o$  por  $C$  se verá que el valor de  $C_o$  deberá ser mayor que  $C$  excepto cuando  $P_2$  se mide en la vena contracta.

El valor numérico del coeficiente depende de la localización de las tomas de presión, así como de  $D_o/D_1$  del número de Reynolds.

La curva de  $C$  contra  $R$  para varios valores de  $D_o/D_1$  y para varios arreglos de las tomas se simplifica si utilizamos  $R$  mayores de 30,000 ya que entonces los valores del coeficiente son independientes del número de Reynolds.

#### MEDIDOR DE VENTURI

El medidor de venturi opera bajo el mismo principio que el de orificio, ya que indica el decrecimiento de la presión debido a un aumento gradual de la velocidad causada por una reducción incertada en un tubo horizontal.

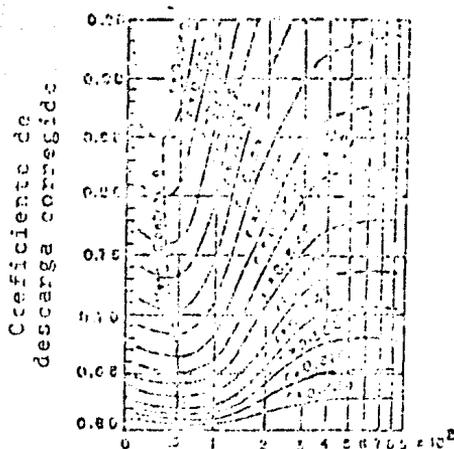


Figura 4: Colocación de las tomas de presión después del orificio en por cientos del diámetro de la tubería. distancia  
Diámetro de x 100  
tubería.

En el venturi las pérdidas por fricción son considerablemente menores que en el orificio, debido a que la energía cinética se recupera como presión debido al aumento gradual en la sección. La construcción del venturi se muestra en la figura siguiente, en la cual se indica también la localización de las tomas de presión.

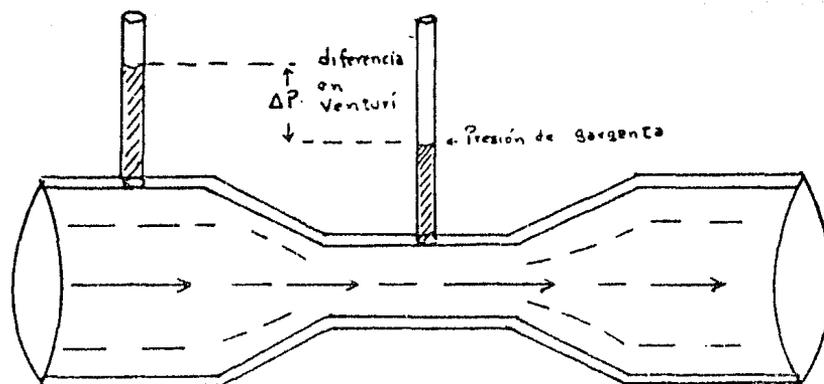


Figura 5. Medidor Venturi

Los venturis son difíciles de construir y, en consecuencia -- son más caros que los orificios. Las pérdidas permanentes -- por fricción en este medidor son del 10% de la caída de presión a través de él; las que comparadas con las causadas por un orificio son mucho menores.

Las ecuaciones para los medidores venturi son las mismas que para los orificios, y en el rango usual de operación, Reynolds mayores de 10,000, el coeficiente de descarga es mayor que para los orificios.

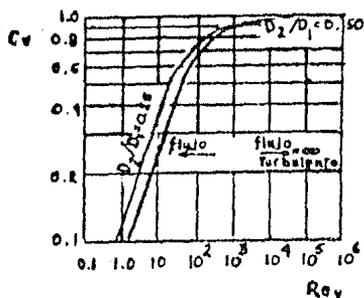


figura 6

El coeficiente de descarga de la figura anterior se obtuvo para líquidos y se define por la ecuación.

$$L = \rho C_v S \sqrt{\frac{2g_c(-\Delta P)}{\frac{S_1^2}{S_2^2} - 1}} \quad (11)$$

En donde  $C_v$  es el coeficiente de descarga del venturi, cuyo valor es de 0.98 para  $Re_v$  mayores de 10,000

Tanto el venturi como el orificio miden velocidades promedio Así:  $Re_v = D_v V_v \rho / \mu$  donde  $Re_v =$  Reynolds en la garganta del venturi.

#### ROTAMETROS:

Son aforadores que consisten esencialmente de un flotador indicador que puede moverse libremente en un tubo vertical ligeramente cónico con el extremo menor hacia abajo.

El fluido entra por el extremo inferior del tubo y hace que el flotador suba hasta que el área anular entre el y la pared del tubo sea tal que la caída de presión en este estrechamiento baste exactamente para equilibrar el peso del flotador. Generalmente el tubo cónico es de vidrio y lleva grabada una escala lineal sobre la que la posición del flotador indica el gasto.

Los rotámetros no necesitan tramos rectos de tubería, antes y después del punto donde se instalan. La pérdida de presión se mantiene constante sobre el intervalo completo del gasto.

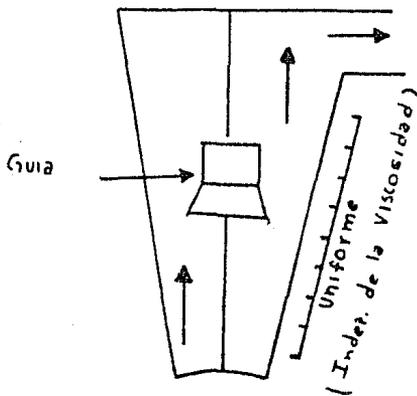


figura 7 ( Rotámetro )

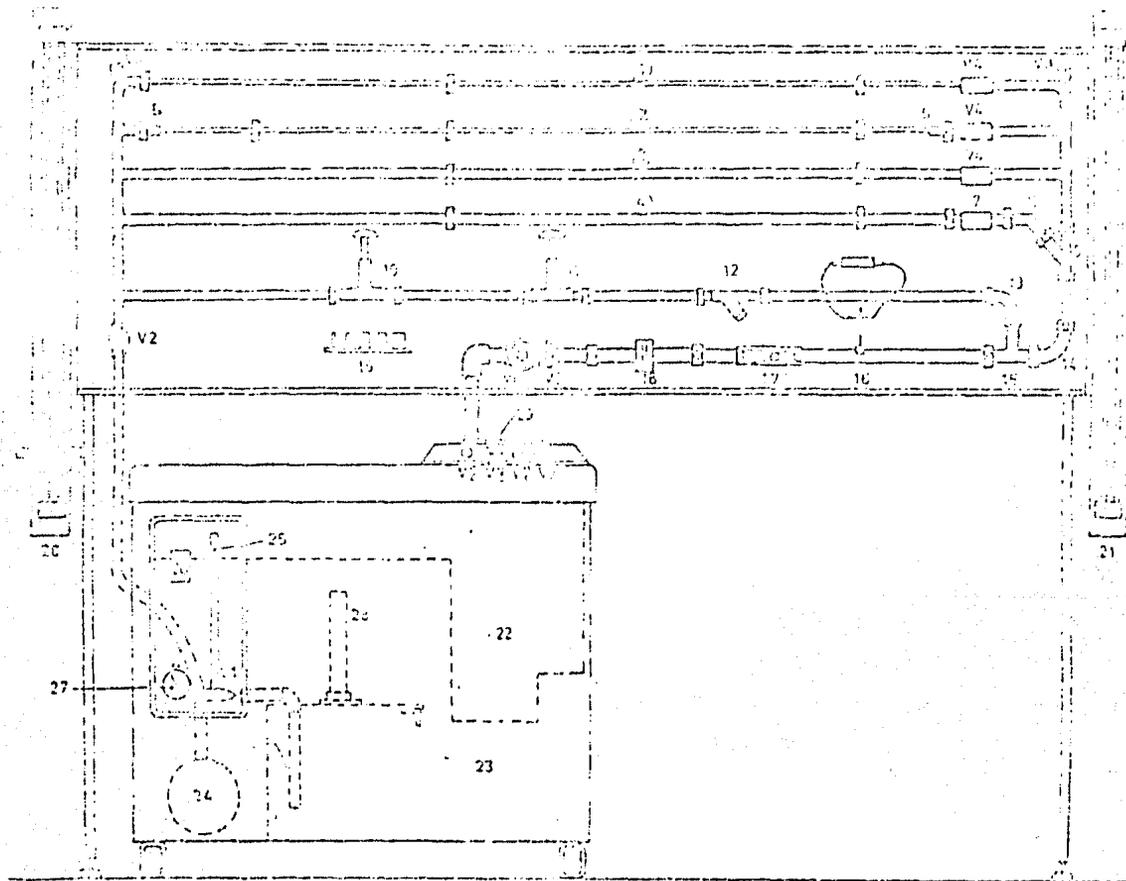


Fig. 8 APARATO DE FRICCIÓN DE FLUIDOS.

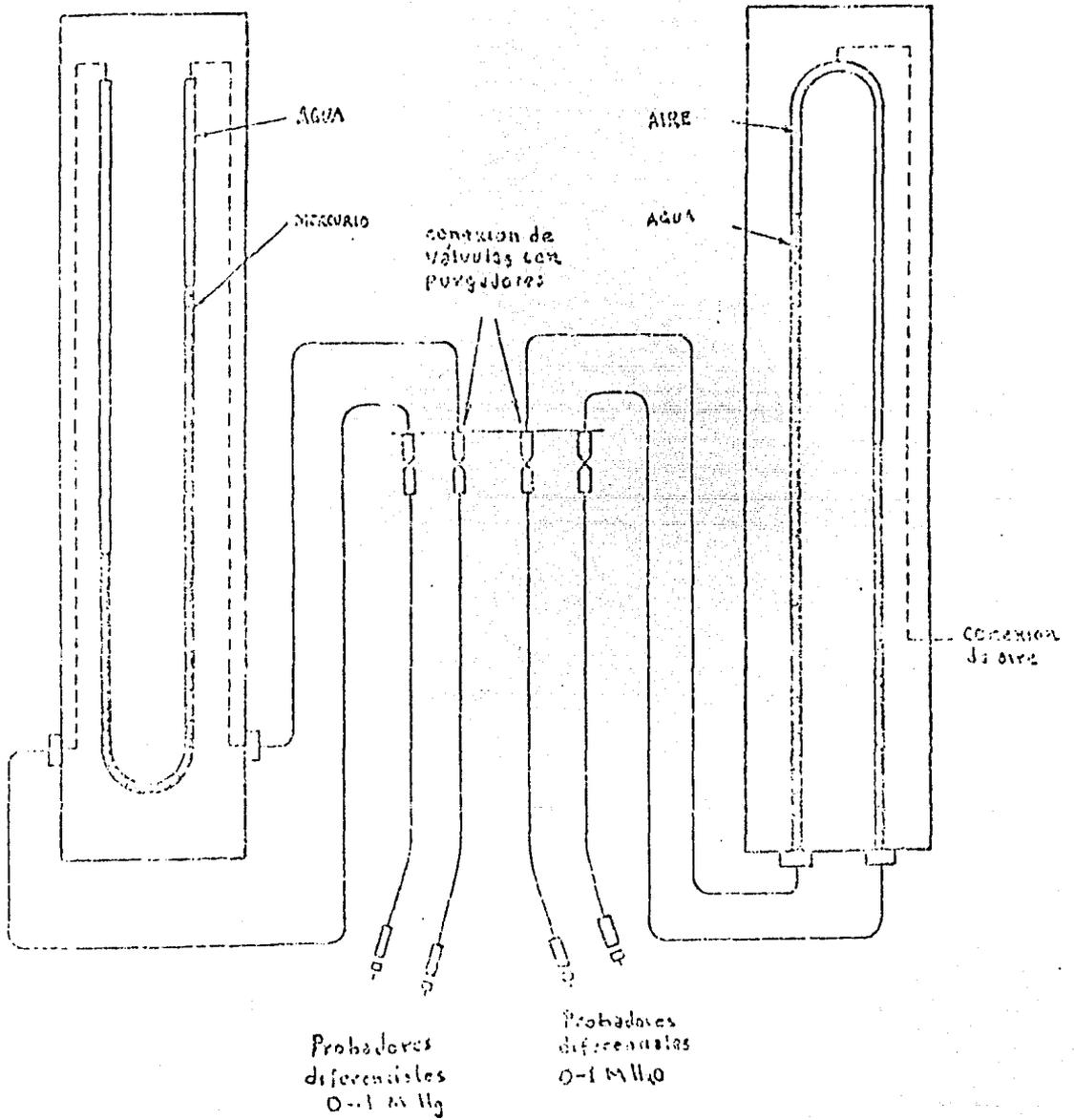


Fig.(9) DIAGRAMA DE CONEXION DE MANOMETROS

#### 4. Descripción del aparato.

- a) El aparato de fricción de fluidos cuenta además de la tubería de prueba, con medidores de flujo (venturi y orificio).  
Como podemos apreciar en el diagrama (fig. ) ambos medidores están colocados en un tubo liso de acrílico (6) con sus respectivas tomas de presión.

#### b) Datos de equipo

Medidor de Venturi

Diámetro del tubo =  $2.4 \text{ E-}02 \text{ m}$

Diámetro de garganta =  $1.4 \text{ E-}02 \text{ m}$

Coefficiente de descarga = ( $C_v = 0.98$ ) a R 10,000

Medidor de orificio

Diámetro del tubo =  $2.4 \text{ E-}02 \text{ m}$

Diámetro del orificio =  $2 \text{ E-}02 \text{ m}$

Coefficiente de orificio = ( $C_o = 0.61$ )

#### 5. Técnica de operación

1. Revisar que el tanque de almacenamiento (23) esté lleno de agua hasta 50 mm abajo del nivel superior.
2. Conectar el aparato al suministro de corriente.
3. Cerrar todas las válvulas (consultar diagrama) excepto las válvulas de venteo (V3).
4. Accionar el botón de arranque (26) y estar atento a la operación audible de la bomba
5. Abrir la válvula (V1) de recirculación y observar que el agua regrese al tanque de almacenamiento (23).
6. Cerrar la válvula V1 y las válvulas de venteo (V3).
7. Abrir la válvula de salida (V6), luego la válvula (7) y a continuación la válvula de entrada (V2), y observar la caída del agua en el tanque volumétrico (22).

8. Levantar el accionador de la válvula de descarga (29) situada en la parte superior del tanque volumétrico y observar que el agua es regresada nuevamente al tanque de almacenamiento.
9. Accionar el medidor a probar (Corificio o venturi).
10. Colocar en las tomas de presión, los probadores que están conectados a las válvulas (VB) y que a su vez están conectadas al manómetro diferencial de mercurio para leer la caída de presión.
11. Para medir el gasto volumétrico se cierra la válvula de descarga (29) bajando el tapón esférico y se observa el indicador de nivel anotando el volumen inicial y con la ayuda de un cronómetro se determina el flujo.
12. Cerrando parcialmente la válvula de salida (V6) se controla el flujo para obtener las lecturas deseadas.
13. Se tabulan los datos de flujo volumétrico y caída de presión para cada corrida.

## 6) TRABAJO POSTERIOR A LA REALIZACION DE LA PRACTICA

- a) La gráfica de velocidad contra AP para el medido de orificio y el venturi.
- b) El valor de  $C_o$  y  $C_v$  para cada corrida.
- c) Los valores de  $C_o$  y  $C_v$  obtenidos experimentalmente con tra el Reynolds de orificio y el de garganta.
- d) Los valores de  $C_o$  teóricos corregidos por la colación de las tomas de presión.
- e) La comparación de los valores experimentales con los obtenidos de gráficas indicando el porciento de error.
- f) Una lista de los fabricantes o representantes de medidores de flujo en México.
- g) Catálogos proporcionados por esas compañías.

## BIBLIOGRAFIA

John H.Perry - Handbook of Chemical Engineering  
Mc Graw Hill - 1970

Foust A.H.Wensel L.A. Principles of Units Operations  
John Wiley and Sons New York - 1962

William H.Walker.- Principles of Chemical Engineering  
Mc Graw Hill. New York - 1937

DATOS OBTENIDOS: MEDIDORES DE FLUJO

Posición de la válvula	Volúmen (l)	Tiempo (seg)	Gasto l/seg)	Orificio (cm Hg)	Venturi (cm Hg)	Orificio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Venturi (Kg/cm <sup>2</sup> )
1							
2							
3							
4							
5							
6							

Datos: Características físicas

orificio =  $2 \text{ E-}02^m$

venturi =  $1.4 \text{ E-}02^m$

interno

tubería =  $2.38 \text{ E-}02^m$

Fluidos: Agua

T =

=

Grupo \_\_\_\_\_

Fecha \_\_\_\_\_

Profesor \_\_\_\_\_

OBSERVACIONES \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## CUESTIONARIO

## MEDIDORES DE FLUJO

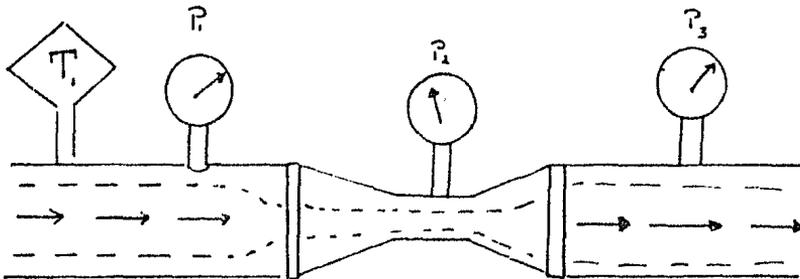
Nombre del alumno \_\_\_\_\_ Grupo \_\_\_\_\_

1. ¿ A que se llama medidor de flujo?
2. Escriba el nombre de tres medidores de flujo además de los ya mencionados (Venturi, orificio y rotámetro).
3. ¿Que ventajas y desventajas tiene el medidor de venturi con respecto al de orificio?
4. En que principio se basan los medidores de orificio y venturi?
5. Que es una vena contracta y donde se localiza?
6. Describa esquematicamente un rotámetro.
7. Bajo que principio opera un medido tipo rotámetro?
8. Que pérdidas de presión permanente produce la inserción de un medidor tipo venturi y de un medidor de orificio y como se cuantifican en cada caso?
9. A que se deben las pérdidas permanentes de presión de un medido de orificio?
10. Inrprete la gráfica que relaciona el número de Reynolds en el orificio contra el coeficiente de descarga y en que casos se aplica.
11. Interprete la gráfica de tomas de presión contra el coeficiente de descarga y cual es el criterio de aplicación.
12. Cuales son los diferentes tipos de errores experimentales y como se calculan?.

-----  
Profesor \_\_\_\_\_ Firma \_\_\_\_\_

# LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA.

## DETERMINACION DE VARIABLES



PRESION

TEMPERATURA

FLUJO VOLUMETRICO

DENSIDAD



FACULTAD DE QUIMICA  
DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
Area de Ingenieria



## DETERMINACION DE VARIABLES

OBJETIVO: El alumno determinará; el flujo volumétrico en tuberías lisas de P.V.C. y una artificialmente rugosa; así como en válvulas, accesorios y medidores de flujo.

Medirá la caída de presión en tuberías y accesorios instalados en el aparato utilizando los manómetros diferenciales de mercurio y agua.

### INTRODUCCION

Cuando se plantea un problema es necesario definirlo cualitativa y cuantitativamente; la importancia de cuantificar los hechos nos lo expresa el físico Inglés Lord Kelvin como sigue: "Cuando se puede medir aquello de lo que se habla y expresarlo en número entonces se puede asegurar que hay un conocimiento sobre ello". Ahora bien para definir un problema en Ingeniería Química se requiere medir las variables intensivas y expansivas. En los procesos industriales se manejan materias primas, servicios (agua, vapor, combustibles entre otros) materiales en proceso y productos. Todo ello se maneja en forma de corrientes y cada una está debidamente identificada y caracterizada por variables extensivas e intensivas.

Las variables intensivas no dependen de la masa del sistema, por ejemplo la temperatura, la presión, la densidad, el volumen específico entre otros. En el caso de un sistema homogéneo, una variable intensiva tiene el mismo valor en todo el sistema.

Por otro lado las variables extensivas si dependen de la masa del sistema por ejemplo el volumen, el peso entre otros. El valor de una variable extensiva es igual a la suma de los valores de las diferentes partes que lo constituyen.

Si el valor de una variable extensiva se divide entre la masa del sistema la variable resultante se conoce como variable específica como en el caso del volumen específico (volumen entre masa).

En esta práctica se determinarán las variables:

- Flujo volumétrico
- Presión (caída de presión)
- Densidad
- Temperatura.

### FUNDAMENTOS TEORICOS

**GASTO:** Es la cantidad de materia que pasa por un punto o que se procesa por unidad de tiempo.

El gasto puede ser:

- a) gasto volumétrico (volumen/tiempo).
- b) gasto másico (masa/tiempo).

Para calcular el gasto másico y el gasto volumétrico se pueden utilizar las siguientes ecuaciones:

$$w = M/t = U.A. \rho = Q \cdot \rho \quad (1)$$

$$Q = V/t = U.A = w/\rho \quad (2)$$

Donde:

w=gasto másico  $\text{Kg s}^{-1}$

Q=gasto volumétrico  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$

M=masa Kg

t=tiempo s

V=volumen  $\text{m}^3$

U=velocidad  $\text{ms}^{-1}$

$\rho$  = densidad  $\text{Kg m}^{-3}$

Nota: Al gasto volumétrico también se le conoce como flujo volumétrico.

PRESION

Es una variable intensiva que en Ingeniería Química generalmente se expresa como una fuerza ejercida sobre la unidad de área.

La presión de un fluido que circula a través de un tubo se mide con manómetros.

Manómetros: Son dispositivos que sirven para indicar la caída de presión a través de una sección donde se mide el flujo volumétrico. Los manómetros pueden ser de tubo de Bourdon, de columna líquida, diferenciales entre otros.

Si llenamos un ducto con un fluido incompresible sin que haya flujo, la ecuación de energía es:

$$\Delta Z \frac{g}{g_c} + V(P_2 - P_1) = 0. \quad (3)$$

o bien

$$\Delta P = -\frac{\Delta Z g}{\bar{V} g_c} = \rho \Delta Z \frac{g}{g_c} = \rho (Z_2 - Z_1) \frac{g}{g_c} \quad (4)$$

donde :

$\Delta P$  = caída de presión en  $\text{Kg/m}^2$  o mm de Hg.

$g_c$  = constante dimensional

$g$  = aceleración de gravedad

$\rho$  = densidad  $\text{Kg/m}^3$

$\bar{V}$  = volúmen específico  $\text{m}^3/\text{Kg}$

En esta forma la caída de presión se expresa en términos de altura de una columna vertical de un fluido de densidad.

La ecuación (4) se aplica a manómetros de tubo en forma de U el cual se muestra en la figura 1.

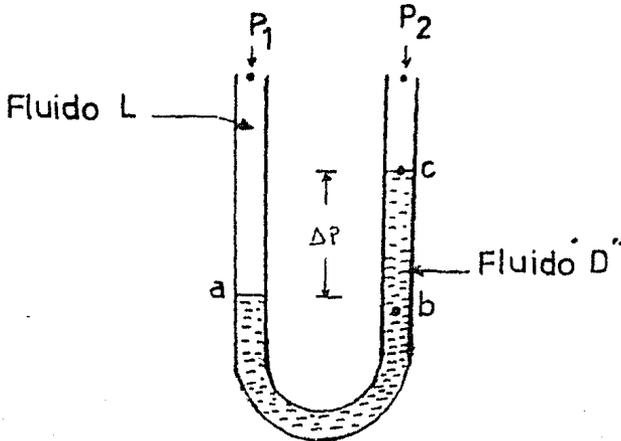


Figura 1. Manómetro diferencial

El fluido D no debe ser idéntico ni misible con el fluido que circula a través de la tubería. Algunas veces es mejor usar un fluido más pesado que el fluido que circula como se muestra en la fig. 1. Otras veces se usa un fluido más ligero, en cuyo caso el tubo en U se invierte.

En la figura 1 se desea medir la caída de presión entre  $P_1$  y  $P_2$ . La caída de presión se relaciona con la diferencia de altura entre los puntos a y c, recibiendo el nombre de lectura manométrica ( $\Delta P'$ ).

La presión en el punto (b) se determina con la ec(4); esto es:

$$P_b = P_2 + (Z_d - Z_c)\rho_L + (Z_c - Z_b)\rho_D \quad (5)$$

Puesto que en el punto b es estacionario, la presión indicada en la ecuación (5) se debe balancear por una presión que actúa sobre dicho punto en dirección opuesta:

$$P_b = P_1 + (Z_c - Z_a)\rho_L \quad (6)$$

Igualando los valores de  $P_b$  obtenidos en las ecuaciones (5) y (6) resulta:

$$P_2 + (Z_d - Z_c)\rho_L + (Z_c - Z_b)\rho_D = P_1 + (Z_c - Z_a)\rho_L \quad (7)$$

pero  $Z_e = Z_d$  y  $Z_a = A_b$ ; por consiguiente.

$$P_2 - P_1 = [(Z_e - Z_a) - (Z_d - Z_c)]\rho_L - \rho_D(Z_c - Z_b)$$

$$P_2 - P_1 = (Z_c - Z_a)\rho_L - (Z_c - Z_a)\rho_D$$

o bien

$$-\Delta P = P_1 - P_2 = (Z_c - Z_a) (\rho_D - \rho_L) \quad (8)$$

En la ecuación (7)  $(Z_c - Z_a)$  corresponde a la lectura del manómetro indicada en una escala apropiada.

El balance de fuerzas para determinar la lectura de caída de presión, es general para manómetros diferenciales en forma de U.

#### DENSIDAD.

La densidad es una relación de masa por unidad de volumen, por ejemplo  $\text{g/cm}^3$ ,  $\text{Kg/m}^3$  ó  $\text{lb/pie}^3$ .

Para determinar la densidad de una sustancia se debe conocer tanto el volumen, como su masa o peso.

Se define como peso la cantidad de materia que posee un cuerpo o fluido y como peso la fuerza de atracción que ejerce la tierra sobre un cuerpo.

La densidad se puede expresar:

1. Densidad absoluta: La densidad de una sustancia homogénea es la masa por unidad de volúmen de dicha sustancia y depende de la temperatura.

$$\rho = \frac{M}{V} \text{ o densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{volúmen}} \quad (9)$$

2. Densidad relativa: La densidad relativa de un material con respecto a otro, es el cociente entre las densidades absolutas del primero y la densidad absoluta del segundo. Si  $\rho_1$  y  $\rho_2$  son las densidades absolutas de los materiales, la densidad relativa es:

$$\rho_{1,2} = \frac{\rho_1}{\rho_2} \quad (10)$$

$$\rho_{2,1} = \frac{\rho_2}{\rho_1} \quad (11)$$

La densidad relativa es adimensional.

### TEMPERATURA

La temperatura es una variable intensiva y se puede definir como: "La suma de energía cinética de todas las moléculas de un cuerpo".

Las principales escalas de temperatura son:

Centigrada:  $^{\circ}C = \frac{5(F^{\circ} - 32)}{9}$

Fahrenheit  $F^{\circ} = \frac{9}{5} C^{\circ} - 32$

Kelvin  $K^{\circ} = C^{\circ} + 273$

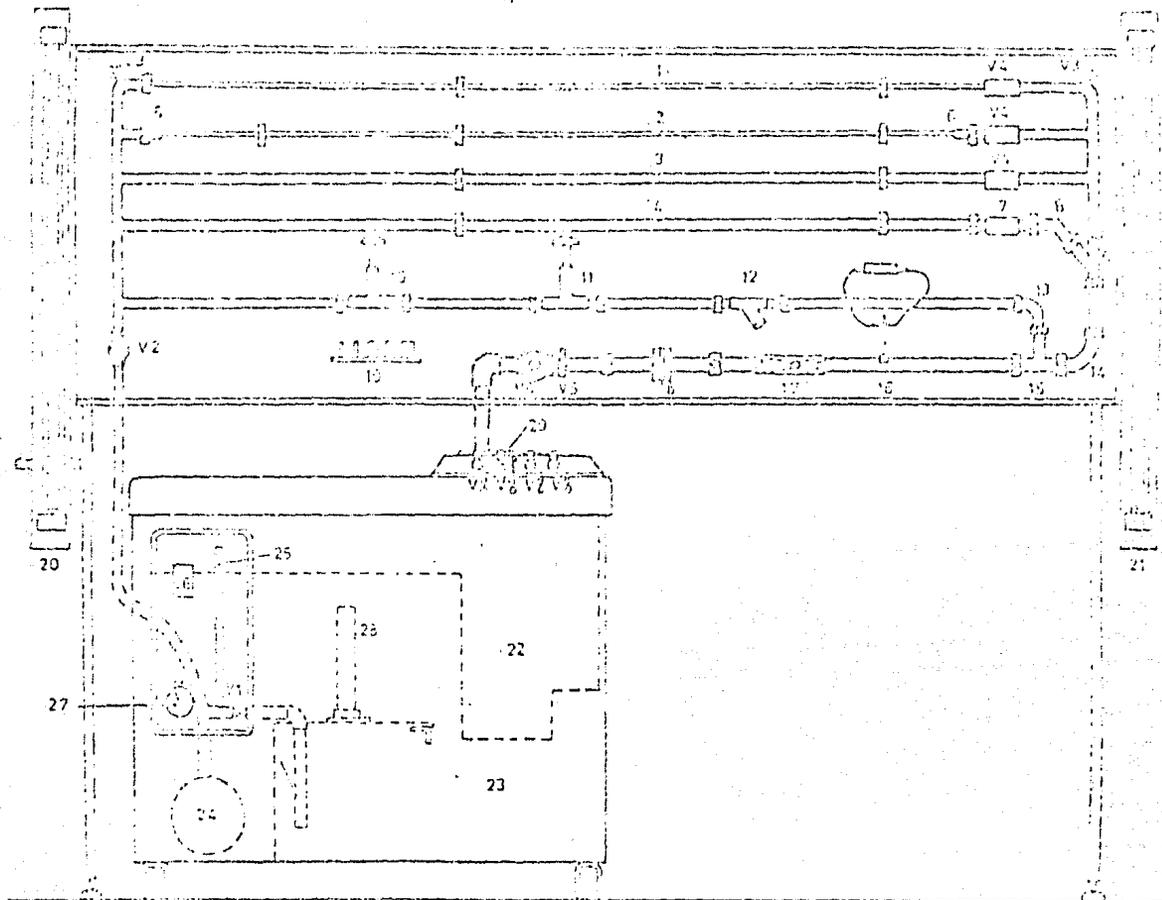


Fig. 2 APARATO DE FRICCION DE FLUIDOS.

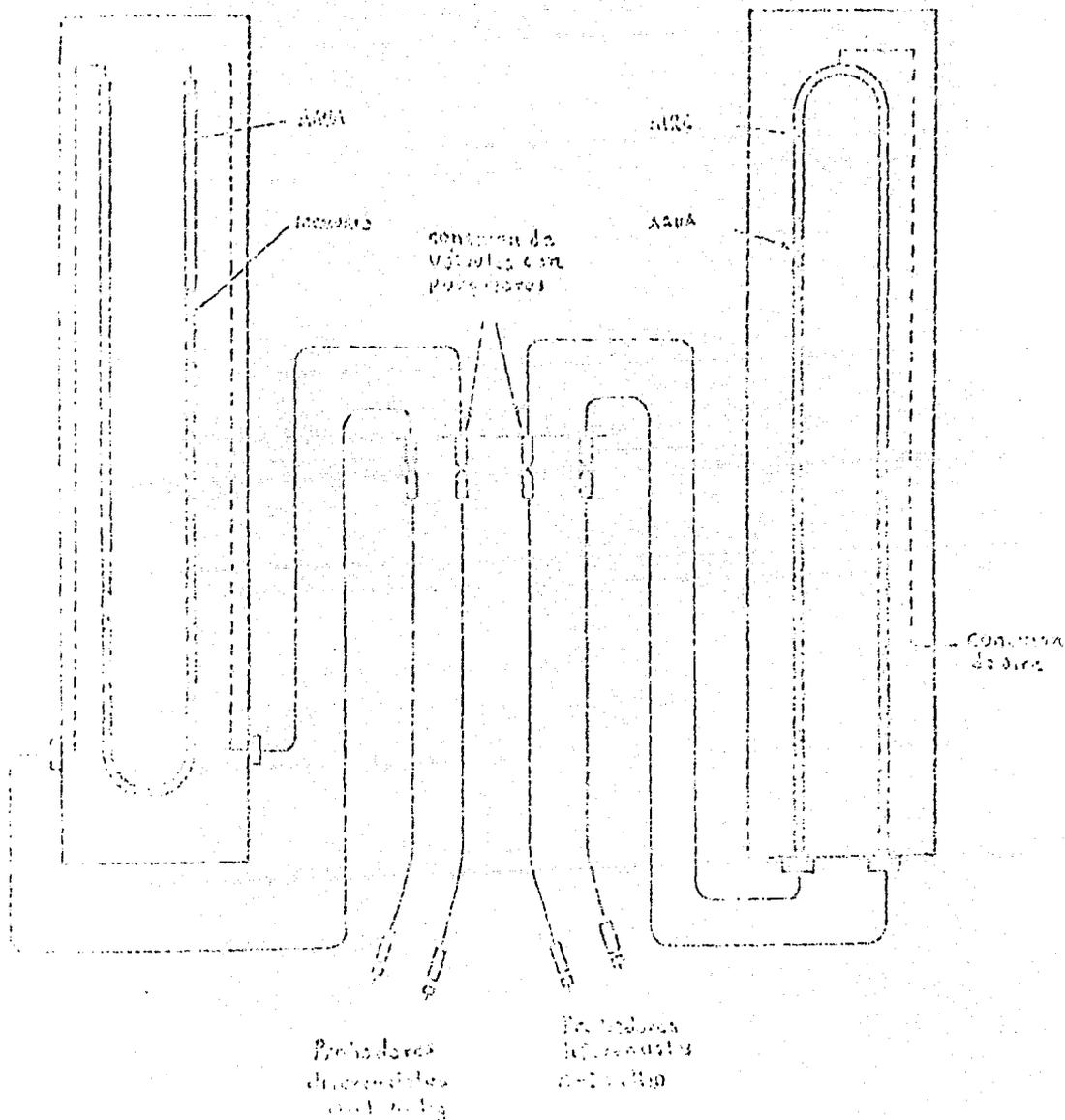


Fig.(3) DIAGRAMA DE CONEXION DE MANOME-TROS

CARACTERISTICAS DEL APARATO

TUBO	DIAMETRO NOMINAL (pulg)	DIAMETRO INTERNO (m)
Liso 1	1/8	3.6 E-03
Liso 2	1/4	6.8 E-03
Rugoso 3		1.52 E-02
Liso 4 y 5	11/15	1.75 "
Liso 6 (acrílico)	15/16	2.4 "
Diámetro de Orificio		2. "
Diámetro de Gargante		1.4 "

Longitud de las tomas de presión en tubos: (1 m)

Material de las válvulas (10 y 11): Bronce

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

1. Llenar el tanque de almacenamiento (23) con agua limpia hasta aproximadamente 50 mm abajo del borde superior.
2. Conectar el aparato al suministro de corriente.
3. Cerrar todas las válvulas (Ver diagrama del aparato) excepto las válvulas del venteo (V3).
4. Accionar el botón de arranque (26) y estar atento a la operación audible de la bomba (24); si la bomba cavita abrir la válvula V1 y observe si el agua es descargada en el tanque de almacenamiento (23), si no hay flujo pedir se purgue la bomba, si hay cerrar la válvula V1.
5. Cerrar las válvulas de venteo (V3)

6. Abrir la válvula de salida V6 y luego la válvula (7)
7. Con la bomba operando abrir la válvula de entrada (V2), y observar la descarga de agua en el tanque volumétrico (22) y el indicar de nivel (25).
8. Levantar el accionador de la válvula de descarga (29) situado en la parte superior del tanque volumétrico y ver que el agua sea regresada de nuevo al tanque de almacenamiento (23).
9. Seleccione la tubería a probar, abrir la válvula (V4) correspondiente (que permite el flujo a través de la tubería) y cerrar la válvula (7).
10. Colocar en las tomas de presión los probadores que están conectados a las válvulas macho de tres vfas (V8) y que a su vez están conectados al manómetro diferencial de mercurio, para poder leer la caída de presión.
11. Para medir el gasto volumétrico se cierra la válvula de descarga (29) bajando el tapó esférico y se observa el indicador de nivel anotando el volumen inicial y con la ayuda de un cronómetro se determina el flujo volumétrico.
12. Cerrando parcialmente la válvula de salida, ya sea V6 ó V5 se controla el flujo y así obtener las lecturas deseadas.
13. Se tabulan los datos de calidad de presión y flujo volumétrico para cada corrida.

### ACTIVIDADES

El alumno:

- a) Calculará el flujo volumétrico (Ec 2) en tuberías 1,2,3 y 4.
- b) Medirá la caída de presión en la válvula de compuerta y válvula de globo a diferentes flujos.
- c) Medirá la caída de presión en tuberías lisa y rugosa artificialmente.
- d) Calculará el flujo volumétrico y medirá la caída de presión en diferentes accesorios del aparato de fricción de fluidos.
- e) Medirá la temperatura del fluido
- f) Calculará la densidad del fluido a una temperatura dada.

### BIBLIOGRAFIA

1. Estivalet. "Balances de Materia y Energía" F.Q.U.N.A.M. 1975, T.P. 155 S-73
2. Himmeblau "Principios y Cálculos Básicos de Ingeniería Química" C.E.C.SA.1977.
3. Puro de la Burbolla.
4. Burruel García Daniel "Determinación de Pérdidas de Presión debido a la fricción de fluidos a través de tubería, accesorios y medidores de flujo Tesis experimental 1984.

HOJA DE DATOS

DETERMINACION DE VARIABLES

Corrida	P <sup>r</sup> mm de Hg	Flujo Volumétrico m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	Flujo másico Kg s <sup>-1</sup>
Tubo liso (1)			
Tubo 2			
Tubo 3			
Tubo 4			
Válvula de compuerta			
Válvula de globo			
Válvula de bola			
Codo de 90°			
T de 90°			
Ensanchamiento			
Reducción			
Vuelta de 90°			
Medidor ventur			
Medidor de orificio			

Profesor \_\_\_\_\_

Firma \_\_\_\_\_

## CUESTIONARIO

### DETERMINACION DE VARIABLES

1. ¿Que son las viarables intensivas?. Dar 4 ejemplos.
2. ¿Que son las variables extensivas?. Dar 4 ejemplos.
3. ¿Que es el gasto volumétrico y que tipo de variable es?  
¿Por que?
4. ¿Como se transforma el valor de gasto volumétrico a gasto másico?
- 5.- Definir
  - a) Presión diferencial
  - b) Presión manométrica
  - c) Presión Albsoluta
  - d) Presión Barométrica
  - e) Presión hidrostática
6. Como se transforma mm de Hg
  - a) Pascal
  - b) Bar:
  - c)  $\text{kg/cm}^2$
  - d)  $\text{Kg/m}^2$
  - e)  $\text{Lb/pulg}^2$
7. Bajo que principio funciona un manómetro diferencial?
- 8.¿Parq que sirve la determinación de flujo volumétrico y la caída de presión?
9. Definir a) Temperatura    b) calor.
10. Como varia la densidad en relación a la temperatura?

-----

Alumno \_\_\_\_\_ Grupo \_\_\_\_\_

Profesor \_\_\_\_\_ firma \_\_\_\_\_

Nota: Si este cuestionario puede ser corregido, se les agradece para tener un material didáctico mas completo.

## CONCLUSIONES

El aparato de fricción de fluidos quedó instalado en el área de flujo de fluidos del laboratorio de Ingeniería Química: se realizaron pruebas para verificar su correcto funcionamiento con todos sus accesorios y tuberías originales de acuerdo a lo previsto.

Se pudo comparar la caída de presión entre la tubería lisa de P.V.C. y una artificialmente rugosa; así como en accesorios, válvulas y medidores de flujo tipo venturi y orificio.

Se obtuvo el factor de fricción (Fanning y Darcy) utilizando una ecuación que relaciona la caída de presión observada y el flujo volumétrico. Este valor fue comparado con el obtenido en la literatura mediante la gráfica que relaciona número de Reynolds y factor de fricción para tubería lisa de P.V.C.

Las ecuaciones de Von Karman y Nikuradse no se aplican a la tubería y accesorios del aparato (excepto para la tubería artificialmente rugosa) ya que dichas ecuaciones relacionan el factor de fricción con la rugosidad relativa de las paredes del tubo. Así también el uso del diagrama de Moody se utilizó solo para la tubería artificialmente rugosa.

Se propusieron cuatro prácticas que pueden llevarse a cabo en el aparato de fricción de fluidos:

1. Factor de Fricción.
2. Determinación de variables
3. Medidores de flujo
4. Determinación de  $K$  y  $L/D$  en accesorios y válvulas

Se pueden proponer más prácticas para el equipo de fricción de fluidos debido a la versatilidad del mismo y las ventajas que este ofrece en cuanto a funcionamiento y confiabilidad.

Los valores experimentales de factor de fricción comparados con los obtenidos en la gráfica presentan una desviación de 3 a 5 milésimas lo que nos demuestra la ventaja de utilizar el nuevo aparato de fricción de fluidos con respecto al anteriormente utilizado: Además de su fácil manejo y su reducida área de trabajo.

#### COMENTARIOS.

En general el tema "Flujo de Fluidos" presenta muchísima información como se expone en el capítulo VII (Bibliografía) pero desafortunadamente existe muy poca información acerca de flujo de fluidos a través de tuberías de P.V.C., cuyo material en un futuro vendrá a reemplazar a la tubería comercial de acero galvanizado e inoxidable, por sus enormes ventajas tanto en manejo, como en resistencia a los agentes químicos y externos.

Las pérdidas de energía en la tubería de P.V.C. son mucho menores que en la tubería comercial de Hierro, acero, concreto entre otros.

Esto se debe más que nada a que la naturaleza de las paredes del tubo P.V.C. son lisas y esto crea menos turbulencia y por lo tanto menor resistencia al fluido que circula a través de él, por lo que las pérdidas de energía por fricción que fueron objeto de nuestro estudio son menores. Esto por supuesto nos proporciona un ahorro en energía que es proporcional al cabalaje de la bomba utilizada.

En resumen el uso de la tubería y accesorios de P.V.C. ofrece amplias ventajas tanto a nivel industrial como en plantas piloto.

## BIBLIOGRAFIA.

- 1.- Knudsen and Katz. Fluids Dynamics and Heat Transfer  
McGraw Hill 1960.
- 2.- Foust A.J., Wnsel L.A. "Principios de Operaciones Unitarias" Compañía Editorial Continental.  
México, 1961.
- 3.- Mataix Claudio. Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas.  
Harper and Row Publishes Inc.
- 4.- Street and Wyle "Fluids Mecanics"  
7a. Editiron 1981 Mc Graw Hill Co.
- 5.- Whitaker. Introduction to Fluids Mecanics  
Prentice-Hall Inc.  
1968 Englewood Clifts D.J.
- 6.- Kaufman. Fluids Mecanics  
Mc Graw Hill Book Company.
- 7.- Crane Flow Fluids Through Vales, Fittings and Pipe  
Crane Co. 1982 Edition Metric
- 8.- Vennard. Elementos de Mecánica de Fluidos  
Editorial C.E.C.S.A. 1962
- 9.- Himmeblau "Principios y Cálculos Básicos de la Ingeniería Química".  
Editorial C.E.C.S.A. 1977.
- 10.- Manual del Aparato de Fricción de Fluidos por  
Armfield Tehcnical Education Company  
Limited.  
London, England.

11.- Catálogo de P.V.C. por Asbestos de M<sup>e</sup>xico, S.A.

12.- Ing.Francisco Garaicochea "Apuntes de Transporte de  
Hidrocarburos"  
Facultad de Ingenier<sup>í</sup>a, U.N.A.M.