



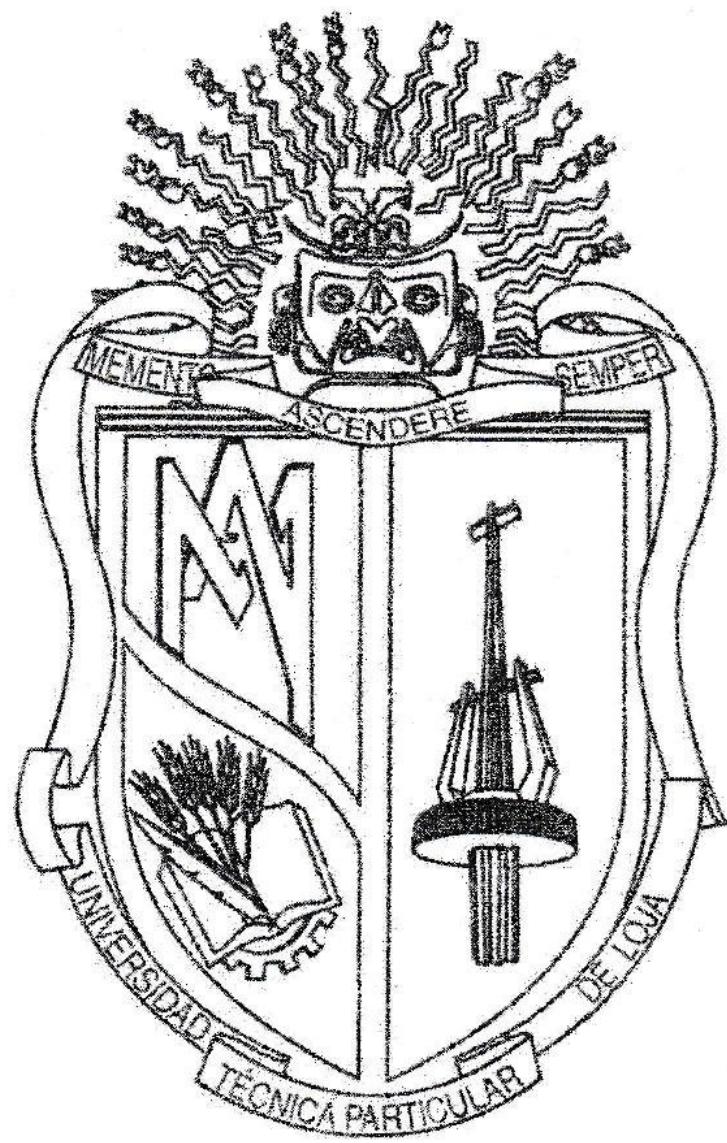
MANUAL DE LABORATORIO

Mecánica de

Fluidos

José Sánchez Paladines

Holger Benavides Muñoz





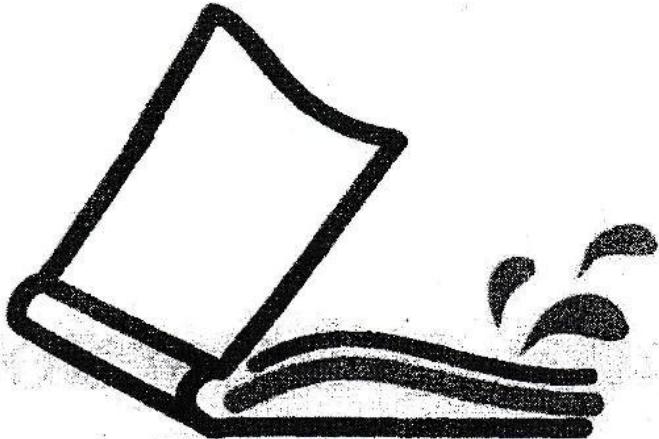
UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

Manual de laboratorio

Mecánica de Fluidos

José Sánchez Paladines
Holger Benavides Muñoz

El presente documento está orientado al apoyo académico de los profesionales en formación de la Universidad Técnica Particular de Loja que cursan las cátedras de Mecánica de Fluidos, Dinámica de Fluidos e Hidráulica.



MANUAL DE LABORATORIO MECÁNICA DE FLUIDOS

**UNIVERSIDAD José Sánchez Paladines
TÉCNICA Holger Benavides Muñoz
PARTICULARDE
LOJA**

El presente documento está orientado al a
Unidad de Ingeniería académico de los profesionales en formac
Civil, Geología y la Universidad Técnica Particular de Loja
Minas cursan las cátedras de Mecánica de Fluido
Dinámica de Fluidos e Hidráulica.

**Laboratorio de
Mecánica de Fluidos
Enero 2010**

ISBN: 978-9942-00-710-0

INTRODUCCIÓN

La Mecánica de Fluidos, rama de la Mecánica, se encarga de estudiar la incapacidad que tienen los líquidos y gases de resistir esfuerzos cortantes, así como su comportamiento –estático o dinámico– con el cuerpo que los limita, alberga o permite su trasiego, según sea el evento en cada escenario de una investigación.

Los ensayos y prácticas técnico-académicas compiladas en la presente guía tienen una relación cronológica y aplicación directa con los temas y capítulos desarrollados en la asignatura de Mecánica de Fluidos en cada período lectivo. Conjuntamente entre el facilitador –docente Investigador– y los profesionales en formación –dientes investigadores– se pretende fortalecer una actitud crítica y motivar a la experimentación, mediante la implementación de la educación práctica – cognitiva, fundamental para instaurar plenamente un proceso de enseñanza-aprendizaje permanente, dinámico y proactivo.

Este documento, presentado en diez ensayos mostrados secuencialmente, se ajusta a los programas de Mecánica y Dinámica de Fluidos que se estudian en la Universidad Técnica Particular de Loja, en las escuelas de Ingeniería Civil, Agropecuaria, y Geología y Minas. Así, por ejemplo, se abordan temas relacionados con las propiedades fundamentales de los fluidos, también hay ensayos sobre hidrostática e hidrodinámica, uno de los cuales es, el flujo en tuberías y escurrimiento a través de orificios y boquillas, entre otros tópicos de semejante interés.

Agradecemos al Ing. Marco Carpio Jaramillo por la ayuda brindada en la estructuración del primer ensayo. Los autores esperan que este trabajo sea un aporte de la cátedra del área de Ingeniería Hidráulica.

PROPIEDADES DE FLUIDOS HOMOGÉNEOS

Objetivo general: determinar experimentalmente algunas propiedades de fluidos homogéneos.

Fluido

Es una sustancia que se deforma continuamente cuando se somete a una acción tangencial o cortante, por pequeña que ésta fuere.

PRÁCTICA # 1

1. TEMA: Densidad

2. OBJETIVO:

- Determinar experimentalmente la densidad de fluidos homogéneos.

3. FUNDAMENTO TEÓRICO:

3.1. Densidad (ρ)

Es la relación entre la masa del fluido (M) y su volumen (V).

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (1)$$

El procedimiento para determinar la densidad es el siguiente:

- Tomar un recipiente de volumen conocido.
- Pesar el recipiente.
- Llenar el recipiente con el líquido cuya densidad se pretende determinar.
- Pesar el recipiente lleno con líquido.
- Por diferencia de pesos, determinar el peso del líquido.
- La masa se obtiene de dividir el peso del líquido para la gravedad.
- Finalmente, dividir la masa para el volumen y se obtiene la densidad.

Análisis de dimensiones:

$$[\rho] = \left[\frac{M}{V} \right] = [M] [L]^{-3} \Rightarrow \left[\frac{gr}{cm^3} \right], \left[\frac{kg}{m^3} \right], \left[\frac{utm}{m^3} \right], \text{etc.}$$

- La densidad, al referir la masa a la unidad de volumen, se conoce también como *masa específica*.
- Los símbolos “gr” y “kg” representan “gramos masa” y “kilogramos masa”, respectivamente.

3.2. Peso específico (γ)

Es la relación entre el peso del fluido (G) y su volumen (W).

$$\gamma = \frac{G}{W}$$

La relación entre el peso específico y la densidad es:

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (2)$$

Análisis de dimensiones:

$$[\gamma] = \left[\frac{G}{W} \right] = [F] [L]^{-3} \Rightarrow \left[\frac{N}{m^3} \right], \left[\frac{dy}{cm^3} \right], \left[\frac{kg_f}{m^3} \right], \left[\frac{gr_f}{cm^3} \right], \text{etc.}$$

3.3. Volumen específico (We)

Es el volumen (W) ocupado por la unidad de masa (M); o sea, es la inversa de la densidad.

$$We = \frac{1}{\rho} \quad (3)$$

$$We = \frac{W}{M}$$

Análisis de dimensiones:

$$[We] = \left[\frac{W}{M} \right] = [M]^{-1} \cdot [L]^3 \Rightarrow \left[\frac{m^3}{kg} \right], \left[\frac{cm^3}{gr} \right], \left[\frac{m^3}{utm} \right], \text{etc.}$$

El volumen específico del agua destilada a 4° C y a presión atmosférica suele convenirse en $10^{-3} \frac{m^3}{kg}$, y el del aire en $1.3^{-1} \frac{m^3}{kg}$.

3.4. Densidad relativa (DR)

Es la relación entre el peso específico del líquido (γ) en análisis y el peso específico del agua (γ_{agua}); o, entre la densidad del líquido (ρ) y la densidad del agua (ρ_{agua}) en condiciones normales.

Se entiende por agua en condiciones normales: a presión atmosférica, a 4° C, destilada, y depurada de gases e impurezas.

En la práctica suele utilizarse agua dulce corriente.

Para los gases habrá que relacionar el peso específico o densidad del gas en análisis con el peso específico o densidad del aire seco.

$$DR = \frac{\gamma}{\gamma_{\text{agua}}} = \frac{\rho}{\rho_{\text{agua}}} \quad (4)$$

La densidad relativa es adimensional.

El procedimiento para determinar la densidad relativa es el siguiente:

- Una vez determinado el peso específico o la densidad del líquido, dividir para los valores estándar del peso específico o la densidad del agua.

Valores de uso frecuente:

$$DR_{\text{agua}} = 1$$

$$DR_{H_2} = 13.6$$

En fluidos como el petróleo y sus derivados, la viscosidad suele expresarse en grados A.P.I. (°A.P.I.), (American Petroleum Institute), en función de la densidad relativa.

$$\text{Densidad relativa} = DR = \frac{141.5}{131.5 + (\text{°A.P.I.})}$$

$$(\text{°A.P.I.}) = \frac{141.5}{DR} - 131.54 \quad (5)$$

Se usa solamente para líquidos más ligeros que el agua.

4. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD CON EL DENSÍMETRO

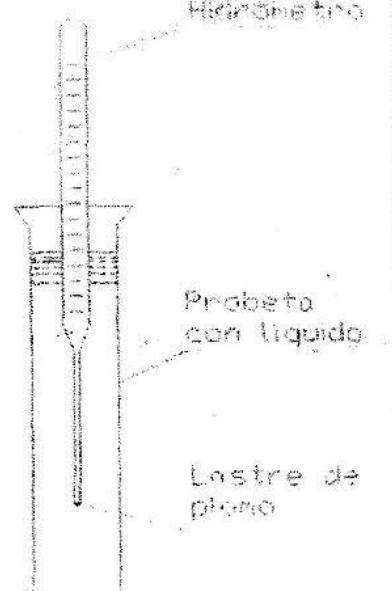
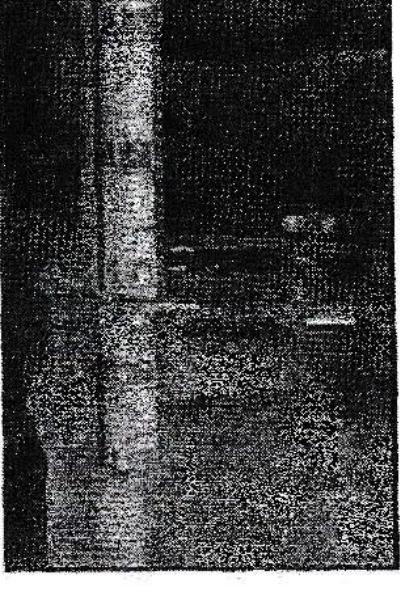
4.1. Densímetro

Es un instrumento graduado que se utiliza para medir la densidad de un líquido. Se basa en el principio hidrostático del matemático e inventor griego Arquímedes, según el cual todo cuerpo sumergido en un líquido experimenta un empuje hacia arriba igual al peso del volumen del líquido desalojado.

El densímetro tiene una parte inferior en forma de ampolla, llena de plomo o de mercurio, que flota por sí mismo en el líquido en análisis. Cuando está sumergida, la varilla graduada se eleva verticalmente y da una medida de escala.

4.2. Materiales y equipos:

- Probetas graduadas
- Líquidos a ensayar
- Termómetro
- Densímetro

Fig. 01. Densímetro y probeta graduada con líquido	Fig. 02. Esquema del uso del densímetro	Fig. 03. Escala graduada de un densímetro
		
Fuente: Laboratorio de Hidráulica (U.C.G. – U.T.P.L. 2008).	Fuente: Apuntes de clase de Mecánica de Fluidos del Ing. José Sánchez Paladines.	Fuente: Laboratorio de Hidráulica (U.C.G. – U.T.P.L. 2008).

4.3. Procedimiento:

1. Colocar el densímetro en una probeta con agua para comprobar su calibración. La lectura en la escala debe ser 1.
2. Llenar las probetas con los líquidos a ensayar.
3. Tomar la temperatura de los fluidos.
4. Introducir el densímetro en los diferentes líquidos contenidos en las probetas y luego de aproximadamente 30 segundos, cuando quede en equilibrio, realizar la lectura en la escala.

4.4. Cuadro de datos y resultados:

Líquido	Temperatura (° C)	Densidad (ρ) = (kg/m ³)	Peso específico (γ) = (N/m ³)	Volumen específico (γ_e) = (m ³ /kg)	Densidad relativa
Aceite					
Agua					
Gasolina					
Vaselina					
Otros...					

4.5. Conclusiones

PRÁCTICA # 2

1. TEMA: Viscosidad

2. OBJETIVO:

- Determinar experimentalmente la viscosidad dinámica y cinemática de varios fluidos.

3. FUNDAMENTO TEÓRICO

VISCOSIDAD

Es la propiedad de un líquido de oponerse al resbalamiento o desplazamiento de sus capas.

Los fluidos de alta viscosidad presentan una cierta resistencia a fluir y los de baja viscosidad fluyen con mayor facilidad. La viscosidad es una propiedad inversa a la fluidez.

HIPÓTESIS DE NEWTON

Las fuerzas de fricción interna que surgen entre capas contiguas del líquido en movimiento, son directamente proporcionales a la velocidad relativa y a la superficie de contacto entre dichas capas. Dependen de las propiedades del líquido, no de la presión.

$$T = \mu \times S \times \left| \frac{du}{dh} \right| \quad (6)$$

T - Fuerza de fricción interna.

μ - Coeficiente de viscosidad dinámica (coeficiente de fricción interna que caracteriza la viscosidad del fluido). También suele denotárselo con la letra griega η .

S - Superficie de contacto entre capas del líquido en movimiento.

$\frac{du}{dh}$ - Es el valor absoluto del gradiente de velocidad.

En un fluido ideal, la viscosidad $\mu = 0$ ($\eta = 0$).

FACTORES QUE AFECTAN LA VISCOSIDAD.

- **La temperatura.**- Con el aumento de la temperatura, los líquidos disminuyen su viscosidad dinámica. Por su parte, los gases aumentan su viscosidad dinámica con el aumento de aquella.
- **La presión.**- No afecta la viscosidad dinámica de los fluidos, aunque, cuando la presión adquiere valores muy altos, incide en ella, pero insignificanteamente. La viscosidad cinemática de los gases sí se ve afectada por la presión.

FLUIDOS ESTÁTICOS

En fluidos en reposo, la viscosidad no se manifiesta debido a la ausencia de tensiones tangenciales o cortantes. En este caso, los únicos esfuerzos que hay son los normales.

FLUIDOS EN MOVIMIENTO

En fluidos en movimiento, además de los esfuerzos normales, como consecuencia de la fricción interna, surgen esfuerzos tangenciales, por cuya causa la viscosidad sí se manifiesta.

COEFICIENTE DE VISCOSIDAD DINÁMICA.

Depende del género del líquido y de la temperatura. Es un coeficiente de fricción interna que caracteriza las propiedades (viscosidad) del fluido.

$$\begin{aligned} T &= \mu \times S \times \left| \frac{du}{dh} \right| \\ \mu &= \frac{T}{S \times \left| \frac{du}{dh} \right|} \\ \tau &= \frac{T}{S} = \mu \times \left| \frac{du}{dh} \right| \\ \mu &= \frac{\tau}{\left| \frac{du}{dh} \right|} \end{aligned} \tag{7}$$

μ - Coeficiente de viscosidad dinámica

τ - Esfuerzo cortante.

Ecuación de dimensiones: $[\mu] = [F] \times [T] \times [L]^2 = [M] \times [L]^4 \times [T]^4$

Una de las unidades de uso común para el coeficiente de viscosidad dinámica es el *poise* (derivado de Poiseuille, reconocido físico francés).

$$[\mu] = [\text{dyna}] \times [\text{s}] \times [\text{cm}]^2 = [\text{poise}]$$

VISCOSIDAD CINEMÁTICA.

En la práctica, se utiliza mucho más frecuentemente el coeficiente de viscosidad cinemática (coeficiente cinemático de viscosidad), que se determina al dividir el coeficiente de viscosidad dinámica para la densidad.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (8)$$

ν – coeficiente de viscosidad cinemática

μ – coeficiente de viscosidad dinámica

ρ – densidad

Ecuación de dimensiones: $[\nu] = \frac{[M] \times [L]^{-1} \times [T]^{-1}}{[M] \times [L]^3} = [L]^2 \times [T]^{-1}$

En el SI (Sistema Internacional), el coeficiente de viscosidad cinemática se mide en $\frac{m^2}{s}$; sin embargo, es de amplio uso el *stoke* (st).

$$[\nu] = [\text{cm}]^2 \cdot [\text{s}]^{-1} = [\text{stoke}]. \text{ Su submúltiplo es el centistoke } [\text{cst}].$$

Paralelamente a las unidades indicadas, se usan otras unidades empíricas, tales como los grados Engler [${}^{\circ}\text{E}$], segundos Redwood y segundos Saybolt, entre otros.

La viscosidad de un líquido en grados Engler se determina mediante la relación del tiempo de escurrimiento de 200 cm³ del líquido en análisis y el tiempo de vaciado del mismo volumen (200 cm³) de agua destilada a 20 °C.

$${}^{\circ}\text{E} = \frac{\text{tiempo de escurrimiento de } 200 \text{ cm}^3 \text{ del líquido en análisis}}{\text{tiempo de vaciado de } 200 \text{ cm}^3 \text{ de agua destilada a } 20 \text{ }^{\circ}\text{C}}$$

Para pasar de la viscosidad medida en *grados Engler* [${}^{\circ}\text{E}$] al coeficiente de viscosidad cinemática $[\nu]$ en *stokes* $\left[\frac{\text{cm}^2}{\text{s}} \right]$, puede utilizarse la siguiente fórmula empírica, propuesta por Ubbelohde:

$$\nu = 0.0731 \times (\text{ }^{\circ}\text{E}) - \frac{0.0631}{\text{ }^{\circ}\text{E}} \quad \left[\frac{\text{cm}^2}{\text{s}} \right] \quad (9)$$

El paso de la viscosidad Saybolt Universal a la viscosidad cinemática puede hacerse mediante la fórmula:

$$\nu = 0.0022 \times S \quad (10)$$

Para pasar de la viscosidad Redwood Nro.1 a la viscosidad cinemática, se puede aplicar la fórmula:

$$\nu = 0.00247 \times R \quad (11)$$

4. DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD

4.1. Materiales y equipos:

- Probetas
- Esferas metálicas de un solo diámetro
- Calibrador
- Cronómetro
- Líquidos

Fig. 04.- Probeta graduada con líquido, esfera y cronómetro

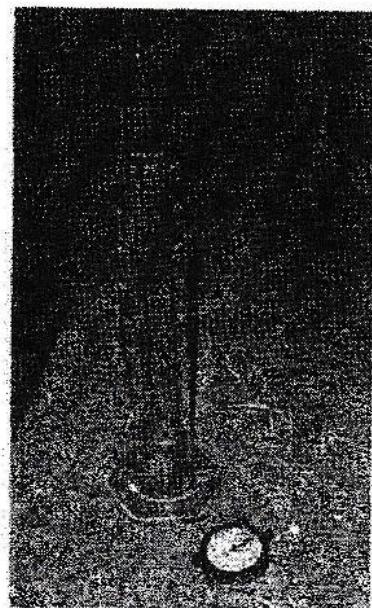
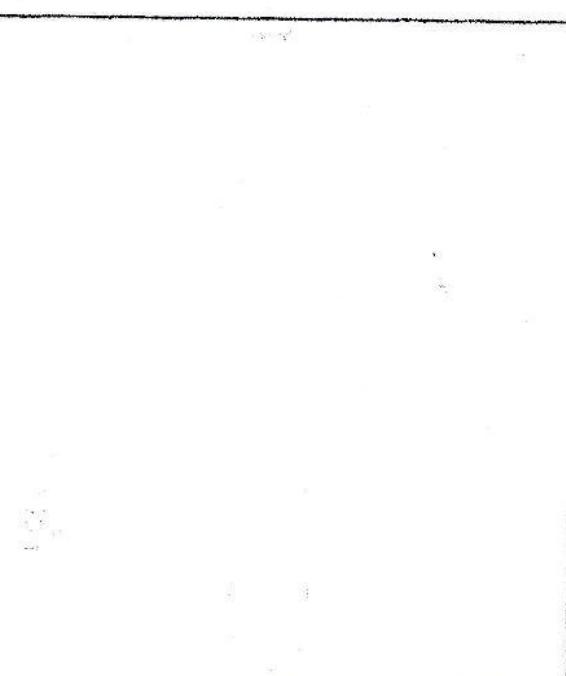


Fig. 05.- Esquema del descenso de la esfera de acero a través del líquido



Fuente: Laboratorio de Hidráulica (U.C.G. – U.T.P.L. 2008).

Fuente: Apuntes de clase de Mecánica de Fluidos del Ing. José Sánchez Paladines.

4.2. Procedimiento:

1. Determinar el diámetro de las esferas a través de un calibrador.
2. Determinar el recorrido que hace la esfera entre dos marcas preestablecidas en la probeta.
3. Tomar el tiempo que la esfera tarda en recorrer la distancia medida en la probeta.
4. Se repite el procedimiento con tres esferas y luego se obtiene el promedio del tiempo.

4.3. Fórmula a utilizar:

$$V = \frac{h}{t} \quad \left(\frac{\text{cm}}{\text{s}} \right)$$

V – velocidad

h – distancia vertical recorrida

t – tiempo

Interpretación del experimento:

Sobre la esfera actúan la fuerza de gravedad (peso de la esfera) ($m \times g$), la fuerza flotante (empuje hacia arriba) (F_f) y una fuerza debida a la viscosidad (F_v).

Como la velocidad de caída es uniforme, la suma algebraica de las fuerzas se iguala a cero.

$$m \times g - F_f - F_v = 0$$

De la ley de Stokes:

$$F_v = 6 \times \pi \times r \times \mu \times V$$

$$m \times g = \left(\rho_s \times g \times \frac{4}{3} \times \pi \times r^3 \right)$$

$$F_f = \left(\rho_f \times g \times \frac{4}{3} \times \pi \times r^3 \right)$$

Entonces:

$$\left(\rho_s \times g \times \frac{4}{3} \times \pi \times r^3 \right) - \left(\rho_f \times g \times \frac{4}{3} \times \pi \times r^3 \right) - 6 \times \pi \times r \times \mu \times V = 0$$

$$\mu = \frac{2 \times r^2 \times g \times (\rho_s - \rho_f)}{9 \times V} \quad [\text{poise}]$$

(12)

$$v = \frac{\mu}{\rho} [Stoke] \quad (13)$$

- 15 μ - coeficiente de viscosidad dinámica
 v - coeficiente de viscosidad cinemática
 r - radio de la esfera
 ρ_1 - densidad del acero
 ρ_2 - densidad del líquido
 V - velocidad

4.4. Cuadro de datos y resultados:

Densidad acero:	7.850	gr/cm ³
Densidad vaselina:	0.883	gr/cm ³
Densidad aceite:	0.835	gr/cm ³
Densidad agua:	1.000	gr/cm ³

Nro.	Diámetro cm	Tiempo s	T. promedio s	Distancia vertical cm	Velocidad cm/s	μ Poises	v Stoke	Líquido
1								
2								
3								
1								
2								
3								

8. Conclusiones

Presión manométrica, también conocida como excesiva, excedente o relativa, es aquella que se mide a partir de la presión atmosférica (barométrica o ambiental).

$$P_{\text{man}} = P_{\text{abs}} - P_a \quad , \quad (16)$$

$$P_{\text{man}} = \gamma \times h \quad (17)$$

P_{man} - presión manométrica

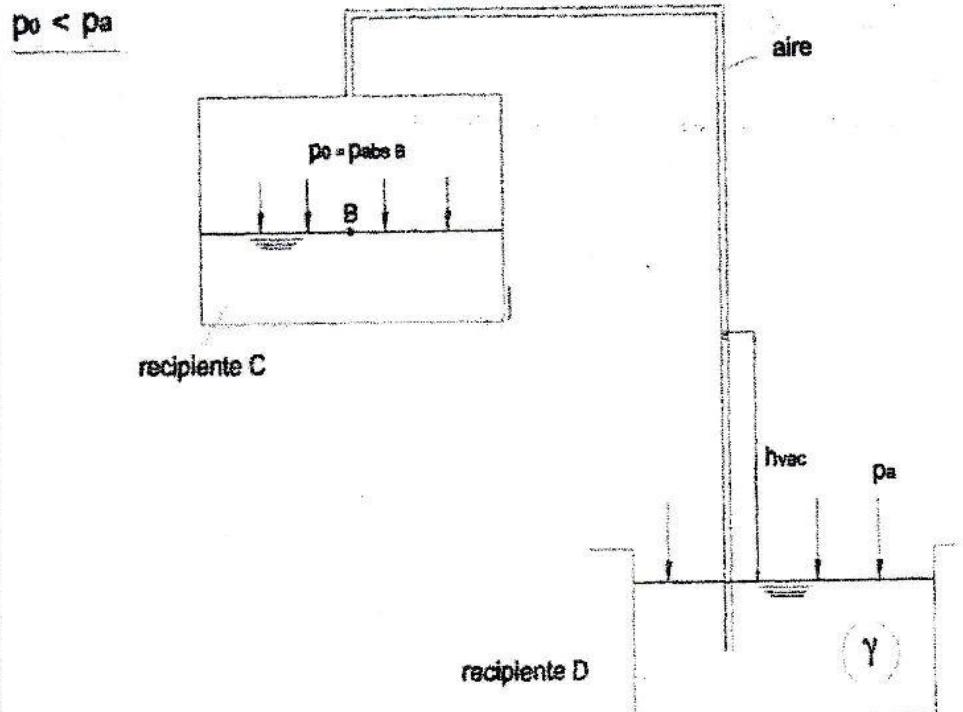
La presión atmosférica varía con la temperatura y la altitud, pero a 0 °C y al nivel del mar es igual a 760 torr, que equivale a 1 atmósfera normal estándar, 10.33 metros de columna de agua (m.c.a.).

1 torr = 1 mm de columna de mercurio (1 mm Hg)

En la práctica se utiliza más la "atmósfera técnica", cuyo valor es igual a 10 m.c.a. o $10000 \text{ kgf/m}^2 = 1 \text{ kgf/cm}^2$.

Cuando la presión absoluta (en este caso, $P_0 = P_{\text{abs}_B}$) es menor que la presión atmosférica, se presenta el vacío.

Fig. 08.- Esquema ilustrativo del vacío.



Fuente: Apuntes de clase de Mecánica de Fluidos del Ing. José Sánchez Paladines.

$$P_{vac} = P_a - P_{abs_B} \quad (18)$$

P_{vac} - presión de vacío o presión vacuométrica

P_{abs_B} - presión absoluta en la superficie del líquido contenido en el recipiente C (punto B)

$$h_{vac} = \frac{P_a - P_{abs_B}}{\gamma}, \text{ o} \quad (19)$$

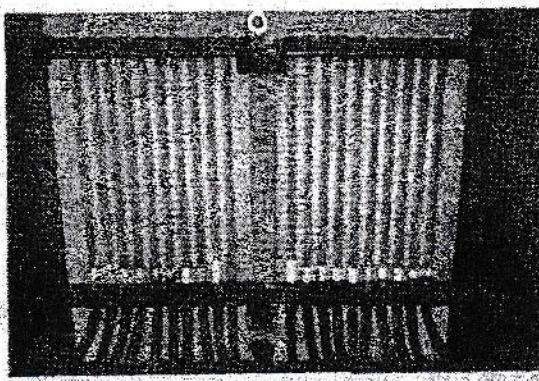
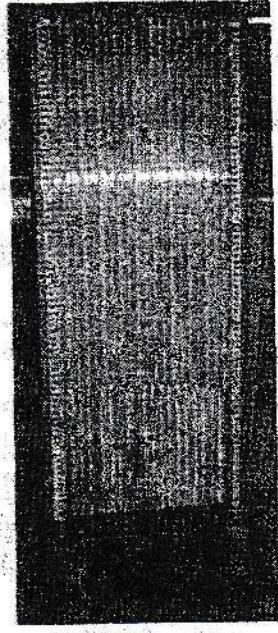
$$h_{vac} = \frac{P_{vac}}{\gamma} \quad (20)$$

El máximo valor teórico del vacío es una atmósfera, aunque en instalaciones hidráulicas comunes no excede de 6 a 8 m.c.a.

Para medir la presión, se utiliza una variada gama de aparatos, cuyo tipo y construcción dependen de la magnitud y la precisión con la que se deseé medir. En los casos arriba indicados, se utilizan los siguientes tipos de instrumentos: piezómetros, manómetros y vacuómetros. Actualmente, los manómetros electrónicos tienen una amplia aplicación.

PIEZÓMETROS

También conocidos como "tubos piezométricos", son tubos transparentes de plástico o de cristal, cuyo extremo inferior se conecta al orificio que debe hacerse en el punto de la pared del recipiente en el que se quiere medir la presión. El diámetro interno del tubo debe ser mayor a 5 mm para evitar los efectos de la tensión superficial y la capilaridad.

Fig. 09.- Piezómetros tipo lira 1.	Fig. 10.- Piezómetros tipo lira 2.
 A black and white photograph showing a rectangular piezometer probe. It has a central vertical column with several horizontal lines extending from it, creating a grid-like pattern. The probe is positioned against a dark background.	 A black and white photograph of a rectangular piezometer probe. This one appears to have a more continuous, wavy or undulating pattern of lines across its face, possibly indicating a different internal structure or design compared to Fig. 09.
Fuente: Laboratorio de Hidráulica (U.C.G. - U.T.P.L. 2008).	Fuente: Laboratorio de Hidráulica (U.C.G. - U.T.P.L. 2008).

MANÓMETROS

Los manómetros son de dos tipos: mecánicos y de líquido.

Manómetros de líquido: entre ellos los más conocidos son los manómetros diferenciales de mercurio en "U". Como líquido también se emplea el agua o el alcohol, muchas veces coloreados para facilitar las lecturas. El principio de funcionamiento de los vacuómetros es similar al de los manómetros, y asimismo son mecánicos y de líquido.

Manómetros mecánicos: pueden ser de muelle (resorte) o de membrana.

Manómetros de tubo Bourdon

El manómetro de tubo Bourdon es un tubo plano curvado en forma oval. La presión a medir actúa sobre la cara interior del tubo, con lo cual la forma oval, al estirarse el tubo, se approxima a la circular, y con ello mueve el sistema de pivotaje que actúa sobre la pluma de aluminio negro que marca la presión en la escala graduada.

Según su diseño, los manómetros de tubo Bourdon pueden medir presiones relativas o presiones absolutas.

4. DETERMINACIÓN DE LA PRESIÓN

4.1. Materiales y equipos:

- Manómetro de tubo Bourdon
- Piezómetros
- Liras piezométricas



5. CONCLUSIONES

PRÁCTICA # 4

1. TEMA: Fuerza de presión y centro de presión sobre superficies planas sumergidas

2. OBJETIVO:

- Determinar el centro de presión manométrica en la superficie rectangular del torroide.

3. FUNDAMENTO TEÓRICO

Como se conoce, el esfuerzo se obtiene al dividir la fuerza para el área sobre la cual dicha fuerza actúa. La presión es un esfuerzo; por tanto:

$$p = \frac{P}{\omega} \quad (21)$$

p - presión (letra p minúscula)

P - fuerza de presión (letra P mayúscula)

ω - área

De (21):

$$P = p \times \omega$$

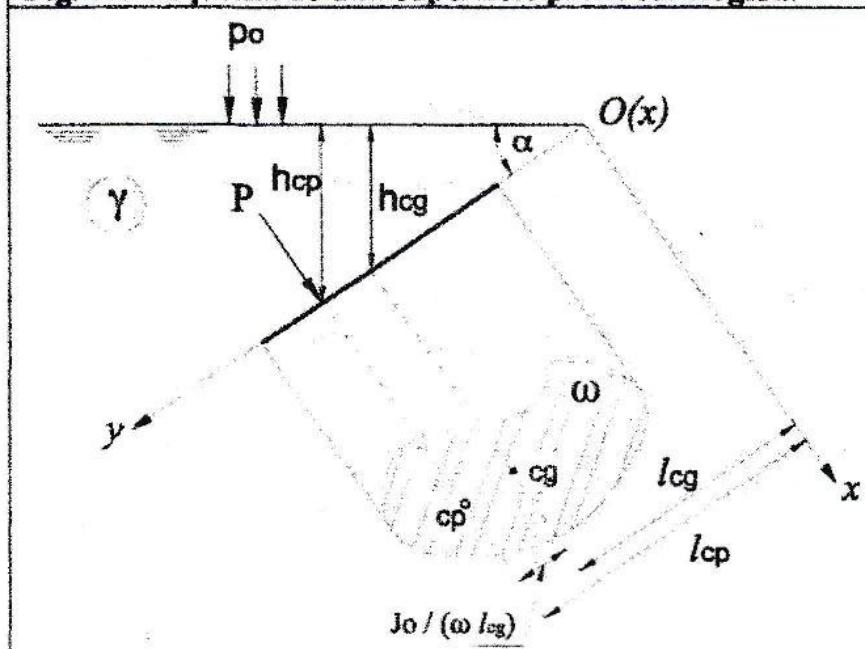
Si: $p = p_{abs}$, y $h = h_{cg}$, entonces

$$p_{abs_{\omega}} = p_0 + \gamma \times h_{cg} \quad (22)$$

De ese modo, la fuerza de presión absoluta sobre la superficie plana sumergida será:

$$\begin{aligned} P_{abs} &= p_{abs_{\omega}} \times \omega, o \\ p_{abs_{\omega}} &= (p_0 + \gamma \times h_{cg}) \times \omega \end{aligned} \quad (23)$$

Fig. 12.- Esquema de una superficie plana sumergida.



Fuente: Apuntes de clase de Mecánica de Fluidos del Ing.
José Sánchez Paladines.

- c_g, c_p - centro de gravedad (centroide) y centro de presión de la superficie plana (plano) sumergida
- h_{cg}, l_{cg} - profundidad y distancia del *centro de gravedad* (centroide) del plano sumergido, contadas desde la superficie del líquido, en su orden
- h_{cp}, l_{cp} - profundidad y distancia del *centro de presión* del plano sumergido, contadas desde la superficie del líquido, en su orden

La fuerza de presión manométrica (P) esto es, si es que $p_0 = p_a$ (el líquido tiene superficie libre) se determina mediante la siguiente fórmula:

ida

$$P = p_{cg} \times \omega, \text{ o si se considera que } p_{cg} = \gamma \times h_{cg}, \text{ entonces:}$$

$$P = \gamma \times h_{cg} \times \omega \quad (24)$$

P_{cg} - presión manométrica en el centro de gravedad del plano sumergido.

La distancia al centro de presión se determina con aplicación de la siguiente fórmula:

$$l_{cp} = \frac{Jx}{\omega \times l_{cg}} \quad (25)$$

Jx - momento de inercia del plano respecto al eje OX

Si se considera que

$$Jx = J_o + \omega \times (l_{cg})^2, \text{ entonces:}$$

$$l_{cp} = l_{cg} + \frac{J_o}{\omega \times l_{cg}} \quad (26)$$

J_o - momento central de inercia del plano sumergido

Para planos rectangulares:

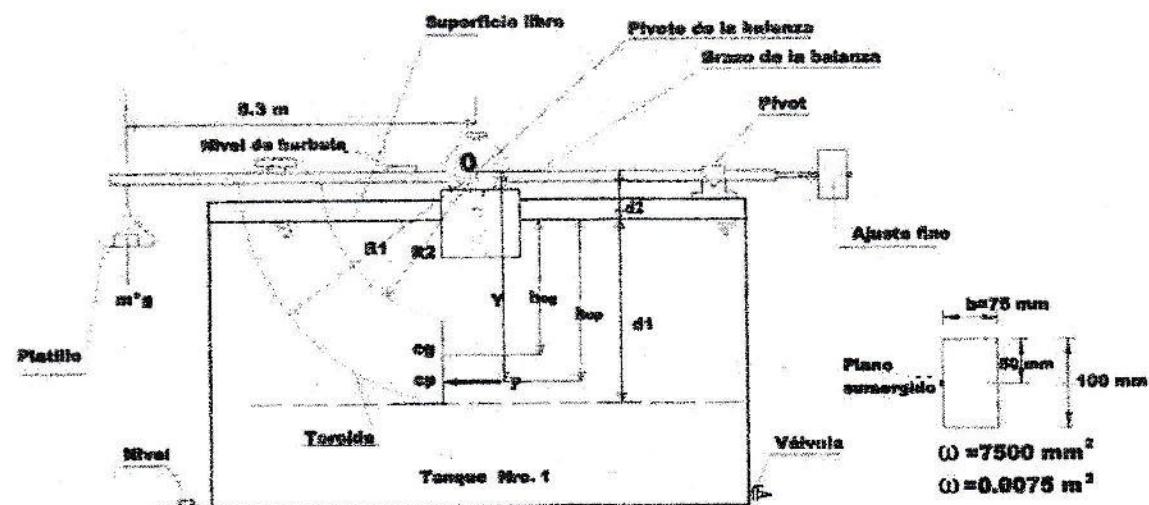
$$J_x = \frac{b \times l^3}{3}$$

$$J_o = \frac{b \times l^3}{12}$$

TORROIDE

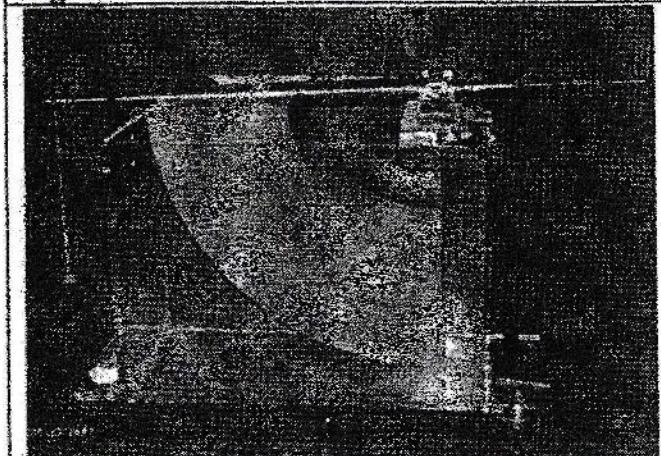
Este instrumento nos sirve para determinar experimentalmente el centro de presión sobre superficies planas sumergidas.

Fig. 13.- Figura descriptiva del torroide



Fuente: Apuntes de clase de Mecánica de Fluidos del Ing. José Sánchez Paladines.

Fig. 14.- Torroide



Fuente: Laboratorio de Hidráulica (U.C.G. - U.T.P.L. 2007).

4. DETERMINACIÓN DEL CENTRO DE PRESIÓN

4.1. Materiales y equipos:

- Torroide
- Pesas
- Flexómetro
- Agua

4.2. Procedimiento:

El procedimiento general se basa en la aplicación de la ecuación de momentos con relación al pivote 0 del torroide.

$$m \times g \times 0.3 = P \times Y,$$

De donde:

$$Y = \frac{m \times g \times 0.3}{P}$$

Al considerar que $P = \gamma \times h_{eg} \times \omega$,

$$Y = \frac{m \times g \times 0.3}{\gamma \times h_{eg} \times \omega} \quad (27)$$

0.3 - brazo de palanca de la fuerza ($m \times g$), en metros desde 0.

1. Armar el equipo, para lo cual se coloca el brazo de la balanza con el torroide en el pivot central y el platillo porta pesas en el extremo correspondiente.
2. Nivelar el equipo con ayuda del nivel de alcohol ("ojo de pollo") y los calantes de soporte del equipo.
3. Encerar la balanza. Mediante movimientos lentos del contrapeso ubicado en el extremo del brazo, comprobar que la cara inferior (plana) del brazo coincida con la marca de nivelado en la escala.
4. Llenar con agua la cámara hasta un nivel bajo, de manera que el plano rectangular del torroide quede completamente sumergido.
5. Colocar el peso necesario en el platillo porta-pesas hasta encerar nuevamente la balanza.
6. Con los datos de peso y nivel de agua en la cámara, calcular el momento para finalmente determinar el valor correspondiente de h_{eg} .

$$P = \rho \times g \times h_{eg} \times \omega = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times h_{eg} = 73.575 \times h_{eg}$$

4.3. Cuadro de datos y resultados:

Profundidad del agua (mm)	h_{eq} (d1-50) (mm)	Masa en el platillo (g)	Fuerza de presión $P = 73.575 \times \frac{h_{eq}}{1000}$ (N)	$Y = \frac{m \times g \times 0.3}{P}$ (mm)	$h_{sp} = Y - d_1$ (mm)

Gráficas

8. Conclusiones

PRÁCTICA # 5

1. TEMA: El medidor de Venturi

2. OBJETIVO:

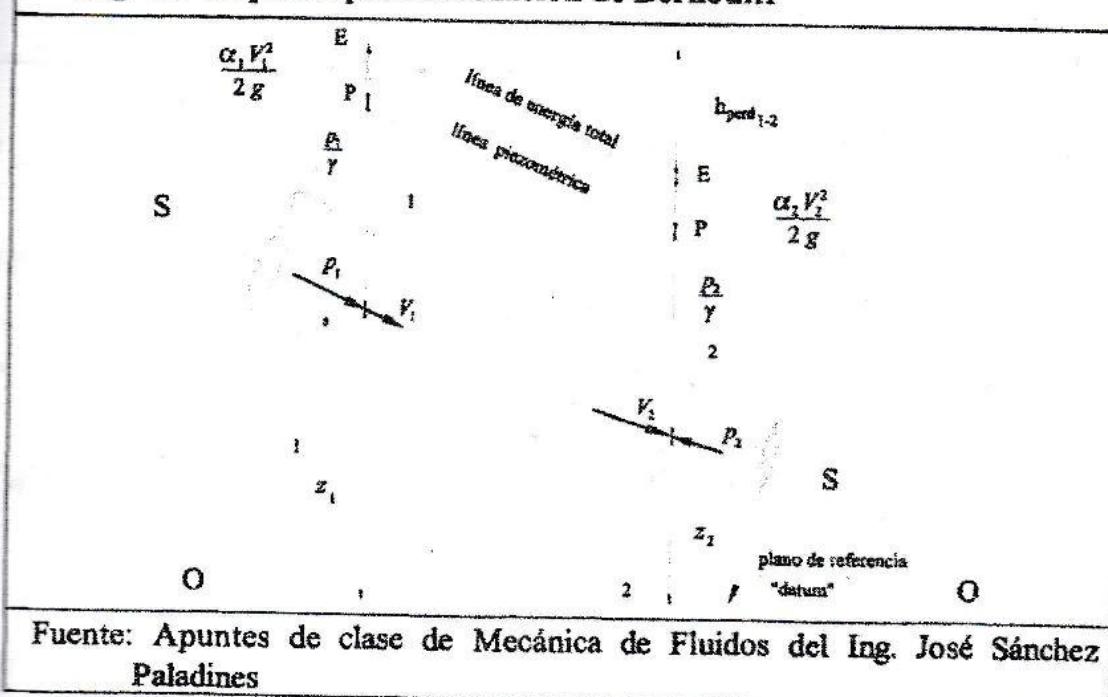
- Determinar caudales en tuberías a presión.

3. FUNDAMENTO TEÓRICO

Al medidor de Venturi también se lo conoce como tubo de Venturi, venturímetro, caudalímetro ó fluidómetro de estrangulación.

Su principio de funcionamiento se basa en la ecuación de Bernoulli.

Fig. 15.- Esquema para la ecuación de Bernoulli



Fuente: Apuntes de clase de Mecánica de Fluidos del Ing. José Sánchez Paladines

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 \times V_1^2}{2 \times g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 \times V_2^2}{2 \times g} + h_{perd_{1-2}} \quad (28)$$

- z - altura de nivel ó altura de posición
- P - altura de presión ó altura piezométrica
- γ
- $\frac{\alpha \times V^2}{2 \times g}$ - altura cinética o altura de velocidad
- α - coeficiente de Coriolis (igual a 2.00 para corrientes laminares, y entre 1.00 y 1.10 para corrientes turbulentas)
- h_{perd} - pérdidas de carga entre las secciones 1-1 y 2-2

Las pérdidas de carga h_{perd} están constituidas por las pérdidas de carga por longitud (h_f) y las pérdidas de carga locales (h_J).

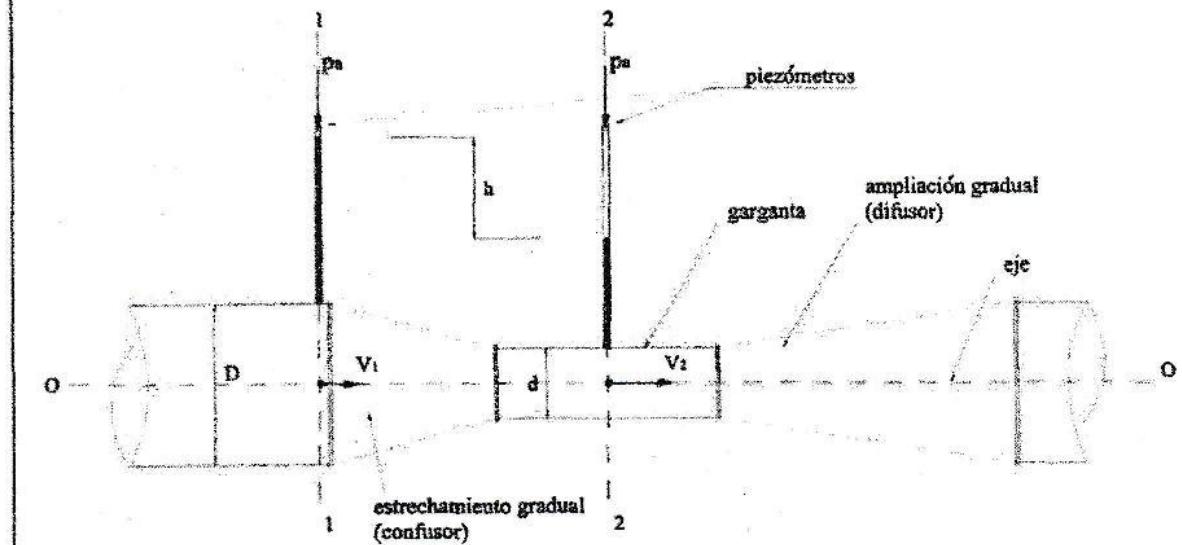
$$h_{perd} = h_f + h_J \quad (29)$$

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL VENTURÍMETRO

El tubo de Venturi está conformado por dos tubos cónicos (confusor y difusor) entre los cuales se inserta un tubo cilíndrico corto conocido como *garganta*. El medidor puede estar equipado con piezómetros o con un manómetro diferencial de mercurio en "U", como se muestra en el siguiente esquema:

Para medidores equipados con piezómetros:

Fig. 16.- Esquema de un tubo de Venturi



Fuente: Apuntes de clase de Mecánica de Fluidos del Ing. José Sánchez Paladines.

En la garganta, la velocidad aumenta y la presión disminuye.

Al aplicar la ecuación de Bernoulli a las secciones 1-1 y 2-2, con respecto al plano de referencia 0-0, coincidente con el eje horizontal en el presente caso y suponiendo un régimen turbulento, se tiene:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 \times V_1^2}{2 \times g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 \times V_2^2}{2 \times g} + h_{perd_{1-2}}$$

$z_1 = z_2 = 0$; $\alpha_1 = \alpha_2 = 1.0$; $h_{perd_{1-2}} = 0$ (muy pequeñas y luego se las tomará en cuenta a través del coeficiente μ)

Entonces:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2 \times g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2 \times g}$$

$$\frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} = h = \frac{1}{2 \times g} (V_2^2 - V_1^2)$$

$$2 \times g \times h = V_2^2 - V_1^2$$

Con base en la ecuación del gasto $Q = \omega_1 \times V_1 = \omega_2 \times V_2$

$$\bar{r}_2 = \frac{\omega_1 \times V_1}{\omega_2} = V_1 \times \frac{D^2}{d^2}$$

$$\bar{r}_2^2 = V_1^2 \times \frac{D^4}{d^4}$$

$$2 \times g \times h = V_1^2 \times \frac{D^4}{d^4} - V_1^2 = V_1^2 \times \left(\frac{D^4 - d^4}{d^4} \right)$$

$$V_1 = \frac{d^4}{D^4 - d^4} \times 2 \times g \times h$$

$$Q = \mu \times \frac{\pi \times D^2}{4} \times \frac{d^4}{D^4 - d^4} \times 2 \times g \times h$$

- coeficiente adimensional (de descarga) que toma en cuenta el grado de uso del medidor.
- = 0.985, para medidores nuevos.
- = 0.980, para medidores usados.

Al igualar

$$k = \mu \times \frac{\pi \times D^2}{4} \times \frac{d^4}{D^4 - d^4} \times 2 \times g ,$$

Entonces:

$$Q = k \times h \quad (30)$$

En nuestro caso,

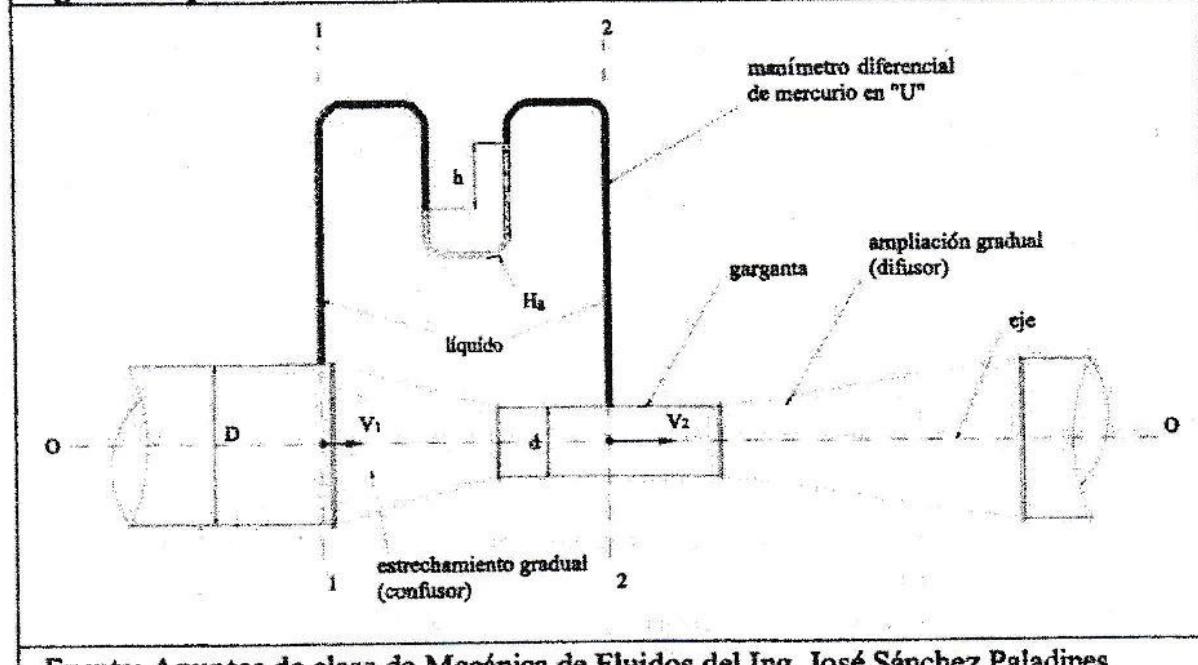
D	=	1.025 pulgadas	=	2.6035 cm
d	=	0.625 pulgadas	=	1.5875 cm
k	=	0.980		
k	=	0.000925548	=	9.26×10^{-4}

Finalmente,

$$Q = 0.000925548 \times h \quad (31)$$

Para medidores equipados con manómetros diferenciales de mercurio en "U";

Fig. 17.- Esquema de un tubo de Venturi con manómetro diferencial



Fuente: Apuntes de clase de Mecánica de Fluidos del Ing. José Sánchez Paladines

$$Q = \mu \times \frac{\pi \times D^2}{4} \times \sqrt{\frac{d^4}{D^4 - d^4}} \times 2 \times g \times h \times \frac{DR_{Hg} - DR}{DR}$$

DR_{Hg} - densidad relativa del mercurio (13.6)

DR - densidad relativa del líquido (para el caso del agua DR=1.0)

En lugar de utilizar la densidad relativa, puede usarse los valores del peso específico o de la densidad.

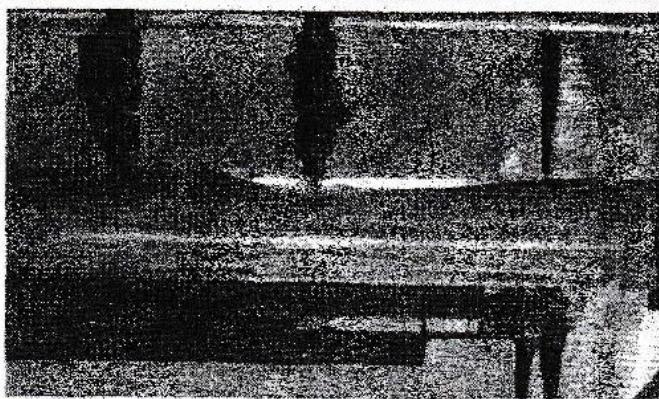
4. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL MEDIANTE EL VENTURÍMETRO

4.1. Materiales y equipos:

- Venturímetros
- Piezómetros
- Fluido (agua)
- Cronómetro

4.2. Procedimiento:

1. Comprobar, para caudal cero, que en el manómetro diferencial no se registre incremento de alturas.
2. Hacer circular agua en el sistema a presión.
3. Registrar la diferencia de niveles en los piezómetros.
4. Calcular el caudal.

Fig. 18.- Venturi

Fuente: Laboratorio de Hidráulica (U.C.G. - U.T.P.L. 2008).

Cuadro de datos y resultados.

H1 (pulg)	H2 (pulg)	H1 (m)	H2 (m)	Δh m	QT m³/s	t s	Volumen m³	QR m³/s

5. CONCLUSIONES

PRÁCTICA # 6

1. TEMA: El tubo de Pitot

2. OBJETIVO:

- Determinar velocidades en puntos deseados del flujo.

$\alpha_s \approx 1.0$ (se supone un régimen turbulento);

$V_B = V$; $V_A = 0$ (porque dentro del tubo de Pitot no hay movimiento después que el líquido ha ascendido la altura h)

$h_{\text{perd}_{s-a}} \approx 0$ (porque la una sección se encuentra muy cerca de la otra)

Entonces,

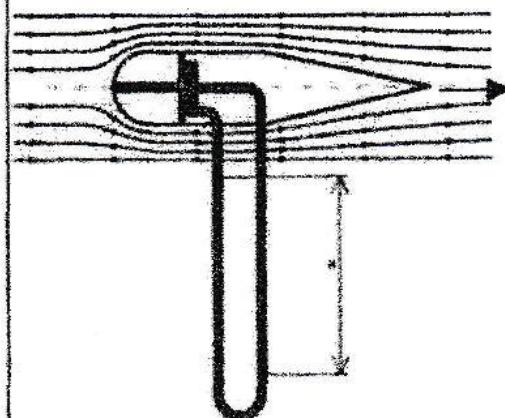
$$\frac{V^2}{2 \times g} = \frac{P_A - P_B}{\gamma} = h$$

$$V^2 = 2 \times g \times h$$

$$V = \sqrt{2 \times g \times h} \quad (32)$$

Prandtl ha introducido algunas modificaciones al tubo de Pitot, con lo cual se ha logrado su mejoramiento en cuanto a su aplicación y manejo.

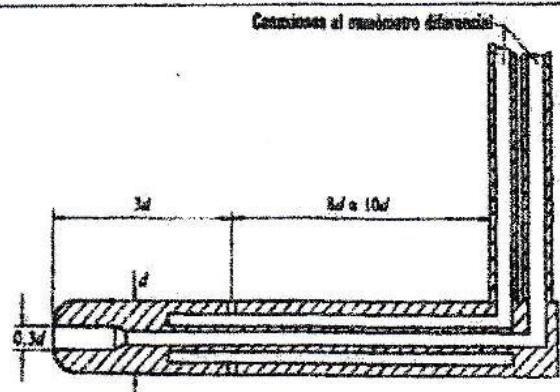
Fig. 20.- Esquema del tubo Prandtl



Fuente:

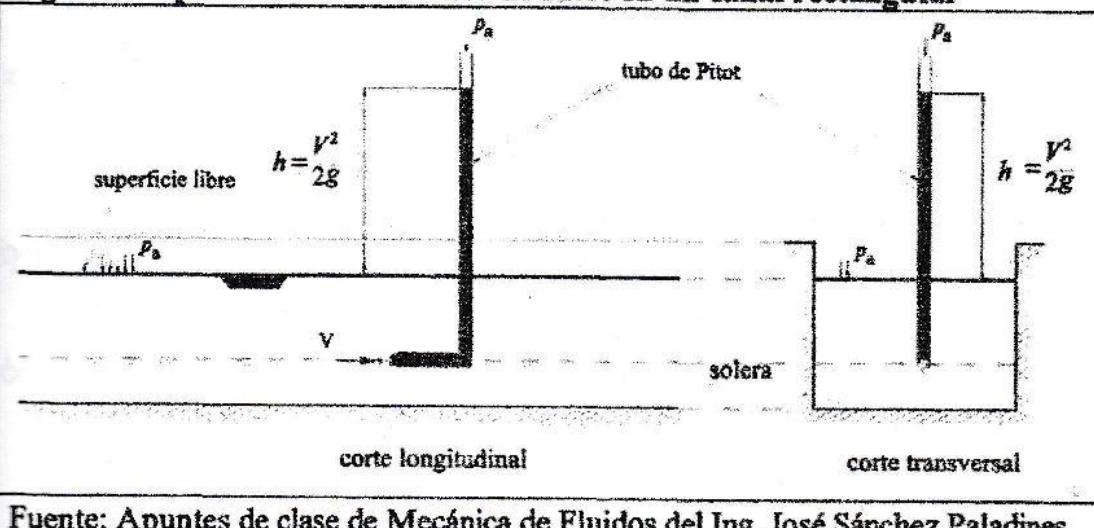
http://es.wikipedia.org/wiki/Tubo_de_Prandtl.

Fig. 21.- Esquema del tubo de Prandtl estandarizado



Fuente:

http://es.wikipedia.org/wiki/Tubo_de_Prandtl.

Fig. 22.- Esquema del uso del tubo de Pitot en un canal rectangular

Fuente: Apuntes de clase de Mecánica de Fluidos del Ing. José Sánchez Paladines

4. DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD MEDIANTE EL TUBO PITOT

4.1. Materiales y equipos:

- Tubo de Pitot

4.2. Procedimiento:

- 4.2.1 Se introduce el extremo curvo del tubo de Pitot en el sitio del flujo donde se desea conocer la velocidad.
- 4.2.2 Se registra el valor de la *presión dinámica* h .
- 4.2.3 Se calcula la velocidad.

4.3. Cuadro de datos y resultados.

h (cm)	V m/s

5. CONCLUSIONES

PRÁCTICA # 7

1. TEMA: Pérdidas de carga por longitud

2. OBJETIVO:

- Determinar las pérdidas de carga por frotamiento en un tramo de tubería.
- Determinar el factor de fricción.
- Obtener experimentalmente la relación entre el factor de fricción y el número de Reynolds (Re).

3. FUNDAMENTO TEÓRICO

La corriente de líquidos en tubos puede ser laminar o turbulenta.

Corriente laminar es aquella que se produce "en capas", sin que se observe mezcla de partículas líquidas.

Corriente turbulenta es aquella en la que se observa una intensa mezcla de partículas líquidas y oscilaciones de presión y velocidad, entre otros.

Para determinar si la corriente es laminar o turbulenta, habrá que determinar el número real de Reynolds (Re), mismo que, contrastado con el número crítico de Reynolds, permitirá establecer el tipo de régimen de corriente.

El número de Reynolds es una magnitud adimensional, que relaciona las fuerzas de inercia con las fuerzas de viscosidad y la expresión para calcularlo es:

$$Re = \frac{\rho \times l \times V}{\mu} \quad (33)$$

ρ - densidad

$\mu (\eta)$ - coeficiente de viscosidad dinámica

V - velocidad

l - magnitud lineal característica del flujo, que, para el caso de tubos de sección transversal circular se adopta el diámetro d.

Además, al considerar que el coeficiente de viscosidad cinemática es:

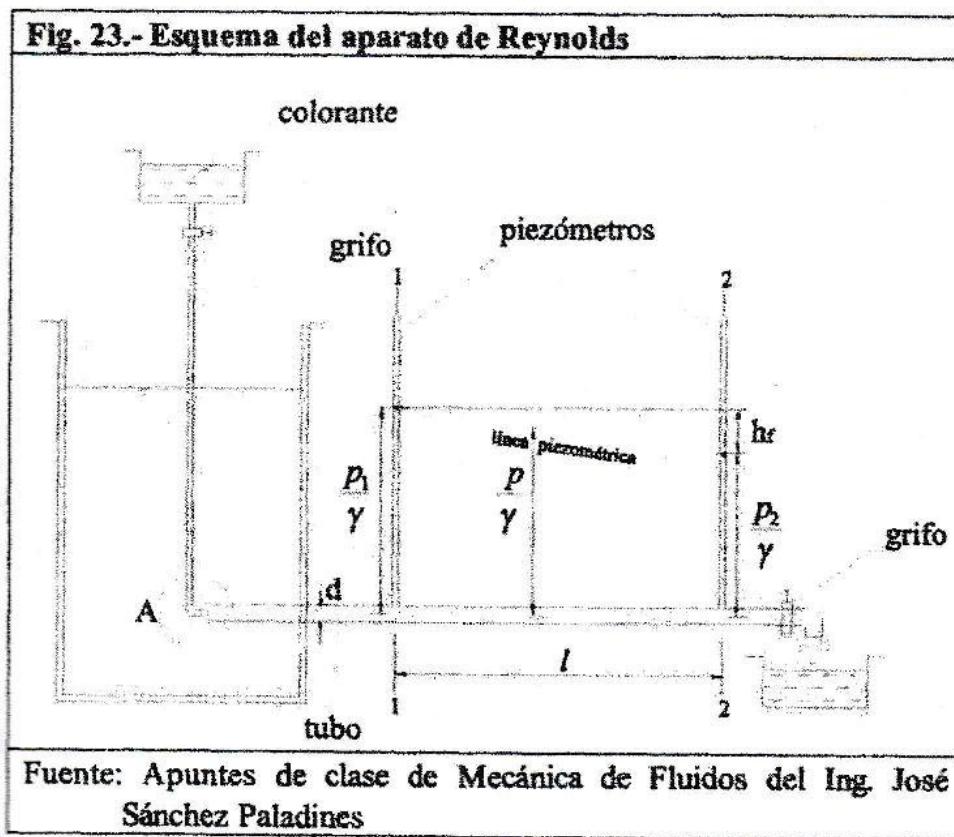
$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Al reemplazar en la fórmula 33, quedará:

$$Re = \frac{V \times d}{\nu} \quad (34)$$

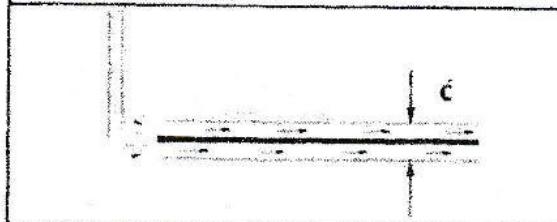
El número crítico de Reynolds (Re_c), que caracteriza la corriente al pasar de un régimen de corriente a otro, tiene el valor de 2300.

Fig. 23.- Esquema del aparato de Reynolds



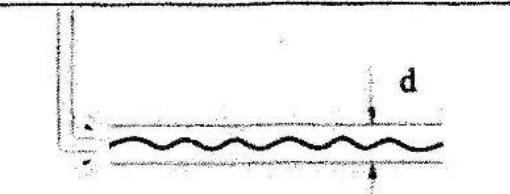
Fuente: Apuntes de clase de Mecánica de Fluidos del Ing. José Sánchez Paladines

Fig. 24.- Esquema del movimiento del fluido en régimen laminar



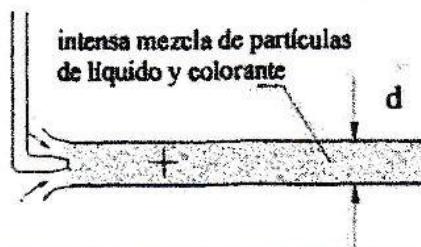
Fuente: Apuntes de clase de Mecánica de Fluidos del Ing. José Sánchez Paladines

Fig. 25.- Esquema del movimiento del fluido en régimen de transición



Fuente: Apuntes de clase de Mecánica de Fluidos del Ing. José Sánchez Paladines

Fig. 26.- Esquema del movimiento del fluido en régimen turbulento



Fuente: Apuntes de clase de Mecánica de Fluidos del Ing. José Sánchez Paladines.

El régimen laminar se caracteriza por velocidades relativamente bajas. Por tanto, tiene lugar cuando:

$$Re < Re_{cr} = 2300$$

El régimen turbulento, en cambio se caracteriza por velocidades relativamente altas, de modo que tiene lugar cuando:

$$Re > Re_{cr} = 2300$$

Las pérdidas de carga por longitud (h_f) también se conocen como pérdidas de carga por frotamiento, pérdidas de carga por rozamiento, pérdidas de carga por fricción o pérdidas de carga primarias.

Flujo laminar

En corrientes laminares, la pérdida de carga por longitud se determina por la fórmula de Poiseuille (Hagen – Poiseuille):

$$h_f = \frac{32 \times \gamma \times V \times l}{g \times d^2} \quad (35)$$

o, en consideración de que $\gamma = \rho g$, esta fórmula puede presentarse así:

$$\Delta p = \frac{32 \times \mu \times V \times l}{d^2} \quad (35a)$$

d - diámetro

l - longitud

V - velocidad media

"La pérdida de carga en régimen laminar en tuberías tanto lisas como rugosas es directamente proporcional a la primera potencia de la velocidad"¹. Dicho en otras palabras, es directamente proporcional a la velocidad elevada a la primera potencia.

Luego de algunas sencillas transformaciones, la fórmula 35 toma la siguiente expresión, que, en determinadas circunstancias, facilita el cálculo.

$$h_f = \lambda_L \times \frac{l}{d} \times \frac{V^2}{2 \times g} \quad (35b)$$

$$\lambda_L = \frac{64}{Re} \quad (36)$$

λ_L - factor de fricción, coeficiente de fricción hidráulica, coeficiente de rozamiento hidráulico o coeficiente de resistencia. Frecuentemente, se utiliza la letra f en lugar de la letra griega. El subíndice "L" denota que se trata de flujo laminar.

¹ MATAIX, C. 1982. Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas. 2da. ed. México, Harla, pág. 212

Flujo turbulento

Para determinar las pérdidas de carga por longitud en corrientes turbulentas y tubos de sección transversal circular, se utiliza la siguiente fórmula.

$$h_f = \lambda \times \frac{l}{d} \times \frac{V^2}{2 \times g} \quad (37)$$

m - entre 1.75 y 2.00

"Para número de Reynolds grandes (tanto mayores cuanto menor es la rugosidad relativa) la pérdida de carga es función del cuadrado de la velocidad"²

En este caso la fórmula 37 se convierte en la fórmula de Darcy - Weisbach.

$$h_f = \lambda \times \frac{l}{d} \times \frac{V^2}{2 \times g} \quad (37a)$$

En corrientes turbulentas, el factor de fricción puede calcularse por la fórmula de Blasius (para superficies hidráulicamente lisas), ó, en general, por la fórmula universal de Colebrook (Colebrook-White):

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{\Delta}{3.71} \right) \quad (38)$$

La rugosidad relativa es:

$$\frac{\Delta}{d} = \frac{\Delta}{d} \quad (39)$$

Δ - rugosidad absoluta equivalente (Gerhart et. al. Pág. 536), también denotada como "E" y como "k".

² MATAIX, C. 1982. Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas. 2da. ed. México, Harla, pág. 215

"La ecuación de Poiseuille junto con la de Colebrook - White permiten el cálculo del coeficiente λ en todos los casos que pueden presentarse en la práctica. Dichas ecuaciones pueden programarse para la resolución de problemas pertinentes con ordenador. Las mismas ecuaciones se representan gráficamente en el ábaco conocido con el nombre de diagrama de Moody..."³.

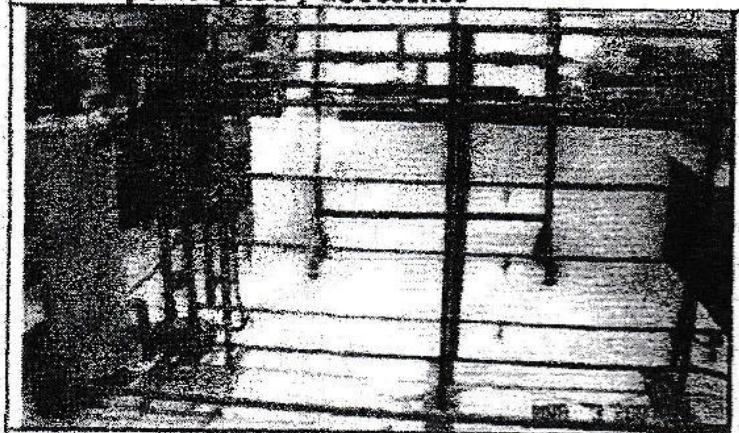
4. DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE CARGA POR LONGITUD Y EL FACTOR DE FRICCIÓN

Para el experimento se considera el flujo de agua por un tubo de sección transversal circular.

4.1. Materiales y equipos:

- Banco de pruebas o equipo de circuito de fluidos.
- Medidores de presión (incorporados en el banco).
- Medidores de gasto (incorporados en el banco).
- Termómetro.

Fig. 27.- Equipo de circuito de fluidos, para pérdidas por longitud y accesorios



Fuente: Laboratorio de Hidráulica (U.C.G. – U.T.P.L. 2007).

4.2. Procedimiento:

1. Calibrar el medidor de Venturi (crear la curva de descarga).
2. Medir la temperatura del agua que sale del tubo.
3. Por medio de las válvulas hacer fluir diferentes gastos a través de las tuberías del banco (3 ramales) con sus respectivos diámetros.
4. Medir las alturas piezométricas con ayuda de los piezómetros instalados en las tomas de presión (cámaras de Kent).
5. Determinar los coeficientes de rozamiento en los tubos (ramalets).

³ MATAIX, C. 1982. Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas. 2da. ed. México. Harla. pág. 218

6. Establecer la relación entre el factor de fricción λ , el número de Reynolds (Re).

4.3. Fórmulas a utilizar:

$$h_f = \lambda \times \frac{l}{d} \times \frac{V^2}{2 \times g}, \text{ de donde}$$

$$\lambda = \frac{h_f}{\frac{l}{d} \times \frac{V^2}{2 \times g}} \quad (40)$$

$$\lambda = A \times \frac{h_f}{Q^2}, \text{ donde}$$

$$A = \frac{g \times d^5 \times \pi^2}{8 \times l}$$

$$Q = \mu \times \frac{\pi \times D^2}{4} \times \frac{d^4}{D^4 - d^4} \times \sqrt{2 \times g \times h}$$

μ - coeficiente adimensional (de descarga) que toma en cuenta el grado de uso del medidor (en este caso, μ no representa la viscosidad dinámica).

$\mu = 0.985$, para medidores nuevos.

$\mu = 0.980$, para medidores usados.

D = 1.025 pulgadas

d = 0.625 pulgadas

Especificaciones y datos:

Tubería: de cobre, tipo L, para agua.

Diámetro nominal (pulgadas)	Diámetro externo (pulgadas)	Diámetro interno (pulgadas)
3/8	0.500	0.430
1/2	0.625	0.545
3/4	0.875	0.785
1	1.125	1.025

Relación para conversión de unidades:

1 pulgada ~ 2.53995 cm

1 pie ~ 30.47945 cm

Potencia del motor de la bomba: 1/4 HP, 1 725 r.p.m.

) de

Tanque de almacenamiento: 14 galones

4.4. Cuadro de datos y resultados:

Tubo de Venturi								Ramales de tubería del banco											
h_1	h_2	h_1	h_2	ΔH	Q	I	I	d	d	h_1	h_2	h_1	h_2	ΔH	V	Re	λ	H_f	
#	pulg	pulg	cm	cm	cm ³ /s	pies	cm	pul	cm	pulg	pulg	cm	cm	cm	cm/s			cm	
Tubería de diámetro 1"																			
1																			
2																			
3																			
Tubería de diámetro 3/4"																			
Tubería de diámetro 1/2"																			
Tubería de diámetro 3/8"																			

Gráficas:

- 1) ΔH versus Q
- 2) λ versus Re

4.5. Conclusiones

PRÁCTICA # 8

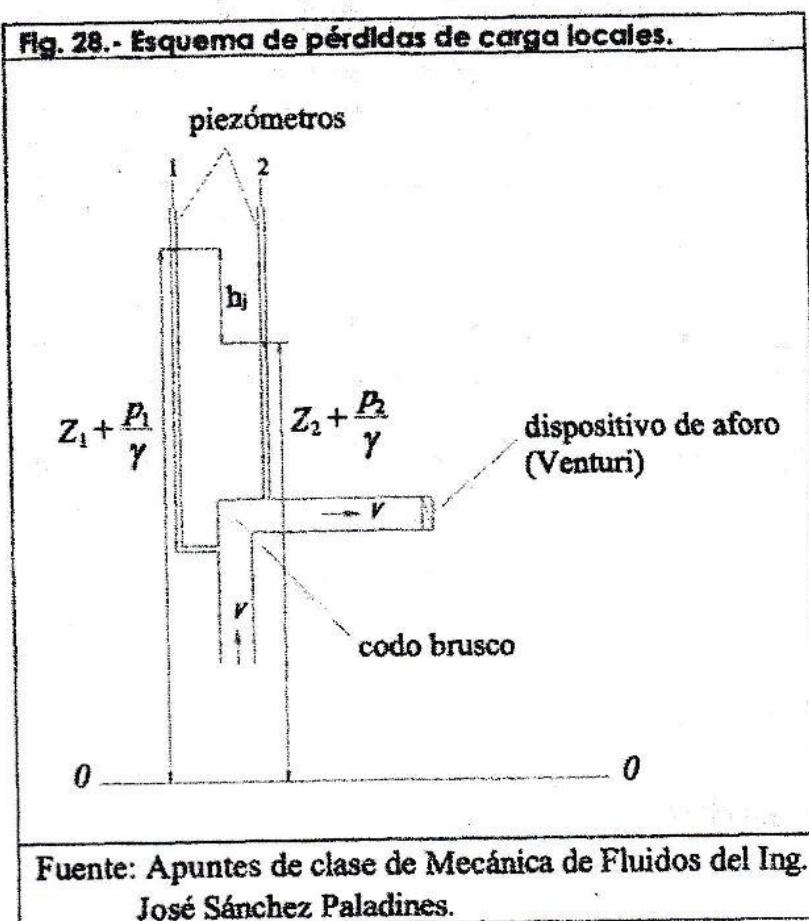
1. TEMA: Pérdidas de carga locales

2. OBJETIVO:

- Determinar las pérdidas de carga locales (por accesorios).

3. FUNDAMENTO TEÓRICO

Fig. 28.- Esquema de pérdidas de carga locales.



Las pérdidas locales también se conocen como pérdidas menores, pérdidas por accesorios, pérdidas secundarias.

Ecuación fundamental de las pérdidas locales.

$$h_f = \xi_f \times \frac{V^2}{2 \times g} \quad (41)$$

h_f - pérdida de carga local

5. - coeficiente adimensional, conocido como coeficiente de resistencia local

- $\frac{V^2}{2 \times g}$ - carga de velocidad

$$\xi_j = \frac{2 \times g \times h_j}{V^2} = \frac{2 \times g \times h_j}{\left(\frac{Q}{A}\right)^2} = \frac{2 \times g}{\left(\frac{Q}{\pi \times \frac{d^2}{4}}\right)^2} \times h_j = \frac{2 \times g \times \pi^2 \times d^4}{16 \times Q^2} \times h_j$$

$$\xi_j = \frac{g \times \pi^2 \times d^4}{8} \times \frac{h_j}{Q^2}$$

$$\text{Si } A = \frac{g \times \pi^2 \times d^4}{8},$$

Entonces,

$$\xi_j = A \times \frac{h_j}{Q^2} \quad (42)$$

4. DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE CARGA LOCALES (POR ACCESORIOS)

4.1. Materiales y equipos:

- a. Banco de pruebas o equipo de circuito de fluidos.
- b. Medidores de presión (incorporados en el banco).
- c. Medidores de gasto (incorporados en el banco).
- d. Termómetro.

4.2. Procedimiento:

1. Calibrar el medidor de Venturi (crear la curva de descarga).
2. Por medio de las válvulas, hacer fluir diferentes gastos a través de las tuberías del banco (3 ramales) con sus respectivos diámetros.
3. Medir las alturas piezométricas con ayuda de los piezómetros instalados en cada toma de presión (cámara de Kent) del accesorio en análisis.
4. Determinación de los coeficientes de resistencia local para cada caso y bajo diferente caudal (velocidad).

4.3. Cuadro de datos y resultados:

	Tubo de Venturi						Lecturas en piezómetros del accesorio						$A \frac{h_1}{Q^2}$	
	#	h_1 pulg	h_2 pulg	h_1 cm	h_2 cm	ΔH cm	Q cm^3/s	h_1 pulg	h_2 pulg	h_1 cm	h_2 cm	ΔH cm	V cm/s	ξ_j
Tubería de diámetro 1"														
Tee														
Codo														
Válvula														
...														
Tubería de diámetro 3/4"														
Tee														
Codo														
....														
Tubería de diámetro 1/2"														
....														
....														
Tubería de diámetro 3/8"														
....														

4.4 Gráficas

- 1) ΔH versus Q
- 2) ξ versus Q

4.5. Conclusiones

PRÁCTICA # 9

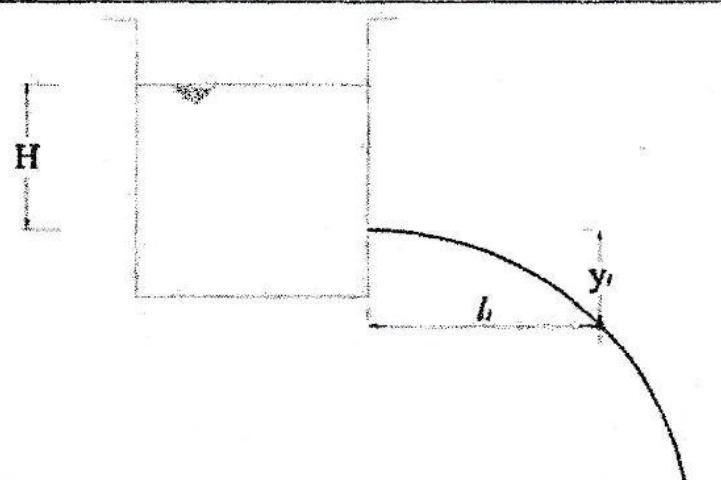
1. TEMA: Escorrimiento del líquido a través de orificios

2. OBJETIVO:

- Determinación experimental de los coeficientes: de gasto μ , de velocidad φ , de contracción ϵ , y de resistencia ζ , al salir el agua por orificios circulares, cuadrados y triangulares, practicados en una pared fina vertical.

3. FUNDAMENTO TEÓRICO

Fig. 29.- Esquema de la descarga del líquido a través de orificios.



Fuente: Apuntes de clase de Mecánica de Fluidos del Ing. José Sánchez Paladines.

Coefficiente de contracción

$$\epsilon = \frac{a_c}{a} \quad (43)$$

a_c - sección contraída

a - sección del orificio

Coefficiente de velocidad

$$\varphi = \frac{1}{(\alpha + \xi)} \quad (44)$$

ζ - coeficiente de resistencia

α - coeficiente de Coriolis, que para el caso de las corrientes turbulentas fluctúa entre 1.00 y 1.10

Al adoptar $\alpha = 1.0$

$$\varphi = \frac{1}{(1+\zeta)}$$

El coeficiente de resistencia será:

$$\zeta = \frac{1}{\varphi^2} - 1 \quad (45)$$

El coeficiente de velocidad expresado a través de los elementos de la trayectoria del chorro, cuya ecuación sigue la parábola, es:

$$\varphi = \frac{l_i}{2 \times (H \times y_i)} \quad (46)$$

$$v_c = \varphi \times \sqrt{2 \times g \times H} \quad (47)$$

v_c - velocidad en la sección contraída

Coefficiente de caudal (de gasto o de descarga)

$$\mu = \frac{Q}{\omega \times \sqrt{2 \times g \times H}} = \frac{Q}{Q_t} \quad (48)$$

Q - caudal real

Q_t - caudal teórico

Los valores de los coeficientes ϵ , φ , ζ y μ no son constantes, sino que dependen del número de Reynolds.

4. DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LOS COEFICIENTES

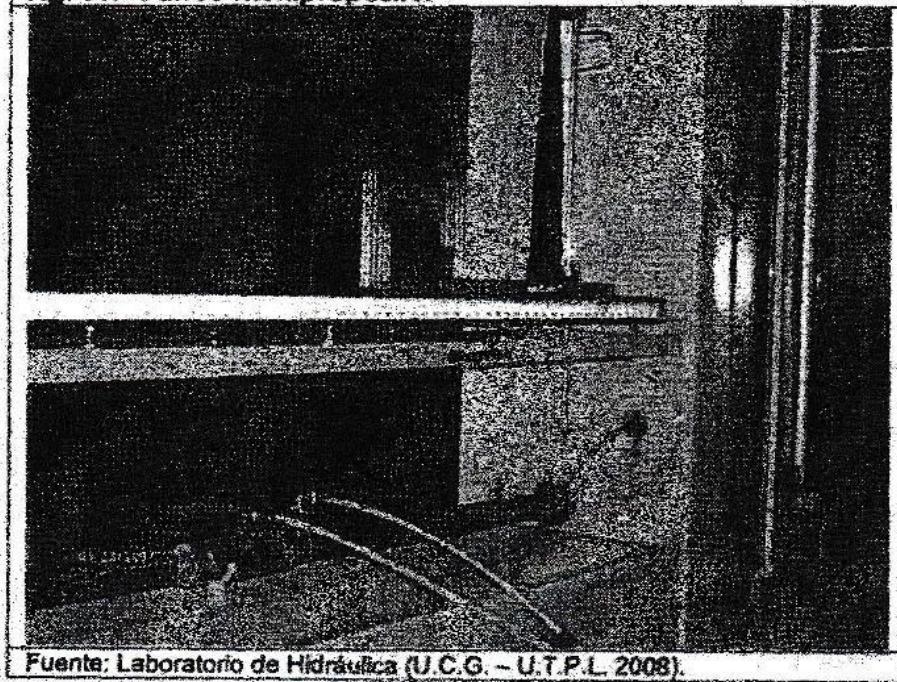
4.1. Materiales y equipos:

Banco multipropósito.

Orificios de diferente forma.

Orificio	Dimensiones nominales
Cuadrado, borde agudo	9.5 mm
Rectangular, borde agudo	9.5 mm x 6.5 mm
Triangular, borde agudo	9.5 mm
Circular, borde agudo	9.5 mm (diámetro)

Fig. 30.- Banco multipropósito.



Fuente: Laboratorio de Hidráulica (U.C.G. – U.T.P.L. 2008).

4.2. Procedimiento:

1. Colocar la plantilla con la forma correspondiente para cada ensayo (plantilla para orificio circular, plantilla para orificio cuadrado, etc.) en la sección de salida.
2. Ajustar el caudal necesario de agua al tanque durante el tiempo necesario para realizar el ensayo a carga constante (H). Registrar el valor de la carga se registra con ayuda del piezómetro instalado en el tanque.

3. Determinar el caudal de vaciado del orificio (Q) midiendo un volumen conocido en un tiempo dado.
4. Es conveniente tomar varios puntos de la distancia del vuelo del chorro (l_i) y la correspondiente altura de caída (y_i) (no menos de 3).
5. Cambiar la carga constante (H) y repetir el paso anterior (4).
6. Determinar los coeficientes μ , φ , ζ y ϵ .

4.3. Cuadro de datos y resultados:

Altura de carga constante	Volumen escurrido	Tiempo	Caudal	Velocidad teórica	Caudal teórico	Coeficiente de descarga	Coeficiente de velocidad	Coeficiente de resistencia	Coeficiente de contracción
H m	W m^3	t s	Q m^3/s	Vt m/s	Qt m^3/s	μ	φ	ζ	ϵ

4.4 Gráficas:

- 1) Trayectoria del chorro
- 2) $Q = f(H)$

Durante la realización del ensayo, se sugiere prestar atención a la **Inversión** del chorro, o sea, al cambio de forma que experimenta el chorro al salir del orificio.

4.5. Conclusiones

PRÁCTICA # 10

1. TEMA: Escurrimiento del líquido a través de boquillas

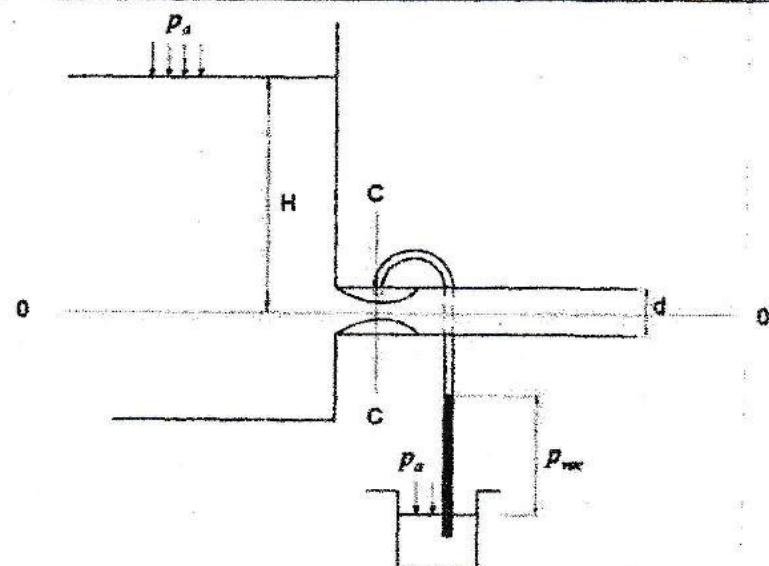
2. OBJETIVO:

- Determinación experimental de los coeficientes de gasto μ , de velocidad φ , de contracción ϵ y de resistencia ξ al salir el agua por boquillas.

3. FUNDAMENTO TEÓRICO

Se conoce como boquillas a aquellos tubos cortos cuya longitud es $l = (3...4) \times d$, donde d es el diámetro.

Fig. 31.- Esquema de la descarga del líquido a través de orificios.



Fuente: Apuntes de clase de Mecánica de Fluidos del Ing. José Sánchez Paladines.

Las boquillas pueden tener forma cilíndrica, cónica divergente, cónica convergente y conoidal.

La existencia de vacío en la sección contraída produce un cambio importante en las condiciones del flujo a la salida. El líquido que sale del recipiente no escurre hacia la atmósfera, sino hacia la zona del vacío formado; por lo tanto, conduce al aumento del gasto y, consecuentemente, al aumento del coeficiente de descarga μ .

4. DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LOS COEFICIENTES**4.1. Materiales y equipos:**

- a. Banco multipropósito.
- b. Boquillas.

Boquilla	Diámetro del orificio
De Borda	9.5 mm
De bobera cónica	10.0 mm
De bobera de trompeta	9.5 mm

4.2. Procedimiento:

1. Colocar la plantilla con la forma correspondiente para cada ensayo (plantilla para boquilla circular, cónica convergente, divergente, conoidal, etc.) en la sección de salida.
2. Ajustar el caudal necesario de agua al tanque durante el tiempo necesario para realizar el ensayo a carga constante (H). Registrar el valor de la carga con ayuda del piezómetro instalado en el tanque.
3. Determinar el caudal de vaciado del orificio (Q) midiendo un volumen conocido en un tiempo dado.
4. Es conveniente tomar varios puntos de la distancia del vuelo del chorro (l_i) y la correspondiente altura de caída (y_i) (no menos de 3).
5. Cambiar la carga constante (H) y repetir el paso anterior (4).
6. Determinación de los coeficientes μ , φ , ξ y ϵ .

4.3. Cuadro de datos y resultados:

Altura de carga constante	Volumen escumido			Caudal	Velocidad teórica	Caudal teórico	Coefficiente de descarga	Coefficiente de velocidad	Coefficiente de resistencia	Coefficiente de contracción
H m	W m^3	t s	Q m^3/s	V_t m/s	Q_t m^3/s	μ	φ	ξ	ϵ	

4.4. Gráficas:

- 1) Trayectoria del chorro
- 2) $Q = f(H)$

4.5. Conclusiones

Bibliografía manual de laboratorio de Mecánica de Fluidos.

Agroskin I.I.; (1988). Hidráulica. La Habana, Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias Habana.

Aguirre Pe, J. (1972). Mecánica de Fluidos II. Laboratorio de Hidráulica. Guía de trabajos prá Mérica - Venezuela, Universidad de Los Andes.

Cassis Martínez, R. (1975). Teoría y práctica de la mecánica de los fluidos. Guayaquil - Ecuador
Gerhart Philip, G. R., Hochstein John (1995). Fundamentos de Mecánica de Fluidos. Wilming Delaware, E.U.A. .

Kremenetski N.; Schterenliht D.; Alichev V.; Iakovlev L. (1989). Hidráulica. Moscú - URSS.

Mataix Claudio (1982). Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas. México.

Mejía M. J. Abel, E. M. N. (1988). Mecánica de Fluidos. Manual de Laboratorio. Lima - Perú, Departamento de Recursos Agua y Tierra.

Pashkov N. N., D. F. M. (1985). Hidráulica y máquinas hidráulicas. Moscú - URSS.

Sánchez Paladines José (2007). Apuntes de clase de Mecánica de Fluidos. Cátedra de Mecánica de Fluidos. Loja - Ecuador, Escuela de Ingeniería Civil - UTPL.

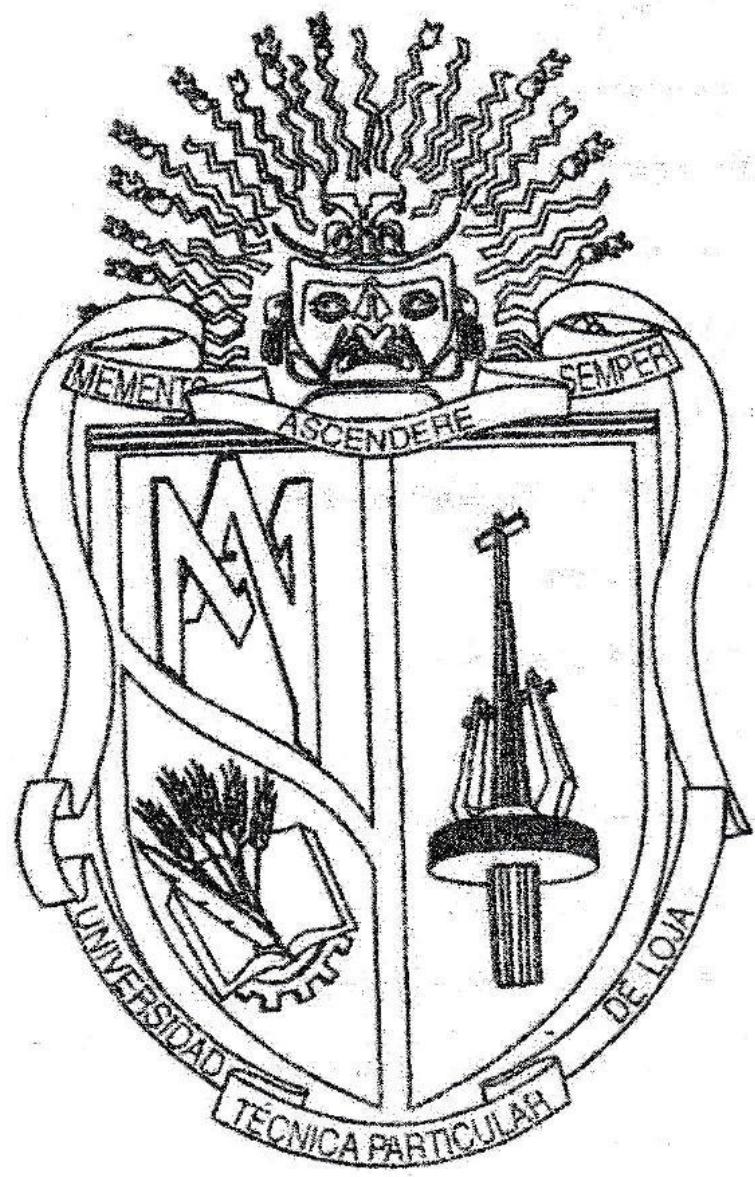
Sotelo G. (1987). Hidráulica general. México.

Streeter V.L.; Wylie E. B.; Bedford K. W. (1998). Fluid Mechanic. Boston, Massachusetts.

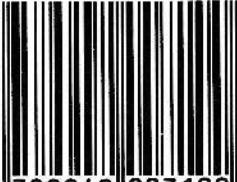
(Aguirre Pe 1972), (Cassis Martínez 1975), (Gerhart Philip 1995), (Mejía M. J. Abel 1988), (Pashkov N. N. (1985)), (Mataix Claudio 1982), (Sánchez Paladines José 2007), (Agroskin I.I.; 1988; Kremenetski N.; Schterenliht D.; Alex Iakovlev L. 1989; Streeter V.L.; Wylie E. B.; Bedford K. W. 1998) (Sotelo G. 1987; Agroskin I.I.; Dmitriev G.T. F.I. 1988)

INDICE

	Introducción	3
	Propiedades de fluidos homogéneos	5
Práctica 1	Densidad	5
Práctica 2	Viscosidad	10
	Hidrostática	16
Práctica 3	Medición de la presión	16
Práctica 4	Fuerza de presión y centro de presión sobre superficies panas sumergidas	21
Práctica 5	El medidor de Venturi	26
Práctica 6	El tubo de Pitot	32
Práctica 7	Pérdidas de carga por longitud	34
Práctica 8	Pérdidas de carga locales	42
Práctica 9	Escurrimiento de líquidos a través de orificios	45
Práctica 10	Escurrimiento de líquidos a través de boquillas	49
	Bibliografía	52



ISBN: 978-9942-00-710-0



9 789942 007100