



Facultad de Estudios Superiores

Acatlán

TALLERES Y LABORATORIOS DE LICENCIATURA

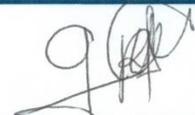
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE HIDRAÚLICA DE TUBERÍAS MANUAL DE PRÁCTICAS

FESA PAL IIC HT

ELABORÓ:

JEFE DE SECCIÓN


Ing. Ricardo García Valdivia

REVISIÓN
TÉCNICA:

COORDINACIÓN DEL
PROGRAMA DE
INGENIERÍA CIVIL


Ing. Omar Morales Dávila

REVISIÓN DE
GC:

GESTIÓN DE LA CALIDAD


Esp. Fanny Maricela Bernal Herrera

AUTORIZÓ:

REPRESENTANTE DE LA
DIRECCIÓN/COORDINADO
R DE SERVICIOS
ACADÈMICOS


Mtro. Fernando Martínez Ramírez

Fecha de Emisión: 2022.08.22

CONTENIDO

Número de sesión práctica	Nombre	Página
1	Presión y empuje Hidrostático	4
2	Empuje y Flotación	7
3	Aforo en tuberías	9
4	Ecuación de Bernoulli	13
5	Fuerza y cantidad de movimiento	16
6	Número de Reynolds	20
7	Orificios	23
8	Pérdidas de energía	28
9	Tuberías en paralelo	32
10	Redes cerradas	35

INTRODUCCIÓN

Con la finalidad de que el estudiante de ingeniería fortalezca los conceptos teóricos vistos en el aula, surge la necesidad de que experimente y observe directamente en laboratorio los fenómenos físicos más importantes, para que de esta manera adquiera una mayor sensibilidad en el momento de resolver casos de ingeniería aplicada.

En el Laboratorio de Hidráulica de Tuberías se presenta una serie de experimentos y pruebas en las que se verificará conceptos de la Hidráulica Básica, además de que se tiene la oportunidad de corroborar los principios básicos tanto de la Hidrostática como de la Hidrodinámica al realizar mediciones directas para aplicar las expresiones matemáticas que los definen y de esta forma evaluar las magnitudes de fuerzas, presiones, velocidades, caudales, y características de flujo en general.

Así mismo, el alumno deberá encontrar las causas entre las variaciones observadas entre los resultados experimentales y los esperados de acuerdo a la teoría.

En las sesiones prácticas 1 y 2 se tratan los temas principales de los fluidos en reposo: presión hidrostática, empuje hidrostático en superficies, además de aplicar los conceptos que gobiernan las fuerzas sobre cuerpos en flotación.

En las sesiones prácticas 3 y 4 se observa la aplicación de los principios de conservación de la masa y la energía para el análisis de fluidos en movimiento, los cuales resultan en la Ecuación de Continuidad y en la Ecuación de Bernoulli, respectivamente.

Las fuerzas que se producen por el flujo son analizadas en el experimento de la sesión práctica 5 mediante la aplicación del principio de impulso y cantidad de movimiento, que es otra de las expresiones más importantes de la Hidrodinámica.

Se cuenta con un dispositivo para recrear el experimento con el cual el profesor Osborne Reynolds determinó la forma de clasificar el flujo de fluidos viscosos en laminar y turbulento. Lo anterior corresponde a la sesión práctica 6.

La aplicación de la Ecuación de Bernoulli a descargas de orificios se trata en la sesión práctica 7.

Para completar el análisis de situaciones de fluidos en movimiento en tuberías se debe considerar las energías que se pierden fundamentalmente por dos causas: pérdidas de energía por fricción y pérdidas en accesorios. Estos dos fenómenos se identificarán en la sesión práctica 8.

Finalmente, los sistemas de tuberías se analizan en las sesiones prácticas 9 y 10, que corresponden a los temas de tuberías en paralelo y redes cerradas.

SESIÓN PRÁCTICA No. 1 PRESIÓN Y EMPUJE HIDROSTÁTICO

1. OBJETIVO

Verificar el efecto de la presión hidrostática y determinar el empuje hidrostático que actúa sobre una superficie plana sumergida en agua.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

Presión hidrostática.- Fuerza por unidad de área que ejerce un líquido en un punto, determinada por su profundidad.

$$p = \gamma h$$

Empuje.- Fuerza que resulta de la acción de la presión hidrostática sobre una superficie. Para superficies planas verticales:

$$F = \gamma \bar{y} A$$

donde:

γ = es el peso específico del fluido.

\bar{y} = profundidad del centro de gravedad de la superficie sobre la que actúa el agua.

A = área de la superficie.

También se puede calcular como *el volumen del prisma de distribución de presión.*

Posición del centro de presión.- Es la distancia vertical medida desde la superficie libre del agua, hasta el punto donde se localiza el empuje resultante.

$$y_{cp} = \bar{y} + \frac{I_{xc}}{\bar{y} A}$$

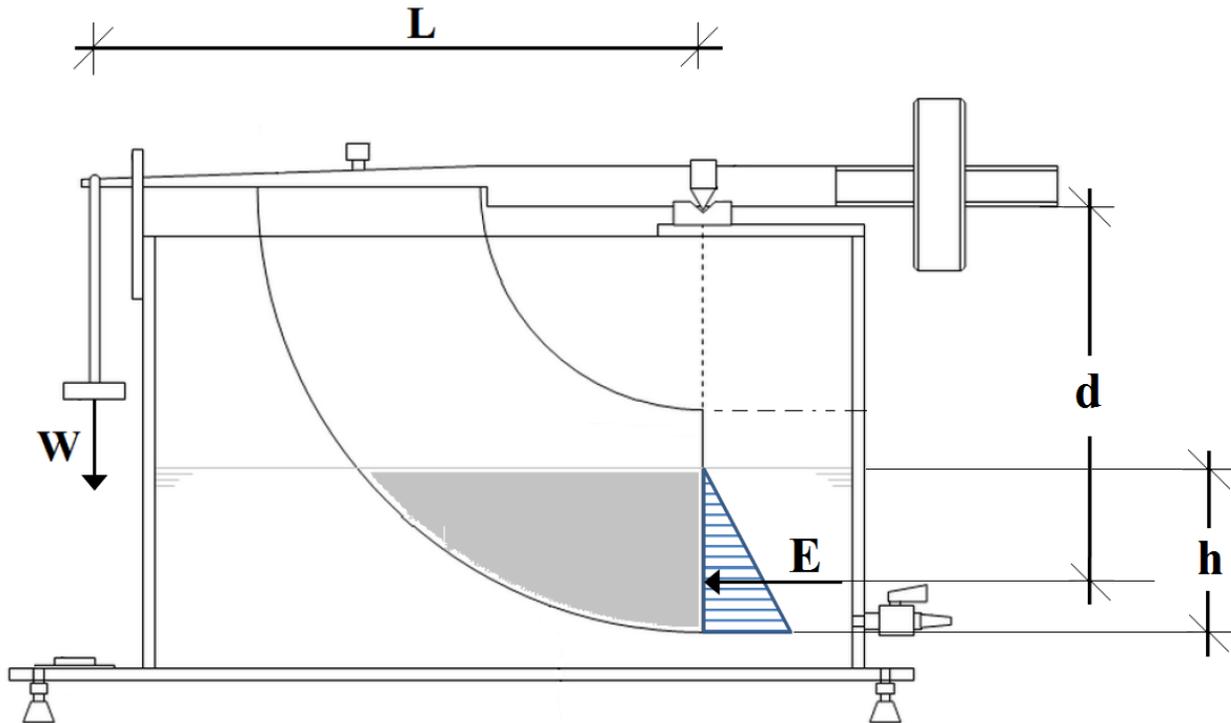
donde:

I_{xc} es el momento de inercia de la superficie con respecto a un eje que pasa por su centroide paralelo al eje x.

El centro de presión coincide con el centroide del prisma de presión.

3. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

1. Banco hidráulico para suministro de agua destilada.
2. Regla o calibrador con vernier.
3. Dispositivo de Presión Hidrostática Armfield F1-12, conformado por:
 - Tanque para con patas roscadas para nivelación
 - Cuadrante plástico moldeado, con acabado de precisión
 - Brazo de balanza con contrapeso ajustable y porta pesas
 - Distancia entre el porta pesas y el punto de apoyo (L): 275 mm
 - Sección del cuadrante (ancho, b): 75 mm
 - Altura total del cuadrante: 200 mm
 - Altura del eje de apoyo sobre el cuadrante: 100 mm



4. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA

1. Confirmar las medidas del equipo con la regla o vernier.
2. Nivelar el tanque de prueba sobre el banco hidráulico o superficie plana mediante los tornillos y el nivel de burbuja.
3. Colocar el cuadrante en su posición y mover el contrapeso hasta equilibrar el brazo de manera horizontal.
4. Colocar una pesa de 50 g en el extremo del brazo sobre el portapesas.
5. Agregar agua lentamente al tanque de prueba hasta que el sistema se equilibre en una posición horizontal. (Lo anterior se puede lograr más fácilmente si se sobrepasa el nivel de equilibrio y después se abre ligeramente el dren del tanque hasta el equilibrio).
6. Anote la profundidad de inmersión en la escala de la cara lateral del cuadrante.
7. Repita el procedimiento anterior añadiendo las pesas una a una y agregando agua hasta el equilibrio.
8. Repita en sentido contrario, quitando una a una las pesas y drenando el agua del tanque hasta balancear el brazo del dispositivo.

5. RESULTADOS

1. Tabular y graficar los datos del peso (g) contra profundidad de inmersión (cm)
2. Usando las expresiones teóricas calcule el empuje hidrostático y la posición del centro de presiones.
3. Calcule el empuje hidrostático teórico con respecto al punto de giro del dispositivo.
4. Comparar los empujes experimentales con los teóricos y obtener el porcentaje de error experimental.
5. Analizar y comentar algunas razones posibles que expliquen las diferencias entre ellos.

L = _____

No.	W (g)	h (cm)	F (g)	y_{cp} (cm)	d (cm)	$E_{exp} = W L/d$ (g)	E_{teor} (g)

Fórmulas utilizadas

$E_{teor} =$

$y_{cp} =$

$d =$

6. CONCLUSIONES

Las propias de esta sesión práctica, tanto personales como las realizadas en clase.

SESIÓN PRÁCTICA No. 2
EMPUJE Y FLOTACIÓN

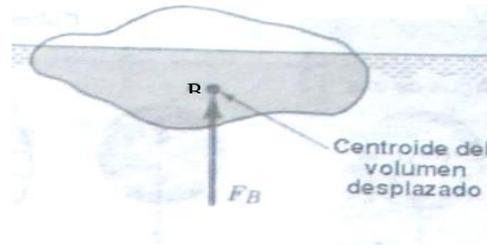
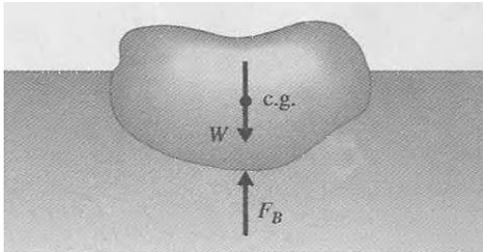
1. OBJETIVO

Verificar de manera experimental el principio de Arquímedes para un cuerpo en flotación.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

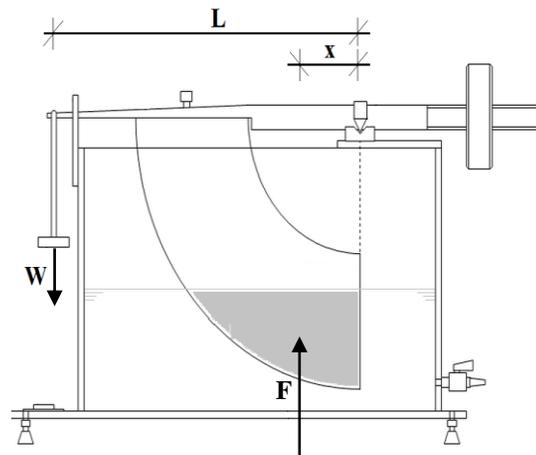
Principio de Arquímedes.- Todo cuerpo total o parcialmente sumergido experimenta un empuje vertical hacia arriba que es igual al peso del líquido desalojado.

El punto de aplicación del empuje coincide con el centro de gravedad del líquido desalojado y se denomina centro de empuje o centro de flotación.



3. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

1. Banco hidráulico para suministro de agua destilada.
2. Dispositivo de Presión Hidrostática Armfield F1-12.



4. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA

1. A partir del experimento de la sesión práctica 1, considerar que el empuje hidrostático sobre la superficie plana se equilibra con la componente horizontal del empuje sobre la superficie curva del cuadrante. Por lo que ahora, el empuje teórico que se deberá calcular, será el ocasionado por la componente F_y , el cual se calcula por medio del Principio de Arquímedes.

5. RESULTADOS

A. Principio de Arquímedes.

1. Calcule el momento del empuje teórico, F_y , con respecto al punto de giro del dispositivo.
2. Comparar los momentos que producen los pesos agregados por su brazo de palanca (experimentales) con los producidos por los empujes (teóricos).
3. Analizar y comentar algunas razones posibles que expliquen las diferencias entre los momentos teóricos y los experimentales.

$\gamma =$ _____

$T =$ _____

$L =$ _____

No.	W (g)	h (cm)	A (cm ²)	V (cm ³)	$F_y = \gamma V$ (cm)	x (cm)	$E_{exp} = W L/x$ (g)	E_{teor} (g)

Fórmulas utilizadas

A =

x =



TALLERES Y LABORATORIOS DE
LICENCIATURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE HIDRAÚLICA DE TUBERÍAS

Código: FESA PAL IIC HT Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

6. CONCLUSIONES

Las propias de esta sesión práctica, tanto personales como las realizadas en clase.

SESIÓN PRÁCTICA No. 3 AFORO EN TUBERÍAS

1. OBJETIVO

Aplicar el concepto de gasto que pasa por una tubería y utilizar distintos métodos para su determinación.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

Ecuación de continuidad.

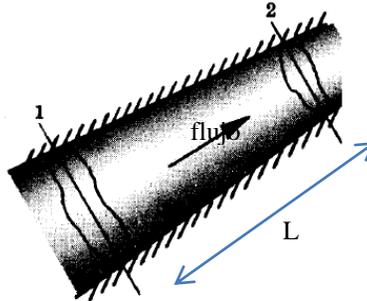
La ecuación de continuidad es una consecuencia del *principio de conservación de la masa*. Para un flujo permanente, la masa de fluido que atraviesa cualquier sección de una corriente de fluido, por unidad de tiempo es constante. Ésta puede calcularse como sigue:

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2 = \text{constante}$$

Donde A es el área de la sección, v es la velocidad instantánea en cada punto y ρ es la densidad del fluido.

Para fluidos incompresibles $\rho_1 = \rho_2$, y la ecuación anterior se transforma en:

$$A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2 = Q$$



Donde Q es una cantidad que se denomina gasto o caudal, y es el volumen por unidad de tiempo que pasa por la sección de tubería que se considere:

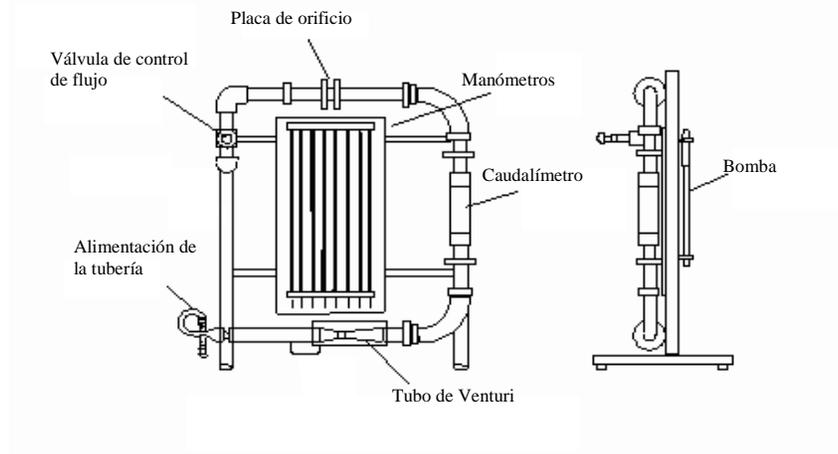
$$Q = Av$$

$$Q = \frac{V}{t}$$

Sus unidades más habituales son m^3/s , lt/min , ft^3/s , etc.

3. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

1. Banco hidráulico para suministrar el agua.
2. Dispositivo de medición de flujo Armfield F1-21
3. Recipiente volumétrico.
4. Cronómetro



4. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA

1. Colocar el dispositivo en el banco hidráulico, nivelarlo y establecer el flujo a través de la tubería.
2. Extraer el aire atrapado en el sistema de manómetros a través del tornillo de purga.
3. Evaluar directamente el gasto tomando el tiempo en que tarda en acumularse un volumen conocido en un recipiente o en el depósito del banco hidráulico.
4. Anotar las alturas en los manómetros a las entradas y salidas del medidor de área variable (Tubo de Venturi), así como en los correspondientes a la placa de orificio.
5. Tomar la lectura en el rotámetro o caudalímetro.
6. Repetir la experiencia para verificar la consistencia de las mediciones y promediar los valores obtenidos.

5. RESULTADOS

1. Calcule los gastos por cada uno de los métodos vistos.
2. Comente sus diferencias, los factores que afectan a cada uno y concluya cuál es el más aproximado

Área de la tubería de prueba, $A_1 = 7.92 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

Área del venturímetro, $A_2 = 1.77 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

Área del la placa de orificio, $A_2 = 3.14 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

No.	Volumen colectado, V	Tiempo transcurrido, t	Gasto, método volumétrico	Gasto en el caudalímetro	h ₁	h ₂	Gasto tubo de Venturi	h ₆	h ₇	Gasto Orificio

Expresión para el cálculo del gasto del dispositivo:

$$Q = \frac{C_d A_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \sqrt{2g \Delta h}$$

Donde:

C_d = coeficiente de descarga, para el venturímetro 0.98. Para el orificio 0.63.

A₁ = área de la tubería de prueba.

A₂ = área de la contracción del tubo de venturi o de la placa de orificio.

g = aceleración de la gravedad.

Δh = diferencia de cargas en las lecturas de los manómetros, h₁-h₂ para el venturímetro y h₆-h₇ para el orificio.

6. CONCLUSIONES

Las propias de esta sesión práctica, tanto personales como las realizadas en clase.

SESIÓN PRÁCTICA No. 4 ECUACIÓN DE BERNOULLI

1. OBJETIVO

Verificar experimentalmente la Ecuación de Bernoulli en una tubería con sección variable y trazar las líneas de energía total y de gradiente hidráulico.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

Ecuación de Bernoulli

Es el cumplimiento de la Ley de Conservación de la Energía aplicada a la mecánica de fluidos (sin considerar pérdidas de energía).

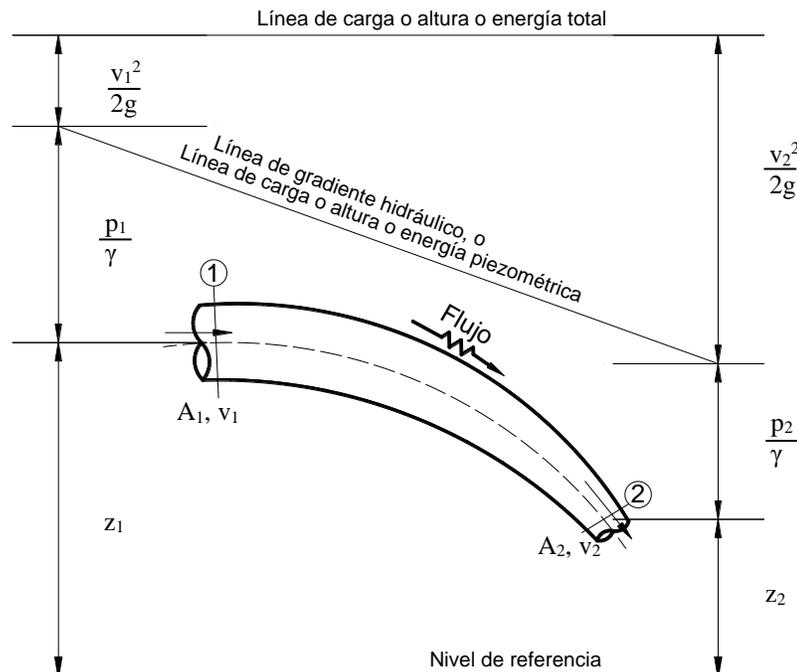
$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g}$$

Donde:

z = Energía o carga o altura de posición o elevación.

$\frac{p}{\gamma}$ = Energía o carga o altura de presión.

$\frac{v^2}{2g}$ = Energía, carga o altura de velocidad.

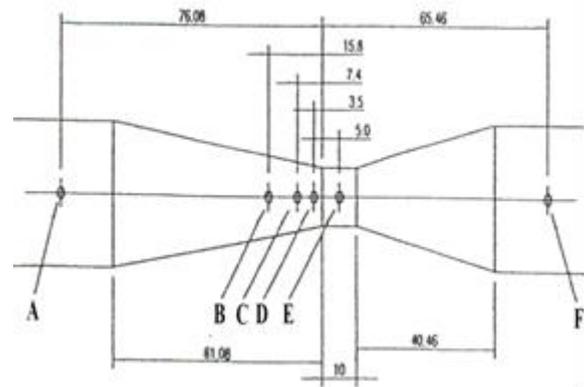
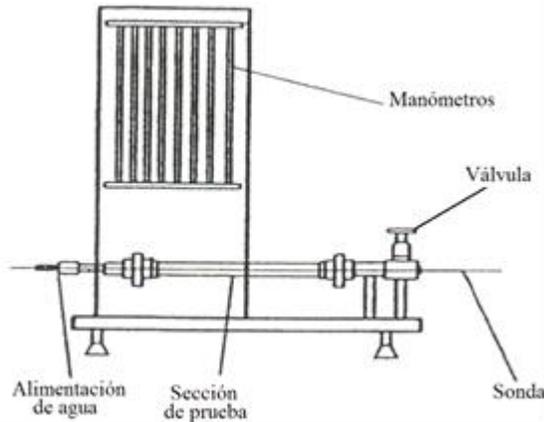


3. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

1. Banco hidráulico para suministrar el agua.
2. Dispositivo de demostración del Teorema de Bernoulli Armfield F1-15

La sección de prueba es un conducto maquinado de acrílico transparente de sección transversal circular variable (venturímetro). Está provista de un número de tomas de presión que está conectada a los manómetros alojados en la plataforma. Estas tomas permiten la medición de las alturas de presión, simultáneamente en las 6 secciones.

3. Cronómetro



Sección de prueba

Punto	Manómetro	Diámetro (mm)
A	h ₁	25.0
B	h ₂	13.9
C	h ₃	11.8
D	h ₄	10.7
E	h ₅	10.0
F	h ₆	25.0

4. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA

1. Colocar el dispositivo en el banco hidráulico, nivelarlo y establecer el flujo a través de la tubería.
2. Extraer el aire atrapado en el sistema de manómetros a través del tornillo de purga.
3. Establecer el flujo a través de la tubería hasta que éste sea constante.
4. Evaluar el gasto por el método volumétrico.
5. Anotar las alturas de presión o cargas estáticas, leídas en los manómetros en cada uno de los puntos del tramo estudiado una vez que éstas se estabilicen.
6. Determinar las cargas de velocidad por medio de la Ecuación de Continuidad.
7. Repetir la experiencia para diferentes gastos.

5. RESULTADOS

1. ¿Qué dificultades se presentaron en los procedimientos realizados?
2. Calcule las alturas de presión y de velocidad de cada punto y gráfíquelas en un esquema del dispositivo de prueba a una escala apropiada.
3. En el mismo esquema, uniendo los puntos correspondientes a lo largo de la trayectoria, dibuje la línea de energías totales, y la línea de alturas piezométricas.
4. Comente las variaciones de las energías a lo largo del trayecto, de acuerdo al esquema que se elaboró.
5. Repita lo anterior para cada uno de los gastos establecidos.

Volumen colectado, V	Tiempo transcurrido, t	Punto No.	Área de la sección, A	Velocidad, v (Q_{prom}/A)	Carga de velocidad ($v^2/2g$)	Carga de presión h ($h=p/\gamma$)	Carga total
m^3	s		m^2	m/s	cm	cm	cm
		1	490.9×10^{-6}				
		2	151.7×10^{-6}				
		3	109.4×10^{-6}				
		4	89.9×10^{-6}				
		5	78.5×10^{-6}				
Gasto promedio	$Q_{prom} =$ m^3/s	6	490.9×10^{-6}				

6. CONCLUSIONES

Las propias de esta sesión práctica, tanto personales como las realizadas en clase.

SESIÓN PRÁCTICA No. 5
FUERZA Y CANTIDAD DE MOVIMIENTO

1. OBJETIVO

Determinar experimentalmente las fuerzas que se generan por el cambio en la cantidad de movimiento en el flujo de un fluido.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

Siempre que cambia la magnitud o dirección de la velocidad de un cuerpo, se requiere de una fuerza que provoque un cambio, lo cual está expresado en la *Segunda Ley de Newton*.

Sea un elemento de fluido de masa m , sometida a una fuerza F durante un intervalo de tiempo, t :

$$F \cdot t = m \cdot v$$

Donde:

$F t$ es el impulso de la fuerza F en el intervalo de tiempo, t .
 $m v$ es la cantidad de movimiento de un elemento de fluido.

Por lo tanto, comparando antes y después de la aplicación de la fuerza, F , se tendrá:

Cantidad de movimiento inicial \pm impulso = cantidad de movimiento final

$$m v_1 \pm F t = m v_2$$

$$F = \frac{m}{t} (v_2 - v_1)$$

$$F = \rho Q (v_2 - v_1)$$

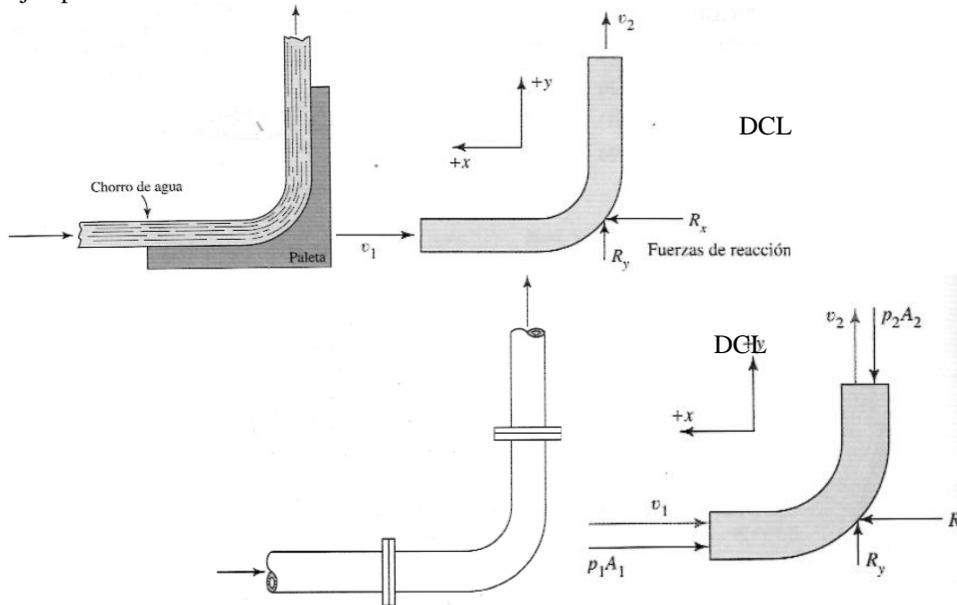
Donde:

F = Fuerza, en N .
 ρ = Densidad del fluido, en kg/m^3 .
 Q = Caudal o flujo volumétrico, en m^3/s .
 v_1, v_2 = velocidades inicial y final, respectivamente, en m/s .

O bien, atendiendo al carácter *vectorial* de la fuerza y la velocidad, es conveniente expresar la ecuación en sus componentes ortogonales:

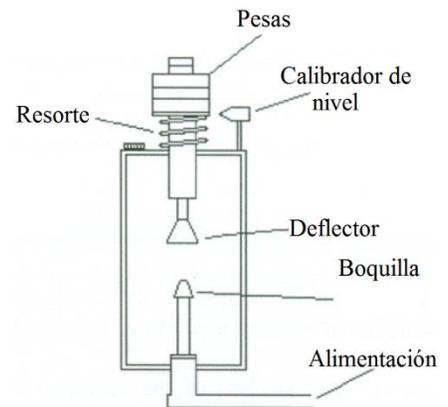
$$\begin{aligned} F_x &= \rho Q (v_{x2} - v_{x1}) \\ F_y &= \rho Q (v_{y2} - v_{y1}) \\ F_z &= \rho Q (v_{z2} - v_{z1}) \end{aligned}$$

Ejemplos:



3. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

1. Banco hidráulico.
2. Dispositivo Armfield F1-16, que consiste en un cilindro de acrílico transparente, que contiene un tubo con boquilla de diámetro conocido por donde se hace fluir el agua, cuyo chorro golpea una placa intercambiable con distintos ángulos de desvío, la cual se conecta con una placa donde se puede colocar masas de peso conocido para equilibrar la fuerza que imprime el flujo.
 - Diámetro de la boquilla: 0.008 m
 - Área: $5.0265 \times 10^{-5} \text{ m}^2$
 - Deflectores de flujo de $30^\circ, 90^\circ, 120^\circ$ y 180°
 - Juego de pesas
3. Recipiente volumétrico.
4. Cronómetro.



Considerando que la velocidad mantiene su magnitud mientras se desplaza sobre el deflector y sólo cambia en su dirección:

$$F_y = \rho Q v (\cos \theta + 1)$$

$$\theta = 180^\circ - \alpha$$

5. RESULTADOS

1. Realizar esquemas de las trayectorias que sigue el agua con cada deflector.
2. Calcular las fuerzas de flujo F_y , y compararlas con los pesos W , con los que se equilibra el sistema en cada caso, calculando el porcentaje de error experimental. Realizar comentarios.

6. CONCLUSIONES

Las propias de esta sesión práctica, tanto personales como las realizadas en clase.

SESIÓN PRÁCTICA No. 6 NÚMERO DE REYNOLDS

1. OBJETIVO

Verificar y reproducir el experimento clásico de Osborne Reynolds concerniente a la condición de flujo de un fluido, observando los patrones laminar, de transición y turbulento.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

El comportamiento de un fluido, en lo que se refiere a las pérdidas de energía, depende de que el flujo sea

- **Laminar**, cuando el fluido parece moverse en láminas continuas con poca o ninguna mezcla de las capas adyacentes, o
- **Turbulento**, cuando el fluido se mueve de manera desordenada, en trayectorias caóticas que se cruzan sin ningún patrón definido.

Osborne Reynolds demostró experimentalmente que es posible pronosticar los flujos laminar o turbulento si se conoce la magnitud de un número adimensional al que hoy se conoce como **Número de Reynolds**.

El Número de Reynolds se refiere a la relación que existe entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas, es decir, las que se oponen al movimiento:

$$\frac{ma}{\tau A} = \frac{ma}{\mu \left(\frac{dv}{dy}\right) A}$$

Realizando un análisis dimensional a conveniencia, se puede obtener lo siguiente:

$$\frac{\rho L^3 \frac{L}{s^2}}{\mu \frac{T}{L} L^2} = \frac{\rho L^2 v^2}{\mu \frac{v}{L} L^2} = \frac{\rho v L}{\mu}$$

Para el flujo en tuberías, la longitud L coincide con el diámetro de la tubería, D , por lo que se puede escribir:

$$R_e = \frac{vD\rho}{\mu} \quad , \quad \text{o bien} \quad , \quad R_e = \frac{vD}{\nu}$$

En donde:

v = velocidad, en m/s

D = diámetro de la tubería, en m

ρ = densidad del fluido, en kg/m³

μ = coeficiente de viscosidad, en Pa-s = N-s/m²

ν = coeficiente de viscosidad cinemática = μ/ρ , en m²/s

Si $R_e < 2000$, el flujo es laminar

Si $R_e > 4000$, el flujo es turbulento

Si $2000 < R_e < 4000$ el flujo es de transición

3. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

1. Banco hidráulico.
2. Dispositivo de Osborne Reynolds, que consiste en un depósito o tanque amortiguador que proporciona una carga o altura constante de agua, mediante una entrada acampanada, a la tubería transparente prueba.
 - El flujo a través de este tubo se regula mediante una válvula de control en el extremo de descarga.
 - El diámetro del tubo de prueba es 10 mm.
 - La longitud del tubo de prueba es de 700 mm.
 - El equipo cuenta con un dispositivo de inyección de tinta para observar los distintos patrones de flujo.
3. Recipiente volumétrico, (probeta graduada).
4. Cronómetro.
5. Termómetro.

4. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA

1. Establecer el flujo a través del tubo de prueba a distintas velocidades procurando verificar las tres zonas de flujo: laminar, transición y turbulento.
2. Determinar el gasto por el método volumétrico.
3. Utilizar la tinta como trazador para observar los regímenes de flujo en el tubo de prueba.

Lectura	Tiempo		Volumen	Gasto	Velocidad	R_e	Característica de flujo observada
No.	s		m^3	m^3/s	m/s		
		1					
		2					
		3					
		1					
		2					
		3					
		1					
		2					
		3					
		1					
		2					
		3					

Diámetro _____ m

Área _____ m^2

Temperatura de prueba _____ $^{\circ}C$

Densidad _____ kg/m^3

Coefficiente de viscosidad dinámica _____ $Pa \cdot s = N \cdot s/m^2$

Coefficiente de viscosidad cinemática _____ μ/ρ , en m^2/s

5. RESULTADOS

1. Calcular el Número de Reynolds.
2. Ilustrar con un esquema el dispositivo para la determinación del Número de Reynolds.
3. Realizar esquemas de los patrones de flujo observados con la ayuda de la tinta.

6. CONCLUSIONES

Las propias de esta sesión práctica, tanto personales como las realizadas en clase.

SESIÓN PRÁCTICA No. 7
ORIFICIOS

1. OBJETIVO

Determinar experimentalmente los coeficientes de velocidad, contracción y descarga para un orificio de alivio con carga constante.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

Si se analiza la descarga a través de un orificio en un costado de un tanque con carga constante, de acuerdo con la *Ecuación de Bernoulli*, se obtiene para la velocidad de descarga:

$$v_t = \sqrt{2gh}$$

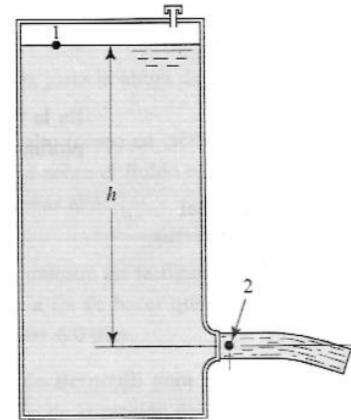
Expresión que se conoce como *Teorema de Torricelli*.

En donde:

v_t = velocidad teórica, en m/s

g = aceleración de la gravedad, $9.81 m/s^2$

h = carga en el depósito, en m .



Debido al efecto de las fuerzas que se oponen al movimiento, se tiene una pérdida en la velocidad de descarga.

La relación entre la velocidad ideal y la velocidad real puede ser determinada si definimos C_v como *coeficiente de velocidad*:

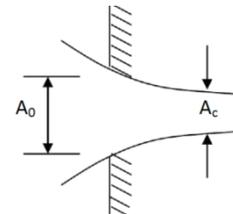
$$C_v = \frac{v_r}{v_t}$$

Por lo tanto, podemos describir la ecuación que define la velocidad como:

$$v_r = C_v \sqrt{2gh}$$

Donde v_r es la velocidad real de la descarga a través del orificio.

Por otra parte, si se observa el chorro que sale por el orificio se puede notar una variación del diámetro del mismo con respecto al diámetro del orificio, según sea la forma en que el orificio esté realizado, ya sea que cuente con superficie de variación gradual o brusca.



Si definimos C_c como un coeficiente de contracción del área:

$$C_c = \frac{A_c}{A_0}$$

Donde:

A_0 = es el área del orificio

A_c = área contraída. Área de la sección de la *vena líquida*.

Vena líquida. Configuración que adopta un fluido que sale por un orificio.

Y finalmente, definimos C_d como un coeficiente de descarga que relaciona:

$$C_d = \frac{Q_r}{Q_t}$$

Donde:

Q_t es el gasto teórico

$$Q_t = A_0 v_t = A_0 \sqrt{2gh}$$

Q_r es el gasto real

$$Q_r = A_c v_r = C_c A_0 \cdot C_v \sqrt{2gh}$$

$$Q_r = C_c C_v \cdot A_0 \sqrt{2gh}$$

$$Q_r = C_c C_v \cdot Q_t$$

De donde se deduce que:

$$C_d = C_c C_v$$

$$Q_r = C_d A_0 \sqrt{2gh}$$

$$C_c = \frac{C_d}{C_v}$$

2.1 Determinación del coeficiente de velocidad

La *velocidad real* de descarga en el orificio es:

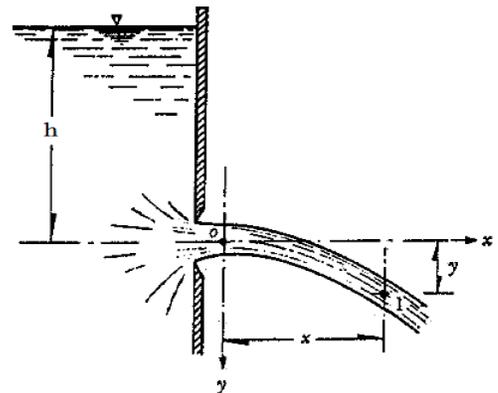
$$v_r = C_v \sqrt{2gh} \dots \dots \dots (1)$$

Despreciando la resistencia del aire, la componente horizontal de la velocidad se puede considerar como constante.

$$v_x = v = \frac{x}{t}$$

Por lo tanto, después de un tiempo transcurrido, t , la posición de una partícula de fluido será:

$$x = vt \dots \dots \dots (2)$$



Así mismo, el fluido adquirirá una velocidad vertical hacia abajo por la acción de la gravedad. La posición de un elemento del fluido estará dada por:

$$y = \frac{1}{2} g t^2$$

El tiempo, t , al que corresponde el desplazamiento vertical será:

Código: FESA PAL IIC HT Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

$$t = \sqrt{\frac{2y}{g}} \dots \dots \dots (3)$$

Sustituyendo las expresiones 1 y 3 en 2, obtenemos:

$$x = 2C_v\sqrt{yh} \quad \text{(Ecuación de una recta)}$$

Donde, si graficamos \sqrt{yh} contra x , la pendiente de esa gráfica, m_1 , será igual a $2C_v$.

$$m_1 = 2C_v$$

$$C_v = \frac{m_1}{2}$$

2.2 Determinación del coeficiente de descarga

Si tomamos la expresión

$$Q_r = C_d A_0 \sqrt{2gh}$$

graficamos \sqrt{h} contra Q_r , la pendiente m_2 , de la recta será:

$$m_2 = C_d A_0 \sqrt{2g}$$

Por lo tanto:

$$C_d = \frac{m_2}{A_0 \sqrt{2g}}$$

3. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

1. Banco hidráulico.
2. Dispositivo Armfield F1-17, que consiste en un depósito o tanque con orificios y intercambiables de 6 y 3 mm de diámetro, equipado para medir las trayectorias del chorro.
3. Recipiente volumétrico.
4. Cronómetro.

4. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA

4.1 Coeficiente de velocidad

1. Llenar el tanque del dispositivo hasta una carga constante máxima posible, h
2. Dibujar la trayectoria del chorro con la ayuda de los pernos o agujas en un papel milimétrico previamente colocado en la placa del dispositivo.
3. Repetir el procedimiento para un valor menor de h .
4. Repetir el procedimiento cambiando el diámetro del orificio del dispositivo.

Diámetro del orificio = _____ $A_0 =$ _____

Carga, $h =$ _____

Carga, $h =$ _____

	<i>Distancia horizontal, x</i>	<i>Distancia vertical, y</i>	\sqrt{yh}
<i>No.</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

	<i>Distancia horizontal, x</i>	<i>Distancia vertical, y</i>	\sqrt{yh}
<i>No.</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

$$C_v = \frac{m_1}{2} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$C_v = \frac{m_1}{2} = \underline{\hspace{2cm}}$$

4.2 Coeficiente de descarga

- Determinar el gasto con cronómetro y recipiente volumétrico para diferentes valores de h .
- Repetir el procedimiento cambiando el diámetro del orificio del dispositivo.

Diámetro del orificio = _____ $A_0 =$ _____

	<i>Carga, h</i>	V_{ot}	<i>Tiempo, t</i>	$Q_r = \frac{V_{ot}}{t}$	\sqrt{h}
<i>No.</i>	<i>m</i>	m^3	<i>s</i>	m^3/s	\sqrt{m}
1					
2					
3					
4					
5					
6					

$$C_d = \frac{m_2}{A_0 \sqrt{2g}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

5. RESULTADOS

5.1 Determinación del coeficiente de velocidad

1. Graficar \sqrt{yh} contra x y determinar la pendiente, m_1 de la recta, en cada caso.
2. Calcule $C_v = \frac{m_1}{2}$ de cada gráfica.
3. ¿Es diferente el valor de C_v para valores distintos de h ?

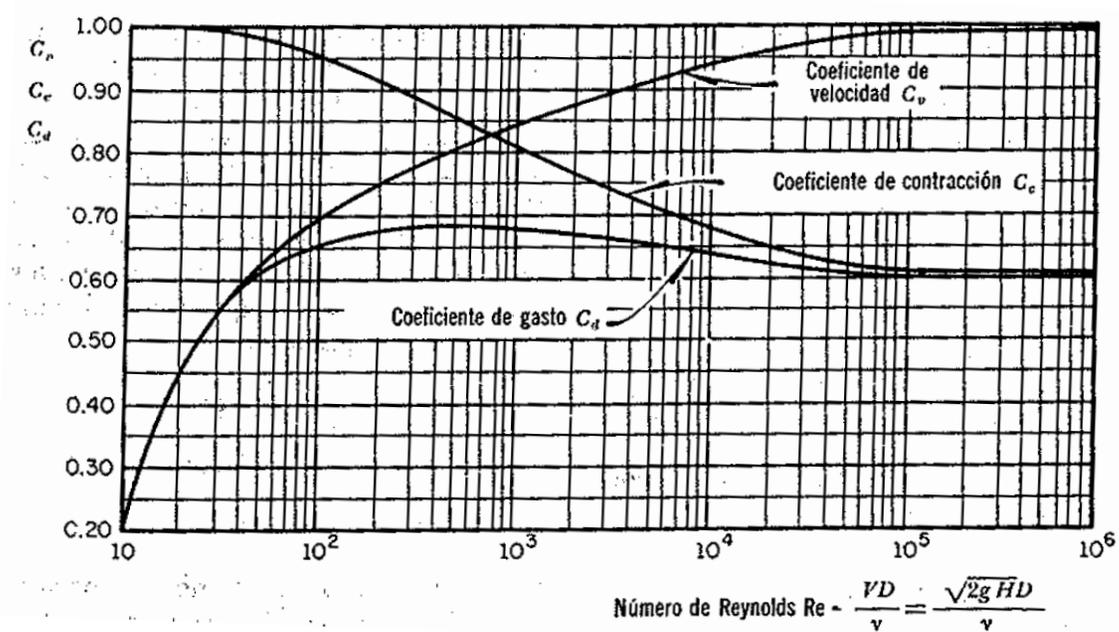
5.2 Determinación del coeficiente de velocidad

1. Graficar \sqrt{h} contra Q_r y determinar la pendiente, m_2 de la recta.
2. Calcule $C_d = \frac{m_2}{A_0 \sqrt{2g}}$.

5.3 Determinación del coeficiente de contracción

1. Calcular $C_c = \frac{C_d}{C_v}$, así como el área contraída del chorro, $A_c = C_c A_0$.

Comparar los valores obtenidos con los que se obtienen en la gráfica del libro *Sotelo Ávila Gilberto. Hidráulica General*, pp. 208, donde, a partir del valor del Número de Reynolds, se obtienen los tres coeficientes.



6. CONCLUSIONES

Las propias de esta sesión práctica, tanto personales como las realizadas en clase.

SESIÓN PRÁCTICA No. 8 PÉRDIDAS DE ENERGÍA

1. OBJETIVO

Comprobar experimentalmente las pérdidas por fricción y locales en una tubería de prueba con flujo de agua dentro de los regímenes laminar y turbulento y determinar el factor de fricción asociado a cada caso.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

Las pérdidas por fricción en una tubería se pueden expresar mediante la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

En donde:

L = longitud de la tubería

D = diámetro de la tubería

$\frac{v^2}{2g}$ = altura de velocidad

f = factor de fricción, que se define para flujo laminar como:

$$f = \frac{64}{Re}$$

Para flujo turbulento existen diversas teorías, una de las cuales nos dice que para una tubería lisa:

$$f = 0.316 Re^{-0.25}$$

O bien, se puede determinar por medio del Diagrama de Moody en donde se requiere determinar Re y la rugosidad relativa, definida como ϵ/D , con ϵ definida como la rugosidad del material con que esté fabricada la tubería, es decir, la altura promedio de los picos e irregularidades de la superficie interna la tubería.

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

Las pérdidas en accesorios, también conocidas como pérdidas locales, se expresan comúnmente con referencia al valor de la carga de velocidad, por medio de un factor o coeficiente de pérdidas:

$$h_L = K \frac{v^2}{2g}$$

Donde K es el coeficiente de pérdida, el cual, debido a la diversidad de accesorios que existen, se determina generalmente por medios experimentales.

3. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

- Banco hidráulico.
- Dispositivo Armfield F1-18 para determinación de pérdidas de energía por fricción.
- Recipiente volumétrico.
- Cronómetro.

4. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA

4.1 Pérdidas por fricción

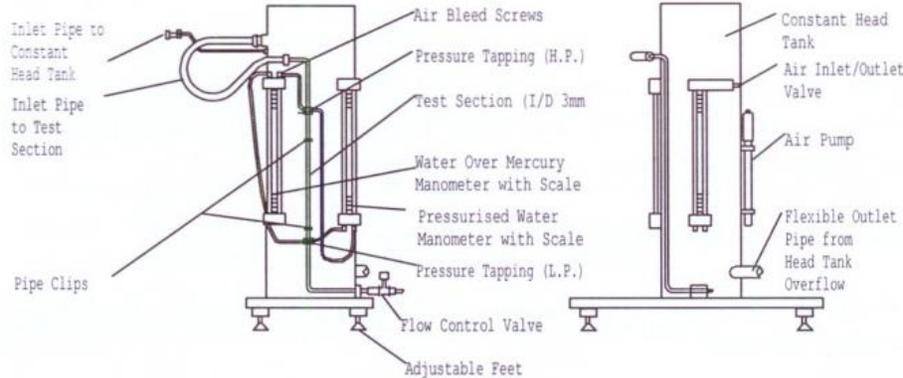
1. Colocar el dispositivo sobre el banco, verificando su nivelación.
2. Establecer el flujo por la tubería de prueba (Para gastos altos, mediante la conexión directa a la tubería de alimentación del banco hidráulico. Para gastos bajos, conectar al tanque de carga constante del equipo).
3. Calcular el gasto con ayuda de un recipiente graduado y el cronómetro.
4. Determinar las pérdidas de presión por fricción del tramo de tubería estudiado (por medio del manómetro diferencial de mercurio, para gastos altos y con el manómetro de columnas de agua para gastos pequeños). Verificar previamente a cualquier medición que no exista aire en las conexiones con los manómetros.
5. Determinar el factor de fricción, según la clasificación del régimen del flujo establecido y calcular las pérdidas por fricción.
6. Repetir para gastos diferentes dentro de las zonas de flujo laminar y turbulento.
7. Comparar los valores teóricos y experimentales de las pérdidas por fricción. Realizar comentarios.

Longitud del tubo de prueba, $L =$ 0.50 m Diámetro = 0.003 m

Temperatura de prueba =

Viscosidad cinemática, $\nu =$

No.	Volumen colectado, V m^3	Tiempo, t s	Gasto, Q m^3/s	Velocidad, v m/s	No. de Reynolds, Re -	Factor de fricción, f -	Pérdidas por fricción, h_f m	h_1 m	h_2 m	Δh (comparar con h_f) m
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										



4.2 Accesorios: codo largo, ensanchamiento, contracción, codo mediano, codo corto, válvula de compuerta e inglete.

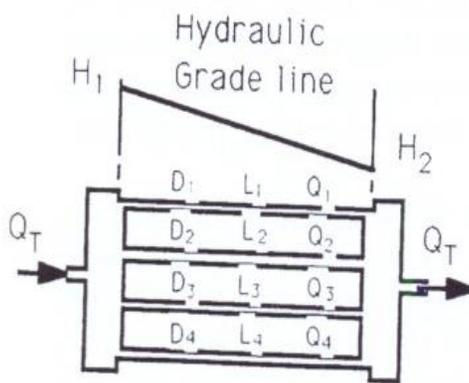
1. Colocar el dispositivo sobre el banco, verificando su nivelación.
2. Purgar los manómetros y establecer el flujo por la tubería de prueba (la válvula de compuerta deberá permanecer abierta en una primera etapa).
3. Medir el gasto con ayuda de un recipiente graduado y el cronómetro.
4. Determinar las pérdidas de presión en cada accesorio por medio de los manómetros (excepto en la válvula).
5. Repetir el procedimiento para 5 gastos diferentes.
6. Para la válvula de compuerta, realizar por separado el procedimiento con aberturas de 50%, 70% y 80% de vuelta, con al menos 5 gastos distintos, tomando la diferencia de presión con el manómetro de carátula, considerando la equivalencia de unidades siguiente:
1 Bar = 10.2 m (de agua).
7. Calcular los coeficientes de pérdidas, K, de cada accesorio.
8. Comparar los valores obtenidos con los encontrados en libros o manuales. Realizar comentarios.

SESIÓN PRÁCTICA No. 9 TUBERÍAS EN PARALELO

1. OBJETIVO

Determinar las características de una red de tuberías consistente en una red de cuatro tubos de diferentes diámetros conectadas en paralelo.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS



Al hacer fluir un gasto en una red de tubería con varios tubos colocados en paralelo, la presión en las uniones comunes será la misma para diferentes tubos. El gasto total se distribuye por las ramificaciones, de manera que:

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

Asimismo, cuando un elemento de fluido alcanza el segundo punto de unión habrá experimentado el mismo cambio de elevación, el mismo cambio de velocidad, y la misma pérdida de energía por unidad de peso, sin importar la trayectoria que haya seguido. Esto es:

$$h_{L1-2} = h_{L1} = h_{L2} = h_{L3} = h_{L4}$$

3. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

- Banco hidráulico.
- Dispositivo Armfield C-11 para flujo en redes de tuberías.
- Manómetros diferenciales de columnas de mercurio y columnas de agua.
- Cronómetro.
- Termómetro.

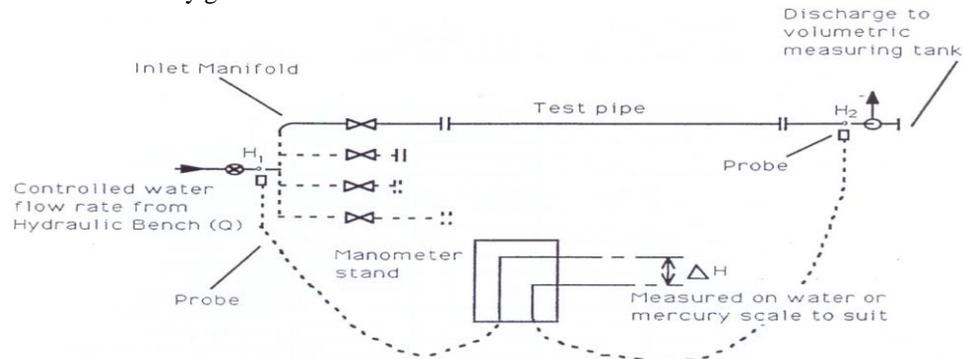
4. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA

4.1 Calibración de las tuberías.- Calibración de las tuberías de manera individual, midiendo pérdidas para diferentes gastos.

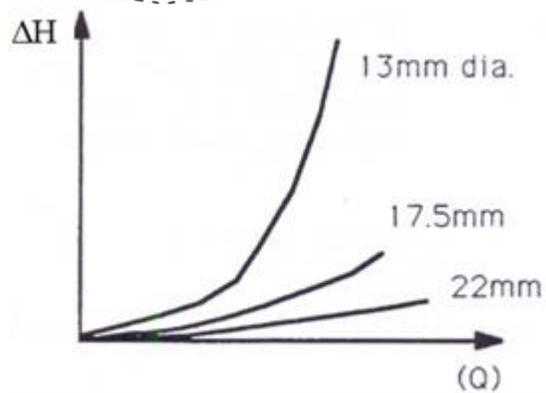
1. Conectar el tubo de prueba de 13 mm en el dispositivo. Mantener cerradas las válvulas de las secciones restantes, donde no se desea que exista flujo.
2. Encender la bomba y abrir la válvula para permitir un gasto a través del tubo.
3. Con la válvula de salida cerrada nivelar las alturas de mercurio.
4. Al abrir la válvula de salida observar y anotar los niveles en el manómetro diferencial.

Código: FESA PAL IIC HT Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

5. Determinar el gasto utilizando el tanque medidor del banco hidráulico y el cronómetro.
6. Variar el flujo en forma creciente registrando los niveles en el manómetro y el gasto en cada ocasión.
7. Repetir el procedimiento para los tubos de 17.5 y 22 mm.
8. Tabular los datos y graficar.

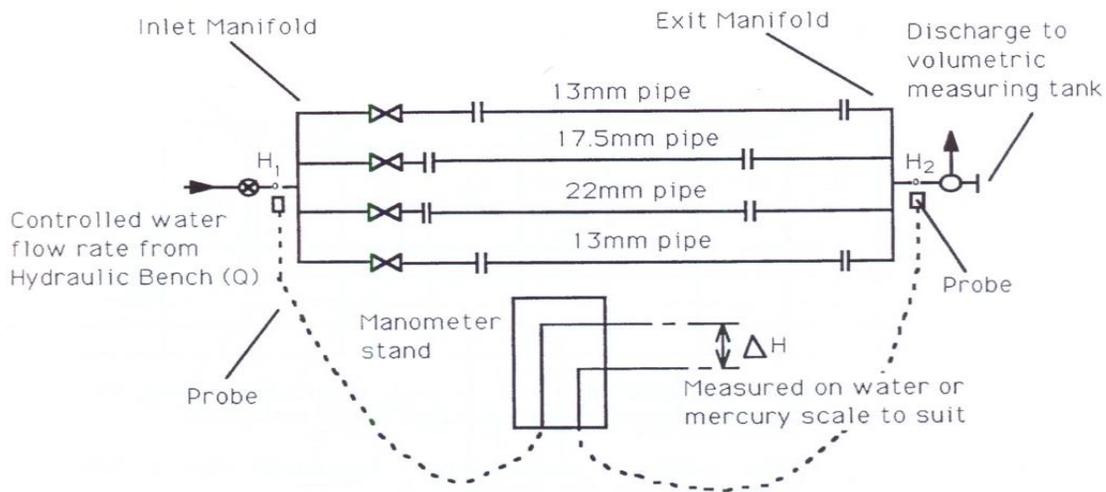


D m m	ΔH m m	Vol lt	T s	Q lt/s
13.0				
17.5				
22.0				



4.2 Tuberías en paralelo. Determinación del gasto por tubo usando las curvas de calibración y los valores de pérdidas en una red de tuberías con cuatro tubos en paralelo.

1. Conectar el equipo como se muestra en el diagrama.



2. Encender la bomba y abrir la válvula para permitir un gasto a través de todos los tubos.
3. Observar la pérdida de carga y determinar el gasto con el método volumétrico.
4. Variar el gasto para obtener al menos cuatro datos de gasto y pérdidas diferentes.
5. Para cada prueba, determinar los gastos en cada tubo utilizando las curvas de calibración obtenidas en A.
6. Comprobar que el gasto total corresponda a la suma de cada gasto individual por tubo. Realizar comentarios.

Results					Calculations				
Test No	H_{1-2}	Vol l	Time sec	Flow l/sec	Q_1 l/sec	Q_2 l/sec	Q_3 l/sec	Q_4 l/sec	ΣQ l/sec

5. RESULTADOS

6. CONCLUSIONES

Las propias de esta sesión práctica, tanto personales como las realizadas en clase.



TALLERES Y LABORATORIOS DE
LICENCIATURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE HIDRAÚLICA DE TUBERÍAS

Código: FESA PAL IIC HT Fecha de emisión: 2022.08.22 Revisión: 04

SESIÓN PRÁCTICA No. 10
REDES CERRADAS

1. OBJETIVO

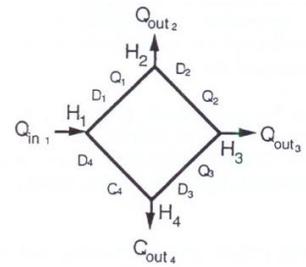
Determinar las características de una red cerrada consistente en un circuito con un punto de alimentación de agua y tres puntos de descarga.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

La solución para el caso de un circuito simple es determinar la carga H, en cada nodo o punto de intersección y el gasto Q, en cada tramo del circuito para conocer los gastos con los que se contará de acuerdo al gasto de entrada al sistema. Se puede ver que en cada nodo, la suma algebraica de los gastos debe ser cero.

Por ejemplo, en el punto 3:

$$Q_2 + Q_3 + Q_{\text{saliente}} = 0$$



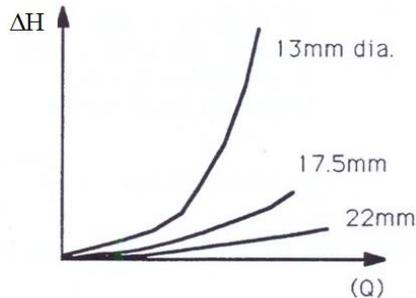
3. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

- Banco hidráulico.
- Dispositivo Armfield C-11 para flujo en redes de tuberías.
- Manómetros diferenciales de columnas de mercurio y columnas de agua.
- Cronómetro.

4. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA

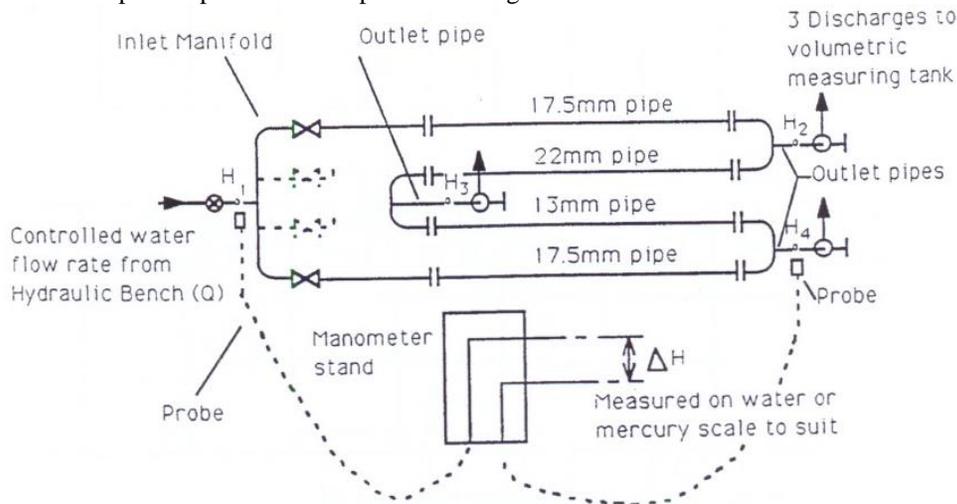
4.1 Calibración de las tuberías.- Calibración de las tuberías de manera individual, midiendo pérdidas para diferentes gastos. (Se puede utilizar las gráficas de la sesión práctica de Tuberías en Paralelo).

D m m	ΔH m m	Vol lt	T s	Q lt/s
13.0				
17.5				
22.0				



4.2 Prueba de la red cerrada de un circuito.

1. Conectar el equipo como se muestra en el siguiente diagrama.
2. Encender el banco hidráulico y la válvula de control para suministrar el gasto al circuito.
3. Conectar los manómetros diferenciales a los diferentes puntos para obtener las diferencias de carga.
4. Determinar el gasto total de cada una de las tres salidas mediante el cronómetro y en tanque del banco.
5. Repetir el procedimiento para diversos gastos.



Test No	H ₁₋₂	H ₂₋₃	H ₄₋₃	H ₁₋₄	Vol 1	Time sec	Flow 1/sec

Actividades.

1. Determinar el gasto en cada tramo de tubería del circuito, (Q₁, Q₂, Q₃ y Q₄), de las respectivas medidas de las cargas, H. Los gastos se pueden obtener de las curvas de calibración de los diferentes diámetros de tubería usado en cada tramo.
2. Calcular los gastos en cada uno de los tres puntos de descarga mediante la suma algebraica de los que llegan a cada nodo.
3. Sumar los tres gastos de salida y compararlos con el gasto de entrada para verificar la validez del análisis de la red.
4. Realizar comentarios a cerca de la distribución del flujo alrededor del circuito.

Código: FESA PAL IIC HT Fecha de emisión: 2022.08.22

Revisión: 04

Test No	Q_1 1/sec	Q_2 1/sec	Q_3 1/sec	Q_4 1/sec	Q_{out2} 1/sec	Q_{out3} 1/sec	Q_{out4} 1/sec	ΣQ_{out} 1/sec

5. RESULTADOS

6. CONCLUSIONES

Las propias de esta sesión práctica, tanto personales como las realizadas en clase.

HISTORIAL DE CAMBIOS

Revisión	Sección	Descripción de la modificación	Fecha de la modificación
0	Todas	Nuevo	2013.10.24
1	Portada	Actualización de Responsable de Gestión de la Calidad	2016.08.19
2	Portada	Actualización de Representante de la Dirección	2017.08.18
3	Portada	Cambio de Jefe de Sección	2022.03.01
4	Formato	Por ampliación de alcance se renombra FESA PIC I06 por FESA PAL IIC HT.	2022.08.22

HISTORIAL DE REVISIONES

Fecha de revisión	Responsable de realizar la revisión	Próxima fecha de revisión
2015.01.12	Ing. Omar Ulises Morales Dávila	2016.01.12
2016.01.12	Ing. Omar Ulises Morales Dávila	2017.01.12
2016.08.19	Ing. Omar Ulises Morales Dávila	2017.08.19
2017.08.18	Ing. Omar Ulises Morales Dávila	2018.08.18
2018.08.20	Ing. Omar Ulises Morales Dávila	2019.08.20
2019.08.02	Ing. Omar Ulises Morales Dávila	2020.08.02
2020.08.04	Ing. Omar Ulises Morales Dávila	2021.08.04
2021.04.02	Ing. Omar Ulises Morales Dávila	2022.08.04
2022.04.01	Ing. Omar Ulises Morales Dávila	2023.04.04
2023.04.11	Ing. Omar Ulises Morales Dávila	2024.04.11
2024.02.16	Ing. Omar Ulises Morales Dávila	2025.02.10