



MANUAL DE PRÁCTICAS LABORATORIO DE HIDRÁULICA

INGENIERÍA CIVIL

IB502

| | | | | | |
|---|--|---|----------------------------------|---|--|
|  | | UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA FACULTAD DE INGENIERÍA | |  | |
| I. PRESENTACIÓN | | | | | |
| MANUAL DE PRÁCTICAS PARA LABORATORIO | | | | | |
| Programa académico | Plan de estudio | Clave de la asignatura | Nombre de la asignatura | | |
| Ingeniería Civil | Ingeniería básica | IB502 | Laboratorio de hidráulica | | |
| Prácticas No. | Nombre del Laboratorio | Hidráulica | | Horas de práctica | |
| | Nombre de la práctica | | | | |
| 1 | PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS | | 2 | | |
| 2 | MEDIDAS DE PRESIÓN | | 2 | | |
| 3 | EMPUJE HIDROSTÁTICO EN SUPERFICIES PLANAS | | 2 | | |
| 4 | EMPUJE Y ESTABILIDAD DE CUERPOS FLOTANTES | | 2 | | |
| 5 | DEMOSTRACIÓN DEL FLUJO LAMINAR | | 2 | | |
| 6 | AFORO EN DESCARGA HORIZONTAL | | 2 | | |
| 7 | CANTIDAD DE MOVIMIENTO | | 2 | | |
| 8 | AFORO CON CARGA VARIABLE | | 2 | | |
| 9 | AFORO EN TUBERÍAS A PRESIÓN | | 2 | | |
| 10 | NÚMERO DE REYNOLDS Y RESISTENCIA AL FLUJO EN TUBOS | | 2 | | |
| 11 | CÁLCULO DE PÉRDIDAS MENORES | | 2 | | |
| 12 | GOLPE DE ARIETE | | 2 | | |
| 13 | EFICIENCIA EN EQUIPOS DE BOMBEO | | 4 | | |
| 14 | SISTEMAS DE REDES | | 4 | | |
| ATRIBUTOS /DOMINIO DE COMPETENCIA | | | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> ✓ Define y manejar los parámetros hidráulicos para el diseño y operación de canales abiertos. ✓ Desarrolla habilidades y destrezas, relativas a la observación, cuantificación e interpretación de fenómenos hidráulicos. ✓ Comunica en forma oral y escrita sus ideas e interpretaciones, respecto a los fenómenos estudiados, así como exponer sus juicios de valor respecto a la relación que estos guardan con su vida y el mundo que le rodea. | | | | | |
| NOMBRE DEL PROFESOR | | | | FIRMA | |
| | | | | | |
| FECHA | | | | | |

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| NORMAS GENERALES DE PRÁCTICAS EN HORARIO EXTRA CLASE..... | 4 |
| CONTENIDO DEL REPORTE..... | 5 |
| PRÁCTICA #1. PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS..... | 6 |
| PRÁCTICA #2. MEDIDAS DE PRESIÓN..... | 9 |
| PRÁCTICA #3. EMPUJE HIDROSTÁTICO EN SUPERFICIES PLANAS..... | 17 |
| PRÁCTICA #4. EMPUJE Y ESTABILIDAD DE CUERPOS FLOTANTES..... | 22 |
| PRÁCTICA #5. DEMOSTRACIÓN DEL FLUJO LAMINAR..... | 27 |
| PRÁCTICA #6. AFORO EN DESCARGA HORIZONTAL..... | 31 |
| PRÁCTICA #7. CANTIDAD DE MOVIMIENTO..... | 35 |
| PRÁCTICA #8. AFORO CON CARGA VARIABLE..... | 38 |
| PRÁCTICA #9. AFORO EN TUBERÍAS A PRESIÓN..... | 42 |
| PRÁCTICA #10. NÚMERO DE REYNOLDS Y RESISTENCIA AL FLUJO EN TUBOS..... | 48 |
| PRÁCTICA #11. CÁLCULO DE PÉRDIDAS MENORES..... | 51 |
| PRÁCTICA #12. GOLPE DE ARIETE..... | 54 |
| PRÁCTICA #13. EFICIENCIA EN EQUIPOS DE BOMBEO..... | 63 |
| PRÁCTICA # 14. SISTEMAS DE REDES..... | 68 |

NORMAS GENERALES DE PRÁCTICAS EN HORARIO EXTRA CLASE:

- I. Los alumnos podrán hacer uso del laboratorio en un horario distinto al asignado para poder llevar a cabo sus prácticas.
- II. El equipo deberá apartar el uso del laboratorio anticipadamente de acuerdo a la disponibilidad.
- III. Únicamente se recibirán equipos de un máximo de 6 personas por práctica.
- IV. El equipo o integrante del equipo que asista 15 minutos después de la hora en que se apartó el laboratorio, no podrá realizar la práctica.
- V. Para cada persona que asista al laboratorio es obligatorio conocer el contenido de la práctica desarrollada en este manual. Antes de comenzar con el trabajo de laboratorio, el grupo debe conocer los datos que se van a tomar durante la práctica y estar familiarizados con la misma. En caso de que no sepan los que se va a hacer, el grupo NO podrá realizar la práctica en ese momento.
- VI. Durante el desarrollo de la práctica, el equipo es el responsable de los materiales del laboratorio, en caso de descomposturas, tendrá que reponer o reparar los mismos.
- VII. Al terminar la práctica, el equipo es responsable de limpiar el equipo y área de trabajo utilizada
- VIII. Cada integrante del equipo deberá llenar el reporte de asistencia a la práctica.

CONTENIDO DEL REPORTE

- Título y objetivos de la práctica. -Especificar de manera clara lo que se pretende estudiar y los conocimientos que se pretenden adquirir.
- Antecedentes teóricos. - Se hace referencia a los principios físicos que respaldan el trabajo realizado.
- Equipo y materiales utilizados. - Descripción de los instrumentos utilizados.
- Procedimiento del experimento. - Enunciar cada paso llevado a cabo en la práctica, en el mismo orden de ejecución y de una forma clara.
- Datos y observaciones. - Valores medidos. Estos valores deben ser analizados y comparados, con el fin de verificar su coherencia y correspondencia.
- Cálculos y Resultados. - Los cálculos realizados al procesar los datos y los resultados obtenidos se presentan en forma de tabla o de una forma clara y organizada.
- Análisis de Resultados. - Comparar los datos experimentales con los que aparecen en los libros.
- Conclusiones. - Debe presentarse un análisis completo de las relaciones entre las variables, las comparaciones entre los resultados experimentales y los conceptos teóricos, y el desarrollo del experimento. Los resultados que presenten discrepancias deben ser discutidos, así como las posibles causas de error, proponiendo ideas que contribuyan a mejorar los resultados y el procedimiento de trabajo.
- Bibliografía. - Deben indicarse todos los textos, notas de profesores, trabajos de compañeros, manuales, catálogos, etc. que hayan sido usados en la realización del informe.

Nota: El catedrático de la materia puede hacer adecuaciones al contenido del reporte

PRÁCTICA No. 1

Propiedades de los fluidos

INTRODUCCIÓN

Los fluidos son sustancias capaces de fluir o moverse, adapta la forma de los recipientes que los contienen. Los fluidos no pueden soportar esfuerzos tangenciales o cortantes. Los fluidos son compresibles en cierto grado por lo general estas variaciones de volumen en fluidos son muy pequeña.

Densidad específica o absoluta (ρ) es la magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo.

$$\rho = \frac{m}{Vol}$$

La densidad del agua destilada a la presión atmosférica de 4°C es máxima e igual aproximadamente de 1000 kg/m³. La densidad relativa (D_r) de una sustancia, es la relación existente entre su densidad y la de otra sustancia de referencia, en consecuencia, es una magnitud adimensional

$$\rho_r = \frac{\rho_{sust}}{\rho_{agua}}$$

El peso específico (γ) se define como su peso por unidad de volumen, es decir, es una relación entre estos dos.

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

Como $W = mg$ y se deduce que:

$$\gamma = \rho g$$

La viscosidad (μ) es una característica que está presente en los líquidos que se encuentran en movimiento, es aquella que determina la cantidad de resistencia opuesta a las fuerzas cortantes. Cuando un fluido se mueve, se desarrolla una tensión de corte (τ) que puede definirse como la fuerza requerida para deslizar una capa de área unitaria de una sustancia sobre otra.

$$\tau = \frac{F}{A}$$

El gradiente de velocidad es una medida del cambio de velocidad en una distancia y se define como Dv/Dy , en donde la constante de proporcionalidad μ se conoce como viscosidad dinámica o absoluta del fluido, por lo tanto:

$$\tau = \mu \frac{\Delta v}{\Delta y}$$

Otro coeficiente de viscosidad, llamado viscosidad cinemática (ν), viene definido por el cociente de la viscosidad dinámica entre la densidad del fluido.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{\mu}{\gamma/g} = \frac{\mu g}{\gamma}$$

Ley de Stokes, cuando un cuerpo se mueve en el interior de un líquido viscoso, se produce una fuerza resistente sobre el cuerpo directamente proporcional a su velocidad, y que depende de la forma geométrica del cuerpo (1 Stoke = 1 cm²/s = 0.0001 m²/s).

Un cuerpo en movimiento en un fluido es contrarrestado por una fuerza de fricción en la dirección opuesta a su velocidad. La magnitud de esta fuerza depende de la geometría del cuerpo, su velocidad y la fricción interna del fluido. La medida de tal fricción interna está dada por la viscosidad dinámica (μ). Si el cuerpo es una esfera que cae verticalmente a una velocidad constante, entrará en equilibrio de fuerzas actuantes:

Donde:

F_1 Fuerza de fricción (Ley de Stokes)

F_2 Empuje hidrostático

F_3 Fuerza gravitacional

r Radio de la esfera

ρ_1 Densidad del líquido

ρ_2 Densidad de la esfera

V Velocidad

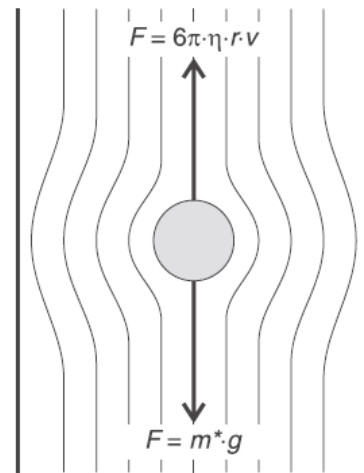
μ Viscosidad dinámica

$$F_1 + F_2 = F_3$$

$$F_1 = 6\pi\mu vr$$

$$F_2 = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_1 g$$

$$F_3 = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_2 g$$



La viscosidad dinámica (μ) es obtenida despejándola del equilibrio de fuerzas planteado.

INDICADORES DEL RESULTADO DE APRENDIZAJE

FUNDAMENTO

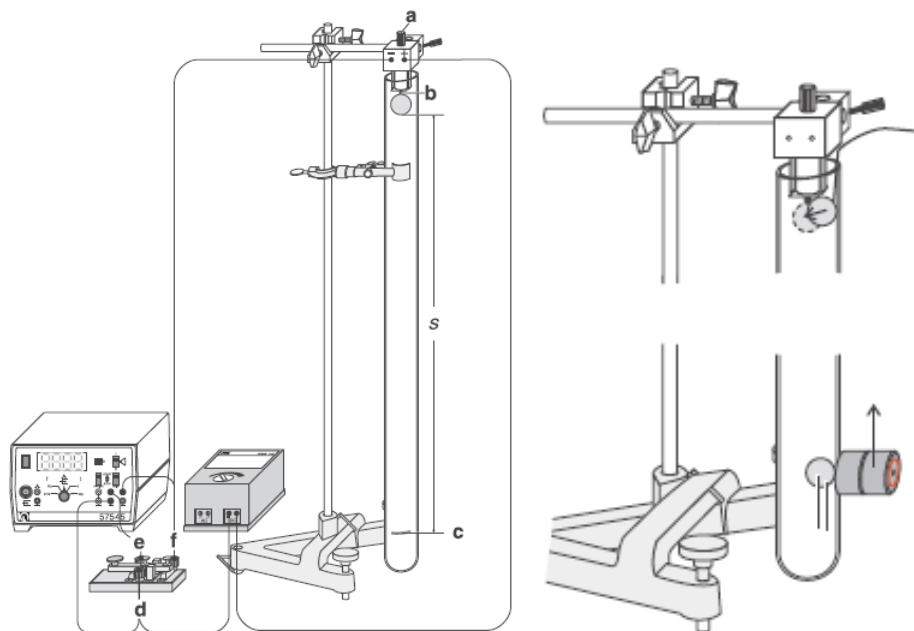
Determinar las propiedades físicas principales de los fluidos (peso específico, densidad, densidad relativa, viscosidad dinámica y viscosidad cinemática).

PROCEDIMIENTO

1. Obtener el peso específico de distintos líquidos:

- Pesar el recipiente vacío.
- Llenar el recipiente graduado con el fluido.
- Pesar el recipiente graduado con el fluido.
- Determinar el peso y el volumen de cada fluido.
- Tomar la temperatura de cada uno.

2. Introducir en los recipientes graduados el densímetro correspondiente y leer la escala de la densidad relativa.
3. Mediante el uso del viscosímetro determinar la viscosidad dinámica de la glicerina.
 - a. Colocar el viscosímetro vertical.
 - b. El radio de la esfera es de 0.8 cm, obtener la densidad de la misma.
 - c. Magnetizar el disparador manual y colocar la esfera en el tornillo inferior (Nota: en caso de no soltarse la esfera, inclinar el disparador).
 - d. Medir la distancia de caída desde la superficie libre de la glicerina que está en contacto con la esfera, hasta el fondo del recipiente.
 - e. Resetear el cronómetro digital en cero.
 - f. Activar el disparador (el cronómetro se activa conjuntamente) y detenerlo manualmente cuando la esfera llegue hasta el fondo.
 - g. Sacar la esfera con ayuda de los imanes y colocarla nuevamente en el disparador.
 - h. Calcular la velocidad de caída con la distancia y tiempo medidos. Se deben obtener cinco mediciones de velocidad para obtener un promedio.
 - i. Obtener el valor de la viscosidad dinámica μ del líquido utilizado.



| EQUIPO | MATERIAL/REACTIVOS |
|---|--------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> Recipiente graduado | |

| |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Distintos fluidos (agua, glicerina, aceite, etc.) • Viscosímetro • Cronometro digital • Esfera metálica • Imanes • Densímetro o areómetro • Báscula • Termómetro • Regla |
| DESARROLLO |
| |
| CÁLCULOS Y RESULTADOS |
| <ul style="list-style-type: none"> • Con los datos obtenidos del procedimiento 1 (peso y volumen) obtener el peso específico de los fluidos. • Con los datos obtenidos del densímetro, obtener el peso específico de los fluidos. • Con el valor del peso específico de los fluidos calculados en el procedimiento 1 obtener su densidad relativa. • Con los valores obtenidos del viscosímetro en el procedimiento 3 obtener la viscosidad dinámica y cinemática. |
| ANÁLISIS DE DATOS Y CONCLUSIONES/COMENTARIOS |
| |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS |
| <ul style="list-style-type: none"> • Sotelo Ávila, G., 1997. Hidráulica general. México DF.: Limusa. • Streeter, V. L., Wylie, E. B. & Bedford, K. W., 2000. Mecánica de fluidos. Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill. • LEYBOLD DIDACTIC GMBH. MECHANICS AERO-AND HYDRODUNAMICS VISCOSITY; P1.8.3.1 |
| ANEXOS |
| |

PRÁCTICA No. 2

Medidas de presión

INTRODUCCIÓN

Presión, se refiere a los efectos de una fuerza que actúa distribuida sobre una superficie. La fuerza puede ejercerla un sólido, un líquido o un gas. Frecuentemente, la fuerza causante de una presión es simplemente el peso de un cuerpo o material. En un fluido confinado entre fronteras sólidas, la presión actúa perpendicularmente a la frontera.

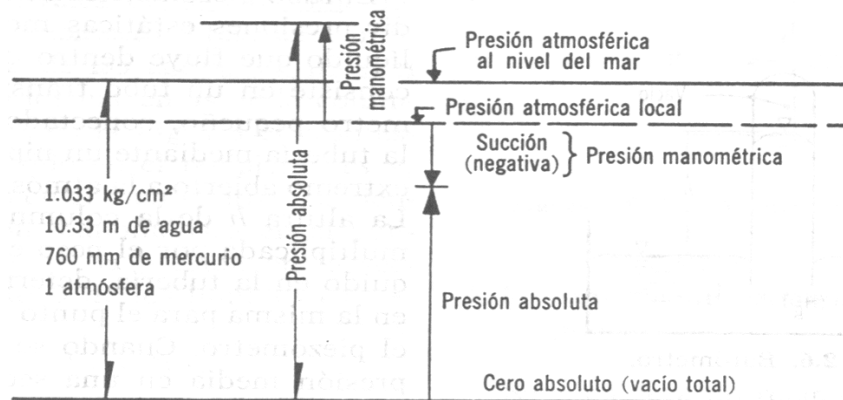
Ley de Pascal, “El incremento de presión aplicado a una superficie de un fluido incompresible, contenido en un recipiente indeformable, se transmite con el mismo valor a cada una de las partes del mismo”.

$$P = p_0 + \rho gh$$

Estas ecuaciones son aplicables en tanto g se mantenga constante o varíe muy ligeramente que no produzca un error significativo en los resultados. La altura o carga de presión h representa la altura de un fluido homogéneo que produzca la presión dada, así:

$$h = \frac{p}{\gamma}$$

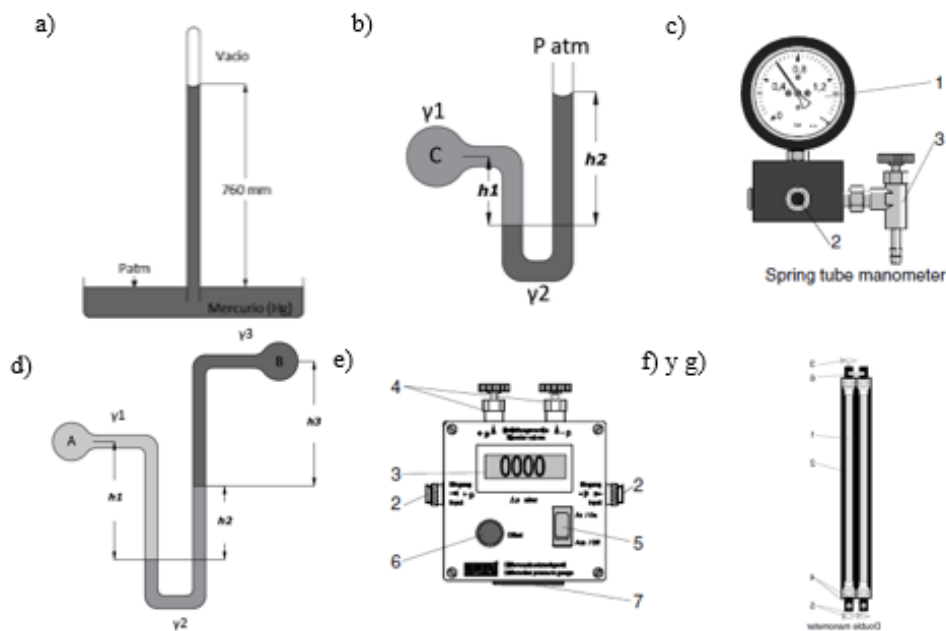
Las presiones pueden expresarse con referencia a un origen arbitrario; los orígenes más utilizados son el vacío absoluto (presión absoluta) y la presión atmosférica local (presión manométrica).



Dispositivos para medir presión

- Barómetro**, es un dispositivo para medir la presión atmosférica local, que consiste en un tubo de vidrio lleno de mercurio, con un extremo cerrado y el otro abierto, sumergido dentro de un recipiente que contiene dicho elemento. La presión atmosférica, ejercida sobre la superficie del mercurio en el recipiente, tiende a elevar el mercurio dentro del tubo hasta alcanzar la columna una altura h que equilibra la presión atmosférica.

- b) **Manómetro simple**, consiste en un tubo en U conectado a una tubería a presión de un lado y del otro abierto a la presión atmosférica, donde al tubo se le agrega por lo general un líquido más pesado que el agua para hacer práctico su uso. El más utilizado es el mercurio.
- c) **Manómetro de Bourdon**, mide presiones manométricas altas y consiste en un sistema de cremallera y piñón que mueven una aguja sobre una escala graduada.
- d) **Manómetros diferenciales**, determina la diferencia de presión en dos puntos A y B cuando no puede determinarse la presión real en cualquier punto del sistema. El nivel de los líquidos sube o baja cuando la presión sobre uno de los extremos (o ambos) del tubo varía.
- e) **Manómetro diferencial electrónico o digital**, mide presiones manométricas mediante un sistema de traductores de presión con la ventaja de que estas señales pueden amplificarse para dar una mayor precisión.
- f) **Piezómetro simple**, se utiliza para medir presiones estáticas moderadas de un líquido que fluye dentro de una tubería. Consiste en un tubo transparente de diámetro pequeño conectado al interior de una tubería y su otro extremo abierto a la atmósfera.
- g) **Piezómetro diferencial**, que se representa en la figura, sirve para medir diferencias de presiones en líquidos, solamente. Se distingue del manómetro diferencial ordinario en que no precisa del líquido manométrico especial.



INDICADORES DEL RESULTADO DE APRENDIZAJE

FUNDAMENTO

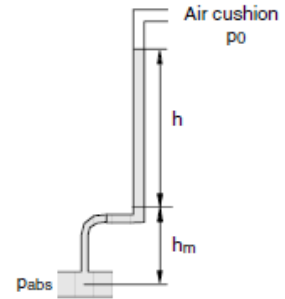
Identificar los distintos dispositivos para medir presión instalados en el laboratorio, obtener la magnitud de la presión y su equivalencia en diferentes unidades.

PROCEDIMIENTO

1. Medición de la presión absoluta. Piezómetro simple (Presiones bajas):

- Obtener 5 lecturas de presión de cualquier punto de las seis líneas del tablero. Deberá tomar la lectura de h (regla graduada) y medir la distancia de la regla hasta la válvula (h_m).
- Para medir la presión absoluta, la válvula de purga (válvula superior de instalada en los piezómetros) se abre y se mide la sobrepresión. En este caso, la altura **hm** entre la medición y punto cero del manómetro debe ser tomado en cuenta.

$$P_{abs} = P_0 + (h + h_m)\gamma$$



2. Manómetro de Bourdon (Presiones altas):

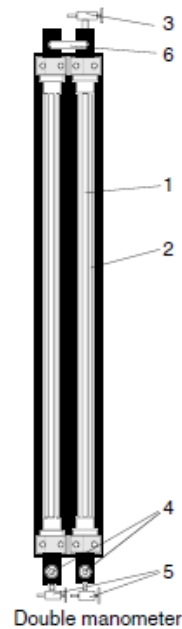
- Obtener 5 lecturas de presiones de cualquier punto de las seis líneas del tablero.
- Se debe purgar la manguera que se conecta al manómetro. Para hacer esto, abre el válvula (3) y enérgicamente enjuague a través de la línea (Figura C). Después de cerrar la válvula, la presión en el punto de medición se muestra en el manómetro.

3. Piezómetro diferencial:

- Tomar 5 lecturas de diferencia de presión seleccionando para ello 5 pares de puntos mediante las mangueras de conexión rápida.

- b) Las burbujas de aire en las mangueras de conexión causan mediciones incorrectas debido a la baja densidad del aire, deben purgarse:

- i. Cierre la válvula de purga en la parte superior (3)
- ii. Abra ambas válvulas de drenaje en la parte inferior (5).
- iii. Abra lentamente la válvula de bola en la entrada de la sección de tubería que se está midiendo.
- iv. Una vez que las maneras de conexión se purgan por el flujo de agua; cierre la válvula de drenaje de la sección del tubo.
- v. Lentamente, cierre ambas válvulas de drenaje en la parte inferior de forma simultánea (5).



- c) Asegúrese de que ambas columnas de agua se elevan simultáneamente y de que no haya desbordamiento entre los tubos de nivel.
- d) Para garantizar la mayor distancia de medición posible, la posición cero del manómetro debe estar en el centro de la escala.
- i. Cierre el drenaje de la sección del tubo. El caudal es igual a cero.
 - ii. El nivel es el mismo en ambos tubos de medición.
 - iii. Establecer con cuidado el nivel en el centro de la escala con la válvula de purga.
- e) La presión diferencial se mide cuando la válvula de purga está cerrada y la sobrepresión es medido cuando se abre la válvula de purga (válvula 3).

4. Manómetro diferencial electrónico:

- a. Tomar 5 lecturas de diferencia de presión seleccionando para ello 5 pares de puntos mediante las mangueras de conexión rápida.
- b. Para evitar que el aire se quede en las mangueras de conexión, se deberá hacer lo siguiente.
 - i. Cierre todas las válvulas de purga.
 - ii. Conecte las líneas de medición a la sección de tubería que se está midiendo.
 - iii. Abra las válvulas de bola en la entrada y el drenaje.

- iv. Encienda la bomba de circulación. Un poderoso chorro de agua fluye a través de la sección de la tubería y líneas de medición.
- v. Aumente la presión en el sistema de tuberías cerrando la válvula de drenaje.
- vi. Abra las válvulas de purga hasta que no haya más aire pequeño

Nota: Para revisión del procedimiento de la operación de Tablero de Pérdidas revisar manual del fabricante.

| EQUIPO | MATERIAL/REACTIVOS |
|--|--------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> • Tablero de pérdidas menores GUNT (Ver Anexo 1). • Mangueras de conexión rápida. | |
| DESARROLLO | |
| | |
| CÁLCULOS Y RESULTADOS | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Calcular la presión (puntos) y la diferencia de presión (pares de puntos), en Pascales (Pa), haciendo las equivalencias de unidades necesarias. • Convertir los valores de presión tomados con el piezómetro simple y convertirlos a Kg/m², Lbf/in², Pa, Bar, Atm, columna de agua en metros y columna de mercurio en metros. • Investigar la altura promedio sobre el nivel del mar de la Facultad de Ingeniería y obtener la presión atmosférica local en KPa mediante la ecuación para un barómetro simple. | |
| ANÁLISIS DE DATOS Y CONCLUSIONES/COMENTARIOS | |
| | |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Sotelo Ávila, G., 1997. <i>Hidráulica general</i>. México DF.: Limusa. • Streeter, V. L., Wylie, E. B. & Bedford, K. W., 2000. <i>Mecánica de fluidos</i>. Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill. • Yunus, A. C. & John, M. C., 2006. <i>Mecánica de fluidos, Fundamentos y aplicaciones</i>. 1ra. ed. México DF.: Mc Graw Hill. • GUNT Hamburg, HM 122 Fluis Friction Loss Measuring System. Instructions Manual. | |

HM 122 Fluid Friction Loss Measuring System

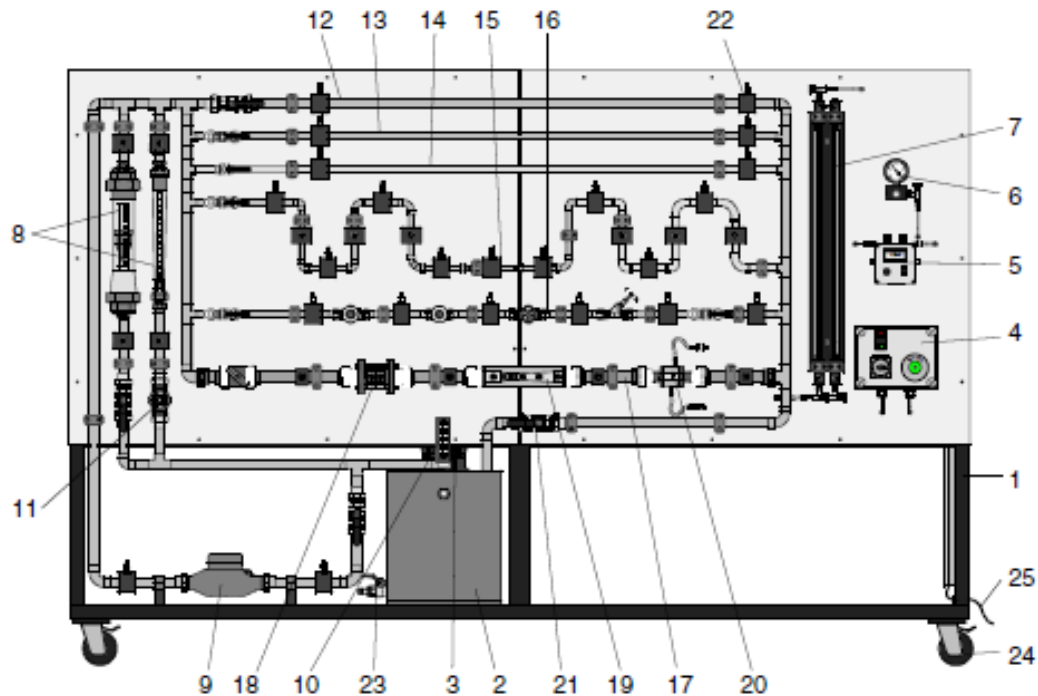


Fig. 2.1 Unit structure

- | | |
|---|--|
| 1. Laboratory carriage | 13. Measuring section Cu pipe 18x1mm |
| 2. Tank with inspection glass | 14. Measuring section St pipe 1/2", galvanized |
| 3. Submersible pump | 15. Measuring section Bends and angles |
| 4. Control cabinet with Emergency Stop | 16. Measuring section Pipeline valves |
| 5. Differential pressure measuring unit | 17. Measuring section Nozzle / orifice, Venturi tube, Pitot tube |
| 6. Manometer | 18. Nozzle / orifice |
| 7. Level tube manometer | 19. Venturi tube |
| 8. Variable-area flow meter with two measuring ranges (700l/h, 4m³/h) | 20. Pitot tube |
| 9. Water meter | 21. Ball valve, drain |
| 10. Thermometer | 22. Ring chamber |
| 11. Fine adjustment valve for small flow quantities | 23. Drainage valve, tank |
| 12. Measuring section Cu pipe 28x1mm | 24. Rollers |

HM 122 Fluid Friction Loss Measuring System



5.2 Resistance coefficients of special pipeline elements

5.2.1 Method

Connect the double manometer to the measuring glands of the pipeline elements being measured and perform the measurements as outlined in Chapter 2.5. Note the displays of the double manometer or the differential pressure sensor and flow meter. The pressure losses at each element and any combinations can be recorded via the ring chambers. They are always installed in the section with the same measurement length, so that the results can be directly compared with each other. The measuring section is made up of the following elements:

- 1: angle 90°, R=12mm, $d_i=16$ mm, Cu
- 2: angle 90°, R=12mm, $d_i=16$ mm, Cu
- 3: angle 90°, R=12mm, $d_i=16$ mm, Cu
- 4: bend 90°, R=22 mm, $d_i=16$ mm, Cu
- 5: long bend 90°, R=28 mm, $d_i=16$ mm, Cu
- 6: 2x bend 45°, $d_i=16$ mm, Cu
- 7: reducing sleeve 18-15, Cu
- 8: reducing sleeve 15-18, Cu
- 9: angle 90°, R=15 mm, $d_i=19$ mm, St/Zn
- 10: angle 90°, R=15 mm, $d_i=19$ mm, St/Zn
- 11: angle 90°, R=15 mm, $d_i=19$ mm, St/Zn
- 12: bend 90°, R=32 mm, $d_i=19$ mm, St/Zn
- 13: long bend 90°, R=42 mm, $d_i=19$ mm, St/Zn

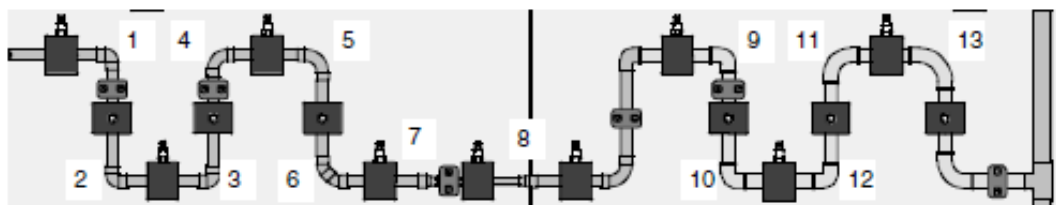


Fig. 5.3 Measuring section, pipeline elements

Empuje hidrostático en superficies planas

INTRODUCCIÓN

El Ingeniero debe calcular las fuerzas ejercidas por los fluidos con el fin de poder diseñar satisfactoriamente las estructuras que los contienen. Las fuerzas distribuidas producidas por la acción de un fluido sobre un área finita pueden reemplazarse convenientemente por una fuerza resultante F .

La fuerza resultante (F) ejercida por un líquido sobre un área plana (A) es igual al producto del peso específico (γ) del líquido por la profundidad h_{cg} del centro de gravedad de la superficie y por el área de la misma.

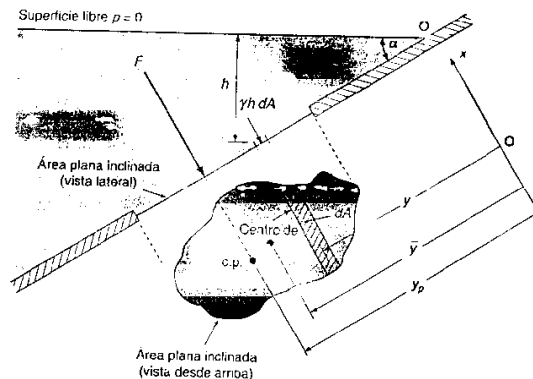
$$F = \gamma h_{cg} A$$

La línea de acción de la fuerza (empuje) pasa por el centro de presión, que se localiza mediante la fórmula (la presión tiene un perfil triangular):

$$Y_{cp} = \frac{I_{cg}}{Y_{cg} A} + Y_{cg}$$

I_{cg} = Momento de Inercia del área respecto de un eje que pasa por su centro de gravedad.

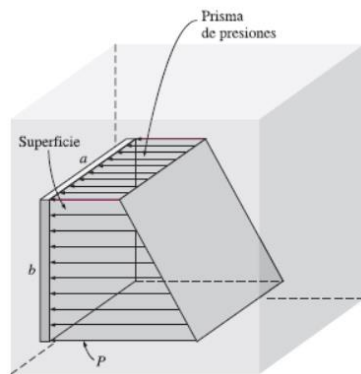
La distancia Y_{cg} se mide a lo largo del plano y a partir de un eje determinado por la intersección del plano que contiene la superficie libre del líquido.



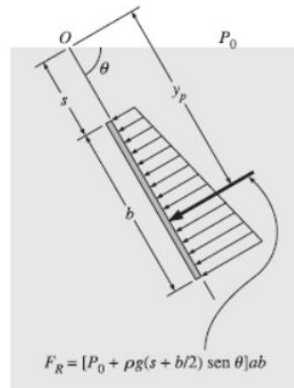
La resultante de las fuerzas debidas a la presión sobre una superficie plana sumergida es igual al peso específico del líquido, por la profundidad del centro de gravedad con relación al plano piezométrico y por el área de la superficie.

El prisma de presión es otro enfoque al problema de determinar la fuerza resultante y la línea de acción de la fuerza sobre una superficie plana está dada por el concepto de prisma de presión. Este

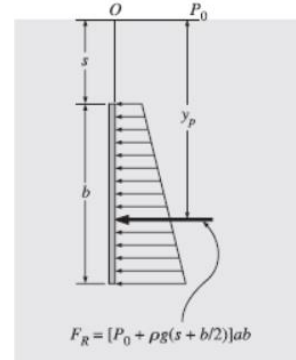
es un volumen prismático con su base conformada por el área superficial dada y con altitud sobre cualquier punto de la base dada por $p = \gamma h$, donde h es la distancia vertical hasta la superficie libre.



$$F = \gamma Vol$$

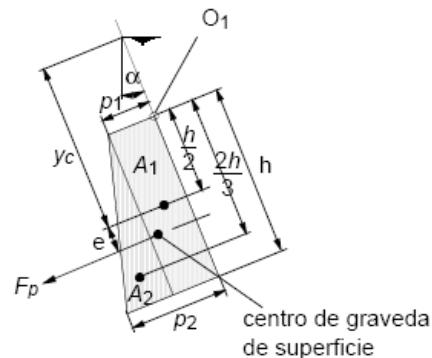
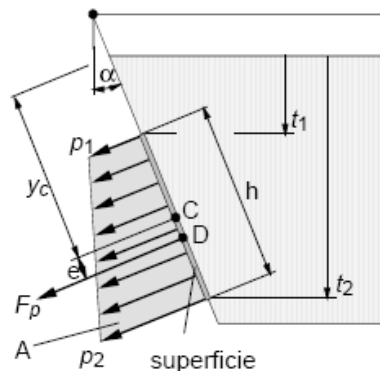


a) Placa inclinada



b) Placa vertical

La línea de acción de la fuerza resultante que pasa a través del centroide del prisma de presión. Para algunas áreas simples, el prisma de presión es más conveniente que la integración o que el uso de ecuaciones.



INDICADORES DEL RESULTADO DE APRENDIZAJE

FUNDAMENTO

Obtener la distribución de la presión en un líquido bajo consideración de la fuerza de gravedad, centro de presión hidrostática y determinación del empuje resultante.

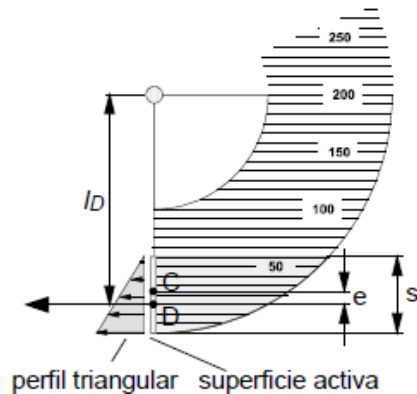
PROCEDIMIENTO

1. Con el ángulo a 0°:

a. Agregar agua cuando $S < 100$ mm (presión tiene un perfil triangular).

- b. Medir el nivel de agua S
- c. Medir la altura de superficie activa h .
- d. Añadir peso FG y medir brazo de fuerza I .
- e. Agregar agua cuando $S > 100$ mm (presión tiene un perfil trapezoidal).
- f. Repetir pasos del punto b. al d.

Para $S < 100$ y un $\alpha = 0^\circ$



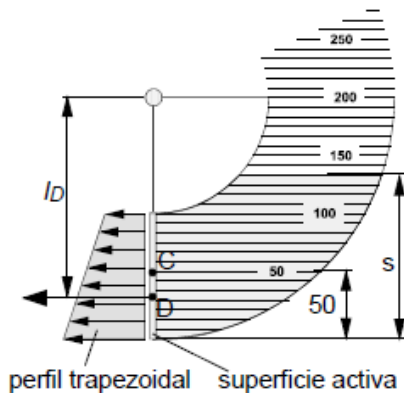
$$Fp = \gamma HcgA$$

$$Hcg = \frac{h}{2}$$

$$e = \frac{1}{6}s$$

$$ID = 0.2m - \frac{1}{3}s$$

Para $S > 100$ y un $\alpha = 0^\circ$



$$Fp = \gamma HcgA$$

$$Hcg = S - \frac{h}{2}$$

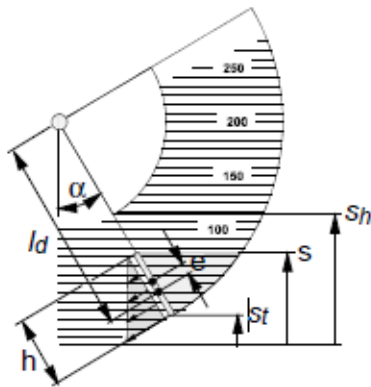
$$e = \left(\frac{1}{12}\right) \left(\frac{(0.1)^2}{S - 0.05m} \right)$$

$$ID = 0.15m + e$$

2. Con el ángulo de 10° a 80°

- g. Agregar agua para $S < Sh$ (presión tiene un perfil trapezoidal).
- h. Medir el nivel de agua S .
- i. Medir el nivel de agua en el punto más profundo del depósito St .
- j. Medir el nivel de agua en el borde superior de la superficie activa Sh .
- k. Medir la altura de superficie activa h .
- l. Añadir peso FG y medir brazo de fuerza I .
- m. Agregar agua para $S > Sh$ (presión tiene un perfil trapezoidal).
- n. Repetir pasos del punto b. al f.

Para $Sh > S$ y un $0^\circ < \alpha < 90^\circ$



$$Fp = \gamma Hcg A$$

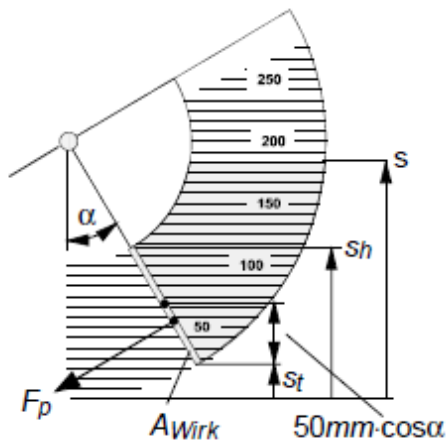
$$Hcg = \frac{S - St}{2}$$

$$e = \frac{1}{6} h$$

$$h = \frac{S - St}{\cos \alpha}$$

$$ID = 0.2m - \frac{1}{3}h$$

Para $Sh < S$ y un $0^\circ < \alpha < 90^\circ$



$$Fp = \gamma Hcg A$$

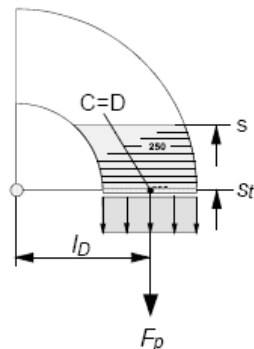
$$Hcg = S - St - 0.05m(\cos \alpha)$$

$$e = \left(\frac{1}{12} \right) \left(\frac{(0.1)^2}{\frac{S - St}{\cos \alpha} - 0.05m} \right)$$

$$ID = 0.15m + e$$

3. Con el ángulo a 90°

- Este es un caso especial, en donde se tiene un perfil de presiones rectangular, por lo que la línea de acción corresponde con el centro de gravedad ($I = 150\text{mm}$ del origen).
- Medir la altura que alcanzó el agua S y el área de la superficie plana.
- Añadir peso FG y medir brazo de fuerza I .



$$Fp = \gamma Hcg A$$

$$ID = 0.15m$$

$$Hcg = S$$

| EQUIPO | MATERIAL/REACTIVOS |
|--|--------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> Aparato de estudio para la presión hidrostática. Juego de pesas de 0.5, 1, 2 y 2.5 N. | |
| DESARROLLO | |
| | |
| CÁLCULOS Y RESULTADOS | |
| <ul style="list-style-type: none"> Determinar para cada caso el área de la superficie activa A, profundidad del centro geométrico Hcg y la fuerza resultante Fp. Determinar la altura de superficie activa h, las distancia e y el brazo de fuerza resultante ID. Determinar el momento de presión hidrostática generado por Fp y ID, y compararlo con el momento del peso añadido Fg y I. | |
| ANÁLISIS DE DATOS Y CONCLUSIONES/COMENTARIOS | |
| | |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | |
| <ul style="list-style-type: none"> Sotelo Ávila, G., 1997. <i>Hidráulica general</i>. México DF.: Limusa. Streeter, V. L., Wylie, E. B. & Bedford, K. W., 2000. <i>Mecánica de fluidos</i>. Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill. Yunus, A. C. & John, M. C., 2006. <i>Mecánica de fluidos, Fundamentos y aplicaciones</i>. 1ra. ed. México DF.: Mc Graw Hill. G.U.N.Y. Geratebau GmbH. Manual de experimentos HM 150.05 Presión Hidrostática. | |
| ANEXOS | |
| | |

PRÁCTICA No. 4

EMPUJE Y ESTABILIDAD DE CUERPOS FLOTANTES

INTRODUCCIÓN

Cuando un cuerpo sólido cualquiera flota dentro de un líquido, se presenta un estado de equilibrio debido a que el líquido ejerce una fuerza ascendente de similar magnitud, pero de sentido contrario al del peso del cuerpo.

Sólo se hundirá en el líquido hasta que el empuje F_A sea igual a su propio peso F_G . El empuje equivale pues, al peso del agua desalojada por el cuerpo. La gravedad de la masa de agua desalojada es el centro de gravedad de empuje A. El centro de gravedad del cuerpo se llama centro de gravedad de masa S.

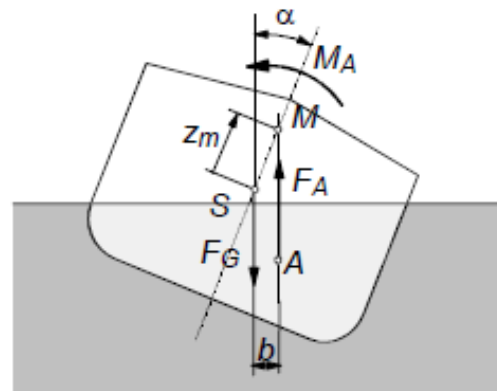
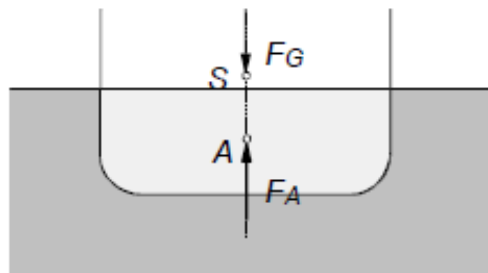
$$F_A = V \cdot \rho \cdot g = V \cdot \gamma = F_G$$

Donde:

V = Volumen de pontón debajo del agua.
 ρ = Densidad del líquido.
 g = Aceleración terrestre (9.81m/s^2).

La ley de flotación, conocida como principio de Arquímedes afirma lo siguiente: *existe una fuerza de flotación sobre un objeto igual al peso del líquido desalojado.*

Si el cuerpo flota de forma estable, el empuje F_A y el peso propio F_G tienen la misma línea de influencia y son igual de grandes, aunque opuestos entre sí. Para conseguir un punto de flotación estable no es imprescindible que el centro de gravedad de masa S se encuentre por debajo del centro de gravedad de empuje A.

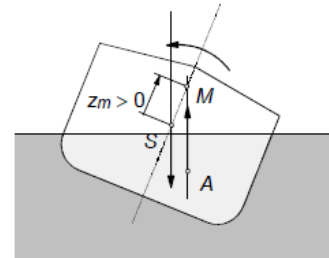


Para la estabilidad del punto de flotación es mucho más importante que exista un momento estabilizador reposicionante en caso de inclinación o escora α de la situación del centro de gravedad. El peso propio F_G y el empuje F_A forman un par de fuerza con la distancia b y proporcionan un par adrizante. La estabilidad se puede medir según esta distancia o la distancia entre el centro de gravedad S y el punto de intersección entre la línea de influencia del empuje y el eje de la gravedad. Este punto de intersección se denomina metacentro M, mientras que la distancia entre el centro de gravedad y el metacentro se denomina altura metacéntrica z_m .

Para una flotación estable, se deben cumplir las condiciones:

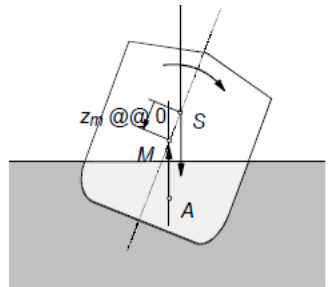
1. **El cuerpo flota estable** cuando la altura metacéntrica z_m es positiva, es decir, cuando el metacentro M se encuentra por encima del centro de gravedad S:

$$z_m > 0$$



El cuerpo flota inestable cuando la altura metacéntrica z_m es negativa, es decir, cuando el metacentro M se encuentra por debajo del centro de gravedad S:

$$z_m < 0$$



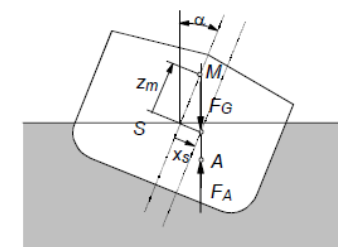
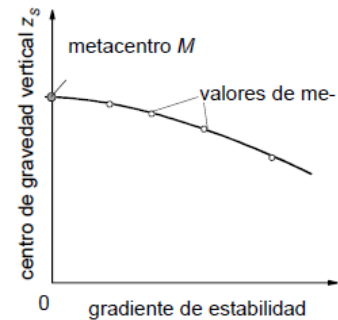
Determinar la posición del metacentro.

- **Primer Método:** Por medio de un peso adicional, se desplaza lateralmente el centro de gravedad en un valor determinado y constante x_s con lo que se produce un escoraje. Con un desplazamiento vertical adicional del centro de gravedad se modifica el escoraje α . Así se define un gradiente de estabilidad formado por la desviación:

$$\frac{dx_s}{d\alpha} = \frac{x_s}{\alpha}$$

- **Segundo Método:** Para una posición estable de escoraje, el peso propio F_G y el empuje hidrostático F_A actúan sobre una línea. El punto de intersección de esta línea de acción con el eje central indica el metacentro M. Con el ángulo de escoraje α y la prolongación lateral del centro de gravedad x_s para la altura metacéntrica z_m se obtiene:

$$z_m = x_s \cot \alpha$$



INDICADORES DEL RESULTADO DE APRENDIZAJE

FUNDAMENTO

Analizar los empujes que actúan sobre cuerpos en flotación mediante el principio de Arquímedes. Determinar la altura metacéntrica del cuerpo flotante.

PROCEDIMIENTO

1. Llenar de agua la cubeta de flotación.

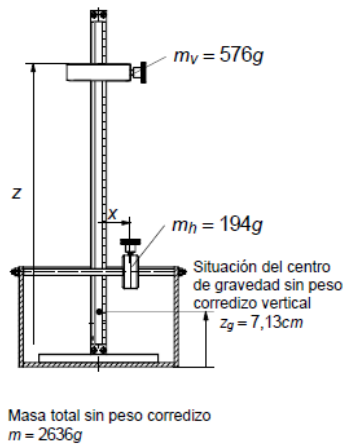
- Colocar dentro el cuerpo flotante con el peso horizontal corredizo m_h en posición cero y el peso corredizo vertical m_v en la posición inferior.
- Medir la profundidad sumergida T con las reglas ubicadas a los costados del pontón.
- Colocar el peso corredizo horizontal en cierta posición x .
- Ir subiendo poco a poco el peso corredizo vertical (Z) y leer el ángulo en el indicador de escora α , así como la altura del peso corredizo en su borde superior.
- Determinar la situación del centro de gravedad general x_s, z_s . La situación horizontal guarda relación con la línea central:
- Determinar la posición vertical que relaciona con la parte inferior del cuerpo flotante

EQUIPO

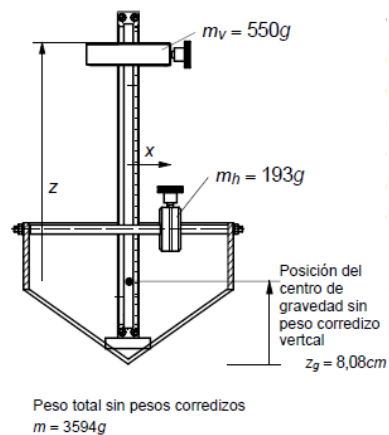
MATERIAL/REACTIVOS

- Pontón rectangular.
- Pontón semiesfera
- Pontón nave.
- Cubeta de flotación.

Pontón Rectangular



Pontón Nave



***Nota:** Los datos del Pontón Semiesfera se muestran en la tabla siguiente.

| Datos de los Pontones | | | | |
|----------------------------|----------|--------------------|-------------|-------------------|
| Datos | Unidades | Pontón Rectangular | Pontón Nave | Pontón Semiesfera |
| Largo (L): | mm | 300 | 310 | 310 |
| Ancho (B): | mm | 200 | 200 | 200 |
| Altura lateral (T): | mm | 120 | 120 | 120 |
| Peso pontón (m): | g | 2636 | 3594 | 2522 |
| Peso horizontal (m_h): | g | 194 | 193 | 193 |
| Peso vertical (m_v): | g | 576 | 550 | 550 |

DESARROLLO

CÁLCULOS Y RESULTADOS

- Determinar la fuerza de empuje en cada pontón

$$F_A = V\gamma$$

- Determinar la posición horizontal.

$$X_s = \frac{m_h x}{m + m_v + m_h}$$

- Hacer 5 lecturas diferentes de la altura del peso corregido vertical z , en cada pontón. Obteniendo así la lectura del escoraje α de cada altura.
- Determinar la situación del centro de gravedad z_s , gradiente de estabilidad $\frac{dx_s}{d\alpha}$, Registrar cada dato en la siguiente tabla.

| Datos | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Z (cm): | | | | | |
| Zs: | | | | | |
| α: | | | | | |
| Xs/α: | | | | | |

Para Pontón Rectangular:

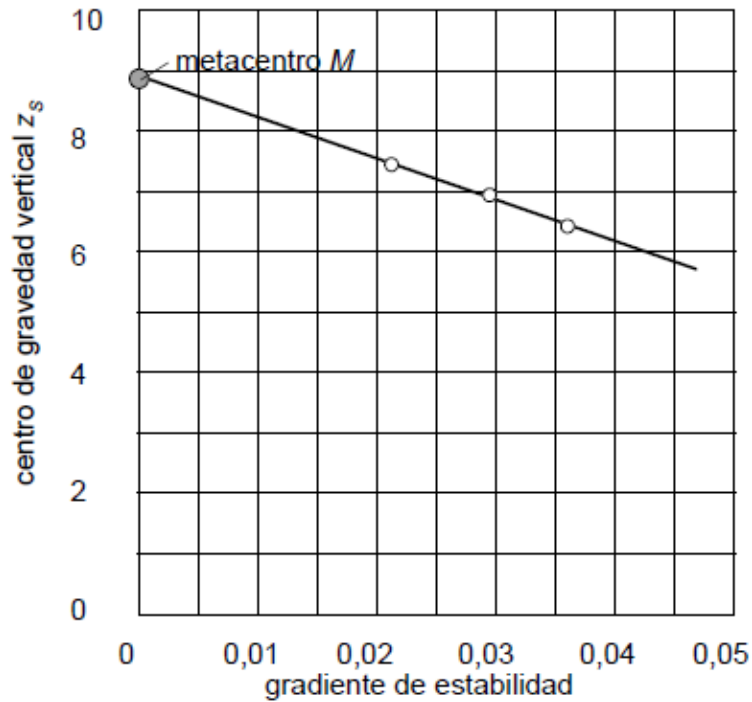
$$Z_s = \frac{m_v Z + (m + m_h) Z_g}{m + m_v + m_h}$$

Para Pontón Nave y Semiesfera:

$$Z_s = \frac{m_v Z + m Z_g + m_h Z_h}{m + m_v + m_h}$$

Donde **Z_h** es 9.4 cm y **Z_g** es 8.08 cm para ambos pontones.

- Graficar la ubicación del metacentro en un plano, "Centro de gravedad z_s vs. Gradiente de estabilidad $\frac{dx_s}{d\alpha}$ ". Ejemplo:



ANÁLISIS DE DATOS Y CONCLUSIONES/COMENTARIOS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Sotelo Ávila, G., 1997. *Hidráulica general*. México DF.: Limusa.
- Streeter, V. L., Wylie, E. B. & Bedford, K. W., 2000. *Mecánica de fluidos*. Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.
- Yunus, A. C. & John, M. C., 2006. *Mecánica de fluidos, Fundamentos y aplicaciones*. 1ra. ed. México DF.: Mc Graw Hill.
- G.U.N.Y. Geratebau GmbH. Manual de experimentos HM 150.06 y HM 150.39 Altura Metacéntrica Estabilidad.

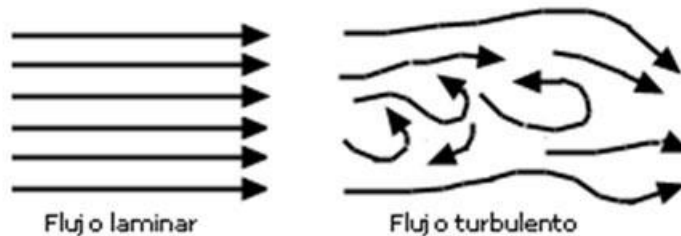
ANEXOS

Demostración del flujo laminar

INTRODUCCIÓN

Existen diferentes criterios para clasificar un flujo: permanente o no permanente, uniforme o no uniforme, incompresible o compresible, rotacional o irrotacional, unidimensional, bidimensional, tridimensional, laminar o turbulento, entre otros.

Cuando entre dos partículas en movimiento existe gradiente de velocidad, o sea que una se mueve más rápido que la otra, se desarrollan fuerzas de fricción que actúan tangencialmente a las mismas. Las fuerzas de fricción tratan de introducir rotación entre las partículas en movimiento, pero simultáneamente la viscosidad trata de impedir la rotación. Dependiendo del valor relativo de estas fuerzas se pueden producir diferentes estados de flujo.



Cuando el gradiente de velocidad es bajo, la fuerza de inercia es mayor que la de fricción, las partículas se desplazan, pero no rotan, o lo hacen, pero con muy poca energía, el resultado final es un movimiento en el cual las partículas siguen trayectorias definidas, y todas las partículas que pasan por un punto en el campo del flujo siguen la misma trayectoria. Este tipo de flujo se denomina "laminar".

En flujo laminar, las partículas fluyen en orden a lo largo de trayectorias, y la cantidad de movimiento y la energía se transfieren a través de líneas de corriente mediante difusión molecular. En el flujo turbulento, los remolinos giratorios transportan masa, cantidad de movimiento y energía a otras regiones del flujo con mayor rapidez que la difusión molecular, y aumentan enormemente la masa, la cantidad de movimiento y la transferencia de calor. Como resultado, el flujo turbulento está relacionado con valores mucho más altos de coeficientes de fricción, transferencia de calor y transferencia de masa. En la práctica la mayoría de los flujos son turbulentos.

Cuando ocurre una transición de flujo laminar a turbulento no ocurre repentinamente; más bien, sucede sobre cierta región en la que el flujo fluctúa entre los flujos antes de volverse totalmente turbulentos.

Osborne Reynolds (1883) descubrió que el régimen de flujo depende principalmente de la relación de fuerzas inerciales a fuerzas viscosas en el fluido. Esta razón se llama Número de Reynolds (**Re**).

Para un conducto cilíndrico:

$$Re = \frac{Vd}{\nu}$$

Para conducto no cilíndrico:

$$Re = \frac{4VR_h}{\nu}$$

Donde:

Re Número de Reynolds

V Velocidad media del conducto

d Diámetro del conducto

ν Viscosidad cinemática

R_h Radio hidráulico ($R_h = A/P_m$)

Reynolds encontró que en un tubo el flujo laminar se vuelve inestable cuando **Re** ha rebasado un valor crítico, para tornarse después en turbulento. Este valor crítico de **Re** adquiere valores muy distintos que varían entre 2000 y 4000.

Rango de valores:

$Re < 2000$ Flujo laminar

$2000 < Re < 4000$ Transición

$4000 < Re$ Flujo turbulento

INDICADORES DEL RESULTADO DE APRENDIZAJE

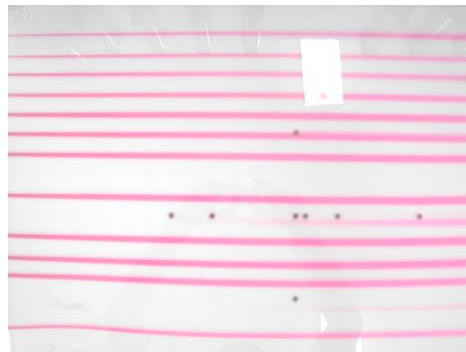
FUNDAMENTO

Demostrar el flujo laminar mediante el Número de Reynolds y la observación de trayectorias definidas de las partículas de un fluido. Apreciar las trayectorias de las partículas al agregar perturbaciones al sistema original.

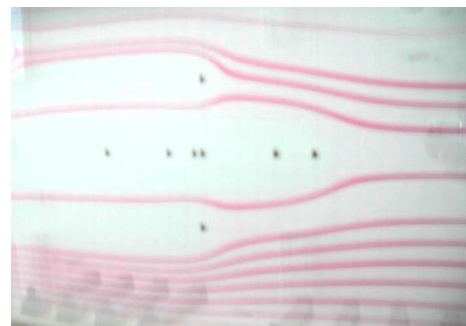
PROCEDIMIENTO

- Asegurarse que las mangueras de drenaje y alimentación estén conectadas a la mesa.
- Asegurarse que haya suficiente presión de entrada en la mesa de flujo laminar.

- c. Comenzar a llenar la tina de entrada. A medida que el nivel del agua se aproxime a la sección de prueba (espacio entre la mesa y el vidrio), ajuste el gasto según lo desee cuidando que el nivel del agua no sobrepase el cristal de la mesa.
- d. Esperar a que se establezca un flujo constante y uniforme a lo largo de la mesa.
- e. Abrir un *poco* la llave que inyecta la tinta colorante a la mesa de trabajo y medir el tiempo que tarda en viajar la tinta hasta el lado opuesto.
- f. Con la distancia recorrida y el tiempo, obtener la velocidad media.
- g. Obtener las medidas necesarias para obtener el número de Reynolds de una sección no cilíndrica. (Radio Hidráulico)
- h. Trabajar con distintos obstáculos y ver el comportamiento de las trayectorias, medir velocidades y obtener Número de Reynolds.




Estado inicial sin obstáculos



Estado final con obstáculos

* **IMPORTANTE.** Tener cuidado de no abrir una fuente y un resumidero con el mismo número al mismo tiempo, y de cerrar suavemente los flujómetros sin apretarlos demasiado.

| EQUIPO | MATERIAL/REACTIVOS |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Mesa de flujo laminar 2. Tinta colorante. 3. Agua proveniente del tanque de carga constante. |  <p>MODEL H-6960 Laminar Flow Analysis Demonstrator Dimensions: 45"H x 52"W x 32"D Shipping Weight: 650 lbs.</p> |
| DESARROLLO | |
| Desarrollar una demostración del flujo laminar sobre la mesa de vidrio, y comparar el comportamiento del flujo laminar con obstáculos. | |
| CÁLCULOS Y RESULTADOS | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Con la mesa sin obstrucciones <ul style="list-style-type: none"> ○ Obtener velocidad media del fluido sobre la mesa ○ Obtener el Número de Reynolds ○ Dibujar Esquema de Trayectorias • Demostración de flujo laminar con distintas obstrucciones mediante el Número de Reynolds y esquema de trayectorias. | |
| ANÁLISIS DE DATOS Y CONCLUSIONES/COMENTARIOS | |
| | |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Mott, R. L., 2006. <i>Mecánica de fluidos</i>. México: Pearson. • Sotelo Ávila, G., 1997. <i>Hidráulica general</i>. México DF.: Limusa. • Streeter, V. L., Wylie, E. B. & Bedford, K. W., 2000. <i>Mecánica de fluidos</i>. Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill. • Yunus, A. C. & John , M. C., 2006. <i>Mecánica de fluidos, Fundamentos y aplicaciones</i>. 1ra. ed. México DF.: Mc Graw Hill • HAMPDEN. Laminar Flow Analysis Demonstrator H-6960. | |
| ANEXOS | |

AFORO EN DESCARGA HORIZONTAL

INTRODUCCIÓN

Una de las variables que más interesan a los usuarios de los sistemas hidráulicos es el *gasto*, debido a que a través de él se cuantifican los consumos, extracciones y descargas de agua y se establecen las gestiones de concesión de los servicios.

El *gasto o caudal* Q , es una cantidad hidráulica que se define como el volumen de agua que pasa por una sección de un conducto en un determinado tiempo, es decir:

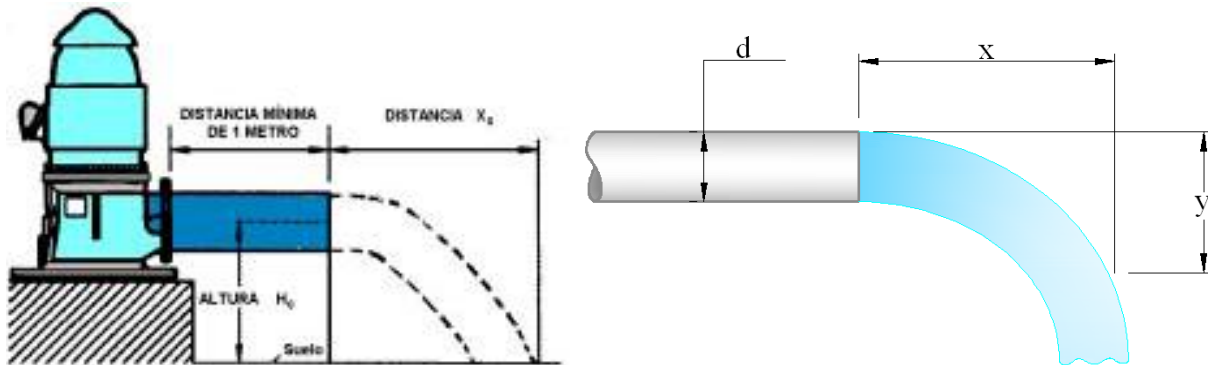
$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo}}$$

Con base en el principio de la continuidad, el gasto se calcula mediante la ecuación de:

$$Q = VA$$

Siendo A , el área de la sección del conducto, transversal al sentido del flujo, V la velocidad media.

El *método de la escuadra* es aplicable a descargas de tuberías a presión en tuberías, en particular para pruebas de bombeo. Consiste en medir la distancia horizontal X que existe entre el tubo de descarga y el punto donde cae el chorro de agua en el suelo y la altura H a la que se encuentra el conducto. Este método tiene su justificación en el estudio del movimiento en dos dimensiones o tiro de proyectiles, en donde, mientras se puedan despreciar la curvatura de la Tierra y la fricción del movimiento del agua con el aire, la trayectoria de un proyectil libre (en este caso el chorro de agua) es parabólica y está en un plano vertical.



Un método alternativo consiste en medir con una escuadra la distancia x , cuando el chorro está a una distancia y de altura. Cuando la tubería no descarga completamente llena, se puede tener una idea aproximada del gasto, multiplicando el resultado obtenido con la ecuación anterior, por la relación Y/d , donde Y es el valor del tirante de agua; d es el diámetro del tubo. Para una descarga que cubre totalmente el diámetro del tubo:

$$Q = \frac{\pi d^2 x}{4} \sqrt{\frac{g}{2y}}$$

Donde:

d Es el diámetro de la tubería (m)

X Es la distancia horizontal (m)

Y Es la distancia vertical (m)

g Es la constante gravitacional (m²/s)

Para una descarga parcialmente del diámetro del tubo:

$$Q_p = \frac{A_h}{A_t} Q$$

Donde:

A_h Es el área parcial (m²)

A_t Es el área total del conducto (m²)

Q_p Es el gasto parcial del tubo (m³/s)

INDICADORES DEL RESULTADO DE APRENDIZAJE

FUNDAMENTO

Conocer métodos de aforo en tuberías con descarga libre horizontal, a tubo lleno y tubo parcialmente lleno y comparar los valores obtenidos con un aforo volumétrico.

PROCEDIMIENTO

1. El procedimiento de este método para tubo lleno es el siguiente.
 - a. Liberar el aire de la tubería, asegurando una descarga continua.
 - b. Realizar el aforo volumétrico en la pila de aforo, midiendo el volumen de llenado y el tiempo que tarda en llenarse.
 - c. Con una escuadra medir las distancias x y y, de manera alineada al eje de la tubería. La medición se realiza desplazando la regla hasta que el extremo inferior roce el chorro de agua que sale del tubo.
 - d. Medir el diámetro *d* de la tubería.
2. Una vez realizada las mediciones para tubo lleno, se repetirá el procedimiento pero ahora el tubo estará parcialmente lleno, quedando de la siguiente manera.
 - a. Realizar el aforo volumétrico en la pila de aforo, midiendo el volumen de llenado y el tiempo que tarda en llenarse.

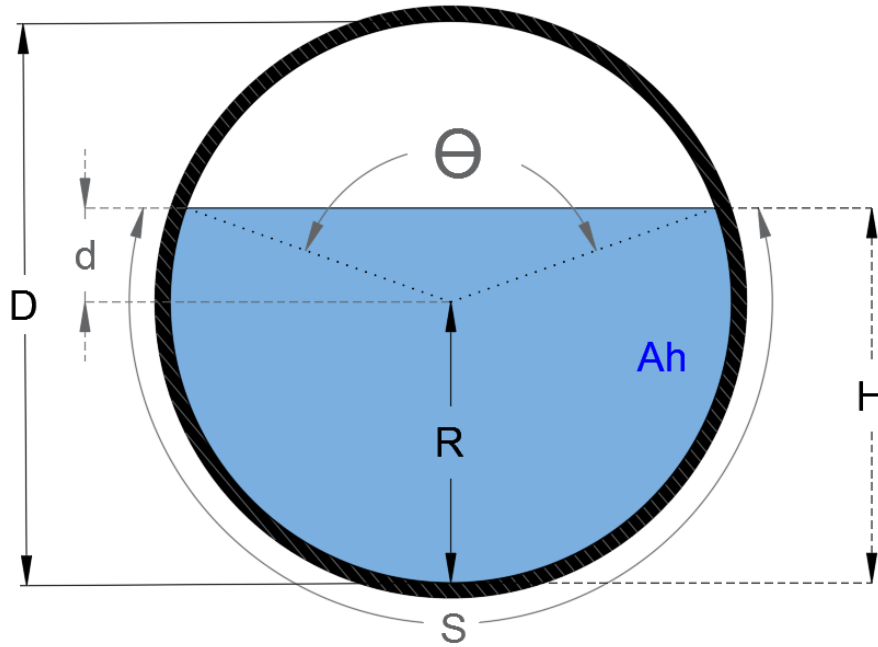
- b. Medir el diámetro d de la tubería y la altura parcialmente llena h .
- c. Obtener la relación de áreas parcialmente lleno respecto del área total.

NOTA: Al momento de utilizar la escuadra de preferencia tomar “y” con el mismo valor y solo mover la escuadra en el eje “x”, es decir poner el eje y hasta el límite donde tope con el chorro del agua como se muestra en la imagen anterior

| EQUIPO | MATERIAL/REACTIVOS |
|---|--------------------|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Escuadra metálica. 2. Cinta métrica 3. Cronómetro. | |
| DESARROLLO | |
| | |
| CÁLCULOS Y RESULTADOS | |
| <p>a) A tubo lleno:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Obtener gasto mediante aforo volumétrico. • Calcular el gasto por medio del método de la escuadra. • Calcular el número de Reynolds para conductos cilíndricos. <p>b) Tubo parcialmente lleno:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Calcular el área parcial del tubo (Ver Anexo 2). • Obtener gasto mediante aforo volumétrico. • Calcular el número de Reynolds para conductos no cilíndricos. | |
| ANÁLISIS DE DATOS Y CONCLUSIONES/COMENTARIOS | |
| | |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Mott, R. L., 2006. <i>Mecánica de fluidos</i>. México: Pearson. • Sotelo Ávila, G., 1997. <i>Hidráulica general</i>. México DF.: Limusa. • Streeter, V. L., Wylie, E. B. & Bedford, K. W., 2000. <i>Mecánica de fluidos</i>. Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill. • Yunus, A. C. & John, M. C., 2006. <i>Mecánica de fluidos, Fundamentos y aplicaciones</i>. 1ra. ed. México DF.: Mc Graw Hill. | |

ANEXOS

CALCULO DEL ÁREA DE UNA PORCIÓN CIRCULAR.



$$A = \frac{R^2}{2} (\theta - \sin \theta)$$

$$\theta = 2 \arccos \frac{d}{R}$$

$$d = R - h$$

$$S = Pm = \theta R$$

**Nota: Manejar la calculadora en radianes*

PRÁCTICA No. 7

Cantidad de movimiento

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de las fuerzas ejercidas por los fluidos en movimiento es de gran importancia en el análisis y diseño de dispositivos hidráulicos. Siempre que la magnitud o dirección de la velocidad de un cuerpo cambie, se requiere una fuerza, para llevar a cabo dicho cambio, la segunda ley de Newton del movimiento se utiliza para expresar este concepto.

$$F = ma = m \frac{dV}{dt} = \frac{d(mV)}{dt}$$

El producto de la masa y de la velocidad de un cuerpo se llama momento lineal o cantidad de movimiento de ese cuerpo. La cantidad de movimiento de un cuerpo rígido de masa m que se avanza con una velocidad V es mV . Entonces, la segunda Ley de Newton expresada en la ecuación 6-1 también se puede enunciar como la razón de cambio de la cantidad de movimiento de un cuerpo es igual a la fuerza neta que actúa sobre él. Note que tanto la densidad como la velocidad pueden cambiar de punto a punto dentro del sistema, la segunda Ley de Newton se puede expresar de manera más general como:

$$\sum F = \frac{d}{dt} \int \rho V dVol$$

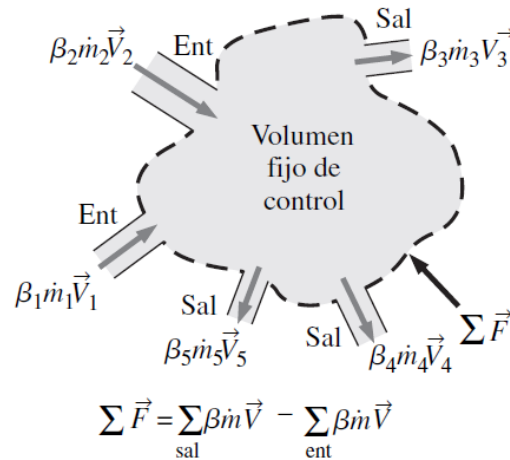
Donde ρdV es la masa de un elemento diferencial de volumen, dV , y $\rho V dV$, dV es su cantidad de movimiento. En La fuerza F y velocidad V se tiene dirección como magnitud. Por lo tanto, la segunda Ley de Newton puede enunciarse como la suma de todas las fuerzas externas que actúan sobre un sistema es igual a la razón de cambio respecto al tiempo del momento lineal de ese sistema.

La ecuación de la cantidad de movimiento es una ecuación vectorial donde cada término debe tratarse como un vector. Las componentes de esta ecuación pueden resolverse a lo largo de coordenadas ortogonales (como x , y y z en el sistema de coordenadas cartesianas). Comúnmente, la fuerza F consiste en fuerzas de peso, fuerzas de presión y fuerzas de reacción.

En problemas de movimiento de fluidos, se hace que un flujo continuo experimente la aceleración. O se puede presentar donde el flujo también es estacionario o en reposo, se expresa de la siguiente manera:

$$\sum F = \sum_{Salida} \beta mV - \sum_{Entrada} \beta mV$$

Donde β es el factor de corrección del flujo de cantidad de movimiento, V es la velocidad del punto de análisis respecto al flujo y m es flujo Másico que es igual a multiplicar la densidad por el caudal del punto de análisis respecto al flujo (ρQ).



Esta es la forma general de la ecuación de fuerza que puede utilizarse en problemas de flujo de fluidos debido a que involucra la velocidad y la velocidad de flujo de fluidos. Esta ecuación de fuerza se le conoce como la Ecuación de Cantidad de Movimiento.

$$\vec{F} = \sum \rho Q \beta \Delta \vec{V}$$

Donde:

F Vector de fuerza total

ρ Densidad del fluido

Q Caudal

$\Delta \vec{V}$ Vector de velocidad del volumen de control

β Coeficiente de momentum (o de Boussinesq)

$\beta \approx 1.33$ para flujo laminar

$\beta \approx 1.00$ a 1.07 para flujo turbulento

Para obtener fuerzas resultantes sobre las coordenadas en los ejes X,Y y Z, se utilizan proyecciones de los vectores sobre el eje requerido.

$$\begin{aligned} \sum F_x &= m(V_{2x} - V_{1x}) \\ \sum F_y &= m(V_{2y} - V_{1y}) \\ \sum F_z &= m(V_{2z} - V_{1z}) \end{aligned}$$

Se deben considerar los sentidos positivos y negativos en las fuerzas del sistema, donde las componentes de la fuerza o de la velocidad en la dirección X,Y o Z son positivas serán cantidades positivas y aquellas en la dirección X,Y o Z sean negativas las cantidades serán negativas. Un valor negativo que se obtenga para una fuerza desconocida indica que la dirección supuesta no es la correcta y debe invertirse.

| INDICADORES DEL RESULTADO DE APRENDIZAJE | |
|--|--------------------|
| | |
| FUNDAMENTO | |
| Aplicar la segunda Ley de Newton para determinar la cantidad de movimiento y las fuerzas que actúan sobre un flujo en un conducto cerrado. | |
| PROCEDIMIENTO | |
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Seleccione 5 accesorios de la sección 15 del Tablero de pérdidas menores GUNT (Ver Anexo 1). 2. Conectar las mangueras de conexión al manómetro diferencial digital, realizar un purgado (procedimiento de la Práctica #2) 3. Medir la diferencia de presión con el manómetro diferencial digital de los accesorios determinados. 4. Medir el gasto volumétrico al momento de tomar la presión. 5. Obtener los datos geométricos de los accesorios seleccionados. | |
| EQUIPO | MATERIAL/REACTIVOS |
| 1. Tablero de pérdidas menores GUNT. | |
| DESARROLLO | |
| | |
| CÁLCULOS Y RESULTADOS | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Determinar las velocidades aguas arriba y aguas abajo de cada accesorio determinado. • Convertir las presiones obtenidas de mBar a kg/cm^2. • Determinar las fuerzas resultantes X,Y de cada accesorio. | |
| ANÁLISIS DE DATOS Y CONCLUSIONES/COMENTARIOS | |
| | |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Mott, R. L., 2006. <i>Mecánica de fluidos</i>. México: Pearson. • Sotelo Ávila, G., 1997. <i>Hidráulica general</i>. México DF.: Limusa. • Streeter, V. L., Wylie, E. B. & Bedford, K. W., 2000. <i>Mecánica de fluidos</i>. Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill. • Yunus, A. C. & John, M. C., 2006. <i>Mecánica de fluidos, Fundamentos y aplicaciones</i>. 1ra. ed. México DF.: Mc Graw Hill | |
| ANEXOS | |
| Nota: Ver anexos práctica 2 página 10 | |

PRÁCTICA No. 8

AFORO CON CARGA VARIABLE

INTRODUCCIÓN

La medición de la razón de flujo por lo general se realiza cuando se mide la velocidad de flujo, y la mayoría de los flujómetros simplemente son velocímetros que se usan con el propósito de medir flujo. Algunos flujómetros miden la razón de flujo directamente cuando se descarga y se recarga continuamente una cámara de medición de volumen conocido y se mantiene constante el número de descargas por unidad de tiempo.

Pero, la mayoría de los flujómetros mide la razón de flujo indirectamente: miden la velocidad promedio V o una cantidad que se relaciona con la velocidad promedio, como la presión y la fuerza de arrastre y determinan el flujo volumétrico Q a partir de:

$$Q = VA$$

Para determinar la razón de un flujo que descarga sobre un orificio de placa delgada, se emplea la siguiente ecuación:

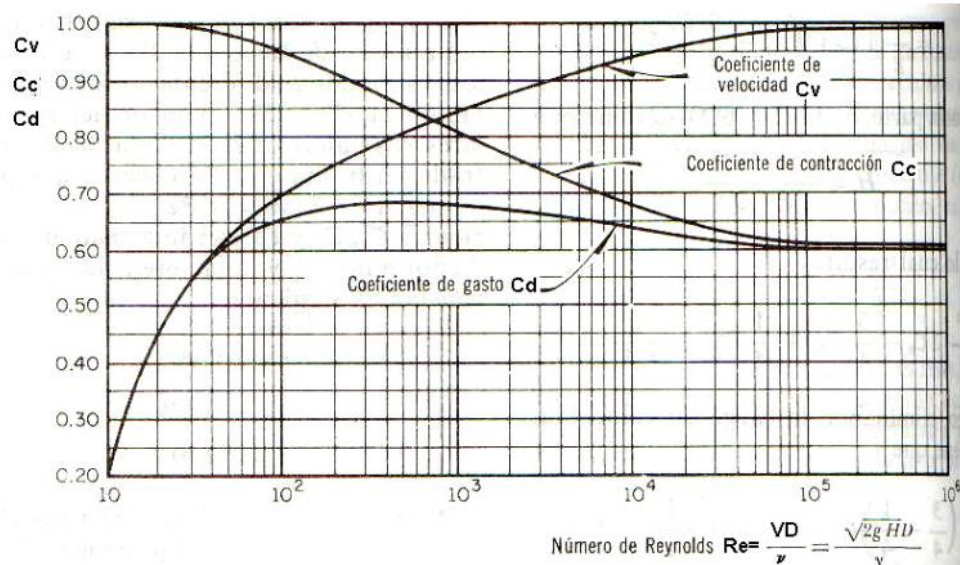
$$Q = CdA_0\sqrt{2gh}$$

Donde el término $\sqrt{2gh}$ hace referencia a la velocidad teórica del chorro V_T , h es la profundidad a la cual se encuentra el punto medio del orificio cuando la presión atmosférica y la velocidad de llegada del fluido al orificio son despreciable. El coeficiente de descarga Cd es un factor de corrección que considera las pérdidas por fricción.

Para determinar el Cd para la descarga de un orificio se pueden determinar por la relación de del caudal real entre el caudal ideal, así como por el producto de un coeficiente de velocidad Cv y un coeficiente de contracción Cc para la placa de orificio:

$$Cd = Cc \times Cv = \left(\frac{\text{área del chorro}}{\text{área del orificio}} \right) \left(\frac{\text{velocidad media real}}{\text{velocidad media ideal}} \right)$$

Estos tres valores dependen del número de Reynolds, consideran las pérdidas producidas en su trayectoria y la contracción del chorro de agua. Los coeficientes anteriores pueden determinarse mediante la gráfica siguiente:



INDICADORES DEL RESULTADO DE APRENDIZAJE

FUNDAMENTO

Analizar el coeficiente de descarga de un flujo como también su gasto a través de un orificio.

PROCEDIMIENTO

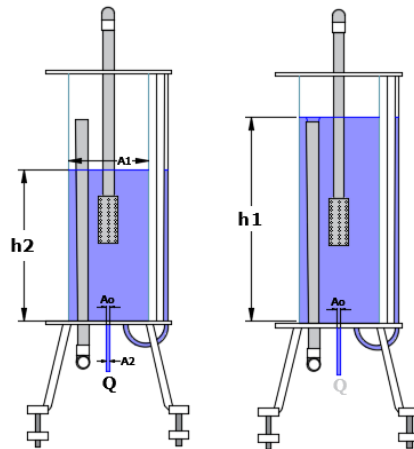
1. Flujo permanente:

- Se utilizará la "Cuba de Danaide", el cual cuenta con un orificio en el fondo y sirve para medir caudales.
- Determinar las características geométricas (áreas) del orificio, Cuba de Danaide y del depósito de aforo.
- Aplicar un caudal de entrada al sistema hasta establecer un régimen de flujo permanente (caudal constante).
- Medir en el piezómetro, la altura de la carga hidráulica alcanzada (h).
- Aforar la descarga del orificio (Q_{vol}) con el depósito de aforo localizado en la parte inferior de la mesa, midiendo el tiempo de llenado y el volumen acumulado.
- En base a la geometría del orificio, la altura de carga hidráulica, obtener los coeficientes de gasto, velocidad y contracción de la Cuba Danaide.

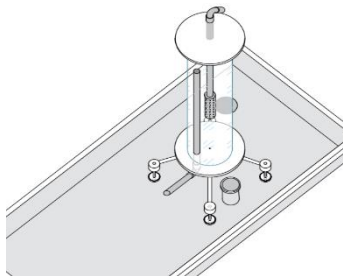
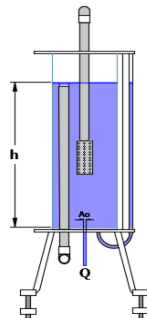
2. Flujo no permanente:

- Establecer en el modelo un régimen de flujo no permanente.

- b. Medir la altura de la carga hidráulica inicial (h_1), el tiempo (t) en que la Cuba Danaide se vacía hasta alcanzar una nueva carga hidráulica (h_2).



- c. Aplicando la fórmula para calcular el tiempo de vaciado de un depósito bajo carga variable, calcular el tiempo (t) de vaciado y compararlo contra el tiempo medido.

| EQUIPO | MATERIAL/REACTIVOS | |
|--|---|--|
| <ol style="list-style-type: none">1. Cuba Danaide.2. Depósito de aforo.3. Cronómetro.4. Piezómetro.5. Cinta métrica. |  |  |
| DESARROLLO | | |
| CÁLCULOS Y RESULTADOS | | |
| <ul style="list-style-type: none">• Carga constante (flujo permanente), calcular:<ul style="list-style-type: none">○ Gasto volumétrico con el depósito aforador(volumen de la pila) $Q_{vol} = \frac{Vol}{t}$○ Velocidad teórica del chorro, según Torricelli. $V_T = \sqrt{2gh}$○ Coeficientes experimentales de velocidad, gasto y contracción de la gráfica○ El Número de Reynolds del chorro descargado $Re = \frac{D_0\sqrt{2gh}}{\nu}$○ Gasto que descarga el orificio, con los coeficientes de gasto obtenidos en un paso interior. | | |

$$Q = CdA_0\sqrt{2gh}$$

- Error relativo (e), en porcentaje entre los gastos, Q_{vol} y Q .

$$e = \frac{|Q_{vol} - Q|}{Q_{vol}}$$

Donde:

Cd Coeficiente de descarga.

A₀ Área del orificio

h Carga hidráulica

g Constante gravitacional

t Tiempo

D₀ Diámetro del orificio

v Viscosidad cinemática del agua

- Calcular el gasto empleando los coeficientes determinados y compararlo con el caudal obtenido del aforo. (gasto volumétrico contra el gasto de descarga).
- Carga variable (flujo no permanente):
 - Medir con cronómetro el tiempo de vaciado desde h_1 hasta h_2 . (tiempo medido)
 - Calcular el tiempo de vaciado mediante la fórmula:

$$t = 2 \frac{A}{CdA_0} \frac{1}{\sqrt{2g}} (\sqrt{h_1} - \sqrt{h_2})$$

Donde:

t Tiempo

h₁ Carga hidráulica inicial

h₂ Carga hidráulica final

- Compararlo contra el tiempo medido.

ANÁLISIS DE DATOS Y CONCLUSIONES/COMENTARIOS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Mott, R. L., 2006. *Mecánica de fluidos*. México: Pearson.
- Sotelo Ávila, G., 1997. *Hidráulica general*. México DF.: Limusa.
- Streeter, V. L., Wylie, E. B. & Bedford, K. W., 2000. *Mecánica de fluidos*. Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.
- Yunus, A. C. & John, M. C., 2006. *Mecánica de fluidos, Fundamentos y aplicaciones*. 1ra. ed. México DF.: Mc Graw Hill

ANEXOS

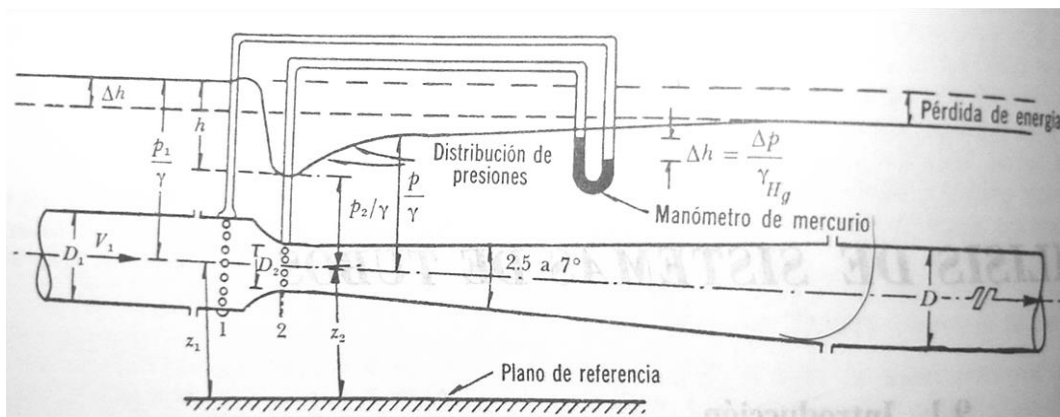
PRÁCTICA No. 9

Aforo en tuberías a presión

INTRODUCCIÓN

El gasto en la sección de una tubería se puede medir indirectamente con dispositivos de aforo. Los más comunes son venturímetros, toberas y diafragmas, los cuales se adaptan generalmente a tuberías de medianas y grandes dimensiones, en las que es necesario llevar un control estricto de los gastos, como en redes de distribución de agua potable o equipos en sistemas hidráulicos.

La función básica de los venturímetros y diafragmas consiste en producir un estrangulamiento en la sección transversal de la tubería, modificando las presiones. Con la medición de ese cambio de presión es posible conocer el gasto que circula por esa sección.



A partir de la ecuación de Bernoulli entre los puntos 1 y 2, empleando la ecuación de continuidad y considerando el valor de h en función de la carga de energía entre los mismos puntos, se obtiene la expresión para el gasto total que atraviesa la sección:

$$Q = CdA\sqrt{2g\Delta h}$$

$$Q = CdA\sqrt{2g\Delta h\left(\frac{\gamma_m}{\gamma} - 1\right)}$$

(con líquido manométrico igual al que circula en la tubería)

(con líquido manométrico diferente al líquido que circula en la tubería)

$$\Delta h = \left(\frac{P_2 - P_1}{\gamma}\right)$$

Dónde:

Q Caudal de descarga de la tubería.

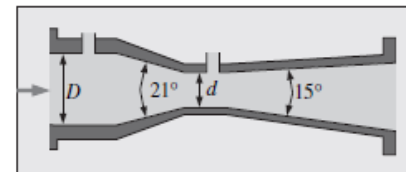
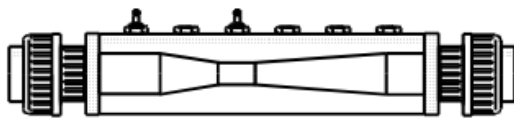
Cd Coeficiente de descarga (depende del dispositivo utilizado).

- A** Área en la sección de contracción.
- Δh** Diferencia de energías expresada en altura.
- γ_m** Peso específico del líquido manométrico.
- γ** Peso específico del líquido en la tubería.
- P** Presión medida.

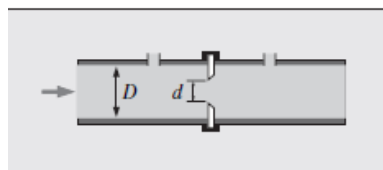
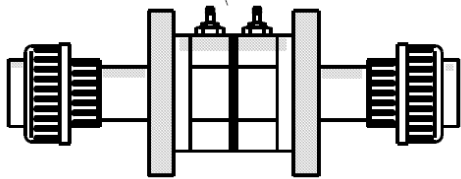
Dispositivos para medir caudal

- Tubo de Venturi.** Es un elemento deprimógeno; éstos producen una diferencia de presiones, que se vincula con el caudal que circula, en una relación determinable. Consta de tres partes: una convergente, otra de sección mínima o garganta y finalmente una tercera parte divergente.
- Boquilla o tobera.** Es un conducto convergente en la dirección del flujo que produce un aumento de velocidad y una disminución de la presión.
- Diafragma u orificio.** Es una placa de metal, bronce, acero inoxidable, etc., que lleva un orificio circular de diámetro d concéntrico con el eje de la tubería de diámetro D , donde se instala entre dos bridas provistas de las juntas de estanqueidad convenientes.
- Tubo de Pitot.** El tubo de pitot mide la presión de estancamiento que se conoce como presión total que está compuesta por dos partes, la presión estática h_0 y la presión dinámica Δh (carga de velocidad), midiendo combinadamente la presión estática y la presión total, es decir midiendo y conectando los extremos opuestos de un manómetro diferencial, se obtiene la carga de presión dinámica.
- Rotámetro.** Consta esencialmente de un tubo cónico vertical abierto por arriba de vidrio, metal o de plástico, en cuyo interior puede moverse libremente arriba y abajo un flotador. Al circular el líquido de abajo hacia arriba el flotador ocupa una posición tal que las tres fuerzas verticales que actúan sobre el mismo, a saber, el peso hacia abajo, el empuje hidrodinámico y la resistencia, ambas hacia arriba, están en equilibrio.

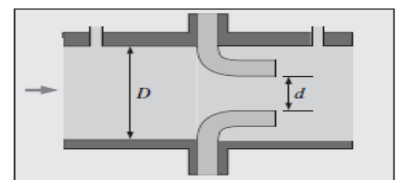
a) Tubo de venturi



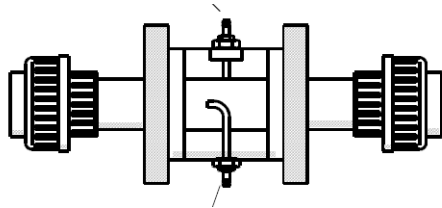
b) Diafragma u orificio



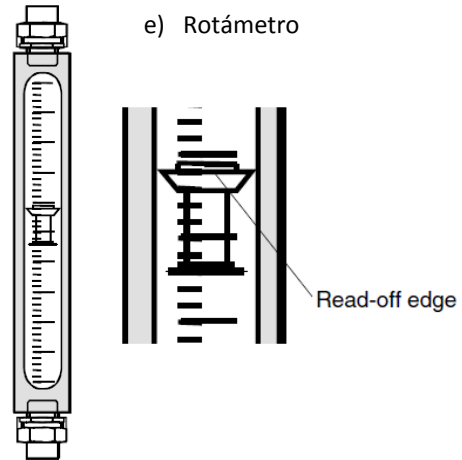
c) Tobera o boquilla



d) Tubo de Pitot



e) Rotámetro



INDICADORES DEL RESULTADO DE APRENDIZAJE

FUNDAMENTO

Determinar el gasto que fluye a través de una tubería utilizando distintos dispositivos de aforo, así como sus correspondientes coeficientes de descarga, medir los gastos y comparar resultados con los cálculos teóricos.

PROCEDIMIENTO

1. Siguiendo las instrucciones de uso del tablero de GUNT:
2. Realizar cinco medidas diferentes de presión para cada aparato (venturímetro, boquilla, diafragma y tubo pitot), anotando el caudal de entrada medido en el rotámetro, así como la diferencia de alturas leída en los piezómetros (o diferencia de presión en el manómetro digital).
3. Se lee la temperatura del agua del depósito para estimar su viscosidad cinemática.
4. Obtener la geometría de cada dispositivo del laboratorio de hidráulica.

EQUIPO

MATERIAL/REACTIVOS

1. Tablero de pérdidas menores GUNT (Ver Anexo 1).
2. Mangueras de conexión rápida.
3. Venturímetro.
4. Tubo de Pitot.
5. Boquilla / Tobera.
6. Termómetro.

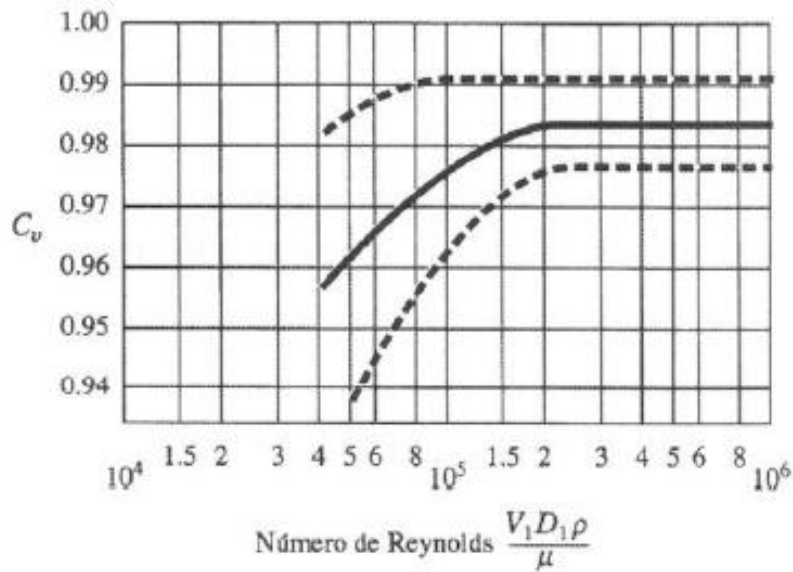
| DESARROLLO |
|---|
| |
| CÁLCULOS Y RESULTADOS |
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Con la geometría de cada dispositivo, se procede a la estimación de C_d para cada aparato. 2. Se calcula Q por medio de la ecuación general de descarga. En el tubo de pitot se calcula directamente la velocidad con la ecuación descrita: $V = \sqrt{2g \left(\frac{P_2 - P_1}{\gamma} \right)}$ 3. Con el caudal de (2), se calcula la velocidad en la tubería. 4. Determinar la viscosidad cinemática con la lectura de la temperatura obtenida. 5. Se calcula el número de Reynolds con el diámetro y velocidad del diámetro mayor. $Re = \frac{VD}{\nu}$ <p>Donde:</p> <p>V <i>Velocidad en la tubería.</i></p> <p>D <i>Diámetro de la tubería</i></p> <p>ν <i>Viscosidad cinemática.</i></p> 6. Se estima de nuevo C_d, ahora tomando en cuenta el valor de Re en las gráficas. Si el valor de C_d es igual al valor del paso (1) no será necesario corregir Q del paso (2). 7. Si el valor de C_d es diferente al valor del paso (1), se repite desde el paso (2) hasta que C_d no varíe, y el valor de Q será el último obtenido. 8. Se comparan los valores de Q medido en el rotámetro y de Q obtenido del cálculo. |
| ANÁLISIS DE DATOS Y CONCLUSIONES/COMENTARIOS |
| |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS |
| <ul style="list-style-type: none"> • Sotelo Ávila, G., 1997. <i>Hidráulica general</i>. México DF.: Limusa. • Streeter, V. L., Wylie, E. B. & Bedford, K. W., 2000. <i>Mecánica de fluidos</i>. Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill. • Yunus, A. C. & John, M. C., 2006. <i>Mecánica de fluidos, Fundamentos y aplicaciones</i>. 1ra. ed. México DF.: Mc Graw Hill. |

- GUNT Hamburg, HM 122 Fluis Friction Loss Measuring System. Instructions Manual.

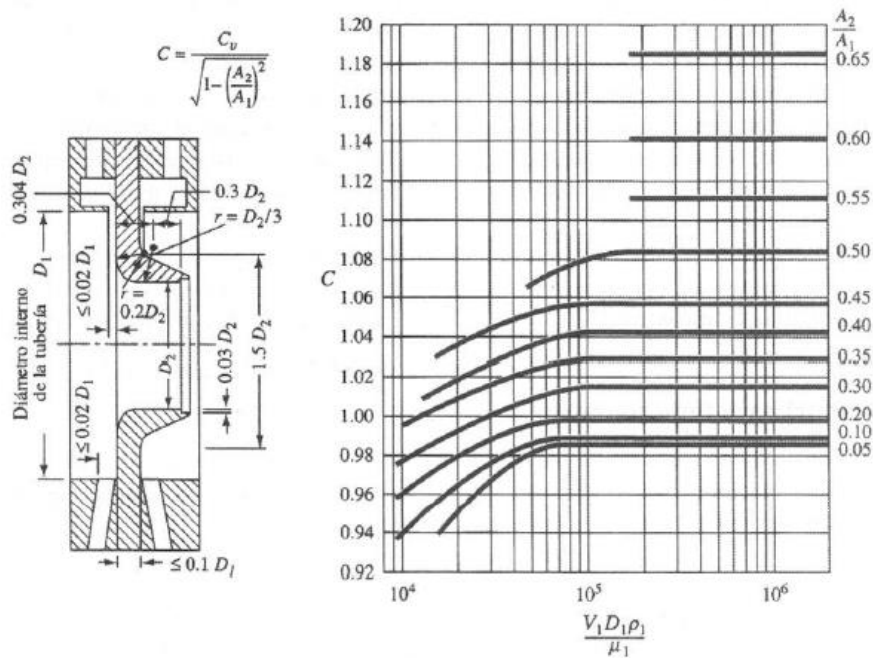
ANEXOS

1. OBTENCIÓN DEL C_D

TUBO DE VENTURI



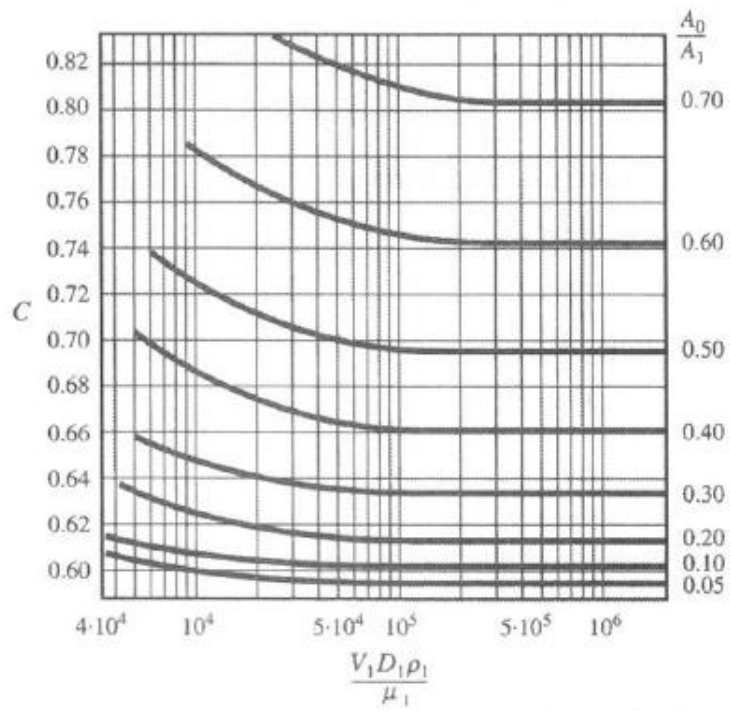
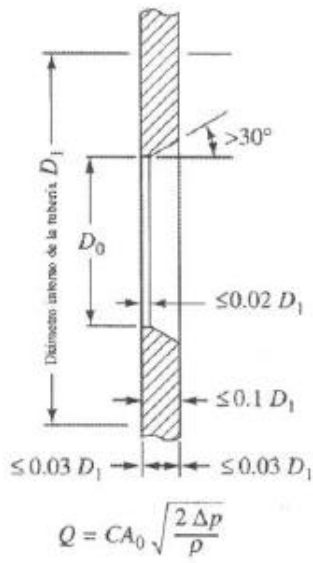
TOBERAS O BOQUILLAS



$$Cd = 0.9975 - \frac{6.53 \left(\frac{d}{D}\right)^{0.5}}{Re^{0.5}}$$

DIAFRAGMA U ORIFICIO

$$Cd = 0.5959 + 0.0312 \left(\frac{d}{D}\right)^{2.1} - 0.184 \left(\frac{d}{D}\right)^8 + \frac{91.71 \left(\frac{d}{D}\right)^{2.5}}{Re^{0.75}}$$



PRÁCTICA No. 10

Número de Reynolds y resistencia al flujo en tubos

INTRODUCCIÓN

En la aplicación de la ecuación de energía o de Bernoulli, es necesario el cálculo de las pérdidas de energía debidas a la fricción para problemas de gran longitud, donde éste término cobra importancia.

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g}$$

Para estudiar el problema de la resistencia al flujo es necesario retomar la clasificación de los flujos en laminar o turbulento. (Osborne Reynolds, 1883).

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

Como ya se dijo, la aplicación más importante de **Re** es en la determinación de las pérdidas de energía en la ecuación de la energía o de Bernoulli.

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} - HL = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g}$$

Donde el término de pérdida de energía debida a la fricción en el tubo se determina por:

$$\Sigma hf = f \left(\frac{L}{D} \right) \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

Donde:

Σhf Pérdidas de energía por fricción.

L Longitud del tramo en estudio

V Velocidad en el tramo de estudio.

D Diámetro del tramo en estudio.

f Coeficiente de fricción depende del número de Reynolds y la rugosidad relativa.

g Constante gravitacional.

La pared de un conducto está formada por irregularidades o asperezas aleatorias. Todas estas imperfecciones se expresan por medio del término *rugosidad absoluta* ϵ . A la relación que guarda la rugosidad absoluta con el diámetro del tubo se le conoce como *rugosidad relativa* ϵ/d . El cálculo del coeficiente **f** depende del estado de flujo y se puede obtener mediante fórmulas o diagramas:

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

Para tubos rugosos y lisos con $Re < 2000$
(flujo laminar), Blasius.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left(\frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right)$$

Para flujo en transición y turbulento en
tuberías rugosas y lisas, Colebrook.

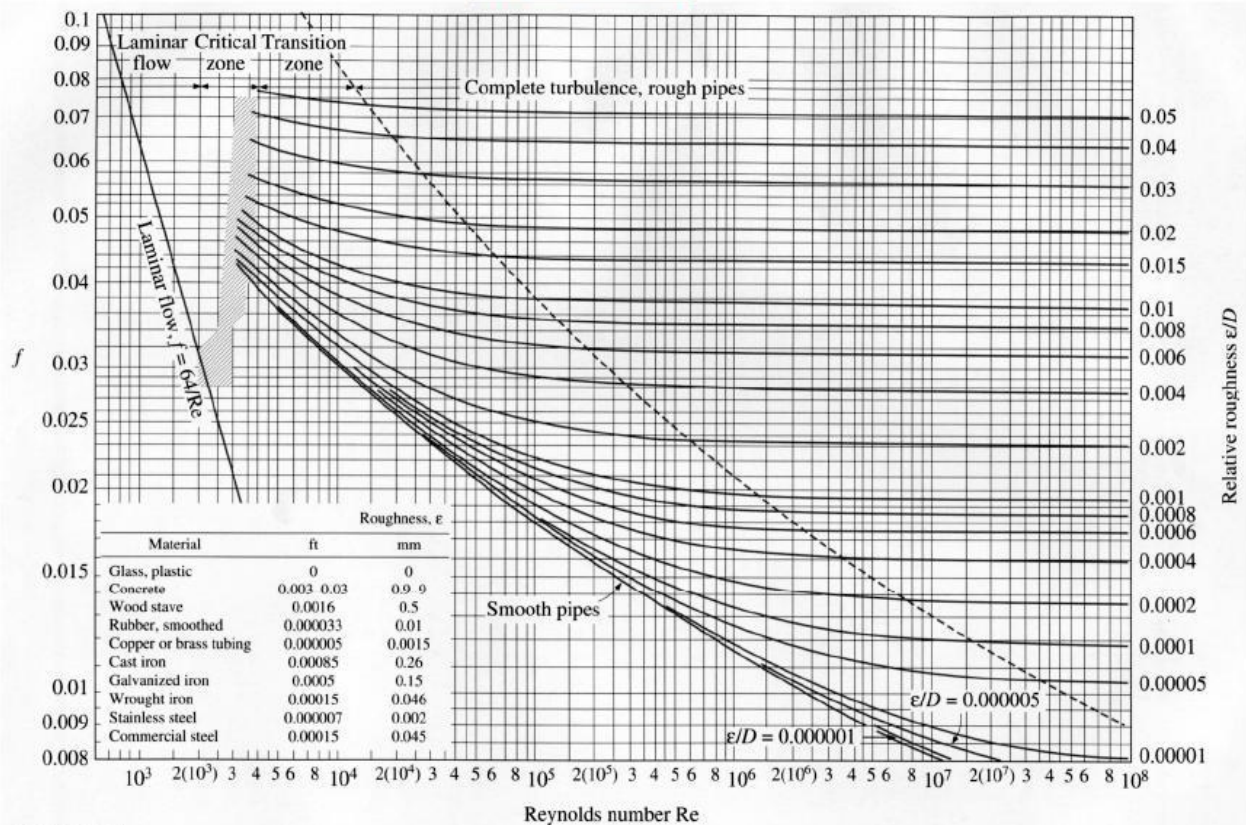
$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1.8 \log \left(\frac{6.9}{Re} + \left(\frac{\epsilon}{3.7} \right)^{1.11} \right)$$

Ecuación de Colebrook modificada por Haaland.

$$\frac{1}{f} = 2 \log \left(\frac{Re \sqrt{f}}{2.51} \right)$$

Para tubos lisos en la zona de transición o turbulenta, Nikuradse.

Diagrama de Moody



INDICADORES DEL RESULTADO DE APRENDIZAJE

FUNDAMENTO

Calcular el número de Reynolds en función al caudal de entrada en un tramo de tubería recta, identificar la influencia e importancia de las distintas variables en su cálculo. Determinar el coeficiente de fricción y estimar la pérdida de energía por fricción para distintos caudales.

PROCEDIMIENTO

1. Siga las instrucciones de uso del tablero de acuerdo al dispositivo de medición.
2. Determinar un caudal.

| 3. Calcular diámetro y área de cada sección, y velocidad de cada una de estas. 4. Se establece un flujo permanente en tres tramos rectos de tubería del tablero a un caudal constante y conocido (5 mediciones en cada tramo). 5. Se mide la diferencia de presión entre los dos puntos situados en la tubería. 6. Se mide la temperatura del fluido. | |
|--|--------------------|
| EQUIPO | MATERIAL/REACTIVOS |
| 1. Sección 12,13 y 14 del Tablero de pérdidas menores GUNT (Ver Anexo 1). 2. Mangueras de conexión rápida. 3. Manómetro diferencial. 4. Cinta métrica 5. Termómetro. | |
| DESARROLLO | |
| | |
| CÁLCULOS Y RESULTADOS | |
| 1. Se calcula la viscosidad cinemática del agua midiendo su temperatura. 2. Se calcula Re y se define si se trata de un flujo laminar o turbulento. 3. Se estima el valor de ε (rugosidad absoluta) y de ε/d (rugosidad relativa) para el tramo de medición (si es un flujo turbulento). 4. Se calcula el coeficiente de fricción f y las pérdidas por fricción para el tubo $\sum h_f$. 5. Compare los valores de pérdida de energía calculados con los valores medidos. | |
| ANÁLISIS DE DATOS Y CONCLUSIONES/COMENTARIOS | |
| | |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | |
| <ul style="list-style-type: none"> Sotelo Ávila, G., 1997. <i>Hidráulica general</i>. México DF.: Limusa. Streeter, V. L., Wylie, E. B. & Bedford, K. W., 2000. <i>Mecánica de fluidos</i>. Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill. Yunus, A. C. & John, M. C., 2006. <i>Mecánica de fluidos, Fundamentos y aplicaciones</i>. 1ra. ed. México DF.: Mc Graw Hill. GUNT Hamburg, HM 122 Fluids Friction Loss Measuring System. Instructions Manual. | |
| ANEXOS | |
| Nota: Ver anexo de la práctica 2 | |

PRÁCTICA No. 11

CÁLCULO DE PÉRDIDAS MENORES

INTRODUCCIÓN

Las tuberías de conducción que se utilizan en la práctica están compuestas, generalmente, por tramos rectos y curvos para ajustarse a los accidentes topográficos del terreno, así como a los cambios que se presentan en la geometría de la sección y de los distintos dispositivos para el control de las descargas (válvulas y compuertas).

Estos cambios originan pérdidas de energía, distintas a las de fricción. Tal tipo de pérdida trae como resultado una disminución de presión entre dos puntos del sistema de flujo y se conoce como pérdida local o menor. Su magnitud se expresa como una fracción de la carga de velocidad, inmediatamente aguas abajo del sitio donde se produjo la pérdida; la fórmula general de pérdida local es:

$$hL = k \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

hL Pérdida de energía.

k Coeficiente sin dimensiones que depende del tipo de pérdida que se trate, del número de Reynolds y de la rugosidad del tubo.

V²/2g Carga de velocidad, inmediatamente aguas abajo, de la alteración del flujo.

Los valores experimentales de pérdidas de energía generalmente se reportan en términos de un coeficiente de resistencia, *K*. Las pruebas han mostrado que el valor del coeficiente *K* depende tanto de la porción de los tamaños de los dos conductos como de la magnitud de la velocidad del fluido, ya sea para una dilatación súbita o una contracción súbita.

Las pérdidas locales o menores tienen lugar debido a distintas perturbaciones del flujo y las magnitudes de dichas pérdidas se calculan mediante datos experimentales (fórmulas y gráficas). Ejemplos de tipos de pérdidas locales y una breve descripción:

- Pérdidas por entrada:*** A la entrada de las tuberías se produce una pérdida por el efecto de contracción que sufre la vena líquida y la formación de zonas de separación, el coeficiente *K*, depende, principalmente, de la brusquedad de la contracción del chorro.
- Pérdidas por rejilla:*** Con objeto de impedir la entrada de cuerpos sólidos a las tuberías, suelen utilizarse estructuras de rejillas formadas de barras verticales, regularmente espaciadas; dichas rejillas obstaculizan el flujo y producen una pérdida de energía.

- c) **Pérdida por ampliación:** Esta se origina al producirse una ampliación de la sección transversal del tubo. El coeficiente K depende de la brusquedad de la ampliación.
- d) **Pérdida por reducción:** En este caso se produce un fenómeno de contracción semejante al de entrada a la tubería, el cual también conviene que sea gradual.
- e) **Pérdida por cambio de dirección:** Si se visualiza el flujo en un cambio de dirección, se observa que los filetes tienden a conservar su movimiento rectilíneo en razón de su inercia. Esto modifica la distribución de velocidades y produce zonas de separación en el lado interior y aumentos de presión en el exterior.
- f) **Pérdida por válvulas:** Varían de acuerdo con el tipo y, para distintas posiciones, deben ser proporcionadas por el fabricante.
- g) **Pérdida por salida.**

Pérdida por bifurcación: Depende del ángulo que forma la tubería secundaria con la maestra, de la relación entre los diámetros de la tubería y de la dirección de la corriente.

INDICADORES DEL RESULTADO DE APRENDIZAJE

FUNDAMENTO

Calcular la magnitud de la pérdida de energía para un flujo laminar o turbulento en accesorios conectados a los tramos de medición (codos, reducciones, ampliaciones, válvulas) y comparar los valores obtenidos con los proporcionados en la bibliografía.

PROCEDIMIENTO

1. Siga las instrucciones de uso del tablero de acuerdo al dispositivo de medición (Ver Práctica #2).
2. Se establece un flujo permanente en el tramo de medición.
3. Se establece un caudal de entrada constante y se obtiene la geometría de cada accesorio (analizar 5 accesorios).
4. Se mide la diferencia de presión (o de alturas de presión) en cada accesorio (codo, válvula, reducción, etc.) para el caudal dado.
5. Se repiten todos los pasos con tres valores de caudal diferentes.

EQUIPO

MATERIAL/REACTIVOS

1. Sección 15 y 16 del Tablero de pérdidas menores GUNT.

| |
|---|
| 2. Mangueras de conexión rápida 3. Piezómetros. |
| DESARROLLO |
| CÁLCULOS Y RESULTADOS |
| 1. Se calcula la velocidad del agua en cada tramo de tubería antes y después de cada accesorio. 2. Se calcula el coeficiente de pérdida K para cada accesorio. 3. Compare los valores de K obtenidos para cada accesorio. ¿Qué valor de K será representativo para cualquier valor de caudal? 4. Graficar las líneas de energía y cota piezométrica a lo largo de la tubería. |
| ANÁLISIS DE DATOS Y CONCLUSIONES/COMENTARIOS |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS |
| <ul style="list-style-type: none"> • Sotelo Ávila, G., 1997. <i>Hidráulica general</i>. México DF.: Limusa. • Streeter, V. L., Wylie, E. B. & Bedford, K. W., 2000. <i>Mecánica de fluidos</i>. Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill. • Yunus, A. C. & John, M. C., 2006. <i>Mecánica de fluidos, Fundamentos y aplicaciones</i>. 1ra. ed. México DF.: Mc Graw Hill. • GUNT Hamburg, HM 122 Fluids Friction Loss Measuring System. Instructions Manual. |
| ANEXOS |
| <i>Nota:</i> Ver anexo de la práctica 2 |

PRÁCTICA No. 12

Golpe de ariete

INTRODUCCIÓN

El golpe de ariete o pulso de Joukowski, llamado así por el ingeniero ruso Nikolay E. Joukowski es junto a la cavitación, el principal causante de averías en tuberías e instalaciones hidráulicas.

El golpe de ariete se origina debido a que el agua es ligeramente elástica. En consecuencia, cuando se cierra bruscamente una válvula o un grifo instalado en el extremo de una tubería de cierta longitud, las partículas de agua que se han detenido son empujadas por las que vienen inmediatamente detrás y que siguen aún en movimiento.

Esto origina una sobrepresión que se desplaza por la tubería a una velocidad algo menor que la velocidad del sonido en el agua. Esta sobrepresión tiene dos efectos: comprime ligeramente el agua, reduciendo su volumen, y dilata ligeramente la tubería. Cuando toda el agua que circulaba en la tubería se ha detenido, cesa el impulso que la comprimía y, por tanto, ésta tiende a expandirse. Por otro lado, la tubería que se había ensanchado ligeramente tiende a retomar su dimensión normal. Conjuntamente, estos efectos provocan otra onda de presión en el sentido contrario. El agua se desplaza en dirección contraria pero, al estar la válvula cerrada, se produce una depresión con respecto a la presión normal de la tubería.

En el valor del golpe de ariete influirán varios factores, tales como la velocidad del tiempo de parada, que a su vez puede ser el cierre de la válvula de compuerta o el paro del motor. Otros factores serían: la velocidad del agua dentro de la conducción, el diámetro de la tubería, etc.

El aumento de presión producido por el cierre rápido de una válvula se obtiene mediante la ecuación de Joukowski:

$$\Delta p = \rho c \Delta V = \rho c \frac{Q}{A}$$

Donde, ΔV cambio de velocidad del flujo, Q es el gasto inicial, A es el área de la sección, y c es la celeridad de la onda de sobrepresión o depresión, que se calcula de la siguiente manera:

$$c = \frac{\sqrt{\frac{E}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{ED}{E_T \delta}}} = \sqrt{\frac{E}{\rho(1 + \frac{E}{E_T}(\frac{D}{\delta}))}}$$

Donde E , es el módulo de elasticidad del fluido (N/m^2), ρ es la densidad del fluido, D es el diámetro de la tubería, E_T es el módulo de elasticidad de la tubería que depende del material (N/m^2), y δ es el espesor de la paredes de la tubería.

La ecuación de Joukowski se expresa también en función de la velocidad del sonido.

$$\Delta p = \rho a V$$

Para calcular la velocidad del sonido ***a*** dentro de un conducto se utiliza la ecuación de Laplace aplicada a fluidos:

$$a = \sqrt{\frac{E}{\rho}} = \sqrt{\frac{1}{\beta_t \rho}}$$

Donde ***E***, es el módulo de elasticidad del fluido (N/m²), ***ρ*** es la densidad del fluido, y ***β_t*** es el coeficiente de compresibilidad isotérmico.

Tabla. Valores de ***β_t*** y densidad del agua para diferentes temperaturas.

| Temperatura | Coeficiente de compresibilidad Isotérmica | Densidad |
|-------------|--|-------------------------------|
| <i>C°</i> | <i>β_t</i> (1/Bar * 10 ⁻⁶) | <i>ρ</i> (kg/m ³) |
| 15 | 47.3 | 999.2 |
| 20 | 46.8 | 998.3 |
| 30 | 46 | 995.7 |
| 40 | 44.9 | 992.3 |
| 50 | 44.9 | 988 |
| 60 | 45.5 | 983.2 |

Despejando la velocidad de la ecuación de gasto nos queda:

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

En donde:

$$A = \pi \frac{D_t^2}{4}$$

Sustituyendo en la ecuación de Joukowski, nos queda:

$$\Delta p = \rho a \frac{4Q}{\pi D^2}$$

Despejando la velocidad del sonido la ecuación de incremento de presión queda de la siguiente manera:

$$a = \frac{\Delta p \pi D^2}{\rho 4Q}$$

Se obtiene el tiempo de reflexión ***Tr*** de que tarda la onda de sonido en viajar aguas arriba hasta la embocadura de la tubería y volver aguas abajo hasta la válvula viene dado por:

$$Tr = \frac{2L}{a}$$

Donde L es la longitud de la tubería en metros.

INDICADORES DEL RESULTADO DE APRENDIZAJE

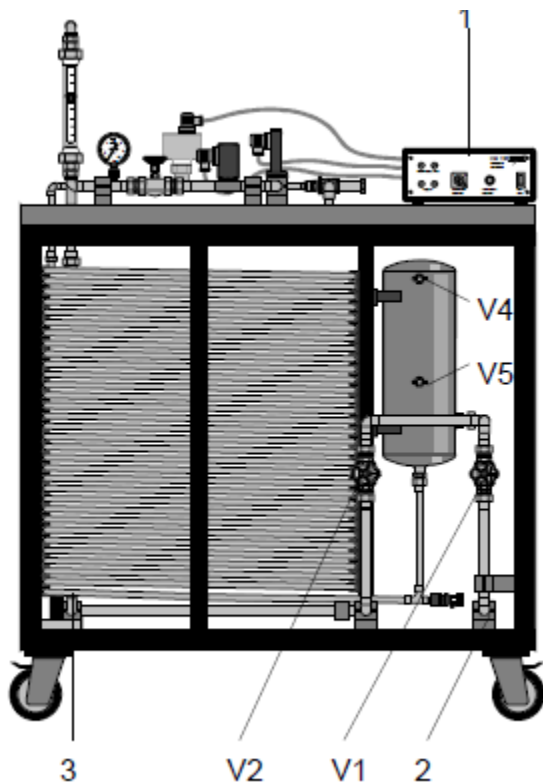
FUNDAMENTO

Aprender a identificar un salto hidráulico, clasificarlo y calcular la pérdida de energía que genera, calcular y medir la longitud del mismo y establecer si se requiere o no de una estructura disipadora de energía.

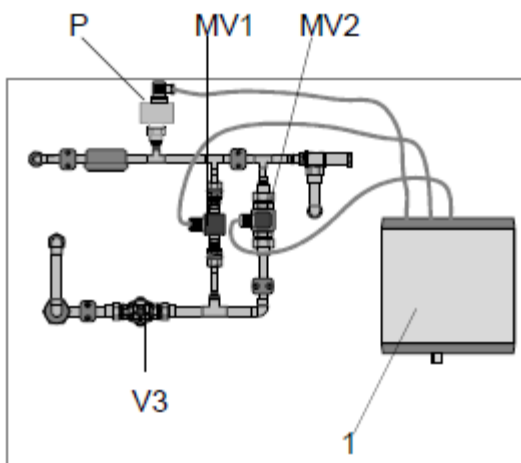
PROCEDIMIENTO

Para la realización de esta práctica deberá estar familiarizado con el uso de este equipo y con el uso del osciloscopio. Los procedimientos de uso de ambos equipos se incluyen en este manual.

a) Procedimiento para uso del equipo



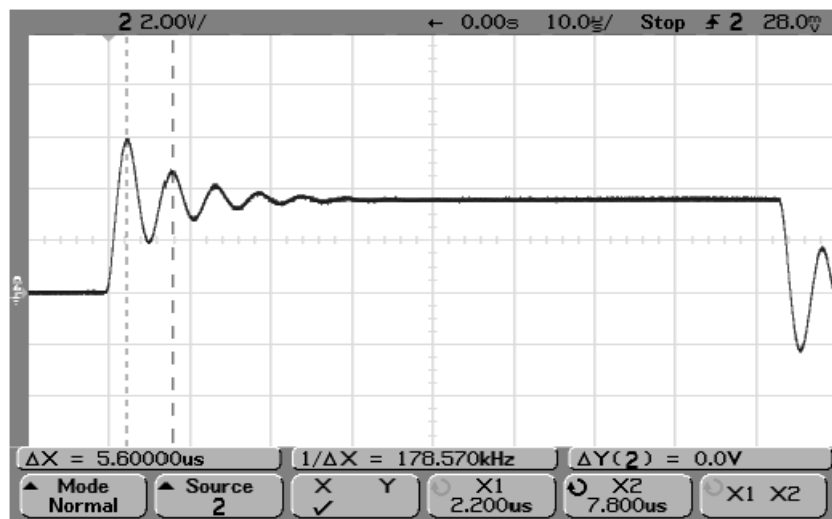
1. Para iniciar el aparato:
2. Cerrar válvulas V1, V2 y V3.
3. Cerrar válvulas V4 y V5 del tanque amortiguador.
4. Conectar las mangueras fuente y drenaje al equipo.
5. Conectar la válvula solenoide MV1 al selector, socket: V1.
6. Conectar la válvula solenoide MV2 al selector, socket: V2.
7. Conectar el transmisor de presión P, socket: sensor de presión.
8. Abrir completamente V3.
9. Abrir lentamente V1. El flujo siempre es establecido abriendo completamente la V3 y preestableciendo el flujo en V1, seguido de un ajuste fino en V3 hasta llegar al valor deseado.



10. Para establecer el colchón de aire en el tanque amortiguador.
11. Establecer en 200 l/hr aprox. con la V1.
12. Abrir V5.
13. Cerrar V5 tan pronto como el agua comience a derramar.

B) Procedimiento para tomar una lectura del osciloscopio (Ver Anexo).

- 1.- Todas las válvulas deben de estar cerradas.
- 2.- Abra la válvula de alimentación del laboratorio.
- 3.- Abra completamente la válvula 1 de alimentación del sistema.
- 4.- Encienda la unidad de control del equipo y el osciloscopio.
- 5.- Seleccione en la unidad de control la válvula con la que se hará la medición (1 ó 2).
- 6.- Establezca un caudal con la válvula 3 de ajuste de flujo.
- 7.- Ajuste la escala horizontal (Horizontal controls) del osciloscopio girando la perilla grande hasta establecer 500 ms.; girando la perilla pequeña a la izquierda hasta establecer 2.00 segundos. Para el ajuste de la escala vertical (Vertical inputs/controls) gire la perilla inferior izquierda hasta establecer 1.00V, después gire la perilla inferior derecha hasta establecer 2.00V.
- 8.- Presione el botón "Cierre de válvula" en la unidad de control durante 5 segundos, tomando como punto de inicio 2.00 segundos, en la escala horizontal del osciloscopio, del lado izquierdo de la pantalla.
- 9.- Cuando hayan pasado los 5 segundos, presione inmediatamente el botón "Stop" del osciloscopio.
- 10.- Tome la lectura del pico de presión presionando el botón "Cursores" en el osciloscopio, utilizando los botones situados debajo de la pantalla para seleccionar los ejes a mover, ajustándolos con la perilla central, hasta hacer intersecciones con los ejes X1 y Y1, X2 y Y2, desde el inicio de la curva hasta la cúspide, respectivamente.



1. Obtener datos para calcular la velocidad del sonido
 - a) Asignando un caudal de 200 l/h, utilice la válvula solenoide 1 para el “cierre”.
 - b) Mediante el osciloscopio registre el tiempo de reflexión bajo estas condiciones.
 - c) Registre la temperatura del agua mediante el termómetro.
2. Obtener la lectura del tiempo de reflexión por medio del osciloscopio
 - a) Seleccione la válvula solenoide 1.
 - b) Proponga un gasto inicial.
 - c) Presione el botón “cierre de válvula” por 5 segundos y tome la lectura del tiempo de reflexión del osciloscopio.
 - d) Repita el paso “c)” para 5 gastos diferentes.
3. Calcule el aumento de presión en función del caudal.
 - a) Seleccione la válvula solenoide 2 en la unidad de control.
 - b) Proponga un gasto inicial.
 - c) Presione el botón “cierre de válvula” por 5 segundos y tome la lectura de sobrepresión del osciloscopio.
 - d) Repita el paso anterior para 3 gastos diferentes

| EQUIPO | MATERIAL/REACTIVOS |
|---|--------------------|
| 1. Equipo de golpe de ariete GUNT HM 155 (Ver Anexo 3). | |

2. Selector de válvula de trabajo.
3. Válvulas de cierre rápido (20-30 ms) y de cierre gradual (1-4 s)
4. Osciloscopio digital.

DESARROLLO

CÁLCULOS Y RESULTADOS

- Calcular la velocidad del sonido
 - Calcular la velocidad del sonido mediante la ecuación de Laplace de propagación del sonido.
 - De la ecuación de tiempo de reflexión despejar la velocidad del sonido y compararla con la calculada en el paso anterior.
- Calcular el tiempo de reflexión
 - Calcular la velocidad del sonido mediante la ecuación de tiempo de reflexión para cada uno de los cinco gastos.
 - Comparar el tiempo de reflexión del osciloscopio con el tiempo de reflexión obtenido con la fórmula.
- Calcular el aumento de sobrepresión en función del caudal.
 - Calcular la presión pico para cinco distintos gastos utilizando la ecuación que involucra la celeridad y la que está en términos de la velocidad del sonido.
 - Comparar los resultados de ambas ecuaciones.
 - Realizar una gráfica de comportamiento a diferentes gastos del incremento de presión debido al golpe de ariete ($\Delta P - Q$).

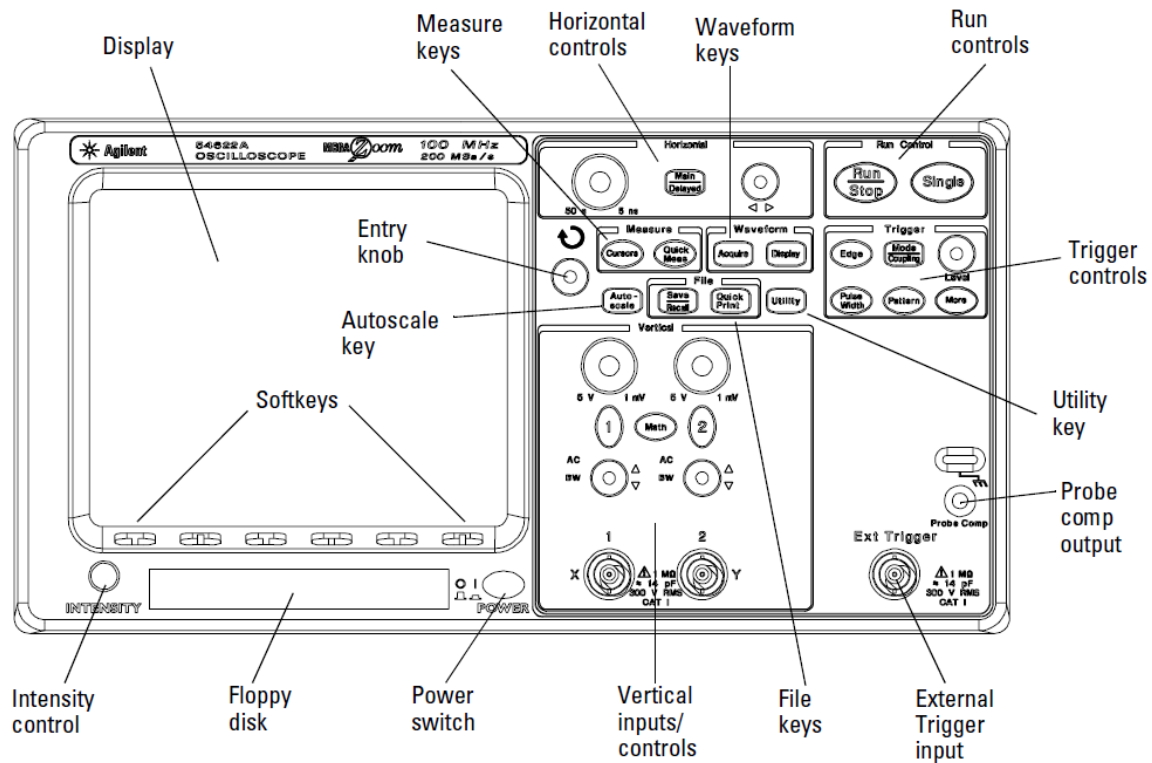
ANÁLISIS DE DATOS Y CONCLUSIONES/COMENTARIOS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Sotelo Ávila, G., 1997. *Hidráulica general*. México DF.: Limusa.
- Streeter, V. L., Wylie, E. B. & Bedford, K. W., 2000. *Mecánica de fluidos*. Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.
- Yunus, A. C. & John, M. C., 2006. *Mecánica de fluidos, Fundamentos y aplicaciones*. 1ra. ed. México DF.: Mc Graw Hill.
- G.U.N.T. Geratebau GmbH. Instruction Manual HM 155 Water Hammer Appar.
- MEGA ZOOM. Agilent 54621A/22A/24A/42A Oscilloscopes. September 2002.

ANEXOS

Figure 2-1



54621A, 54622A, 54641A, and 54642A 2-Channel Oscilloscopes Front Panel

PRÁCTICA No. 13

Eficiencia en equipos de bombeo

INTRODUCCIÓN

Las maquinas hidráulicas que impulsan líquidos se denominan bombas, la palabra bomba es un término general que designa a cualquier máquina hidráulica que añade energía a un fluido (Cengel & Cimbala, 2006). A continuación, se describen las bombas más utilizadas en la industria.

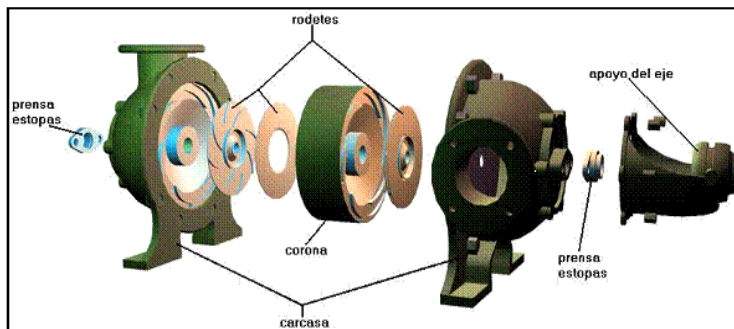
Centrífuga

Una bomba centrífuga es una máquina que consiste de un conjunto de paletas rotatorias encerradas dentro de una cubierta o coraza. Se denominan así porque la cota de presión que crean es ampliamente atribuible a la acción centrífuga. El flujo entra a la bomba a través del centro u ojo del rodete y el fluido gana energía a medida que las paletas del rodete lo transportan hacia fuera en dirección radial. Esta aceleración produce un apreciable aumento de energía de presión y cinética, lo cual es debido a la forma de caracol de la carcasa para generar un incremento gradual en el área de flujo de tal manera que la energía cinética a la salida del rodete se convierte en cabeza de presión a la salida (Yuba, 2015).

Partes de la bomba centrífuga

Estopas o estoperas: Evita el flujo hacia fuera del líquido bombeado a través del orificio.

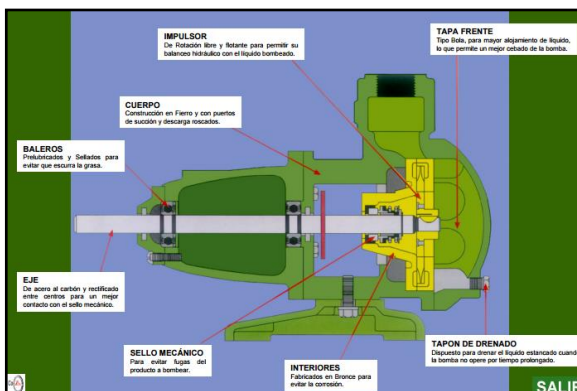
Carcasa: Es la parte exterior protectora de la bomba.



Rodetes o impulsores: Es el corazón de la bomba centrífuga. Recibe el líquido y le imparte una velocidad de la cual depende la carga producida por la bomba.

Eje: Es una pieza en forma de barra de sección circular no uniforme que se fija rígidamente sobre el impulsor y le transmite la fuerza del elemento motor.

Turbina



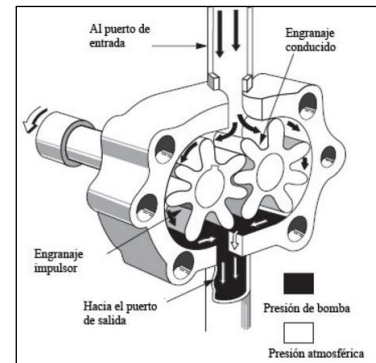
Las turbinas son diseñadas exclusivamente para el manejo de líquidos limpios, así como para alta presión y bajo caudal. Son ideales para alimentación a calderas, equipo contra incendio, sistemas hidroneumáticos, etc.

Las turbinas tienen un impulsor que al girar imprime al líquido un movimiento circular y lo conducen a través de los canales de los interiores de la bomba. Al combinar la fuerza centrífuga con la velocidad de rotación del líquido, la presión se va regenerando desde la succión hasta la descarga, obteniéndose de

esta forma altas presiones (Cotosa).

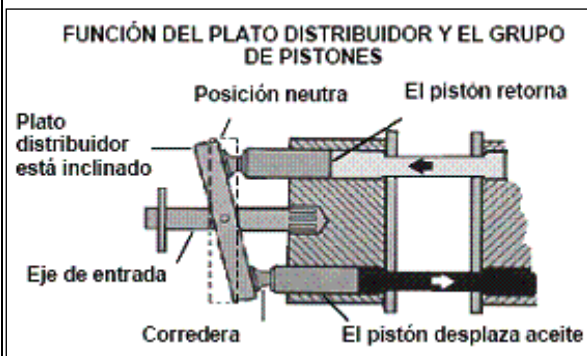
Engranés

Los engranes son totalmente aptos para el bombeo de líquidos viscosos preferentemente limpios con poder lubricante, pero se pueden usar también con otros que contengan pequeñas sustancias en suspensión de muy baja abrasividad. Cuando los engranes giran, provocan un vacío parcial en la cámara de entrada y el fluido se introduce a la bomba a través del orificio de entrada, el fluido queda atrapado entre la carcasa y los dientes de los engranes; este se desplaza hacia el orificio de salida.



Pistón

Estas bombas se usan en una variedad de aspersión, limpieza con presión y pruebas hidrostáticas. Son ideales para el manejo de fluidos como agua y químicos de uso general no abrasivos.



Al girar el eje, comunica un movimiento circular al bloque de cilindros. Este movimiento en conjunto con la inclinación de la placa, determina que el pistón desarrolle internamente en el cilindro un movimiento alternativo que permite el desarrollo de los procesos de aspiración y descarga (Figura 5). Este grupo de pistones giratorio se instala en el eje de

entrada y es impulsado por el motor (Universidad Nacional Abierta y a Distancia, s.f.).

Eficiencia y potencia de las bombas

Para el cálculo de eficiencia en los equipos de bombeo se recomienda primero, evaluar la eficiencia electromecánica del conjunto bomba-motor como se detalla a continuación.

Se utilizan diferentes parámetros para obtener el rendimiento de una bomba, así como la potencia que tiene. La razón de flujo masa del fluido (m) a través de la bomba, es un parámetro fundamental en el funcionamiento de la bomba. Donde se utiliza el gasto volumétrico en ves del gasto másico.

$$Qv = \frac{m}{\rho} = \frac{\rho Q}{\rho} = Q$$

Se puede obtener además la carga hidrostática de Bernoulli, donde:

$$H = \left(\frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + z \right)_{Salida} - \left(\frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + z \right)_{Entrada}$$

La carga hidrostática neta es proporcional a la potencia útil:

$$P_{util} = mgH = \rho gQH = \gamma QH$$

Debido a que en las bombas se tiene pérdidas a causa de la fricción, fugas internas, separación de flujo entre los álabes, disipación turbulenta, entre otras, la energía mecánica que se suministra a la bomba debe ser mayor que la potencia útil. La potencia externa que se proporciona

a la bomba se denomina potencia al freno o potencia de accionamiento, la cual se abrevia como Bhp. La ecuación para determinar la potencia al freno es la siguiente:

$$P_{bhp} = P_{flecha} = wT_{flecha} = \frac{\gamma QH}{n}$$

Donde w es la velocidad rotacional de la flecha (rad/seg) y T flecha es el momento de torsión que se suministra a la flecha (Torque). La eficiencia de la bomba se define como la relación de la potencia útil y la potencia al freno:

$$n_{nomba} = \frac{P_{util}}{P_{flecha}} = \frac{\rho g QH}{P_{bhp}} = \frac{\gamma QH}{wT_{flecha}}$$

Para determinar la potencia de una bomba en diferentes unidades se muestran las siguientes ecuaciones:

$$P = \frac{\gamma QH}{75n} \quad \text{Potencia en Caballos de Vapor (CV)}$$

$$P = \frac{\gamma QH}{76n} \quad \text{Potencia en Caballos de fuerza (HP)}$$

Conversiones de potencia:

$$1 \text{ HP} = 76 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{seg}} = 550 \frac{\text{ft} \cdot \text{lb}}{\text{s}} = 745.7 \text{ W}$$

$$1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}} = 9.806215 \text{ W}$$

$$1 \text{ C.V.} = 75 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}} = 735.35375 \text{ W} = 0.9861 \text{ Hp} = 542.7632 \frac{\text{ft} \cdot \text{lb}}{\text{s}}$$

$$1 \text{ W} = 0.1020 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{seg}} = 0.7376 \frac{\text{ft} \cdot \text{lb}}{\text{s}} = 0.001341 \text{ Hp}$$

INDICADORES DEL RESULTADO DE APRENDIZAJE

FUNDAMENTO

Obtener la eficiencia y potencia mecánica de los equipos de bombeo del banco de bombas.

PROCEDIMIENTO

1. La bomba de acuerdo al experimento que vaya a realizar.
2. Abra la válvula de succión y descarga de la bomba que va a utilizar.
3. La conexión rápida del manómetro de succión general (36) debe ser colocada en la toma de presión de la succión de la bomba seleccionada. (La bomba centrífuga 1 dispone de su propio manómetro de succión conectado permanentemente).
4. Ajuste la banda dentada entre la bomba escogida y su motor. La base del motor tiene un mecanismo tensor que permite ajustar la banda girando las tuercas de apriete manual del mismo, a lo largo del tornillo sinfín. Una vez que se tiene la tensión adecuada apretar ambas tuercas para fijar la base en esa posición. Al colocar las bandas, tener cuidado de no tensionar

demasiado, ya que una tensión excesiva puede ocasionar sobre carga en los rodamientos, las flechas de los motores y de las bombas. La tensión adecuada es la que evita que la banda oscile demasiado durante su trabajo. Un desplazamiento de aproximadamente ½ pulgada al aplicar una ligera presión con el dedo sobre la banda, puede indicar la tensión correcta.

5. Cerrar la puerta de acceso a las bombas y motores.
6. El interruptor del motor se coloca en “apagado”.
7. Se abre totalmente la válvula de descarga de la bomba seleccionada.
8. Se coloca el control de velocidad del motor en mínimo.
9. Cierre los interruptores: general y el del motor.
10. Ajuste a cero el torquímetro correspondiente, girando la perilla adyacente a este indicador. (El motor no debe estar girando).
11. Gire la perilla de control de velocidad del motor para ver si se establece flujo de agua.
12. Una vez que se establece el flujo, el aparato queda listo para realizar el experimento.
13. Después de utilizar el aparato abra los interruptores del motor y el general.
14. Asegúrese de que queden abiertas todas las válvulas de descarga y del depósito de aforo.

*Nota: Para ver más detalles de operación, mantenimiento e instalación ver el manual del fabricante.

| EQUIPO | MATERIAL/REACTIVOS |
|--|--------------------|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Banco de bombas (Ver Anexo 5) <ol style="list-style-type: none"> a. Bomba b. Manómetro c. Tacómetro d. Bandas e. Motores 2. Cinta métrica 3. Depósitos aforadores 4. Válvulas 5. Cronómetro | |
| DESARROLLO | |
| | |
| CÁLCULOS Y RESULTADOS | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Realizar un aforo de la bomba. • Medir revoluciones, presión de succión, presión de salida, torque, revoluciones del motor. • Determinar la eficiencia de la bomba. | |

- Determinar la potencia útil.
- Determinar la potencia de accionamiento.
- Determinar la potencia en varias unidades (HP, CV, W, etc.)

ANÁLISIS DE DATOS Y CONCLUSIONES/COMENTARIOS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Giles, R. V., 1962. *Mecánica de los fluidos e hidráulica*. Philadelphia, Pa.: McGraw-Hill .
- Mott, R. L., 2006. *Mecánica de fluidos*. México: Pearson.
- Sotelo Ávila, G., 1997. *Hidráulica general*. México DF.: Limusa.
- Streeter, V. L., Wylie, E. B. & Bedford, K. W., 2000. *Mecánica de fluidos*. Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill
- Yunus, A. C. & John , M. C., 2006. *Mecánica de fluidos, Fundamentos y aplicaciones*. 1ra. ed. México DF.: Mc Graw Hill.
- CRODE. Banco para prueba de bombas, Chihuahua, Mex.

ANEXOS

DESCRIPCIÓN DEL APARATO

El Banco para Prueba de Bombas tiene cinco elementos fundamentales que son:
Tres bombas centrífugas:

Bomba centrífuga 1 tipo voluta (1)
Bomba centrífuga 2 tipo voluta (2)
Bomba centrífuga tipo turbina (3)
Dos bombas de desplazamiento positivo
Bomba rotatoria de engranes (4)
Bomba reciprocante de pistón (5)

Las bombas son movidas por un par de motores de 3/4 HP (6 y 7), cuya velocidad puede variarse a voluntad, hasta un máximo de 1800 R.P.M. Estos Motores se acoplan a las bombas mediante poleas y bandas dentadas que garantizan una relación de velocidad fija. Mecanismos tensores (8 y 9) de accionamiento rápido facilitan el cambio y ajuste de tensión de las bandas.

Las bombas: centrífuga 2, de turbina, de engranes y pistones disponen de válvulas de succión (10) colocadas en la parte frontal del aparato en el múltiple de succión general (11).

Las bombas de turbina, engranes y pistones disponen de válvulas de alivio (12) así como de válvulas en la descarga (13). Las válvulas de alivio descargan al depósito de aforo a través de las líneas de alivio (14).

La succión de la bomba centrífuga 1 puede ser directamente del depósito de alimentación (16) o de la descarga de la bomba centrífuga 2. Esto con el propósito de poder trabajar estas dos bombas de forma independiente, en serie o en paralelo. Para lograr estos arreglos se dispone de:

Una válvula para operación en serie (17).

Una válvula de succión desde el depósito a la bomba centrífuga 1 (18).

Dos válvulas de descarga (19) Una para cada bomba centrífuga.

El depósito de aforo (20) está dividido en dos secciones de aforo. Cada sección de aforo cuenta con una válvula de drenado (21 y 22) y de una mirilla de nivel (23) que sube a lo largo de la escala para lectura (24).

Se provee la instrumentación necesaria, para conocer las etapas de transformación de energía y las correspondientes eficiencias: Amperímetros (25) y Voltímetros (26), indican la potencia eléctrica que demanda el motor, torquímetros (27) y tacómetros (28) señalan la potencia mecánica entregada a las bombas y mediante manómetros de succión (35, 36) y descarga (37) así como de los tanques de aforo se determina la potencia hidráulica que entregan las bombas.

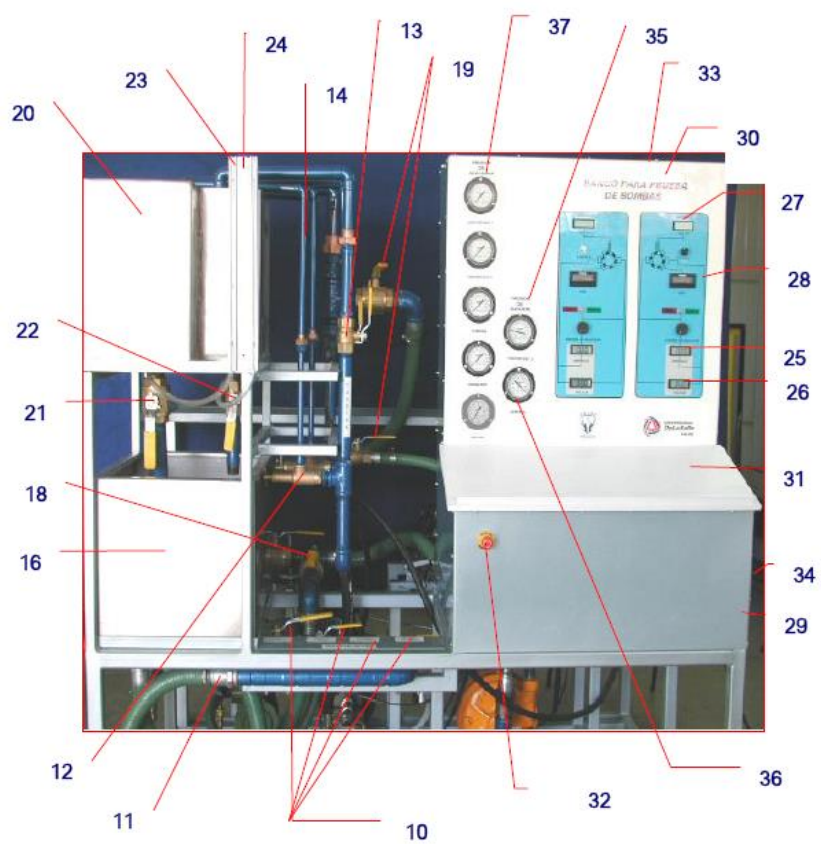
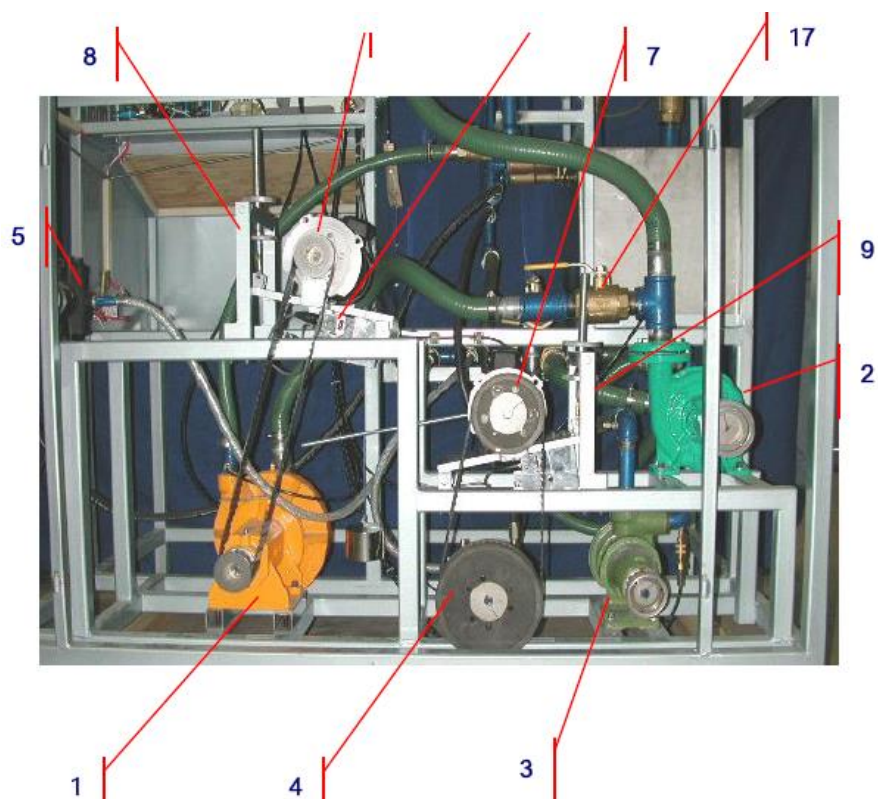
La instrumentación antes citada se encuentra convenientemente localizada en un panel (30), en el cual, se representa diagramáticamente, la relación entre los sensores e instrumentos, para una más fácil comprensión por parte de los estudiantes. En la parte lateral inferior derecha del gabinete se encuentra el interruptor general (29). Bajo el panel, se tiene una superficie de trabajo (31). El interruptor de emergencia (32) se encuentra en la lámina frontal inferior del gabinete (33).

El panel forma parte del gabinete (33) que aloja a los instrumentos y que cuenta con sus propias puertas de servicio. En la parte lateral inferior derecha se encuentra localizada el receptáculo de alimentación general (34).

El equipo cuenta con un manómetro de succión general (36) que es intercambiable, ya que dispone de una conexión rápida que puede ser posicionada en las tomas de presión que se localizan en cada bomba en su succión. La excepción es la bomba centrífuga 1 que dispone de su propio manómetro de succión (35). Cada bomba dispone de un manómetro de descarga.

El área de motores y bombas está protegida con guardas y el acceso es a través de puertas las cuales deberán estar cerrados para que los motores funcionen.

El torque se sensa a través de celdas de carga (38) localizadas bajo las bases de los motores. El tacómetro cuenta con sensores ópticos dirigidos a un disco reflector montado sobre la flecha de cada motor.

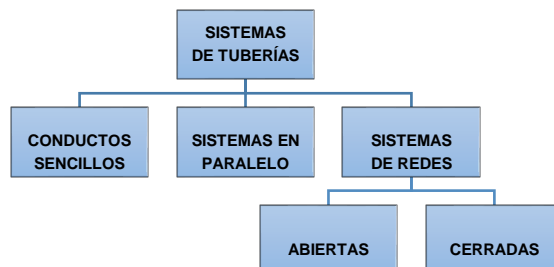


PRÁCTICA No. 14

Sistemas de redes

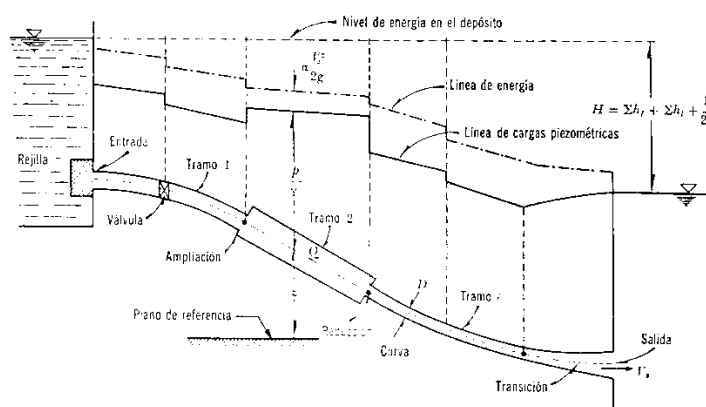
INTRODUCCIÓN

Los sistemas de redes pueden clasificarse como sigue:



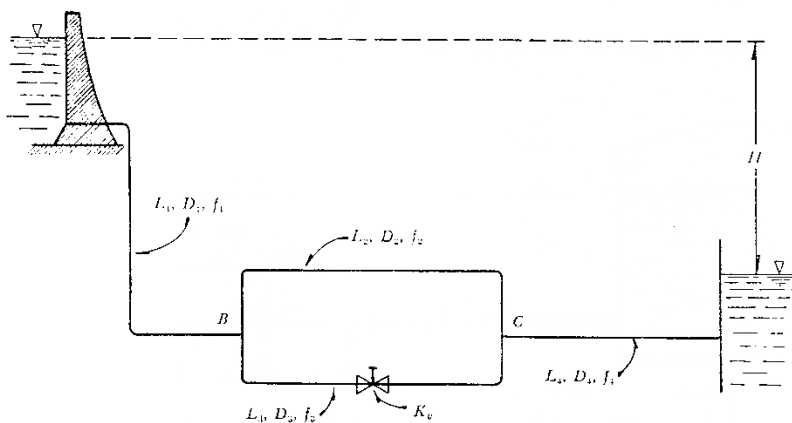
Conductos sencillos

Consisten en un tubo único alimentado en el extremo aguas arriba por un recipiente o bomba y con una descarga libre o a otro recipiente. El conducto debe tener cambios geométricos u obstrucciones que produzcan pérdidas de energía, además de la propia fricción.



Sistemas de tubos en paralelo

Resultan de la necesidad de derivar varios ramales de un mismo tubo.



En la solución de este tipo de problemas se aplican tres principios fundamentales:

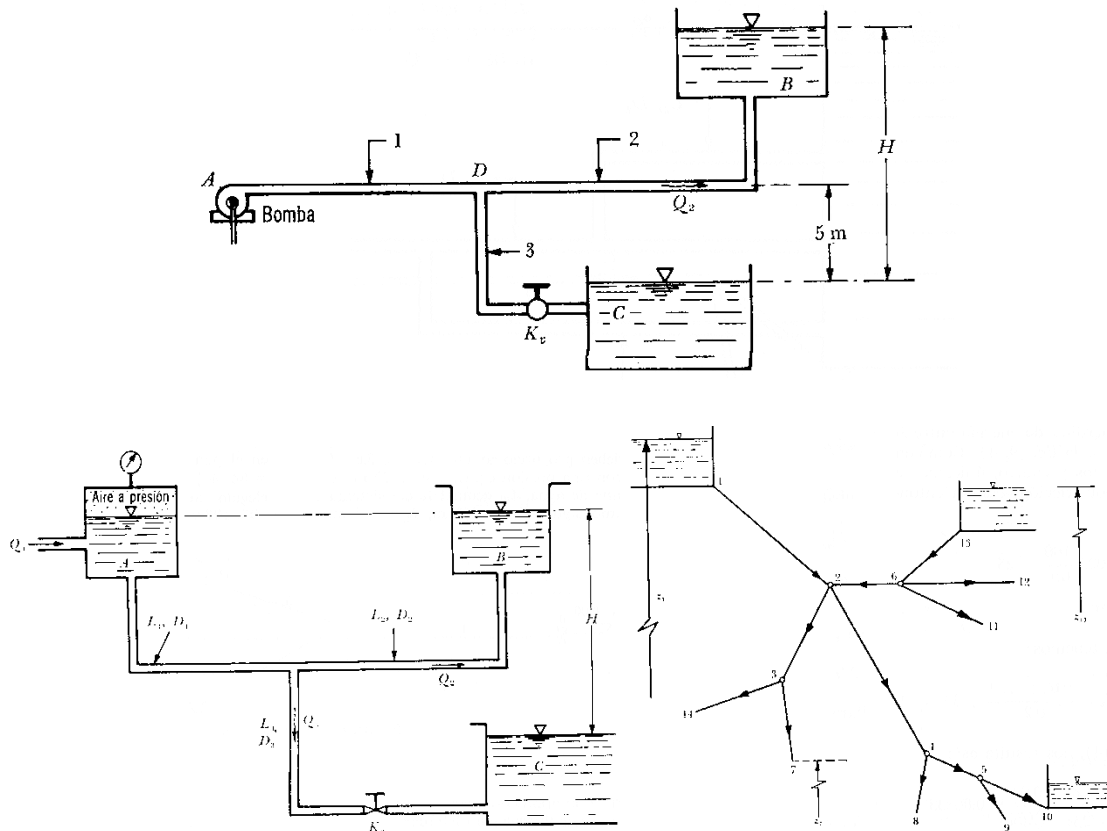
El caudal entrante total en un nudo ha de ser igual al caudal saliente total del nudo.

La pérdida de energía entre dos nodos es la misma en cada una de las ramas que unen los dos nodos.

Dentro del intervalo normal de velocidades, el porcentaje del caudal total que circula por cada rama se mantendrá constante, independientemente de la pérdida de energía entre los dos puntos.

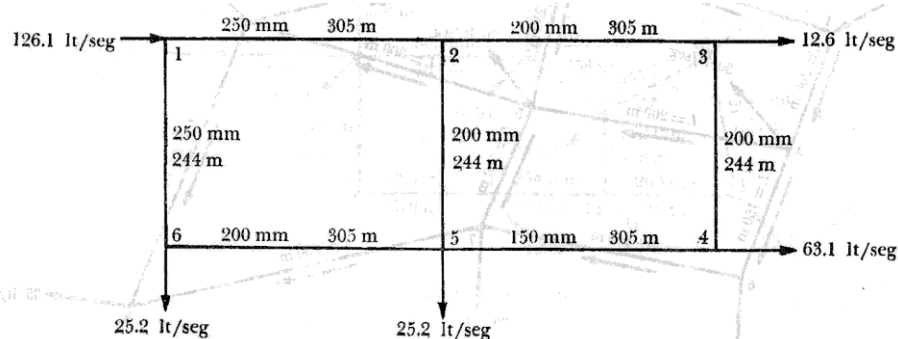
Sistemas de redes abiertas

Están constituidas por una o más tuberías que se separan o dividen en más tuberías y que no vuelven a juntarse de nuevo aguas abajo para formar circuitos.



Sistemas de redes cerradas

Estas representan la mayoría de los sistemas de tuberías. Están constituidas por muchas tuberías conectadas de forma compleja con muchos puntos con caudales entrantes y salientes.



Las redes de distribución de agua urbanas forman ramificaciones complicadas que se cierran formando mallas o circuitos, de manera que el agua en un punto puede venir de dos o más direcciones distintas.

Esto representa una ventaja en caso de realizar reparaciones, ya que no se interrumpe el suministro de agua, pero el análisis numérico es demasiado complejo.

Se puede llegar a la solución empleando métodos numéricos aproximados basados en dos planteamientos de naturaleza distinta de un sistema de ecuaciones:

Ecuación de nudo. Por razones de continuidad debe satisfacerse para cada nudo que:

$$\sum_{j \in i} Q_{ij} + Q_i$$

Dónde:

Q_{ij} Gasto que va del nudo j al i
Negativo si llega al nudo i del j
Positivo si sale del nudo i del j

Q_i Gasto que sale o entra al nudo i
 $j \in i$ "Para todos los nudos j conectados al nudo i "

Ecuación de pérdida. La pérdida por fricción en cada tramo está dada por la fórmula de fricción correspondiente, donde al sustituir la velocidad expresada por la ecuación de gasto en la ecuación de pérdida, tenemos:

$$Q = VA \quad \text{Ecuación de Gasto} \quad h_f = f \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g} \quad \text{Darcy-Weisbach}$$

$$V_{ij} = \frac{4Q_{ij}}{\pi D_{ij}^2} \quad Q = 0.355 A C_H d^{0.63} S_f^{0.54} \quad \text{Hazen-Williams}$$

$$h_{f_{ij}} = a_{ij} Q_{ij}^n$$

Donde:

$$a_{ij} = \frac{8f_{ij}L_{ij}}{\pi^2 g D_{ij}^5} \quad (\text{Darcy-Weisbach}) \text{ y } n=2$$

$$a_{ij} = \frac{L_{ij}}{(0.279 C_H D_{ij}^{2.63})^{1.851}} \quad (\text{Hazen-Williams}) \text{ y } n=1.851$$

La utilización de los dos planteamientos anteriores conduce a un sistema de ecuaciones, el cual, es posible resolver utilizando métodos numéricos (iterativos).

Existen tres posibilidades iniciales a escoger para la solución del problema:

1. Estimar los valores iniciales de Q_{ij}
2. Estimar los valores iniciales de h_{fij}
3. Estimar de manera simultánea Q_{ij} y h_{fij}

Cualesquiera que se seleccione para resolver el problema deberá ajustarse al método de solución numérico siguiente, propuesto por Hardy Cross.

El método debe cumplir las siguientes leyes:

Ley de nudos. El caudal que entra en un nudo debe ser igual a la suma de los caudales que salen del nudo. Si esto no se cumpliera, habría en el nudo un consumo o un suministro de fluido.

$$\sum Q = 0$$

Ley de las mallas. La suma algebraica de las pérdidas de carga en una malla ha de ser igual a cero. Si esto no se cumpliera, un mismo punto tendría dos valores de energía piezométrica distintos.

$$\sum h_f = 0$$

INDICADORES DEL RESULTADO DE APRENDIZAJE

FUNDAMENTO

Los alumnos, aplicando los conocimientos sobre redes, deberán ser capaces de predecir y comprobar el comportamiento del modelo físico de redes mediante un modelo matemático.

PROCEDIMIENTO

1. Identificar el tipo de tuberías y accesorios que se encuentran en la red cerrada.
2. Medir el diámetro y longitud de los tramos de tubería comprendidos entre accesorios.
3. Abrir o cerrar las válvulas de paso para obtener la dirección de flujo indicada en clase.
4. Verificar que todas las llaves de jardín (excepto la de descarga) se encuentren cerradas.
5. Asegurarse de encender el equipo de bombeo.
6. Abrir lentamente la válvula de entrada y asegurarse que la manguera de salida desagüe al canal de retorno.
7. Registrar la lectura de presión del manómetro colocado al inicio de la red.
8. Colocar manómetros en las llaves de jardín donde se desee registrar mediciones.
9. Registrar el caudal indicado en los medidores de flujo.
10. Cerrar la válvula de entrada y apagar el equipo de bombeo.

| EQUIPO | MATERIAL/REACTIVOS |
|---|--------------------|
| 1. Red cerrada 2. Manómetro 3. Flexómetro | |
| DESARROLLO | |
| | |
| CÁLCULOS Y RESULTADOS | |
| 1. Investigar el valor de rugosidad absoluta (ϵ) para cada material de tubería. 2. Calcular la velocidad (V) de los tramos de tubería con los datos de caudal (Q) y diámetro (D) obtenidos en el procedimiento. $Q = VA$ 3. Calcular el número de Reynolds (Re) 4. Obtener el valor de rugosidad relativa (ϵ/D) 5. Calcular el coeficiente de fricción (f) a partir del diagrama de Moody. 6. Calcular las pérdidas por fricción (h_f) de cada tramo de tubería. 7. Dibujar el diagrama de la red cerrada (incluyendo tuberías y accesorios) y dibujar la línea de alturas totales y piezométrica de la red. 8. Obtener las pérdidas de carga atribuibles a los accesorios según la línea de alturas totales calculada anteriormente. 9. Calcular la pérdida local (h_L) para los accesorios de la red utilizando el coeficiente (k) sugerido en la bibliografía o fichas técnicas. 10. Compara ambos valores de pérdidas locales. | |
| ANÁLISIS DE DATOS Y CONCLUSIONES/COMENTARIOS | |
| | |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Giles, R. V., 1962. <i>Mecánica de los fluidos e hidráulica</i>. Philadelphia, Pa.: McGraw-Hill . • Mott, R. L., 2006. <i>Mecánica de fluidos</i>. México: Pearson. • Sotelo Ávila, G., 1997. <i>Hidráulica general</i>. México DF.: Limusa. • Streeter, V. L., Wylie, E. B. & Bedford, K. W., 2000. <i>Mecánica de fluidos</i>. Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill • Yunus, A. C. & John , M. C., 2006. <i>Mecánica de fluidos, Fundamentos y aplicaciones</i>. 1ra. ed. México DF.: Mc Graw Hill | |
| ANEXOS | |

