

GUÍAS LABORATORIOS

MECÁNICA DE FLUIDOS



Realizado por:

Ing. Luis Salamanca

Ing. Jairo Pedraza

Monitor: Nicolás Arrázola

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

AÑO 2015



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
MECÁNICA DE FLUIDOS



TABLA DE CONTENIDO

LABORATORIO N°1. PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS	7
1.1 OBJETIVOS	7
1.2 EQUIPOS Y ELEMENTOS	7
1.3 MATERIALES	7
1.4 PROCEDIMIENTO	7
1.4.1 Prueba N°1: Densidad	7
1.4.1.1 Método N°1: Medición con el Beaker	8
1.4.1.2 Método N°2: Principio de Arquímedes	8
1.4.1.3 Método N°3: Botella de densidad	8
1.4.2 Prueba N°2: Capilaridad	8
1.4.3 Viscosímetro de caída de bola.....	9
1.5 MARCO TEÓRICO.....	10
1.5.1 Densidad	10
1.5.2 Peso específico	11
1.5.3 Densidad relativa	11
1.5.4 Tensión superficial.....	11
1.5.5 Capilaridad	12
1.5.6 Viscosidad	12
1.5.6.1 Ley de Stokes	12
1.5.6.2 Velocidad observada.....	13
1.5.6.3 Velocidad corregida	13
1.5.6.4 Viscosidad absoluta o dinámica μ	14
1.5.6.5 Viscosidad relativa o cinemática ν	14
1.6 CUESTIONARIO	14
1.6.1 Prueba N°1: Densidad	14
1.6.2 Prueba N°2: Capilaridad	15
1.6.3 Prueba N°3: Viscosidad.....	15



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
MECÁNICA DE FLUIDOS



FORMATO DE TOMA DE DATOS	16
LABORATORIO N°2. FUERZAS SOBRE SUPERFICIES PLANAS	18
2.1 OBJETIVOS.....	18
2.2 EQUIPOS Y ELEMENTOS	18
2.3 MARCO TEÓRICO	19
2.3.1 Fuerzas de presión.....	20
2.3.2 Determinación teórica del Y_{cp}	20
2.3.3 Determinación experimental del Y_{cp}	21
2.3.4 Expresiones a usar para superficies totalmente sumergidas	22
2.3.5 Expresiones a usar para superficies parcialmente sumergidas	23
2.4 PROCEDIMIENTO.....	24
2.4.1 Prueba N°1: Área totalmente sumergida.....	24
2.4.2 Prueba N°2: Área parcialmente sumergida	24
2.5 CUESTIONARIO	24
2.5.1 Prueba N°1: Área totalmente sumergida.....	24
2.5.2 Prueba N°2: Área parcialmente sumergida	25
2.6 CONSULTA	25
FORMATO TOMA DE DATOS	28
FORMATO DE CÁLCULOS.....	29
LABORATORIO N°3. EMPUJE Y FLOTACIÓN	30
3.1 OBJETIVOS.....	30
3.2 EQUIPOS Y ELEMENTOS	30
3.3 MARCO TEÓRICO	30
3.3.1 Presión hidrostática.....	30
3.3.2 Estabilidad de un cuerpo flotante.....	31
3.4 PROCEDIMIENTO.....	32
3.4.1 Prueba N°1: Ley de Pascal	32
3.4.2 Prueba N°2: Ley de Arquímedes (Empuje de un fluido).....	32



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
MECÁNICA DE FLUIDOS



3.4.3 Prueba N°3: Análisis de flotación	33
3.4.4 Prueba N°4: Estabilidad de un cuerpo flotante.....	33
3.4.4.1 Parte a	33
3.4.4.2 Parte b	34
3.5 CUESTIONARIO	34
3.5.1 Prueba N°1: Ley de Pascal	34
3.5.2 Prueba N°2: Ley de Arquímedes (Empuje de un fluido).....	34
3.5.3 Prueba N°3: Análisis de flotación	35
3.5.4 Prueba N°4: Estabilidad de un cuerpo flotante.....	35
FORMATO TOMA DE DATOS	36
FORMATO DE CÁLCULOS.....	37
LABORATORIO N°4. MEDIDORES DE FLUJO-VENTURÍMETRO.....	38
4.1 OBJETIVOS.....	38
4.2 EQUIPOS Y ELEMENTOS	38
4.3 MARCO TEÓRICO	38
4.4 PROCEDIMIENTO.....	42
4.4.1 Instalación del equipo.....	42
4.4.2 Calibración de los manómetros	42
4.4.3 Procedimiento experimental.....	42
4.5 CUESTIONARIO	43
FORMATO TOMA DE DATOS	45
FORMATO DE CÁLCULOS.....	46
LABORATORIO N°5. IMPACTO DE CHORRO	49
5.1 OBJETIVOS.....	49
5.2 EQUIPOS Y ELEMENTOS	49
5.3 MARCO TEÓRICO	49
5.4 PROCEDIMIENTO.....	52
5.5 CUESTIONARIO	52



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
MECÁNICA DE FLUIDOS



FORMATO TOMA DE DATOS	53
-----------------------------	----



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
MECÁNICA DE FLUIDOS



LISTA DE FIGURAS

Figura N°1. Aparato para pruebas de capilaridad	9
Figura N°2. Viscosímetro de caída de bola	10
Figura N°3. Tanque cuadrante.	18
Figura N°4. Medición para el ensayo de la presión hidrostática.....	19
Figura N°5. Superficie parcialmente sumergida.	26
Figura N°6. Superficie totalmente sumergida	27
Figura N°7. Estabilidad de un cuerpo flotante.	31
Figura N°8. Esquema del efecto Venturi	39
Figura N°9. Distancia entre manómetro y diámetro del Venturi en [mm].....	42
Figura N°10. Impacto de chorro	51



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
MECÁNICA DE FLUIDOS



LISTA DE TABLAS

Tabla N°1. Método N°1: Medición con el Beaker	16
Tabla N°2. Método N°2: Principio de Arquímedes	16
Tabla N°3. Método N°3: Botella de densidad	16
Tabla N°4. Tubos	17
Tabla N°5. Placas.....	17
Tabla N°6. Viscosidad aceite de cocina	17
Tabla N°7. Viscosidad glicerina.....	17
Tabla N°8. Área parcial y totalmente sumergida, toma de datos	28
Tabla N°9. Área totalmente sumergida a diferentes ángulos	29
Tabla N°10. Área parcialmente sumergida a diferentes ángulos	29
Tabla N°11. Área parcialmente sumergida a cero grados.....	29
Tabla N°12. Área totalmente sumergida a cero grados.....	29
Tabla N°13. Empuje de un fluido.....	36
Tabla N°14. Inclinação de un cuerpo flotante	36
Tabla N°15. Estabilidad de un cuerpo flotante	36
Tabla N°16. Empuje de un fluido.....	37
Tabla N°17. Estabilidad de un cuerpo flotante	37
Tabla N°18. Alturas piezométricas.	45
Tabla N°19. Caudal experimental o real.....	45
Tabla N°20. Alturas piezométricas.	46
Tabla N°21. Q_{exp} , $Q_{teórico}$, C_d y diferencia de presiones sección A y D.	46
Tabla N° 22. Distribución ideal de presiones.....	47
Tabla N°23. Energía Q_5	47
Tabla N°24. Cabeza de velocidad.....	48
Tabla N°25. Energía total.	48
Tabla N°26. Alabe plano	53
Tabla N°27. Alabe hemisférico.....	53



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
MECÁNICA DE FLUIDOS



LABORATORIO N°1. PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

1.1 OBJETIVOS

- Determinar la densidad del agua, aceite, alcohol y glicerina. Por medio de diferentes métodos y a temperatura ambiente.
- Calcular la tensión superficial del agua por medio de tubos y placas capilares.
- Determinar la viscosidad del aceite y la glicerina a temperatura ambiente por medio del equipo de viscosímetro de caída de bola.
- Comparar los resultados obtenidos, con los valores numéricos encontrados en tablas y determinar el error porcentual.

1.2 EQUIPOS Y ELEMENTOS

- | | |
|---------------------------|----------------------------------|
| • Balanza. | • Probeta. |
| • Vaso metálico o Eureka. | • Regla. |
| • Beaker. | • Sólido de geometría regular. |
| • Cilindro guía. | • Termómetro. |
| • Cronometro. | • Tubos y placas de capilaridad. |
| • Esferas metálicas. | • Cinta |
| • Picnómetro. | |

1.3 MATERIALES

- | | |
|---------------------|--------------|
| • Aceite de cocina. | • Alcohol. |
| • Agua. | • Glicerina. |

1.4 PROCEDIMIENTO

1.4.1 Prueba N°1: Densidad

Para determinar la densidad de un líquido es necesario medir la masa de un volumen. A través de tres métodos se calcularán las densidades para los siguientes fluidos:

- | | |
|-----------------------|---------------------|
| • Agua de grifo. | • Aceite de cocina. |
| • Alcohol antiséptico | • Glicerina. |



1.4.1.1 Método N°1: Medición con el Beaker

- a) Pese el beaker vacío.
- b) Llene el beaker con cada uno de los fluidos y lea el volumen.
- c) Pese el beaker+fluido.

1.4.1.2 Método N°2: Principio de Arquímedes

- a) Tome un objeto sólido que encaje en el recipiente metálico (Eureka) de la prueba, por ejemplo un prisma rectangular, un cilindro o un cubo, y mida las dimensiones necesarias para calcular el volumen.
- b) Llene el vaso metálico hasta el nivel de rebose.
- c) Pese un beaker vacío.
- d) Coloque el beaker junto al recipiente metálico, permitiendo que el fluido que rebose de deposite en el beaker.
- e) Sumerja el sólido en el recipiente metálico.
- f) Pese el conjunto Beaker+Fluido.

1.4.1.3 Método N°3: Botella de densidad

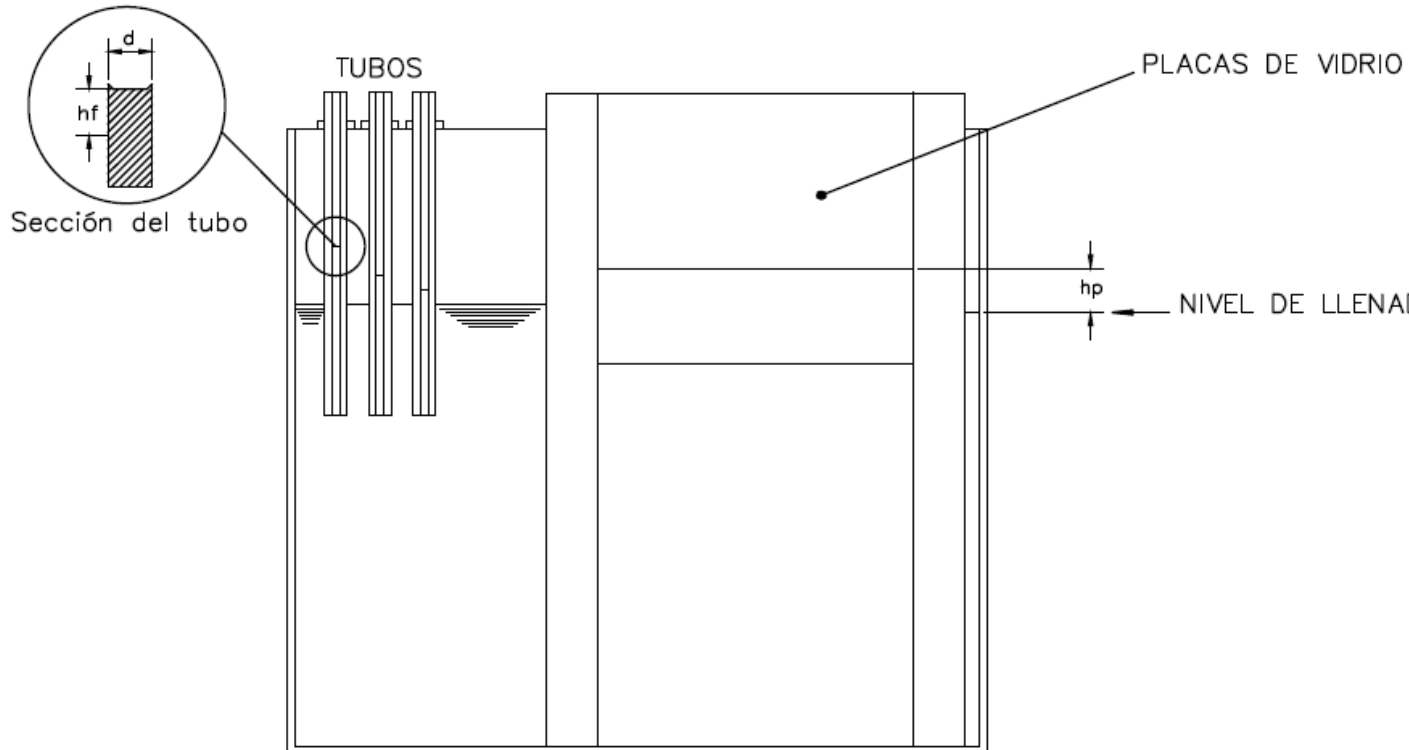
- a) Pese el picnómetro (incluyendo el tapón).
- b) Llene el picnómetro con el fluido.
- c) Manipule el tapón del picnómetro para que funcione como una pipeta, buscando desalojar el fluido en exceso por encima del cuello de la botella.
- d) Seque la superficie externa del picnómetro y pese el conjunto picnómetro+Fluido.

1.4.2 Prueba N°2: Capilaridad

- a) Llene el tanque de prueba con agua hasta aproximadamente $\frac{3}{4}$ partes.
- b) Mida la temperatura del fluido.
- c) Coloque y asegure los tubos capilares.
- d) Anote las lecturas capilares en cada tubo.
- e) Repita los pasos descritos anteriormente con las placas de vidrio, separándolas mediante cintas plásticas.



Figura N°1. Aparato para pruebas de capilaridad



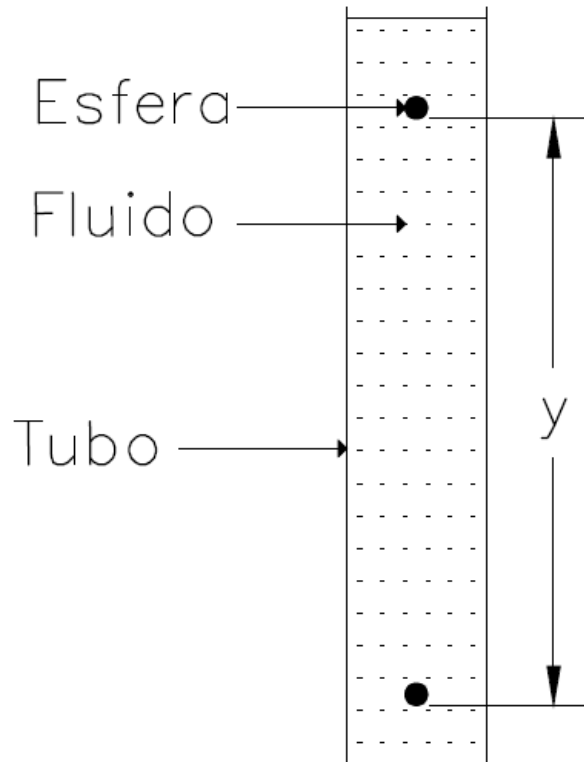
Fuente: Elaboración propia.

1.4.3 Viscosímetro de caída de bola

- Llene la probeta con glicerina o aceite y coloque el cilindro guía.
- Coloque bajo el cilindro guía las bandas de cinta separadas a una distancia de 200mm.
- Introduzca dentro del cilindro guía cada una de las esferas.
- Mida el tiempo que tarda una esfera en descender la distancia entre las bandas de cinta.
- Repita el procedimiento con el otro fluido.



Figura N°2. Viscosímetro de caída de bola



Fuente: Elaboración propia.

1.5 MARCO TEÓRICO

1.5.1 Densidad

Se define como la masa de una sustancia contenida en una unidad de volumen. La unidad de densidad en el SI (Sistema Internacional) es el Kilogramo por metro cúbico y se denota por la letra griega ρ (ro).

$$\rho = \frac{\text{masa (Kg)}}{\text{Volumen (m}^3\text{)}} \quad (1)$$

La densidad en cuerpos homogéneos es constante en todos los puntos, mientras que para cuerpos heterogéneos, esta varía de un punto a otro. El valor típico de la densidad del agua es $\rho_{\text{agua}} = 1000 \text{ Kg/m}^3$.



1.5.2 Peso específico

Es el peso de una sustancia por unidad de volumen de esta. En SI la unidad de este es Newton por metro cúbico y se representa con la letra griega γ (gamma). Como el peso es igual a la masa por la aceleración, este valor se obtiene de multiplicar la densidad por la gravedad.

$$\gamma = \frac{\text{gravedad} \left(\frac{m}{s^2} \right) * \text{masa} (Kg)}{\text{Volumen} (m^3)} = \frac{\text{peso} (N)}{\text{Volumen} (m^3)} \quad (2)$$

1.5.3 Densidad relativa

Número adimensional resultado de la relación del peso específico del cuerpo al peso específico igual de una sustancia que se toma como referencia. Para sólidos y líquidos es el agua a 4°C. En algunas literaturas la denominan Dr, en este caso se va a denominar s.

$$s = \frac{\text{Peso específico de la sustancia}}{\text{Peso específico del agua a } 4^{\circ}C} \quad (3)$$

El valor típico del $\gamma_{\text{agua}} = 9.81 \text{KN}/m^3$, otro modo de calcular la densidad relativa es con la relación de la densidad del cuerpo a la densidad del agua a 4°C.

$$s = \frac{\text{Densidad de la sustancia}}{\text{Densidad del agua a } 4^{\circ}C} \quad (4)$$

1.5.4 Tensión superficial

Entre la superficie de contacto del líquido y el gas parece formarse en el líquido una película o capa especial, debida en apariencia a la atracción entre las moléculas del líquido situado por debajo de la superficie. Esta propiedad de la película superficial de ejercer una tensión se llama tensión superficial y es la fuerza necesaria para mantener la unidad de longitud de la película en equilibrio.



1.5.5 Capilaridad

La elevación o descenso de un líquido en un tubo capilar es producto de la tensión superficial, dependiendo de las magnitudes relativas de la cohesión y de la adhesión del líquido a las paredes del tubo. Los líquidos ascienden en tubos que mojan (adhesión > cohesión) y descienden en tubos a los que no mojan (cohesión > adhesión). La capilaridad es importante en tubos de diámetros inferiores a los 10mm.

$$h_t = \frac{4\sigma}{gD\rho} \quad (5)$$

$$h_p = \frac{2\sigma}{gb\rho} \quad (6)$$

Dónde:

- h_t = La altura en el tubo capilar [m].
- h_p = Altura entre placas [m].
- σ = Tensión superficial [N/m].
- ρ = Densidad del fluido [Kg/m^3].
- g = aceleración de la gravedad en [m/s^2].
- D = Diámetro del tubo capilar [m].
- b = Separación entre placas [m].

1.5.6 Viscosidad

Es la resistencia al corte que exhibe un fluido, se debe a las interacciones entre las moléculas del fluido. El coeficiente de viscosidad es constante, en el sentido de que no depende de la velocidad. Sin embargo, depende de otros factores físicos, particularmente de la presión y la temperatura.

1.5.6.1 Ley de Stokes

Debido a la existencia de la viscosidad, cuando un fluido se mueve alrededor de un cuerpo o se desplaza en el seno de un fluido, se produce una fuerza de arrastre sobre dicho cuerpo. Si este cuerpo es una esfera, la fuerza de arrastre se da por la siguiente expresión.

$$F_a = 6 * V * r * \mu \quad (7)$$



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
MECÁNICA DE FLUIDOS



Dónde:

- F_a = Fuerza de arrastre [N].
- V = velocidad de la esfera respecto al fluido [m/s].
- r = radio de la esfera [m].
- μ = Viscosidad dinámica o absoluta del fluido [Pa*s].

Esta relación fue deducida por George Stokes en 1845, y se denomina ley de Stokes. En base a esta ley, si se deja caer una esfera en un recipiente el cual contiene un fluido, debe existir una relación entre el tiempo empleado en recorrer una determinada distancia y la viscosidad de dicho fluido.

Para determinar la viscosidad absoluta a través del viscosímetro de caída de bola, se requiere primero conocer la velocidad observada y la velocidad corregida.

1.5.6.2 Velocidad observada

$$V_o = \frac{y}{t} \quad (8)$$

Dónde:

- V_o = Velocidad observada de caída de la esfera [m/s].
- y = Distancia recorrida por la esfera [m].
- t = tiempo que dura en recorrer la distancia [s].

1.5.6.3 Velocidad corregida

$$V = V_o \left[1 + \frac{9D_e}{4D_t} + \frac{(9D_e)^2}{(4D_t)^2} \right] \quad (9)$$

Dónde:

- V = Velocidad corregida [m/s].
- D_e = Diámetro de la esfera [m].
- D_t = Diámetro del tubo [m].



1.5.6.4 Viscosidad absoluta o dinámica μ

$$\mu = D_e^2 \frac{(\gamma_e - \gamma_l)}{18V} \quad (10)$$

Dónde:

- μ = Viscosidad absoluta o dinámica [Pa.s].
- D_e = Diámetro de la esfera [m].
- γ_e = Peso específico de la esfera [kN/m³].
- γ_l = Peso específico del líquido de trabajo [kN/m³].
- V = Velocidad corregida [m/s].

1.5.6.5 Viscosidad relativa o cinemática ν

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (11)$$

Dónde:

- ν = Viscosidad relativa o cinemática [m²/s].
- μ = Viscosidad absoluta o dinámica [Pa.s].
- ρ = Densidad del cuerpo [Kg/m³].

1.6 CUESTIONARIO

1.6.1 Prueba N°1: Densidad

- La exactitud del método de Arquímedes mejoraría si se mide con:
a) Un vaso estrecho y profundo.
b) Un vaso ancho y poco profundo.

Explique el porqué de su respuesta.

- ¿Cuál de los anteriores métodos demuestra una manera más fundamental de medir el volumen del líquido? ¿Por qué?
- ¿Cuál cree usted que es el procedimiento más exacto? ¿Por qué?
- ¿Cuál cree usted que es el procedimiento **más** preciso? ¿Por qué?



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
MECÁNICA DE FLUIDOS



- Con el valor que considere más preciso de densidad, obtenida para cada fluido, calcule la densidad relativa. Justifique su respuesta comparando este valor obtenido con los establecidos en los textos.
- Enunciar las variables que tienen mayor influencia en la densidad.

1.6.2 Prueba N°2: Capilaridad

- Calcule la tensión superficial (σ) con las alturas, separaciones entre placas, diámetro del tubo capilar y la densidad más exacta que se encontró en la prueba de densidad, teniendo en cuenta la temperatura del fluido.
- Realice la gráfica de Altura capilar Vs Diámetro y de Altura capilar Vs Separación, interprételas y explique cómo afecta el diámetro o la separación en la elevación del fluido.
- ¿Hasta dónde llegaría el nivel del agua si se tuviese una serie de tubos de diferentes diámetros, interconectados entre sí?

1.6.3 Prueba N°3: Viscosidad

- Calcular la viscosidad dinámica y cinemática del aceite y la glicerina, use el valor de densidad más exacto.
- Comparar los resultados obtenidos con los valores establecidos en diferentes textos, justificando si el resultado es correcto o no.
- Enunciar las variables que tienen influencia en la viscosidad.
- ¿Cuál es la viscosidad dinámica de un fluido en reposo?



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
MECÁNICA DE FLUIDOS



FORMATO DE TOMA DE DATOS

Firma del laboratorista: _____ Fecha ____/____/____

Nombres:	Códigos:	Firmas:
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

Prueba N°1: Densidad

Tabla N°1. Método N°1: Medición con el Beaker

Fluido	Peso del Beaker (g)	Volumen del fluido (cm ³)	Peso del beaker + Fluido (g)	Densidad (Kg/m ³)
Agua de grifo				
Aceite				
Alcohol				
Glicerina				

Tabla N°2. Método N°2: Principio de Arquímedes

Fluido	Peso del Beaker (g)	Volumen del fluido (cm ³)	Peso del beaker + Fluido (g)	Densidad (Kg/m ³)
Agua de grifo				
Aceite				
Alcohol				
Glicerina				

Tabla N°3. Método N°3: Botella de densidad

Fluido	Peso del Beaker (g)	Volumen del fluido (cm ³)	Peso del beaker + Fluido (g)	Densidad (Kg/m ³)
Agua de grifo				
Aceite				
Alcohol				
Glicerina				



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
MECÁNICA DE FLUIDOS



Prueba N°2: Capilaridad

Tabla N°4. Tubos

Diámetro (mm)	ht (cm)	Densidad (Kg/m ³)	Tensión superficial (N/m)
0.3			
0.8			

Tabla N°5. Placas

Separación (mm)	hp (cm)	Densidad (Kg/m ³)	Tensión superficial (N/m)
0.025 (dos)			
0.375 (una) Roja			

Prueba N°3: Viscosidad

Tabla N°6. Viscosidad aceite de cocina

Aceite de cocina	ø 1/52"	ø 2/36"	ø 3/16"
Distancia (m)			
Densidad del fluido (Kg/m ³)			
Densidad de la esfera (Kg/m ³)			
Tiempo 1 (s)			
Tiempo 2 (s)			
Tiempo 3 (s)			
Tiempo promedio (s)			
Viscosidad dinámica (Pa.s)			
Viscosidad cinemática (m ² /s)			

Tabla N°7. Viscosidad glicerina

Glicerina	ø 1/52"	ø 2/36"	ø 3/16"
Distancia (m)			
Densidad del fluido (Kg/m ³)			
Densidad de la esfera (Kg/m ³)			
Tiempo 1 (s)			
Tiempo 2 (s)			
Tiempo 3 (s)			
Tiempo promedio (s)			
Viscosidad dinámica (Pa.s)			
Viscosidad cinemática (m ² /s)			



LABORATORIO N°2. FUERZAS SOBRE SUPERFICIES PLANAS

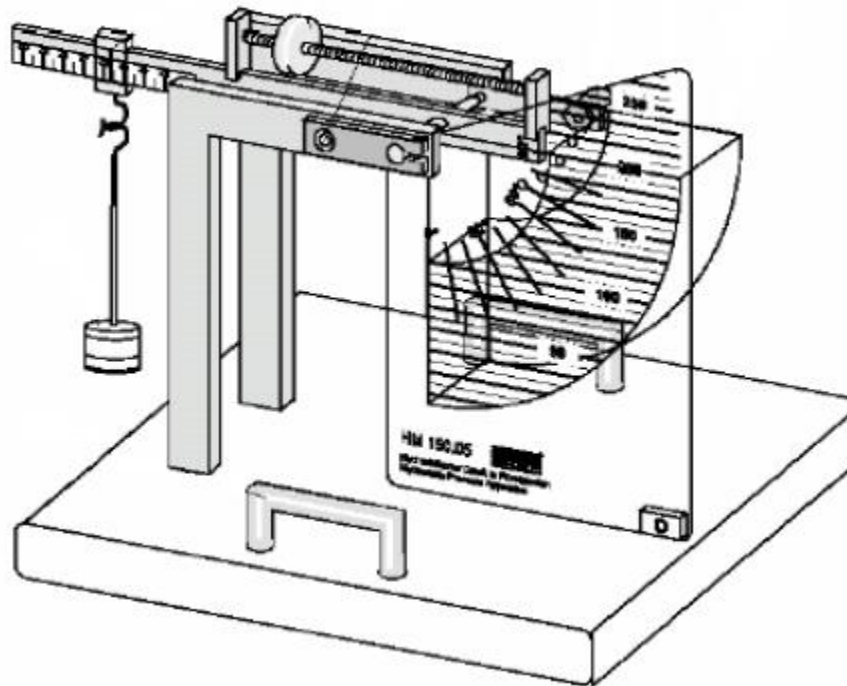
2.1 OBJETIVOS

- Aplicar por medio del tanque cuadrante del banco de pruebas hidráulicas los principios hidrostáticos que rigen las fuerzas sobre las superficies en contacto, comprobando el comportamiento con áreas, total y parcialmente sumergidas.
- Calcular centros de presión de forma experimental y teórica para superficies total y parcialmente sumergidas a diferentes ángulos de inclinación.

2.2 EQUIPOS Y ELEMENTOS

- Banco de pruebas hidráulicas.
- Tanque cuadrante.
- Beaker.
- Juego de pesas.
- Regla.

Figura N°3. Tanque cuadrante.



Fuente: Guías laboratorio de Mecánica de Fluidos, 2009.

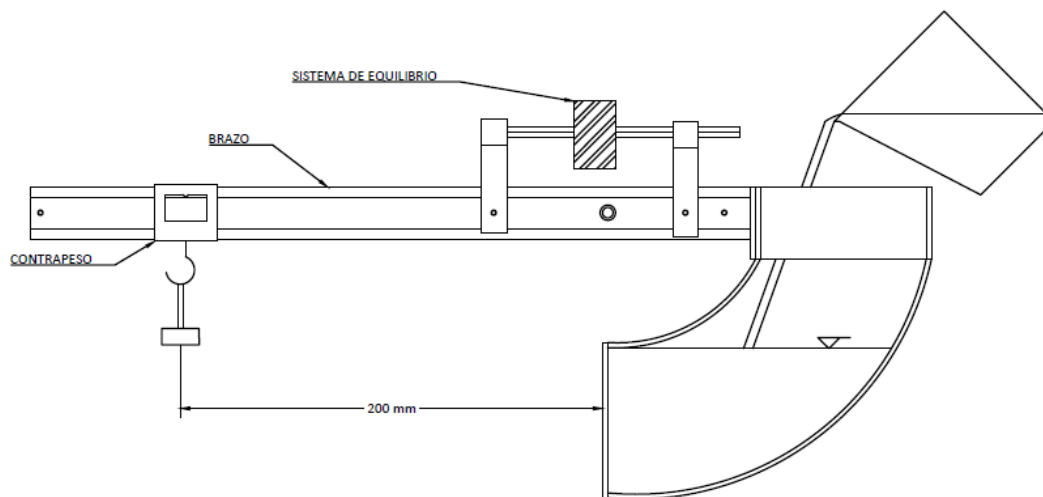


2.3 MARCO TEÓRICO

Para los sólidos en reposo, las fuerzas en superficie pueden actuar en cualquier dirección, el caso de los fluidos en reposo es distinto. Esto debido a que la fuerza ejercida en una superficie por un fluido es siempre perpendicular al plano de la superficie, con esto se puede afirmar que no existen componentes tangenciales, ya que sí existieran, el fluido estaría en movimiento, fluiría. El centro de presión es un punto donde se puede asumir que el empuje total del fluido actúa normal al plano. Así de este modo la presión es la fuerza normal por unidad de superficie.

Como parte de una balanza se encuentra el tanque cuadrante que contiene el agua, la presión total que ejerce el fluido sobre la superficie no genera momento, debido a que los lados cilíndricos del cuadrante tienen sus radios coincidiendo con el centro de rotación del tanque. El único momento que se va a presentar es el de la presión del fluido actuando sobre la superficie plana. Para la medición de este momento de forma experimental, se deben colocar las pesas en el soporte que se encuentra al extremo del brazo contrario opuesto al tanque cuadrante. Y con la ayuda de un segundo tanque que se encuentra en el mismo lado del brazo de la balanza, se puede equilibrar el sistema.

Figura N°4. Medición para el ensayo de la presión hidrostática.



Fuente: Elaboración propia.



Se mide la altura “h”, que es el nivel de agua por debajo del pivote, con la escala en el tanque cuadrante. La fuerza debida a la presión hidrostática en el centro de presión CP, a una distancia Y_{cp} desde O'. Y_{cp} se mide a lo largo de la superficie rectangular inclinada.

2.3.1 Fuerzas de presión

La presión se considera como la fuerza por unidad de área, entonces la fuerza se puede describir como la integral de la presión en el área de estudio. Como el caso de estudio es cuando la ley de la hidrostática es válida, entonces se sabe que el líquido se encuentra solamente sometido al efecto de la gravedad. Se pueden distinguir varios casos que dependen de la geometría de la superficie estudiada: superficies planas e inclinadas y superficies curvas. En este laboratorio sólo se estudiará los casos de las superficies planas rectangulares, inclinadas y verticales.

En una superficie plana vertical, la presión aumenta linealmente con la profundidad. Para esto se utiliza el concepto de prisma de presiones para determinar la fuerza de presión horizontal, la que corresponde al volumen de dicho prisma. El punto de aplicación de esta fuerza es el centro de gravedad del prisma de presiones.

En una superficie inclinada, si esta plana, la fuerza de presión se puede calcular del mismo modo, ya que siempre va a ser normal a la superficie. El punto de aplicación será el centro de gravedad del prisma.

2.3.2 Determinación teórica del Y_{cp}

La expresión teórica del centro de presión es:

$$Y_{cp} = Y_{cg} + \frac{I_{xx}}{Y_{cg} * A} \quad (\text{Teórico}) \quad (1)$$

Dónde:

- I_{xx} = Segundo momento de área (Momento de inercia) de la superficie sumergida con respecto al eje horizontal que pasa por el centro de gravedad CG.
- Y_{cg} = Distancia desde O' (intersección del plano del nivel de agua con el plano de la superficie sumergida) al centro de gravedad de la misma superficie.



2.3.3 Determinación experimental del Y_{cp}

Para la posición de equilibrio del aparato, tomando momentos alrededor del pivote O' , se tiene que:

$$F * Y = W * g * R_2 * \cos\theta \quad (2)$$

Dónde:

- θ = Ángulo de inclinación de la superficie sumergida.
- Y = Distancia del pivote al centro de presión.
- m = Masas de las pesas necesarias para el equilibrio.
- R_2 = Distancia del pivote al centro de las pesas.
- g = Aceleración de la gravedad.

Despejando Y :

$$Y = \frac{W * g * R_2 * \cos\theta}{F} \quad (3)$$

También por geometría resulta que:

$$Y = Y_{cp} + R_1 - \frac{h_1}{\cos\theta} \quad (4)$$

Despejando Y_{cp} :

$$Y_{cp} = Y - R_1 + \frac{h_1}{\cos\theta} \quad (5)$$

Dónde:

- R_1 = Radio menor del tanque cuadrante.
- h_1 = Profundidad del agua hasta el extremo superior del recipiente.



2.3.4 Expresiones a usar para superficies totalmente sumergidas

$$h_1 = R_1 \cos \theta - h \cos \theta + R_1 \sin \theta \quad (6)$$

$$h_2 = R_2 \cos \theta - h \cos \theta + R_1 \sin \theta \quad (7)$$

Profundidad al centro de gravedad:

$$h_{cg} = \frac{h_1 + h_2}{2} \quad (8)$$

Fuerza sobre la superficie:

$$F = \gamma * h_{cg} * A \quad (9)$$

$$A = B * L$$

Y se recuerda de la ecuación (3):

$$Y = \frac{W * g * R_2 * \cos \theta}{F}$$

Inercia para un rectángulo:

$$I_{xx} = \frac{B * L^3}{12} \quad (10)$$

Cálculo del Y_{cp} experimentalmente:

$$Y_{cg} = \frac{h_{cg}}{\cos \theta} \quad (11)$$

$$Y_{cp} = Y_{cg} + \frac{I_{xx}}{Y_{cg} * A} \quad (\text{Teórico})$$

$$Y_{cp} = Y - R_1 + \frac{h_1}{\cos \theta} \quad (\text{Experimental})$$



2.3.5 Expresiones a usar para superficies parcialmente sumergidas

$$h_1 = h \cos \theta - R_1 \sin \theta \quad (12)$$

$$h_2 = R_2 \cos \theta - h \cos \theta + R_1 \sin \theta \quad (13)$$

Longitud sumergida:

$$l = R_2 - \frac{h_1}{\cos \theta} \quad (14)$$

O

$$l = \frac{h_2}{\cos \theta} \quad (15)$$

Área sumergida:

$$A = B * l \quad (16)$$

Profundidad al centro de gravedad:

$$h_{cg} = \frac{l * \cos \theta}{2} \quad (17)$$

Fuerza sobre el área:

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

Cálculo del Y_{cp} experimentalmente:

$$Y_{cp} = \frac{W * g * R_2 * \cos \theta}{F} - \frac{h}{\cos \theta} \quad (18)$$

Cálculo del Y_{cp} teóricamente:

$$Y_{cg} = \frac{h_{cg}}{\cos \theta}$$

$$Y_{cp} = Y_{cg} + \frac{I_{xx}}{Y_{cg} * A} \quad (\text{Teórico})$$



2.4 PROCEDIMIENTO

2.4.1 Prueba N°1: Área totalmente sumergida

- Equilibre el aparato de tal forma que la pared plana del tanque se encuentre en posición vertical.
- Verter agua sobre el tanque cuadrante hasta que el nivel de agua se encuentre por encima del radio de 100mm, es decir que el nivel de agua sobrepase la parte superior del recipiente.
- Equilibre el sistema agregando pesas entre 50 y 200g en el soporte dispuesto en el extremo del brazo opuesto al tanque cuadrante.
- Medir la altura desde el pivote hasta el nivel de agua.
- Repetir el procedimiento anterior para 7 lecturas en donde el sistema se encuentre en equilibrio ($\theta=0$) y seis ángulos más diferentes.

2.4.2 Prueba N°2: Área parcialmente sumergida

- Equilibre el aparato de tal forma que la pared plana del tanque se encuentre en posición vertical.
- Verter agua sobre el tanque cuadrante hasta que el nivel de agua se encuentre por debajo del radio de 100mm, es decir que el nivel de agua no sobrepase la parte superior del recipiente.
- Equilibre el sistema agregando pesas entre 50 y 200g en el soporte dispuesto en el extremo del brazo opuesto al tanque cuadrante.
- Medir la altura desde el pivote hasta el nivel de agua.
- Repetir el procedimiento anterior para 7 lecturas en donde el sistema se encuentre en equilibrio ($\theta=0$) y seis ángulos más diferentes.

2.5 CUESTIONARIO

2.5.1 Prueba N°1: Área totalmente sumergida

- Analizar la variación del centro de presión con respecto a la profundidad (h).
- Determinar y comparar las distancias del centro de presión Y_{cp} de forma teórica y experimental, para la condición de la superficie plana totalmente sumergida y para ocho combinaciones de ángulo (θ).
- Elaborar la gráfica de Y_{cp} VS h para los datos tomados de área totalmente sumergida en condición de y ($\theta=0^\circ$).



2.5.2 Prueba N°2: Área parcialmente sumergida

- Analizar la variación del centro de presión con respecto a la profundidad (h).
- Determinar y comparar las distancias del centro de presión Y_{cp} de forma teórica y experimental, para la condición de la superficie plana parcialmente sumergida y para ocho combinaciones de ángulo (θ).
- Elaborar la gráfica de Y_{cp} VS h para los datos tomados de área parcialmente sumergida en condición de y ($\theta=0^\circ$).

2.6 CONSULTA

- ¿Qué es cabeza de presión?
- ¿Qué es presión atmosférica?
- ¿Qué es la presión parcial o relativa?
- ¿Cuál es el principio fundamental de la hidrostática, también conocida como la ley de Steven?
- ¿Cree usted que el valor de presión sobre una superficie dentro de un líquido es independiente de la orientación de esta? Explique.
- ¿Qué inclinación tiene la resultante de las fuerzas hidrostáticas sobre una superficie con respecto a esta?
- ¿Por qué en un líquido en reposo no existen esfuerzos cortantes?
- ¿En qué consiste la paradoja hidrostática? Explique.
- En que consiste el Principio de Pascal y la prensa hidráulica. Comente de forma breve.
- Enuncie cinco cosas en las que el conocimiento de las fuerzas y presiones sobre las superficies sea aplicable a la ingeniería.

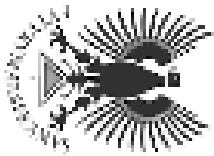
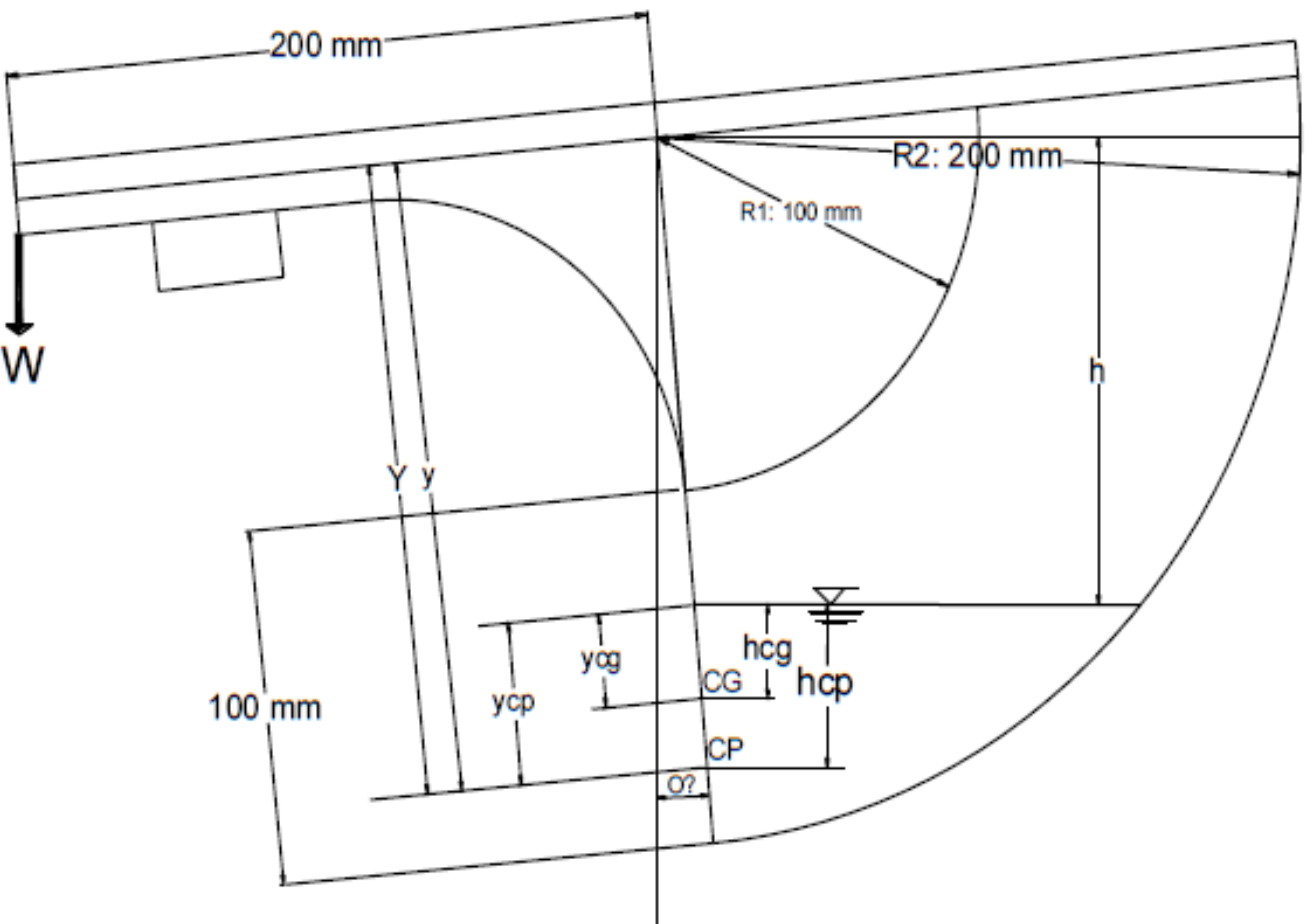


Figura N°5. Superficie parcialmente sumergida.



Fuente: Guías laboratorio de Mecánica de Fluidos, 2009.

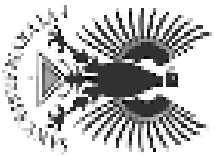
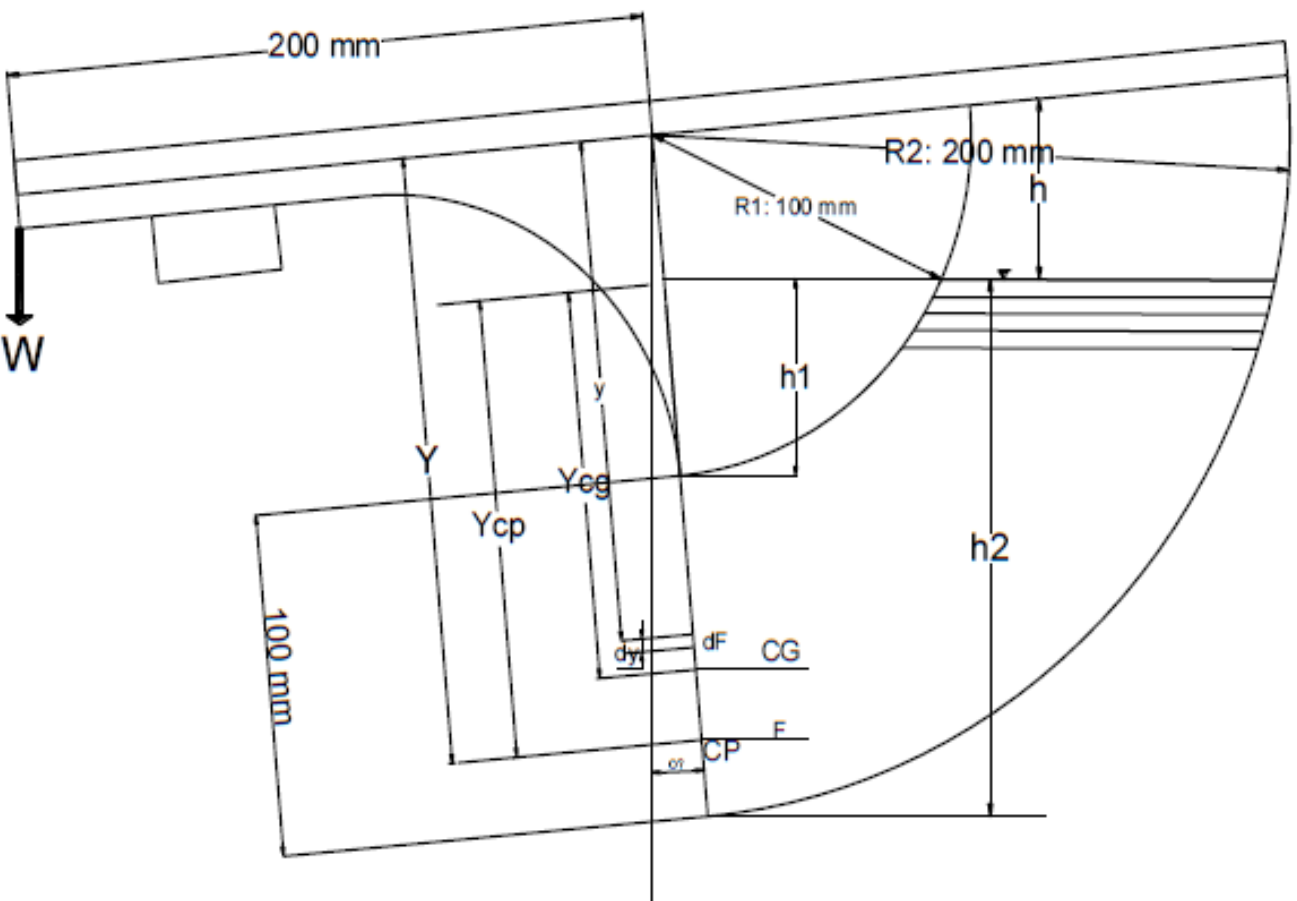


Figura N°6. Superficie totalmente sumergida



Fuente: Guías laboratorio de Mecánica de Fluidos, 2009.



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
MECÁNICA DE FLUIDOS



FORMATO TOMA DE DATOS

Firma del laboratorista: _____ Fecha ____ / ____ / ____

Nombres:

Códigos:

Firmas:

_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

Tabla N°8. Área parcial y totalmente sumergida, toma de datos

Área parcialmente sumergida						Área totalmente sumergida					
θ	h (mm)	Masa (Kg)	θ	h (mm)	Masa (Kg)	θ	h (mm)	Masa (Kg)	θ	h (mm)	Masa (Kg)
0			5			0			5		
0			10			0			10		
0			15			0			15		
0			20			0			20		
0			25			0			25		
0			30			0			30		



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
MECÁNICA DE FLUIDOS



FORMATO DE CÁLCULOS

Tabla N°9. Área totalmente sumergida a diferentes ángulos

Θ	h (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	h _{cg} (mm)	Masa (Kg)	F (N)	Y _{cg} (mm)	I _{cg} (mm ⁴)	Y _{cp} (mm) teórico	Y (mm)	h ₁ /cos Θ (mm)	Y _{cp} (mm) exp

Tabla N°10. Área parcialmente sumergida a diferentes ángulos

Θ	h (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	l (mm)	Masa (Kg)	h _{cg} (mm)	Área (mm ²)	F (N)	Y _{cg} (mm)	I _{cg} (mm ⁴)	Y _{cp} (mm) teórico	Y _{cp} (mm) exp

Tabla N°11. Área parcialmente sumergida a cero grados

Ensayo	h (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	l (mm)	Masa (Kg)	h _{cg} (mm)	Área (mm ²)	F (N)	Y _{cg} (mm)	I _{cg} (mm ⁴)	Y _{cp} (mm) teórico	Y _{cp} (mm) exp

Tabla N°12. Área totalmente sumergida a cero grados

Ensayo	h (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	h _{cg} (mm)	Masa (Kg)	F (N)	Y (mm)	Y _{cg} (mm)	I _{cg} (mm ⁴)	Y _{cp} (mm) teórico	Y _{cp} (mm) exp



LABORATORIO N°3. EMPUJE Y FLOTACIÓN

3.1 OBJETIVOS

- Comprender la importancia de la Ley de Pascal y también la Ley de Arquímedes y saber que aportes han realizado en cuanto al desarrollo del hombre respecto a este tema.
- Analizar la distribución de las presiones hidrostáticas, además la fuerza de empuje que actúa en un cuerpo flotante.

3.2 EQUIPOS Y ELEMENTOS

- Banco de pruebas hidrostáticas.
- Tubos verticales de diferentes tamaños.
- Cilindro.
- Balanza.
- Barco de flotación.

3.3 MARCO TEÓRICO

3.3.1 Presión hidrostática

Cuando se coloca un líquido en algún recipiente, éste ejerce presión sobre las paredes, el fondo y sobre cualquier punto interior. Si el líquido está en reposo, esta presión se denomina **Presión hidrostática**.

La presión hidrostática depende del peso específico del líquido y de la profundidad. En fluidos incompresibles la presión hidrostática se puede calcular a cualquier profundidad con la siguiente expresión:

$$P = \rho * g * h \quad \text{o} \quad P = \gamma * h \quad (1)$$

Dónde:

- P = Presión hidrostática [KPa].
- ρ = Densidad del fluido [Kg/m^3].
- h = Profundidad [m].
- γ = Peso específico del fluido [KN/m^3].
- g = Aceleración de la gravedad [m/s^2].



El segundo punto a consideración se conoce como el Principio de Pascal: “En un punto de un fluido en equilibrio, las presiones sobre todos los planos en cualquier orientación que pasan por ese punto, son de igual magnitud”, es decir, la presión en un punto actúa en todas las direcciones.

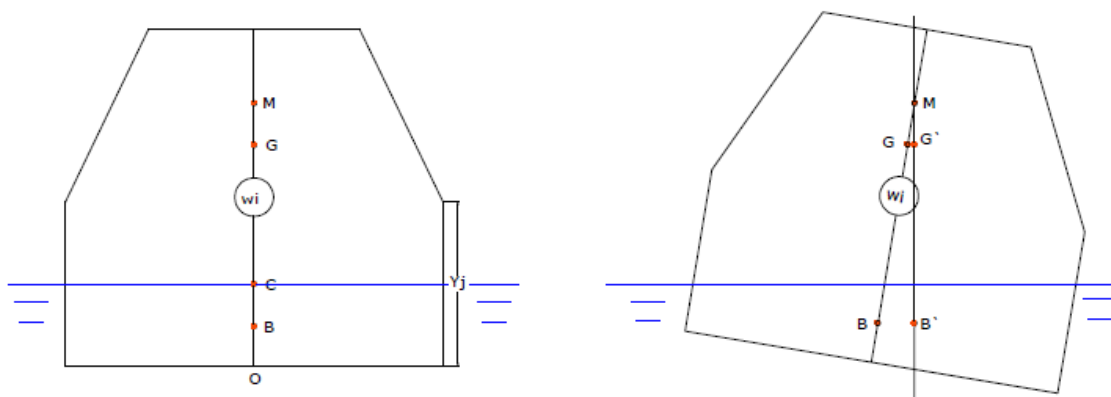
3.3.2 Estabilidad de un cuerpo flotante

Cualquier cuerpo que se encuentra total o parcialmente sumergido en un líquido, se ve sometido a 2 fuerzas principales que actúan en sentidos opuestos. La primera corresponde al peso del cuerpo (W), mientras que la segunda es el empuje (E), resultante de las fuerzas de presión que ejerce el fluido sobre el cuerpo, y actúa en sentido contrario a la gravedad. Si consideramos al sólido como un cuerpo de densidad constante, el peso corresponde al volumen de éste (V), multiplicado por su peso específico, $W = \gamma_{\text{Sólido}} * V$, mientras que si se considera que el fluido es incompresible, la magnitud del empuje corresponde al peso específico del líquido multiplicado por el volumen del líquido desplazado o volumen de carena V_c , $E = \gamma_{\text{Líquido}} * V_c$.

Respecto a los puntos de aplicación, el peso actúa en el centro de gravedad del cuerpo, G , mientras que el empuje actúa en el centro de gravedad del volumen de carena o centro de carena, C .

Para que un cuerpo flote, la condición que se debe cumplir es que el empuje cuando todo el cuerpo está sumergido sea mayor que el peso, lo que se traduce en que la densidad de éste debe ser menor que la densidad del líquido.

Figura N°7. Estabilidad de un cuerpo flotante.



Fuente: Guías laboratorio de Mecánica de Fluidos, 2009.



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
MECÁNICA DE FLUIDOS



Dónde:

- GM = Altura metacéntrica.
- BM = Altura metacéntrica sobre el centro de flotación.
- OG = Altura del centro de gravedad medida desde la base.

Y se tienen las siguientes ecuaciones:

$$GM = \frac{w_i}{W} * \frac{dX_j}{d\theta} \quad \text{Dónde: } w_i = \text{Peso ajustable}; \left[\frac{dX_j}{d\theta} \right] = \frac{mm}{rad} \quad (2)$$

$$OB = \frac{OC}{2} \quad (3)$$

$$OC = \frac{V}{A} \quad \text{Dónde: } A = L * D \quad (4)$$

$$V = \frac{W}{\rho} \quad \text{Dónde: } W = \text{Peso barco} + \text{Peso ajustable} \quad (5)$$

3.4 PROCEDIMIENTO

3.4.1 Prueba N°1: Ley de Pascal

El aparato para la observación del nivel de un líquido consiste en una serie de tubos verticales de diferentes tamaños, formas y sección transversal. Estos tubos están unidos en su base por un tubo horizontal. El aparato está permanentemente conectado al tanque superior del banco de pruebas.

- Cerrar la válvula de drenaje del banco de pruebas.
- Llenar el tanque superior del banco de pruebas al cual se encuentran unidos los tubos de diferente geometría.
- Observar los niveles de los tubos y responder el cuestionario.
- Abra la válvula de drenaje del banco de pruebas y observe el comportamiento del fluido.

3.4.2 Prueba N°2: Ley de Arquímedes (Empuje de un fluido)

- Medir el diámetro del cilindro.
- Colocar el cilindro en el soporte del banco de pruebas hidráulicas, sobre la balanza.



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
MECÁNICA DE FLUIDOS



- Deslizar el cuerpo cilíndrico desde su posición normal hasta que quede enfrentado sobre el plato de la balanza, habiendo medido antes su diámetro.
- Ubicar el cuerpo dentro de un beaker girándolo 90°, acondicionar el conjunto para que el beaker descansa sobre el plato de la balanza.
- Llenar con agua el beaker de tal forma que el cuerpo quede inmerso.
- Agitar con cuidado el beaker para eliminar las burbujas que quedan atrapadas por debajo del cilindro.
- Registrar el peso promedio del conjunto en la balanza.
- Leer la altura del líquido en la escala suspendida del eje.
- Repetir los pasos anteriores hasta que el vaso esté lleno, aproximadamente en seis etapas.

3.4.3 Prueba N°3: Análisis de flotación

- Ubicar un beaker vacío sobre agua en posición Horizontal y vertical.
- Agregar un peso aproximado al beaker de tal manera que se encuentre estable en posición vertical.
- Agregar un peso aproximado al beaker de tal manera que el cuerpo flotante se sumerja.

3.4.4 Prueba N°4: Estabilidad de un cuerpo flotante

El siguiente experimento se trabajará con el barco de flotación y se realizarán los siguientes pasos:

- Tomar el peso total del aparato “W” que incluye el peso ajustable “ w_i ”, y los dos pesos magnéticos registrados en la parte superior de la escala de ángulos.
- Tomar el peso ajustable “ w_i ”.
- Medir la longitud y el ancho del flotador del barco, así como también el espesor de la lámina que lo constituye (aproximadamente de 2 mm).

3.4.4.1 Parte a

- Amarrar el cordón grueso con la plomada a través del hueco en el tablero de acondicionamiento del peso, verificando que la plomada quede libre para indicar la intersección con la línea central marcada en el mástil.
- Sujetar el peso ajustable dentro de la hendidura en “V”, sobre la línea central de la hilera más baja y suspender el conjunto flotador y peso del extremo libre del cordón.



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
MECÁNICA DE FLUIDOS



- Marcar el punto donde la línea de la plomada intercepta la línea central, medir esta altura a partir de la base externa del flotador.
- Repetir el paso anterior para las otras cinco hileras.

3.4.4.2 Parte b

- Introducir el barco flotante en el banco de pruebas.
- Nivelar el flotador acomodando el peso ajustable en el centro del barco, sobre cualquier nivel con la ayuda de los pesos magnéticos, de tal forma que el ángulo marcado indique cero.
- Mover el peso ajustable hacia la izquierda o hacia la derecha en cada una de las hileras cada 15mm, tomando el desplazamiento por ángulo formado entre la línea de la plomada y la línea central.

3.5 CUESTIONARIO

3.5.1 Prueba N°1: Ley de Pascal

- ¿Por qué se observan variaciones en los niveles de los tubos? (si estos ocurren).
- ¿Cómo se comportarán los niveles si en el tubo que los une, el agua estuviera fluyendo?
- ¿Físicamente a que equivale la presión en la base de los tubos?
- ¿Cómo se transmite la presión con un fluido en reposo dentro de un tubo inclinado con relación a como ocurre en un tubo en posición vertical?
- Deduzca una expresión para la presión en un punto dentro de un fluido, analizando el diagrama de sólido libre.
- ¿Cómo cree usted que el peso unitario del fluido afecta la presión sobre el punto anteriormente analizado?
- ¿Cuál es el valor de la presión atmosférica expresada en KPa, mmHg, metros columna de agua, kgf/cm^2 y en Psi?
- Grafique Empuje Vs Volumen del fluido y analice la gráfica.
- Cite cinco casos prácticos en su vida como ingeniero, en la que el análisis de las presiones de los fluidos, será importante para su desempeño profesional.

3.5.2 Prueba N°2: Ley de Arquímedes (Empuje de un fluido)

- Del volumen de agua desplazado por el cilindro, la altura del líquido y el peso resultante en la balanza, puede verificarse el principio de Arquímedes.



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
MECÁNICA DE FLUIDOS



Obtener por medio de un cuadro de cálculos, el empuje para los seis niveles en el beaker.

Basándose en el anterior experimento responda el siguiente cuestionario:

- ¿Qué utilidad encuentra usted en el experimento?
- ¿Qué importancia tiene el conocer la fuerza que ejerce un fluido sobre un objeto que se sumerge dentro de este?
- ¿Cómo cree que sería el empuje del fluido si este tuviera diferentes pesos específicos, viscosidades, y temperaturas?
- Cite cinco casos prácticos en los que el empuje ejercido por un fluido sea útil en la vida ingenieril.

3.5.3 Prueba N°3: Análisis de flotación

- ¿Porque no flota en posición vertical el beaker vacío cuando es colocado sobre agua?
- Compruebe en forma teórica hasta que peso será estable el beaker y hasta que peso se hundirá, compare los valores obtenidos experimentalmente y los obtenidos teóricamente.
- ¿Cree usted que la capacidad de flotación también depende del área en contacto con el agua y del tamaño del recipiente?
- ¿Debido a que razón o explicación lógica los cuerpos que presentan mayor altura y por ende mayor inercia en el eje Y, son menos estables que los recipientes anchos y bajos?

3.5.4 Prueba N°4: Estabilidad de un cuerpo flotante

- Elaborar el gráfico de valores de X_j vs Ángulo de inclinación.
- Calcular la pendiente de cada una de las rectas obtenidas ($dX_j/d\theta$), mostrar los cálculos.
- Obtener la altura metacéntrica.
- Calcular la distancia BM.
- ¿Qué sugerencias haría usted para mejorar el experimento o el aparato?
- ¿Piensa que el movimiento de la plomada que marca los ángulos en el flotador, por efecto de su propio peso afecta los resultados en alguna forma?
- ¿Cómo cree usted que sería la estabilidad del barco si la base del recipiente fuera curva, y no plana como realmente lo es?



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
MECÁNICA DE FLUIDOS



FORMATO TOMA DE DATOS

Firma del laboratorista: _____ Fecha ____/____/____

Nombres:	Códigos:	Firmas:
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

Tabla N°13. Empuje de un fluido

Ensayo	Altura inicial (mm)	Altura final (mm)	Masa inicial (Kg)	Masa final (Kg)
1				
2				
3				
4				
5				
6				

Tabla N°14. Inclínación de un cuerpo flotante

Altura donde se encuentra el peso ajustable medido desde la base		Altura donde se encuentra el centro de gravedad medido desde la base (Y_n)	
Y_j		Y_1	
Y_j		Y_2	
Y_j		Y_3	
Y_j		Y_4	
Y_j		Y_5	

Tabla N°15. Estabilidad de un cuerpo flotante

Y_n (mm)	Ángulo en grados								
	-60	-45	-30	-15	0	15	30	45	60



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
MECÁNICA DE FLUIDOS



FORMATO DE CÁLCULOS

Tabla N°16. Empuje de un fluido

Ensayo	Altura inicial (mm)	Altura final (mm)	Masa inicial (Kg)	Masa final (Kg)	Volumen (m ³)	Empuje (N)
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Tabla N°17. Estabilidad de un cuerpo flotante

Y_n (mm)	$\frac{dX_j}{d\theta}$ (mm/rad)	GM (mm)	OG (mm)	OC (mm)	OB (mm)	BG (mm)	BM (mm)



LABORATORIO N°4. MEDIDORES DE FLUJO-VENTURÍMETRO

4.1 OBJETIVOS

- Analizar los cambios de presión de un líquido, cuando este se encuentra fluyendo a través de una tubería.
- Encontrar la constante de descarga del venturímetro e indicar su significado.
- Hallar los valores de caudal, tanto teórico como experimental y compararlos.
- Aplicar ecuación de Bernoulli, ecuación energía y ecuación de continuidad para obtener los resultados.

4.2 EQUIPOS Y ELEMENTOS

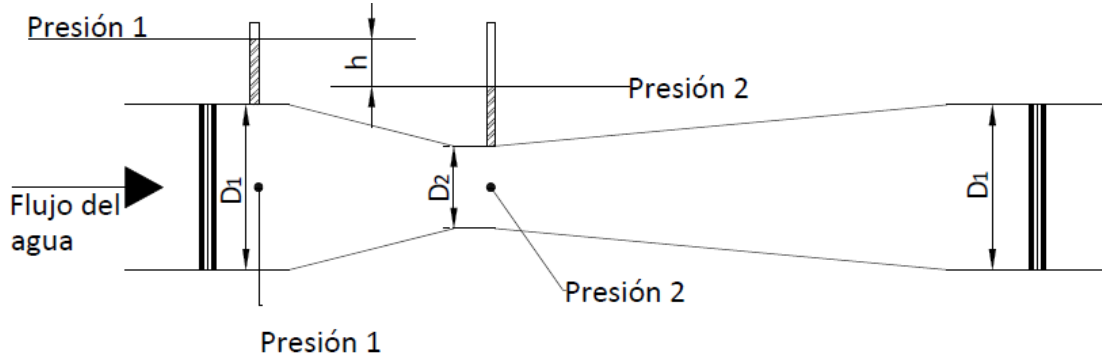
- Banco de pruebas.
- Pesas.
- Venturímetro.

4.3 MARCO TEÓRICO

El efecto Venturi trata acerca de que si a un fluido en movimiento dentro de un conducto cerrado se le disminuye el diámetro, es decir, pasa a una sección de menor área, aumenta la velocidad y disminuye la presión y caso contrario ocurre cuando se aumenta el diámetro del tubo. Si el cambio de velocidad es muy grande se pueden producir presiones negativas, si en el punto de la sección de menor área se introduce el extremo de otro conducto, se creará la aspiración del fluido de este conducto, que se mezcla con el que circula por el conducto de la sección de área mayor.



Figura N°8. Esquema del efecto Venturi



Fuente: Elaboración propia.

Este efecto se puede explicar mediante la Ecuación de Bernoulli y por continuidad de masa. Como el caudal es constante pero la sección disminuye y la altura sobre un nivel de referencia permanece igual, la cabeza de velocidad aumenta pero la cabeza de presión disminuye. Si se habla de energía, la energía cinética aumenta mientras que la energía de flujo disminuye.

La Ecuación de Bernoulli es la siguiente:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \quad (1)$$

Dónde.

- Z_n = Altura desde nivel de referencia, energía potencial o cabeza de posición del punto n.
- P_n/γ = Altura o carga piezométrica, energía de flujo o cabeza de presión del punto n.
- $V_n^2/(2g)$ = Altura de velocidad, energía cinética o cabeza de velocidad del punto n.

En esta ecuación no se tienen en cuenta las pérdidas y como $Z_1=Z_2$ entonces:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \quad (2)$$

Se llamará a la cabeza de presión h_n , de este modo:



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
MECÁNICA DE FLUIDOS



$$h_1 + \frac{V_1^2}{2g} = h_2 + \frac{V_2^2}{2g} = h_n + \frac{V_n^2}{2g} \quad (3)$$

Ahora la ecuación de continuidad dice que el caudal permanece constante, entonces:

$$Q = V * A \quad (4)$$

Dónde:

- Q = Caudal.
- V = Velocidad.
- A = Área de la sección.

Es decir:

$$Q = V_1 * A_1 = V_2 * A_2 = V_n * A_n \quad (5)$$

Despejando V_1 de la ecuación (5):

$$V_1 = \frac{V_2 * A_2}{A_1} \quad (6)$$

Reemplazando la ecuación (6) en la ecuación (3):

$$h_1 + \frac{V_2^2}{2g} \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 = h_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad (7)$$

Y despejando V_2 de la ecuación (7):

$$V_2 = \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2}} \quad (8)$$

Dónde:

- h_1 = Altura piezómetro en la entrada (A) Figura N°9.
- h_2 = Altura piezómetro en la garganta (D) Figura N°9.



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
MECÁNICA DE FLUIDOS



Por continuidad se usa la ecuación (5) y resulta que:

$$Q = V_2 * A_2$$

$$Q_{teórico} = A_2 * \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \quad (9)$$

En la realidad se encuentran pérdidas en las secciones 1 y 2 de la figura N°9, además la velocidad no es constante entre estas secciones. Esto da como resultado que el caudal medido en laboratorio sea menor al valor de caudal en la ecuación (10), por lo que se utiliza el término coeficiente de descarga, el cual relaciona directamente estos dos valores. Este coeficiente se halla experimentalmente y varía según el Venturi, pero generalmente sus valores se encuentran en un rango de 0.92-0.99.

De lo anterior entonces para hallar el caudal real se tiene que:

$$Q_{exp} = C_d * A_2 * \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \quad (10)$$

La distribución ideal o teórica de presiones a lo largo de la tubería convergente-divergente puede determinarse de la ecuación (3) y queda expresada de la siguiente forma:

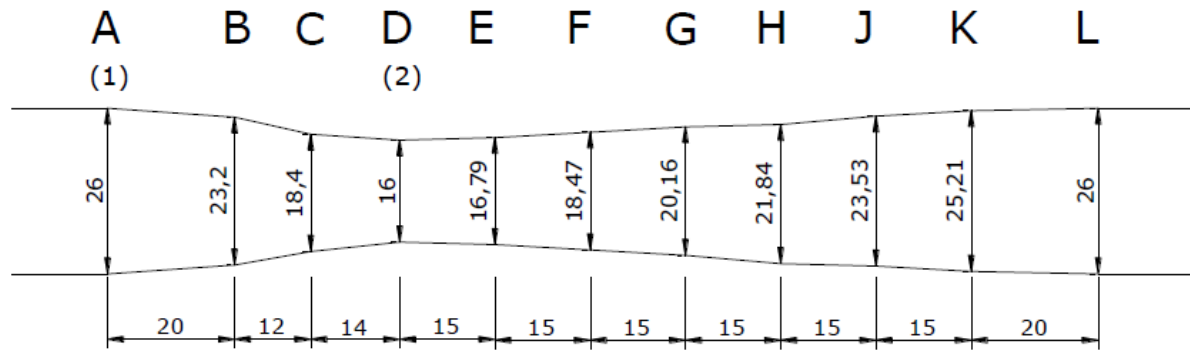
$$\frac{h_n - h_1}{\frac{V_2^2}{2g}} = \frac{V_1^2 - V_n^2}{V_2^2} \quad (11)$$

Utilizando continuidad, se sustituye el término de la parte derecha de la ecuación (12) y La distribución ideal de presiones a lo largo de la tubería será del siguiente modo:

$$\frac{h_n - h_1}{\frac{V_2^2}{2g}} = \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 - \left(\frac{A_2}{A_n}\right)^2 \quad (12)$$



Figura N°9. Distancia entre manómetro y diámetro del Venturi en [mm].



Fuente: Guías laboratorio de Mecánica de Fluidos, 2009.

4.4 PROCEDIMIENTO

4.4.1 Instalación del equipo

- Colocar el medidor de Venturi sobre el banco hidráulico.
- Conectar la manguera de salida del banco a la entrada del aparato.
- Conectar la salida del aparato a una manguera y colocar el extremo libre dentro del tanque de medición.

4.4.2 Calibración de los manómetros

- Abrir las válvulas (aparato y banco) a un tercio (1/3) de sus posiciones totalmente abiertas.
- Verificar que la válvula de purga este bien cerrada.
- Poner a funcionar la bomba, eliminar el aire atrapado como burbujas en los manómetros.
- Regular las alturas en los manómetros por medio de la inyección de aire con la bomba de mano, por la válvula de purga.

4.4.3 Procedimiento experimental

- Abrir la válvula de purga.
- Registrar las lecturas manométricas.
- Tomar el caudal a través del banco de pruebas.
- Repetir los procedimientos enunciados, para 10 diferentes caudales.



4.5 CUESTIONARIO

- Obtención de la expresión para la velocidad en la garganta (sobre el esquema de un venturímetro inclinado un ángulo θ con respecto a la horizontal).
- Análisis de cada uno de los términos de la ecuación de Bernoulli explicando el tipo de energía que representa cada uno de ellos.
- Revisión bibliográfica breve sobre los siguientes instrumentos utilizados para determinar la velocidad de un fluido en movimiento: Tubo de Pitot y Annubar, tubo de Prandtl, orificio en un depósito, anemómetros (tipos), Molinete (o correntómetro), anemómetro de hilo caliente, sifón, eyector, placa orificio.
- Calcular la distribución ideal de presiones como una fracción de la cabeza de velocidad en la garganta $\frac{h_n - h_1}{\frac{v_2^2}{2g}}$.
- Graficar para cada caudal experimental: la distribución ideal de presiones Vs distancias a las que se encuentran los diferentes piezómetros.
- Calcular el Caudal Teórico ($Q_{\text{teórico}}$).
- Graficar Q_{exp} Vs $Q_{\text{teórico}}$. Ajustar la curva y obtener el coeficiente C_d .
- Calcular el coeficiente C_d con cada uno de los caudales, partiendo que ya se tienen los valores de Q_{exp} y $(h_A - h_D)^{1/2}$.
- Demuestre la ecuación (11) y la ecuación (12).
- Graficar Q_{exp} Vs $(h_A - h_D)^{1/2}$. Ajustar la curva y obtener C_d .
- Graficar los diferentes coeficientes de descarga Vs diferentes caudales (C_d Vs Q_{exp}). Ajustar.
- Calcular la cabeza de presión, la cabeza de velocidad y la energía total para el Q_5 .
- Graficar la línea piezométrica y de energía de todos los caudales.
- Si se perfora un orificio a la entrada del venturímetro y otro orificio en la garganta, abierto a la atmósfera, ¿Que fenómeno esperarías observar? Analice esta suposición.
- Obtener las pérdidas de energía del fluido al pasar por todo el venturímetro.
- Obtener las pérdidas de energía entre cada par de piezómetros.
- Analizar el comportamiento de las diferentes variables para cada uno de las gráficas. Comentar.
- ¿Qué sugerencias harías para mejorar el aparato?
- ¿Cuál sería el efecto en los resultados si el venturímetro no estuviera horizontal? ¿Habría que hacer corrección a las lecturas del piezómetro si la escala de medida estaba montada con su eje vertical?



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
MECÁNICA DE FLUIDOS



- Existen 3 formas de escribir la Ecuación de Bernoulli, ¿Cuáles son? ¿Qué las diferencia? ¿Por qué razón se utiliza más la expresión donde los términos están dados en unidades de energía por unidad de peso? ¿En qué casos es preferible usar las otras dos formas?
- ¿Las presiones en la sección A y en la garganta son presiones reales y las velocidades de la ecuación de Bernoulli son velocidades teóricas? ¿Si la afirmación es correcta, que variable se debe tener en cuenta para que las velocidades sean reales?



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
MECÁNICA DE FLUIDOS



FORMATO TOMA DE DATOS

Firma del laboratorista: _____ Fecha ____ / ____ / ____

Nombres:	Códigos:	Firmas:
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

Tabla N°18. Alturas piezométricas.

N	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	G (mm)	H (mm)	J (mm)	K (mm)	L (mm)
Q ₁											
Q ₂											
Q ₃											
Q ₄											
Q ₅											
Q ₆											
Q ₇											
Q ₈											
Q ₉											
Q ₁₀											

Tabla N°19. Caudal experimental o real.

N	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅	Q ₆	Q ₇	Q ₈	Q ₉	Q ₁₀
Masa (Kg)										
Tiempo (s)										
Caudal (m ³ /s)										



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
MECÁNICA DE FLUIDOS



FORMATO DE CÁLCULOS

Tabla N°20. Alturas piezométricas.

N	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	G (mm)	H (mm)	J (mm)	K (mm)	L (mm)
Q ₁											
Q ₂											
Q ₃											
Q ₄											
Q ₅											
Q ₆											
Q ₇											
Q ₈											
Q ₉											
Q ₁₀											
Diámetro (mm)											
Área (m ²)											
Distancia (mm)											

Tabla N°21. Q_{exp}, Q_{teórico}, C_d y diferencia de presiones sección A y D.

N	m (kg)	t (s)	Q _{exp} (m ³ /s)	V _D (m/s)	(h _A - h _D) ^{1/2} (m)	Q _{teórico} (m ³ /s)	C _d usando (Q _{teórico} /Q _{exp})	Re	C _d usando Q _{exp} y (h _A -h _D) ^{1/2}



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
MECÁNICA DE FLUIDOS



Tabla N° 22. Distribución ideal de presiones.

N	$\frac{h_n - h_A}{\frac{V_2^2}{2g}}$										
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L
Q ₁											
Q ₂											
Q ₃											
Q ₄											
Q ₅											
Q ₆											
Q ₇											
Q ₈											
Q ₉											
Q ₁₀											
Distancia (m)											

Tabla N°23. Energía Q₅.

NQ ₅	Distancia (m)	Cabeza de presión (m)	Cabeza de velocidad (m)	Energía total (m)
A				
B				
C				
D				
E				
F				
G				
H				
J				
K				
L				



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
MECÁNICA DE FLUIDOS



Tabla N°24. Cabeza de velocidad.

N	Cabeza de velocidad (m)										
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	
Q ₁											
Q ₂											
Q ₃											
Q ₄											
Q ₅											
Q ₆											
Q ₇											
Q ₈											
Q ₉											
Q ₁₀											

Tabla N°25. Energía total.

N	Energía total (m)										
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L
Q ₁											
Q ₂											
Q ₃											
Q ₄											
Q ₅											
Q ₆											
Q ₇											
Q ₈											
Q ₉											
Q ₁₀											



LABORATORIO N°5. IMPACTO DE CHORRO

5.1 OBJETIVOS

- Determinar la magnitud de la fuerza de impacto de un chorro de agua al salir por un orificio y chocar con un alabe de diferentes formas: plano, hemisférico, copa cónica.
- Calcular velocidad del chorro a la salida de la boquilla.
- Analizar la relación existente entre la fuerza sobre el alabe y la cantidad de energía entregada a este.

5.2 EQUIPOS Y ELEMENTOS

- Banco hidráulico.
- Equipo de impacto de chorro.
- Pesas.
- Cronometro.

5.3 MARCO TEÓRICO

Los fluidos en movimiento ejercen fuerzas que en casos como el diseño de bombas, turbinas, hélices, barcos, cohetes, aviones, entre otros, la ecuación de energía no puede solventar todos los problemas que se presenten en cuanto a estas fuerzas. La solución en estos casos es el aplicar el principio de cantidad de momentum.

Para entender esto se aplica La segunda ley de Newton donde se dice que la fuerza es igual a la masa multiplicada por la aceleración:

$$\Sigma F_{externas} = m * a \quad (1)$$

Dónde:

- F = Fuerza [N].
- m =Masa [Kg].
- a = Aceleración [m/s²].



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
MECÁNICA DE FLUIDOS



La aceleración es la derivada de la velocidad respecto al tiempo, de este modo la ecuación (1) queda expresada de la siguiente forma:

$$\Sigma F_{externas} = \frac{d(m * V)}{dt} \quad (2)$$

Dónde:

- V = Velocidad [m/s].

$(m * V)$ es el momentum del volumen de control. Aplicando ahora el Teorema de transporte de Reynolds en la parte derecha de la ecuación (2), se obtiene:

$$\Sigma F_{externas} = \frac{\partial}{\partial t} \left(\int_{V_o} \rho * V * dV \right) + \int_{S_c} V * \rho * (V \cdot \eta) * dA \quad (3)$$

La fuerza que genera el impacto del chorro de agua puede ser medida, el contrapeso es movido una distancia (y) en [m] desde la posición cero, la fuerza (F) en [N] sobre el plato se despeja de tomar momentos respecto al pivote y va a ser igual a:

$$F * (0.15) = 0.6 * (g) * (y) \quad (4)$$

Dónde:

- F = Fuerza producida por el chorro [N].
- g = Aceleración de la gravedad [m/s^2].
- y = Distancia desde la posición cero [m].

Por continuidad se sabe que:

$$Q = V * A \quad (5)$$

Como se necesita un caudal en masa se divide por la densidad y queda la siguiente expresión:

$$\dot{Q} = \frac{V * A}{\rho} \quad (6)$$



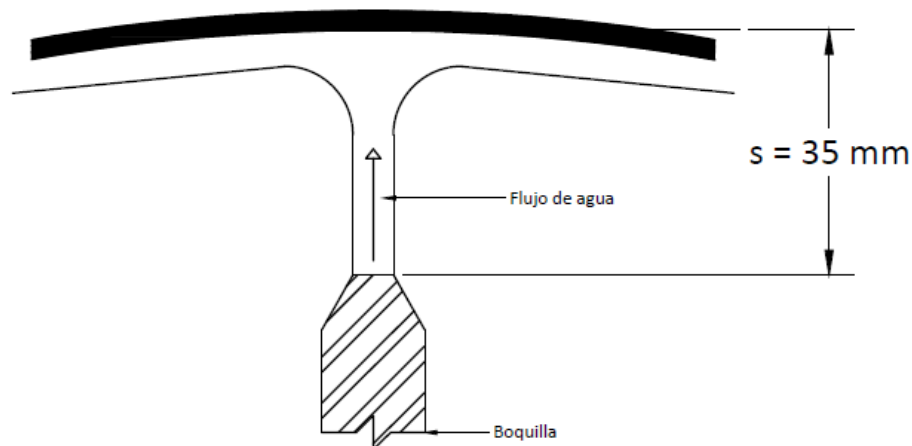
Dónde el caudal Q está en $[\text{Kg/s}]$, la velocidad de salida de chorro en la boquilla es:

$$V = \frac{\dot{Q} * \rho}{A} \quad (7)$$

La velocidad V_o del chorro que es desviada por la placa es menor que la velocidad (V) en la salida de la boquilla por la desaceleración de la gravedad y se puede calcular con la siguiente expresión:

$$V_o^2 = V^2 - 2g * s \quad (8)$$

Figura N°10. Impacto de chorro



. Fuente: Elaboración propia.

Dónde:

- s = La altura de la placa sobre el extremo de la boquilla (35mm).

Entonces:

$$V_o^2 = V^2 - 2g * 0.035$$

$$V_o^2 = V^2 - .687 \quad (9)$$



5.4 PROCEDIMIENTO

- El aparato debe ser inicialmente nivelado, moviendo el peso ajustable colocado en la barra superior o regleta, hasta cuando marque cero (0); esto se consigue cuando la barra que cuelga el resorte muestre sus ranuras, una por debajo y otra por encima de la tapa del aparato.
- Conectar el aparato y abrir la válvula. Luego se mueve el contrapeso sobre la ranura o regleta una distancia determinada y se abre más la válvula para volver a nivelar, tome la lectura en este nivel y luego tome masa de agua y tiempo.
- Realizar el procedimiento anterior para 9 caudales más.
- Cambiar el alabe y repetir el procedimiento anotando los correspondientes valores.

5.5 CUESTIONARIO

- Calcular la velocidad a la salida del orificio (V) y la velocidad del chorro (V_o).
- Calcular la fuerza desarrollada sobre el alabe.
- Graficar la fuerza sobre el alabe (F) Vs ($Q_m \times V_o$). Analizar su comportamiento para cada uno de los álaves Idealmente la pendiente de las gráficas de ser: Plato llano=1, Cono=1.5 y Hemisférico=2.
- ¿Qué sugerencias tiene para mejorar la práctica?
- ¿Cuál sería el efecto sobre el valor del cálculo de la eficiencia en los siguientes errores sistemáticos de medición?
 - ✓ Error de 1g en el peso ajustable.
 - ✓ Error de 1mm en la distancia del centro del orificio al nivel del pivote (L).
- Si el experimento se realizara con un cono de 60° . ¿Cómo cree usted que serían los resultados representados en las gráficas anteriores?
- Si el alabe estuviera sometido a un desplazamiento con una velocidad constante, por ejemplo en una turbina o rueda Pelton; como cree que sería la componente de la fuerza resultante que opone el alabe y la velocidad de salida del chorro ya impactado.
- Aplicando la ecuación de Bernoulli demuestre la ecuación (8).
- Describir en qué consiste la teoría de cascada.
- Describir los tipos de turbinas hidráulicas de uso actual en hidroeléctricas.



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
MECÁNICA DE FLUIDOS



FORMATO TOMA DE DATOS

Firma del laboratorista: _____ Fecha ____/____/____

Nombres:

Códigos:

Firmas:

Tabla N°26. Alabe plano

No.	Distancia (mm)	Masa (Kg)	Tiempo (s)	Q_m (Kg/s)	V (m/s)	V_o (m/s)	$Q_m \cdot V_o$ (N)	F (N)
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

Tabla N°27. Alabe hemisférico.

No.	Distancia (mm)	Masa (Kg)	Tiempo (s)	Q_m (Kg/s)	V (m/s)	V_o (m/s)	$Q_m \cdot V_o$ (N)	F (N)
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								