

PRÁCTICA N°5: DEMOSTRACIÓN DEL TEOREMA DE BERNOULLI

INTRODUCCIÓN

La dinámica de fluidos analiza los gases y líquidos en movimiento. Además, es una de las ramas más complejas de la mecánica. La conservación de la energía es uno de los principios fundamentales de la hidrodinámica. El teorema de Bernoulli es una versión simplificada de la ecuación de la energía que permite resolver varios problemas prácticos, tales como: descarga de agua desde un tanque grande, flujo a través de sifones, medición de velocidad mediante tubo Pitot, entre otros.

OBJETIVOS

- ✓ Comprobar experimentalmente la ecuación de Bernoulli.
- ✓ Reconocer la importancia y aplicación de la ecuación de Bernoulli en la dinámica de fluidos.

MARCO TEÓRICO

Ecuación de Bernoulli:

La ecuación de Bernoulli (Ecuación 1) es una relación aproximada entre la presión, la velocidad y la elevación, cuya validez se da para regiones de flujo estacionario e incompresible, en donde las fuerzas viscosas son despreciables (Figura 1) en comparación con los efectos de inercia, gravitacionales y de presión.

$$\frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz = \text{constante}$$

Ecuación 1

Donde:

- P = Presión
- g = Aceleración de la gravedad
- z = Elevación del flujo
- ρ = Densidad del fluido
- V = Velocidad de flujo

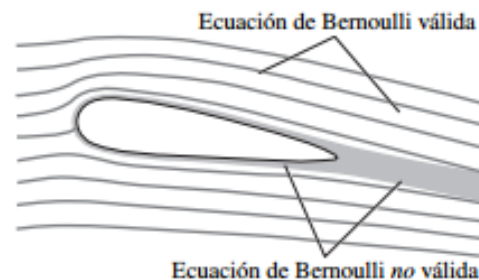


Figura 1. Validez ecuación de Bernoulli¹

El término $V^2/2$ se conoce como la energía cinética, gz como la energía potencial y P/ρ como la energía de flujo. Dadas estas definiciones, la ecuación de Bernoulli se puede concebir como una expresión de balance de energía. El término constante se puede evaluar a lo largo de cualquier punto de la línea de corriente si se conocen las condiciones de presión, densidad, velocidad y elevación. La ecuación de Bernoulli también puede escribirse entre dos puntos cualquiera a lo largo de la misma línea de corriente (Ecuación 2).

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gz_2$$

Ecuación 2

¹ Çengel, Y. A., Cimbala, J. M., & Skarina, S. F. (2006). Mecánica de fluidos: fundamentos y aplicaciones (Vol. 1). McGraw-Hill.

Presiones estáticas, dinámicas y de estancamiento:

El principio de conservación de energía mecánica sobre el cual se desarrolla la ecuación de Bernoulli indica que la energía cinética y potencial del flujo pueden convertirse en energía de flujo (y viceversa) durante el curso del fluido, lo que se ve reflejado en un cambio de presión. Cuando se multiplica la ecuación de Bernoulli por la densidad del líquido (Ecuación 3) cada término tiene unidades de presión, por tanto, este fenómeno de transferencia de energía se hace más visible.

$$P + \rho \frac{v^2}{2} + \rho g z = \text{constante} \quad \text{Ecuación 3}$$

- **Presión estática (P):** Representa la presión termodinámica real del fluido independiente de la velocidad de este.
- **Presión dinámica ($\rho \frac{v^2}{2}$):** Aumento de la presión cuando el fluido en movimiento choca con un área perpendicular a este.
- **Presión hidrostática ($\rho g z$):** No es una presión en el sentido real, su valor depende del nivel de referencia seleccionado.

La suma de todas las presiones anteriores se conocen como presión total, la suma de la presión estática y dinámica se conoce como presión de estancamiento (Figura 2).

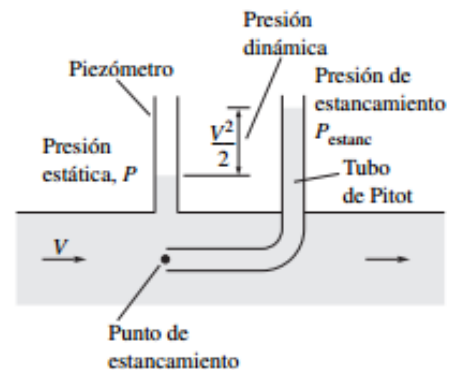


Figura 2. Presión estática, dinámica y de estancamiento²

TEMAS DE CONSULTA

- ✓ Aplicaciones ecuación de Bernoulli.
- ✓ Flujo incompresible.
- ✓ Flujo estacionario.
- ✓ Línea de gradiente hidráulico.
- ✓ Limitación para uso de ecuación de Bernoulli.

EQUIPOS:

- ✓ F1-10 Banco Hidráulico.
- ✓ F1-15 Demostración del teorema de Bernoulli (Figura 3 y 4).
- ✓ Cronómetro.
- ✓ Bomba Manual (Opcional).
- ✓ Nivel de burbuja.

² Çengel, Y. A., Cimbala, J. M., & Skarina, S. F. (2006). Mecánica de fluidos: fundamentos y aplicaciones (Vol. 1). McGraw-Hill.



Figura 3. F1-15 Equipo de Bernoulli³

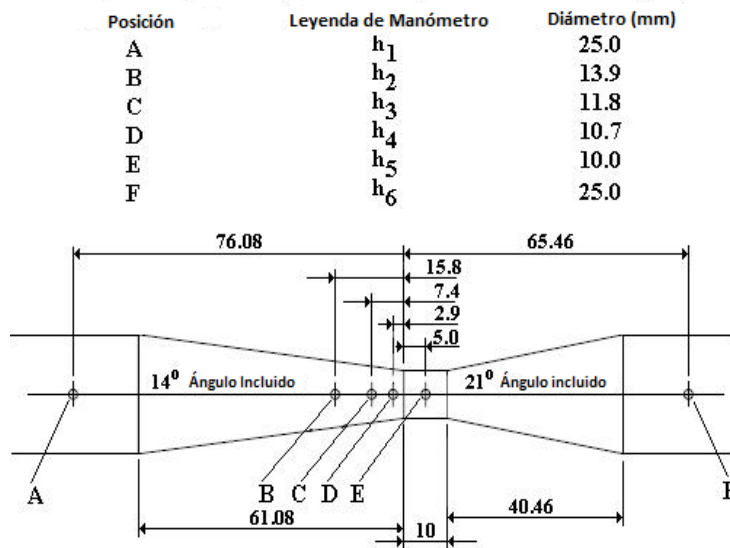


Figura 4. F1-15 Medidas en milímetros tubo Venturi⁴

ACTIVIDAD

Medir los caudales, las cabezas de presión estáticas y totales en un tubo rígido convergente / divergente de geometría conocida para una gama de caudales constantes.

Procedimiento:

- 1) Nivelar el equipo F1-15 con ayuda del nivel de burbuja, asegurándose que su posición sea completamente horizontal.
- 2) Ubicar el tubo de salida del equipo F1-15 encima del tanque volumétrico del banco hidráulico para facilitar la toma del caudal.
- 3) Con la válvula de salida del equipo parcialmente cerrada, abrir gradualmente la válvula del banco para llenar el equipo de prueba con agua. En caso de tener burbujas de aire dentro del equipo, realizar una purga de este utilizando el tornillo de purga que se encuentra en la parte superior. **Este procedimiento se debe realizar con la asistencia del auxiliar.**
- 4) Una vez el sistema se encuentre aislado (ambas válvulas cerradas), lleno de agua y sin burbujas, abrir el tornillo de purga para someter los tubos a presión atmosférica. Fijar el nivel del agua en los manómetros a aproximadamente 150 [mm], abriendo la válvula de salida del equipo. Finalmente, cerrar el tornillo de purga.
- 5) Abrir la válvula de salida del equipo y la del banco hidráulico de manera gradual para generar un caudal constante a lo largo del sistema, observando que la presión en los manómetros se mantenga en los rangos del equipo.
- 6) Registrar los valores de presión diferencial (cabeza estática) en los manómetros h_1 - h_7 , cuando estos se hayan estabilizado. Asegurar que la sonda de presión total se encuentre retirada.

³ Armfield Ltd. Teorema de Bernoulli - <http://discoverarmfield.com/es/products/view/f1-15/demostracion-teorema-bernoulli>

⁴ Armfield Ltda. (2013). Manual de instrucciones – Equipo Teorema de Bernoulli. Issue 7.

- 7) Medir la cabeza total de presión recorriendo la sonda de presión total a lo largo de la sección de prueba. Registrar el valor mostrado en el manómetro **h8**.
- 8) Determinar el caudal por medio del tanque volumétrico. Cerrar la válvula de bola y registrar (con un cronómetro) el tiempo que se tarda en acumular un volumen conocido de fluido en el tanque, que se lee desde el visor. Repetir este proceso 3 veces para obtener un caudal promedio.
- 9) Repetir el procedimiento anterior dos veces más, desde el quinto paso, para condiciones de caudal constante diferente.

ANÁLISIS DE DATOS

1. Para las mediciones realizadas con cada caudal propuesto, obtener la cabeza dinámica de presión y la velocidad del flujo en cada punto. Corroborar para cada punto de análisis si la ecuación de Bernoulli se cumple (Llenar la tabla propuesta). En caso de que no cumpla en todos los puntos enuncie las razones del por qué sucede esto.

Caudal Medido: _____			
Punto análisis	Cabeza Dinámica (mm)	Velocidad (m/s)	Comprobación ecuación de Bernoulli
A			
B			
C			
D			
E			
F			
G			

Asuma una densidad del agua de: 1 gr/cm^3

2. Obtener el caudal ($Q_{\text{Teórico}}$) que pasa por el tubo Venturi para cada punto de análisis por medio de la ecuación de Bernoulli. Comparar con el caudal medido en la práctica ($Q_{\text{Experimental}}$).

$$\%Error = \left[\frac{Q_{\text{Teórico}} - Q_{\text{Experimental}}}{Q_{\text{Teórico}}} \right] * 100$$

Preguntas:

- Mencione las hipótesis más importantes que se establecen en la utilización de la ecuación de Bernoulli
- Mencione las aplicaciones prácticas, en la Ingeniería Civil, relacionadas al estudio de la ecuación de Bernoulli.



BIBLIOGRAFÍA:

- ✓ Y.A Cengel y J. M. Cimbala, Mecánica de fluidos: fundamentos y aplicaciones, 5° ed., Nueva York: McGraw-Hill, 2006.
- ✓ F. M. White, Fluid Mechanics, 5° Ed., Nueva York McGraw-Hill, 2006.
- ✓ Armfield, Demostración del teorema de Bernoulli - Manual de Instrucciones F1-15. Issue 7., Noviembre 2013.
- ✓ STREETER, Víctor L. Mecánica de fluidos. México: McGraw-Hill, 1966.

TABLAS DE DATOS

PRÁCTICA N°5: TEOREMA DE BERNOULLI

AUXILIAR _____

FECHA: _____

GRUPO: _____ SUBGRUPO: _____

NOTA: _____

NOMBRES	CÓDIGO

ACTIVIDAD

Volumen colectado [L]	Tiempo de colección [s]	Caudal [m ³ /s]	Manómetro	Cabeza Estática [mm]	Cabeza Total [mm]
			h1		
			h2		
			h3		
			h4		
			h5		
			h6		
Caudal promedio [m ³ /s]			h7		

Volumen colectado [L]	Tiempo de colección [s]	Caudal [m ³ /s]	Manómetro	Cabeza Estática [mm]	Cabeza Total [mm]
			h1		
			h2		
			h3		
			h4		
			h5		
			h6		
Caudal promedio [m ³ /s]			h7		

Volumen colectado [L]	Tiempo de colección [s]	Caudal [m ³ /s]	Manómetro	Cabeza Estática [mm]	Cabeza Total [mm]
			h1		
			h2		
			h3		
			h4		
			h5		
			h6		
Caudal promedio [m ³ /s]			h7		