

Experimental Demonstration of the Energy Conservation of Water by Applying the Bernoulli Principle

Denis Velarde Laura, Eng.¹, Walter Oswaldo Paredes Pareja, M.Sc.², Julio Fredy Chura Acero, Dr.³ Wilson Percy Clavetea Meneses, M.Sc.⁴, Fredy Bernardo Coyla Apaza, Dr.⁵, Mateo Alejandro Salinas Mena, Dr.⁶ and Adhemir Homero Gutierrez Gallegos, M.Sc.⁷

¹Universidad Nacional del Altiplano, Perú, develarlau@gmail.com

^{2,3,4,5,6,7}Universidad Nacional del Altiplano, Perú, walterparedes@unap.edu.pe, jchura@unap.edu.pe, wclavetea@unap.edu.pe, fredycoyla@unap.edu.pe, nbeltran@unap.edu.pe, agutierrez@unap.edu.pe

Abstract— Bernoulli's principle is fundamental in hydrodynamics, its application in mechanical engineering is important for the calculation of the effective head of pumps and fans; In fluid mechanics, the conservation of energy in a non-viscous compressible fluid was established in 1738 by the Swiss mathematician and scientist Daniel Bernoulli in his book *Hydrodynamics*. In this context, an experimental investigation was carried out to experimentally analyse and demonstrate the conservation of water energy by applying the Bernoulli principle in a technical laboratory test; This research is of an experimental application type and for its quantitative approach in its development, the methodology of the Experimental Technical Test in Engineering was used, which involves the preparation and execution of the test, using the basic water supply modules and the principle of water module. Bernoulli consisting of equipment to measure the flow and pressure of water flow with Venturi and Pitot pipes. In preparation for the test, the basic module on which the Bernoulli module was mounted was put into operation. preliminary tests to acclimatize ourselves with the operation of the experimental module and, during the execution, experimental parameters of flow, velocity, static pressure and total pressure were measured at six points of the Venturi tube whose areas progressively decrease and increase for experimental demonstration. The results obtained by replacing the Bernoulli equation showed that the total energy of the water flow in each of the six different areas along the Venturi tube remains constant with reliable experimental precision in the range of 0.11576 to 0.12373 column meters of water; also demonstrating in the area of higher speed the water will have lower pressure and vice versa.

Keywords- Bernoulli principle, energy, flow, static pressure, velocity.

I. INTRODUCCIÓN

El científico suizo Daniel Bernoulli contribuyó a la dinámica de fluidos, en 1738 en su obra *Hidrodinámica* estudia el equilibrio de los fluidos deduciendo el principio de Bernoulli de que cuando aumenta la velocidad de un líquido, su presión se reduce. [1] y [2]. El principio de Bernoulli tiene innumerables aplicaciones prácticas en ingeniería mecánica eléctrica en las áreas de mecánica de fluidos, turbomáquinas, dinámica de gases, aviación, etc.

Por lo tanto, es importante que este conocimiento se comprenda completamente a través de la experimentación para validar el aspecto teórico.

La verificación experimental de la conservación de la energía del agua en un módulo de laboratorio sobre el principio de Bernoulli se basará en un ensayo técnico experimental donde la parte fundamental es la preparación del ensayo que es complejo y la ejecución experimental para cumplir con el objetivo del ensayo [3].

Para demostrar esta conservación de energía aplicando el Principio de Bernoulli, se utilizó un tubo de Venturi, que es un instrumento utilizado para medir la velocidad del fluido en un fluido incompresible [4]. La prueba a lo largo del tubo de Venturi midió la presión estática a través de manómetros en seis puntos y la presión total se midió utilizando una sonda de tubo de Pitot en la dirección axial del tubo de Venturi, demostrando que la energía se conserva aplicando el principio de Bernoulli en las diferentes ubicaciones del tubo de Venturi. [5].

Esta investigación se llevó a cabo en el laboratorio de mecánica de fluidos de la Escuela Profesional, [6] contribuyendo a la motivación de que estudiantes y docentes realicen tareas de investigación experimental en mecánica de fluidos y turbomáquinas [7] y [8].

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación de tipo experimental aplicativo y para su enfoque cuantitativo en su desarrollo se utilizó la metodología de la Prueba Técnica Experimental en el Laboratorio de Mecánica de Fluidos de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional del Altiplano en la ciudad de Puno, implicó la elaboración y ejecución de la prueba, utilizando los módulos experimentales de suministro de agua y el principio de Bernoulli que consisten en equipos para medir el flujo y la presión del fluido de agua.

Los materiales utilizados para la metodología de medición de condiciones ambientales como altitud, presión atmosférica y humedad relativa fueron instrumentos de medición y fuentes

confiables de datos. Para la medición de altitud, se consideró la medición de la estación meteorológica del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, la presión atmosférica se determina mediante el sifón barómetro del Laboratorio de Física de la FICA – UNAP, la humedad relativa se determinó mediante las mediciones del psicrómetro de la estación meteorológica del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. La muestra se determinó a partir de la prueba experimental del módulo básico de suministro de agua y el módulo principal de Bernoulli a partir del cual se obtuvo mediciones de flujo, presión estática, presión dinámica. La metodología para la obtención de los valores a evaluar se llevó a cabo en el módulo principal de Bernoulli y se obtuvo a través de 6 puntos de medición del tubo Venturi y los medidores de columna. Los valores obtenidos se desarrollaron a través de las ecuaciones de continuidad (1) y el Principio de Bernoulli (2):

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 = cte. \quad (1)$$

$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g y = cte. \quad (2)$$

Donde:

- A_1, A_2 : Área de la sección transversal en puntos 1 y 2
- v_1, v_2 : Velocidad del fluido en los puntos 1 y 2
- P : Presión de fluido en la línea de corriente
- ρ : Densidad del fluido
- m : Masa del fluido
- v : Velocidad del fluido en un área específica
- g : Aceleración de la gravedad
- y : Altura a partir de una cota de referencia

A. Medición de la altitud de Puno

La medición de la altitud de Puno, ciudad donde se realizó la investigación de la tesis, se obtuvo del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), institución especializada, cuya información meteorológica de la altitud está garantizada.

B. Metodología para medir la presión atmosférica

La presión atmosférica se midió con el barómetro de sifón de la marca Leybold, esa medida se corrigió utilizando las tablas de corrección que proporcionaron coeficientes de corrección por efecto de la temperatura, la gravedad, la temperatura y la altitud que se sumaron algebraicamente a la presión atmosférica medida.

TABLA I. CORRECCIONES DE TEMPERATURA EN BARÓMETROS Y COLUMNAS DE MERCURIO

Corrección	Temperatura de la columna (° C)	Lecturas observadas (mm Hg)								
		400	450	500	550	600	650	700	730	850
Para sumar	-20	1,2	1,4	1,3	1,7	1,8	2,0	2,1	2,3	2,4
	-15	0,9	1,0	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
	-10	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0	1,1
	-5	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Para restar	5	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7
	10	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
	15	1,2	1,3	1,4	1,3	1,6	1,7	1,9	2,0	2,2
	20	1,5	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,7	3,0
	25	1,7	2,0	2,2	2,5	2,8	3,0	3,2	3,3	3,7
	30	2,0	2,2	2,5	2,8	3,2	3,3	3,7	4,0	4,2
	35	2,3	2,5	2,9	3,2	3,3	3,8	4,2	4,2	4,8

En la Tabla I, se obtuvieron correcciones que se utilizaron en las columnas barométricas y otras columnas de mercurio para corregir los efectos de la temperatura. Estas modificaciones disminuyeron la altura observada del Hg a 0 °C. Dado que la gravedad específica del mercurio a 0 °C fue de 13.595 g / cm³ y la aceleración se debió a la gravedad normal, la altura real de la columna de mercurio en milímetros a 0 °C multiplicada por 0.0013595 da el valor en kg / cm² en presión siempre debiera corregirse para la gravedad cero.

TABLA II. CORRECCIONES GRAVITATORIAS EN BARÓMETROS Y COLUMNAS DE MERCURIO

Altitud (m)	0		600		1200		1800		2400		3000	
Altura de la columna (mm Hg)	760	700	700	650	650	600	600	550	550	500	500	450
Grados de altitud (°)	Corrección											
25	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,5	-1,2	1,5	-1,2	-1,2	-1,2
30	-1,0	-1,0	-1,0	1,0	1,2	1,0	1,2	1,0	1,2	1,0	1,2	1,0
35	-0,7	-0,7	-0,7	0,7	0,7	0,7	1,0	0,7	1,0	0,7	1,0	0,7
40	-0,5	-0,5	-0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,3	0,7	0,7	0,7	0,7
45	-0,0	-0,0	-0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,5	0,5	0,5
50	+0,2	+0,2	+0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,2	0,2

En la Tabla II. Proporcionó correcciones para el efecto de la gravedad que se aplicó a las columnas barométricas y otras columnas mercuriales. Estas correcciones se sumaron algebraicamente a las alturas corregidas a 0°C y se obtuvo las alturas corregidas a nivel del mar a 45° de latitud N, donde la aceleración de la gravedad es de 9,80665 m/s².

TABLA III. CORRECCIONES DE ALTITUD PARA BARÓMETROS Y COLUMNAS DE MERCURIO

Altitud media (m)	Temperatura media de la atmosfera (° C)							
	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
0	11	10	10	9	9	9	8	8
300	10	10	9	9	9	8	8	8
600	10	9	9	8	8	8	8	7
900	9	9	8	8	8	8	7	7
1200	9	8	8	8	7	7	7	7
1500	8	8	8	7	7	7	7	7
1800	8	8	7	7	7	7	7	7
2100	8	7	7	7	7	7	7	6
2400	7	7	7	7	7	7	6	6
2700	7	7	7	7	7	6	6	6
3000	7	7	7	7	6	6	6	6
3300	7	7	7	6	6	6	6	6
3600	7	7	6	6	6	6	6	6
3900	7	6	6	6	6	6	6	5

C. Metodología de medición de la humedad relativa

La medición de humedad relativa fue una medición indirecta, en el trabajo de campo se utilizó un psicrómetro y en el trabajo de gabinete se utilizó un diagrama o Tabla Psicrométrica con las características más similares al área de experimentación, en la estación meteorológica SENAMHI, específicamente en la caseta meteorológica donde se encontraba un psicrómetro, se midió la temperatura de bulbo seco (TBS) a 15°C y la temperatura de bulbo húmedo (TBH) a 11.5°C.

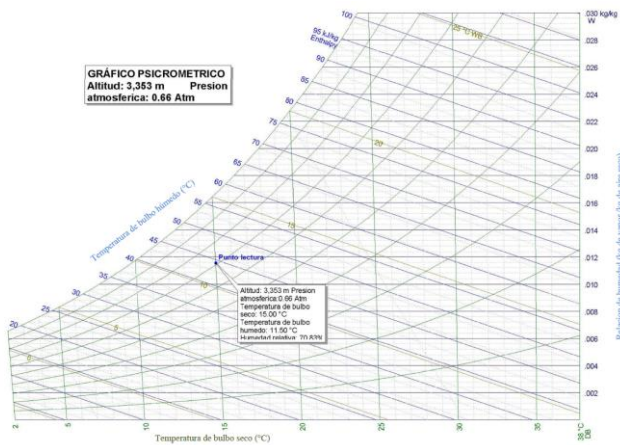


Figura 1. Lectura de la carta psicrométrica

D. Metodología de medición de la humedad relativa

Se realizaron las pruebas preliminares del modelo y se consideraron los siguientes ítems:

- Se tuvo cuidado y se tomó en cuenta que los resultados de las mediciones pueden tener errores.
- Fue necesario nivelar el equipo de prueba con un nivel.
- El módulo básico de suministro de agua debía estar dispuesto de manera que la salida de agua llegara al tanque de medición.
- Se conectó correctamente la conexión de mangueras entre el módulo básico y el módulo donde se aplicó el principio de Bernoulli.

Para la ejecución de la prueba, se tuvo en cuenta las siguientes precauciones al realizar las pruebas. Al medir la presión, el tanque del módulo básico debió estar vacío y la válvula de cierre debió estar abierta. Porque si el nivel del agua en el tanque de medición hubiese aumentado, la cabeza de la bomba de agua habría cambiado; Esto hubiese provocado un cambio en la presión. Por lo tanto, la presión de elevación de la bomba debió mantenerse con un caudal mínimo, de lo contrario las mediciones hubiesen sido erróneas. Si el caudal hubiera variado durante la prueba, las dos válvulas debieron ajustarse nuevamente, lo que hubiese determinado que las mediciones de presión hubieran estado en el rango respectivo; El procedimiento a seguir en la ejecución de la prueba fue el siguiente:

- En el módulo básico de suministro de agua, se abrió la válvula de cierre.
- Para que la sonda se hubiera movido con poca resistencia, se debía ajustar la tuerca de presión de la sonda (1), como se muestra en la figura:

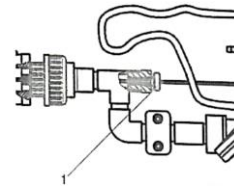


Figura 2. Tuerca de presión de remolque (1).

- Se abrió simultáneamente ambas válvulas de salida-entrada.
- La válvula de salida (2) del manómetro de un solo tubo debió estar cerrada.
- Se procedió a encender la bomba y se abrió lentamente la válvula principal del módulo básico de suministro de agua.
- Se abrió simultáneamente las válvulas de desbordamiento (3) de los medidores.
- Luego con mucho cuidado se procedió a cerrar la válvula de salida hasta que todos los manómetros estén con el riego correcto.

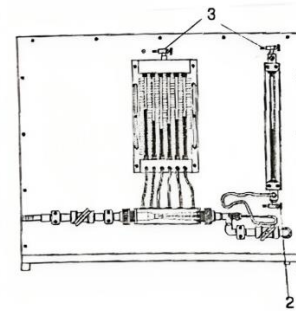


Figura 3. Válvulas de salida y válvulas de rebosadero.

- Ajuste el nivel de agua en el tubo del manómetro para que no exceda el límite inferior (5) y el límite superior (4) del rango de medición, mientras ajusta las válvulas de entrada y salida.

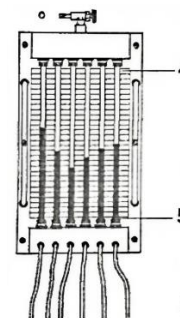


Figura 4. Límites mínimos y máximos del área de medición.

- Realice mediciones de presión estática en los manómetros, luego coloque la sonda de tubo de Pitot en el nivel correspondiente y mida la presión total. Llene el tanque de medición de lóbulos básicos de 20 L a 30 L, cronometrando el tiempo de llenado y determinando el flujo volumétrico.

Los valores utilizados para los resultados serán el flujo de fluido, la velocidad del fluido, el área del tubo Venturi en cada punto de medición, la presión dinámica calculada y la presión estática. Para ello, se utilizaron las siguientes ecuaciones para los valores resultantes de los cálculos:

$$Q = \delta v / \delta t \quad (3)$$

Donde:

Q : Flujo de fluido

δv : Variación de la velocidad del fluido

δt : Variación de tiempo

$$v = Q / A \quad (4)$$

Donde:

Q : Flujo de fluido

v : Velocidad del fluido

A : Área de la sección transversal

A partir de la ecuación (2) podemos afirmar que esta expresión permanece constante en los 6 puntos de medición, por lo que se desarrolla la siguiente ecuación:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g y_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g y_2 \dots P_6 + \frac{1}{2} \rho v_6^2 + \rho g y_6 \quad (5)$$

Donde P ; v ; y , constituyen la presión estática, la velocidad del agua y la altura en el punto respectivo "i"; De la misma manera ρ es la densidad del agua y G es la gravedad. Mientras que en el módulo de Bernoulli P_1 se midió experimentalmente a través de una altura manométrica y_1 , dividimos cada término de la ecuación anterior (5) por el peso específico del agua $\gamma = \rho g$, en la experimentación el movimiento del agua es horizontal a través del tubo de Venturi, las alturas $y_1 = y_2 = y_3 \dots = y_6$ son iguales, operando se obtiene la ecuación:

$$P_1 / \gamma + v_1^2 / 2g = P_2 / \gamma + v_2^2 / 2g \dots = P_6 / \gamma + v_6^2 / 2g \quad (6)$$

Donde:

P / γ : Altura de presión dinámica

$v_i^2 / 2g$: Altura de presión estática

La suma de ambas presiones se denomina altura de presión total, que será constante a lo largo de toda la ruta de medición del tubo de Pitot.

III. RESULTADOS

Después de la prueba realizada para obtener los datos necesarios para expresar los cálculos de las ecuaciones anteriores, puede obtener primero el valor de la velocidad en los 6 puntos de medición expresados en la siguiente tabla:

TABLA IV. VELOCIDADES CALCULADAS PARA LAS ÁREAS DE LOS SEIS PUNTOS DE MEDICIÓN

Punto de medición (i)	Q (m ³ /s)	A _i (m ²)	V _i (m/s)
1	0,916 x10 ⁻⁴	338,6 x 10 ⁻⁶	0,2705
2	0,916 x10 ⁻⁴	233,5 x 10 ⁻⁶	0,3923
3	0,916 x10 ⁻⁴	84,6 x 10 ⁻⁶	1,0827

4	0,916 x10 ⁻⁴	170,2 x 10 ⁻⁶	0,5382
5	0,916 x10 ⁻⁴	255,2 x 10 ⁻⁶	0,3589
6	0,916 x10 ⁻⁴	338,6 x 10 ⁻⁶	0,2705

Después de obtener las velocidades en cada uno de los 6 puntos de medición, puede determinar la presión dinámica expresada en la siguiente tabla:

TABLA V. ALTURAS DE PRESIÓN DINÁMICAS CALCULADAS PARA LAS ÁREAS DE LOS SEIS PUNTOS DE MEDICIÓN

Punto de medición (i)	V _i (m/s)	Altura de presión dinámica $v_i^2 / 2g$ (m)
1	0,2705	0,00373
2	0,3923	0,00784
3	1,0827	0,05975
4	0,5382	0,01476
5	0,3589	0,00657
6	0,2705	0,00373

El módulo Bernoulli utiliza medidores de columna con 6 tubos transparentes que son los 6 puntos de medición del tubo Venturi; donde se obtiene la presión estática expresada en metros de columna de agua expresada en la siguiente tabla:

TABLA VI. ALTURAS DE PRESIÓN ESTÁTICA MEDIDAS EN LOS SEIS PUNTOS DE MEDICIÓN DEL TUBO VENTURI

Punto de medición (i)	Altura de presión estática P_i / γ (mm)	Altura de presión dinámica P_i / γ (m)
1	120	0,120
2	113	0,113
3	57	0,057
4	101	0,101
5	111	0,111
6	116	0,116

A partir del análisis de la energía calculada en seis puntos de medición del tubo Venturi, se pudo observar que la altura total, es decir, la suma de la altura de presión estática y la altura de presión dinámica, en cada punto, ninguna tiene un resultado con precisión igual a la de las demás, pero teniendo en cuenta que se obtuvieron en un ensayo experimental, tener las energías de cada punto de medición una aproximación aceptable expresada en metros de columna de agua; por lo que se puede afirmar de manera general que la demostración del principio de Bernoulli se cumplió en el trabajo de investigación desarrollado, lo anterior se expresa en la siguiente tabla:

TABLA VII. ALTURA TOTAL DE METROS DE AGUA, DEMOSTRACIÓN PRINCIPIO BERNOULLI

Punto de medición (i)	Altura de presión dinámica $v_i^2/2g$ (m)	Altura de presión estática P_i/γ (m)	Demostración del Principio de Bernoulli $P_i/\gamma + v_i^2/2g$ (m)
1	0,00373	0,120	0,12373
2	0,00784	0,113	0,1208
3	0,05975	0,057	0,11675
4	0,01476	0,101	0,11576
5	0,00657	0,111	0,11757
6	0,00373	0,116	0,11973

IV. DISCUSIÓN

En la demostración del principio de Bernoulli, el caudal se calculó midiendo un volumen de agua entre 10 y 15 litros y cronometrando el tiempo de llenado del volumen en cuestión; en función de este caudal, se calcularon las velocidades en cada uno de los seis puntos de medición del tubo de Venturi; por lo tanto, la naturaleza de la prueba experimental no consideró las pérdidas. Para estas consideraciones validaremos la exactitud de los cálculos realizados, calculando el flujo a través del tubo Venturi, considerando las pérdidas, utilizando un artículo o investigación de la Sociedad Americana de Ingeniero Mecánico (ASME).

En el módulo de Bernoulli, se puede aplicar el método ASME para calcular el flujo con pérdidas aplicando la ecuación de Bernoulli en el tubo de Venturi entre el punto de entrada y el punto con el diámetro de boquilla más pequeño, de la siguiente manera:

En el esquema del tubo de Venturi, aplicamos Bernoulli entre el punto 1 y el punto 3 cuyas áreas respectivas son $A_1 = 338.6 \text{ mm}^2$ y $A_3 = 84.6 \text{ mm}^2$:

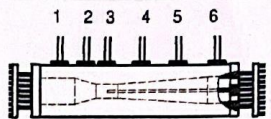


Figura 5. Puntos de medición del tubo Venturi.

De la ecuación de continuidad (1) se deduce que los valores de flujo se mantienen entre los puntos 1 y 3, por lo que se pueden inferir las siguientes ecuaciones:

$$v_1 = (2g(P_1/\gamma - P_3/\gamma)/(P_1/P_3 - 1))^{1/2} \quad (7)$$

Donde P_1/γ and P_3/γ son las alturas de presión estática en los puntos de medición 1 y 3 del tubo de Venturi y por lo tanto el caudal teórico ($Q_{teorico}$) será igual a:

$$Q_{teorico} = A_1 (2g(P_1/\gamma - P_3/\gamma)/(P_1/P_3 - 1))^{1/2} \quad (8)$$

Sustituyendo los respectivos valores experimentales se obtiene el caudal teórico por el valor de $0,9715 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$.

Para la investigación ASME, el coeficiente de flujo o coeficiente de descarga (C_d) considerará las pérdidas de fluido a través del tubo de Venturi y corregirá el cálculo del caudal teórico, además de que requiere el número de Reynolds, de cualquiera de los seis puntos de medición con la siguiente expresión:

$$N_R = v_1 D_1/\nu \quad (9)$$

Donde:

v_1 : Velocidad del fluido en el punto 1

D_1 : Diametro transversal en el punto 1

ν : Viscosidad cinemática del agua a 20°C

Colocando en el número de Reynolds calculado con un valor de 0.5845×10^4 , se utiliza el diagrama de Moody para determinar el coeficiente de flujo de corrección C_q con el siguiente valor 0.9325 para finalmente encontrar el flujo real con la siguiente ecuación:

$$Q_{real} = C_q Q_{theoretical} \quad (10)$$

Finalmente, se obtiene el valor de caudal real con el valor de $0.9059 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$, que se considera más preciso.

Con todos los parámetros calculados considerando el caudal real de ASME, con valores más precisos que consideran pérdidas en el tubo de Venturi, demostrando con buena aproximación (de la misma manera el principio de Bernoulli). Los datos se expresan en la siguiente tabla:

TABLA VIII. ALTURA TOTAL DE METROS DE AGUA, DEMOSTRACIÓN PRINCIPIO BERNOULLI

Punto de medición (i)	Caudal Q (m ³ /s)	Área A _i (m ²)	Velocidad V _i (m/s)	Altura de presión dinámica $v_i^2/2g$ (m)	Altura de presión estática P_i/γ (m)	demostración del Principio de Bernoulli $P_i/\gamma + v_i^2/2g$ (m)
1	09059 x 10 ⁻⁴	338,6 x 10 ⁻⁶	0,2675	0,00365	0,120	0,12365
2	09059 x 10 ⁻⁴	233,5 x 10 ⁻⁶	0,3880	0,00767	0,113	0,12067
3	09059 x 10 ⁻⁴	84,6 x 10 ⁻⁶	1,0708	0,05844	0,057	0,11544
4	09059 x 10 ⁻⁴	170,2 x 10 ⁻⁶	0,5323	0,01444	0,101	0,11544
5	09059 x 10 ⁻⁴	255,2 x 10 ⁻⁶	0,3550	0,00642	0,111	0,11742
6	09059 x 10 ⁻⁴	338,6 x 10 ⁻⁶	0,2675	0,00365	0,116	0,11965

La Figura 6 proporciona un gráfico de la evolución de las velocidades calculadas con el caudal real por el procedimiento ASME, y la Figura 7 muestra la evolución de la atención a la presión estática en los puntos de medición:

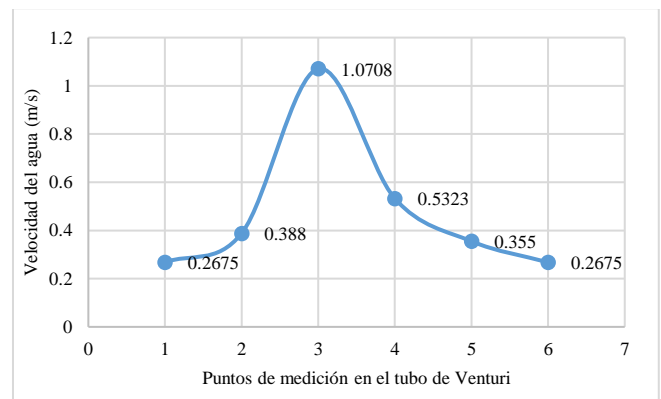


Figura 6. Evolución de las velocidades en los seis puntos de medición del tubo Venturi.

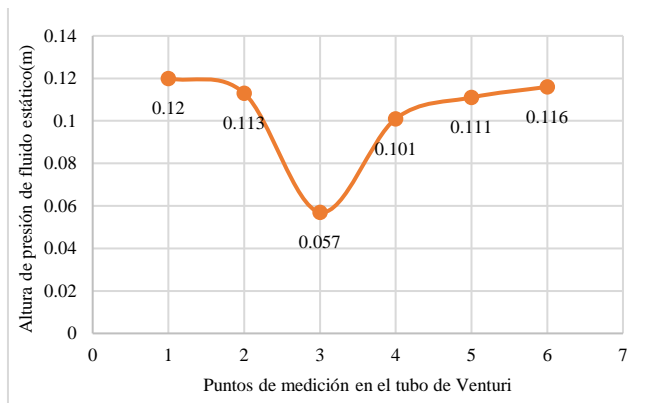


Figura 7. Evolución de las alturas de presión estática en los seis puntos de medición del tubo Venturi.

V. CONCLUSIONES

En el desarrollo de esta investigación se empleó el método científico, el cual es un sistema experimental de conocimiento que se basa en la observación y simulación de fenómenos naturales, comprendiendo: observación, inducción, hipótesis, experimentación, antítesis o refutación y tesis o teoría. Como investigación aplicada o experimental, nuestra hipótesis empírica o experimental fue probada o verificada a través de una demostración experimental; de cuya demostración se obtuvieron las siguientes conclusiones de los objetivos propuestos:

Se estudió y analizó la conservación de la energía del agua y el principio de Bernoulli, tomando las consideraciones necesarias y centrando el análisis de este conocimiento en la aplicación del principio de Bernoulli en un ensayo experimental realizado en un módulo de laboratorio de la marca GUNT - Alemania para la experimentación con el principio de Bernoulli. Utilizando la metodología de pruebas técnicas en ingeniería que nos permitió realizar de manera óptima la etapa de preparación de la prueba experimental familiarizándonos con el funcionamiento del módulo, operación de los equipos del módulo y la medición de los parámetros experimentales de la prueba técnica; Es deseable la realización de pruebas preliminares para la toma de datos experimentales en seis puntos (áreas) a lo largo del tubo de Venturi, donde se cumplió con la conservación de energía en la ecuación de Bernoulli. Establecer sintéticamente que la presión ejercida por un fluido es inversamente proporcional a su caudal.

La prueba experimental se realizó con datos experimentales que muestran experimentalmente la conservación de la energía del agua, sustituyendo en la ecuación de Bernoulli (B) en cada uno de los términos sus correspondientes alturas de presiones estáticas, alturas de presiones dinámicas y sus alturas geométricas, obteniendo que los valores de energía del fluido de agua en los seis puntos (áreas) de la ecuación son aproximados y varían en el rango de 0.11576 a 0.12373 metros de columna de agua, concluyendo que la precisión es aceptable en ingeniería experimental y que sus variaciones mínimas se deben a que el principio de Bernoulli se establece para un fluido ideal incompresible sin viscosidad ni fricción.

VI. ACKNOWLEDGMENT

Se agradece y se recomienda realizar investigaciones experimentales como la que se llevó a cabo, utilizando los módulos de laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica para demostrar la teoría de ciertos aspectos de la Ingeniería, importantes para fortalecer la formación académica de los estudiantes como el área de turbinas hidráulicas que es importante en la generación de energía hidráulica y contribuir a la mitigación del calentamiento global de la tierra.

Considerando que en la ingeniería existen zonas que son importantes para ciertas regiones geográficas por su ubicación y ventajas competitivas como Puno, cuya radiación solar es uno de los departamentos más grandes del país, al respecto se recomienda realizar investigaciones sobre estudios y análisis sobre la caracterización de la radiación en Puno y sus aplicaciones prácticas para la solución de problemas de la sociedad como el frío en los meses de mayo a julio; También para los aspectos de cambio climático proponer soluciones para la captación de agua, aplicando conocimientos de hidráulica, turbomáquinas, motores de combustión, energías renovables, etc.

REFERENCIAS

- [1] De la Cruz Camayo, H., & Rojas Catillo, A. M. (2022). Análisis y evaluación experimental de la ecuación lineal de Renouard para la caída de presión en flujo de gases.
- [2] Domínguez, M. O., & Avilés, A. C. (2022). Principio de Bernoulli. *Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún*, 9(18), 58-65.
- [3] Ortiz, M, y Cruz, A, (2022), Principio de Bernoulli, *Boletín Científico: Ingenio y Conciencia, Escuela Superior Sahagun, Publicación Semestral vol, 9, N° 18.*
- [4] Álvarez, A. (2020). Clasificación de las investigaciones, Facultad de Ciencias Empresariales y Económicas, Universidad de Lima.
- [5] Madorrán, A. P., Sáenz, A. S., Luis, J., Figueroa, C., & Manuel, L. (2020). Proyecto de dispositivo experimental para el tratamiento de aguas residuales mediante cavitación hidrodinámica (Doctoral dissertation, Universidad de Zaragoza).
- [6] Riaño, F, (2020), Antecedentes de la Conocida Ecuación de Bernoulli, (pp, 17-35), *Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental – Universidad Tecnológica de la Habana, Cuba.*
- [7] Zamora, L., & Díaz, J. (2019). Empleo del paquete ExpRep para repetición de ensayos de Bernoulli en la enseñanza de las probabilidades. *Revista digital Matemática, Educación e Internet*, 19(1), 1-15.
- [8] Maldonado, J, y Beltran, A, (2019), Laboratorios Universitarios: Experimentación e Innovación, *Revista Latina de Comunicación social, Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador.*
- [9] Jiménez-Carballo, C. A. (2018). *Dinámica de fluidos ideales.*
- [10] Mott, R, (2018), *Mecánica de fluidos*, (pp, 93-137), EE,UU, Editorial Pearson.
- [11] GUNT HAMBURG (2018), *Manual de experimentos del Principio de Bernoulli*, G,U,N,T, Geratebau, Barsbuttel, Alemania 2017.
- [12] Forero, J, (2017), *Desarrollo Cualitativo de los conceptos básicos de la mecánica de fluidos: Una aproximación al principio de Bernoulli*, (pp, 81-125), Tesis Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia.
- [13] Acero, J.F.C., Mamani, Y.A.M., Lloclla, H.S., Ortega, M.Z., Apaza, F.B.C., Meneses, W.P.C. Protection System to Improve the Resistance of Grounding in the Telephony Base Stations Viettel Perú SAC (2023) *International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering, ICECCME 2023*, DOI: <https://doi.org/10.1109/ICECCME57830.2023.10253407>

- [14] Acero, J.F.C., Castañón, N.J.B., Yucra, R.C., Viveros, H.P., Coaquira, A.M.L. (2022). Harmonics of the Microinverters for the Operation of the Grid-Connected Photovoltaic Energy System Considering the Uncertainty of Irradiance. Proceedings of the 7th Brazilian Technology Symposium (BTSym'21). BTSym 2021. Smart Innovation, Systems and Technologies, vol 295. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-08545-1_68
- [15] Giles, D. (2017), Mecánica de fluidos e hidráulica, (pp, 107-163), EE,UU, Editorial Schaum.
- [16] Laboratorio de Aerodinámica y fluidos (2017), Teorema de Bernoulli, Artículo, Universidad Tecnológica Nacional, Buenos Aires, Argentina.
- [17] Tena, E, y Turnbull, B, (2017), Manual de investigación experimental, Editorial Plaza, Valdez, Universidad Iberoamericana, México.
- [18] Cengel, Y, (2016), Mecánica de fluidos, (pp, 98-147), España, Editorial McGraw Hill.
- [19] De la Cruz, C, (2016), La realidad de la metodología de la metodología de la investigación en ingeniería, Rev, Ing, Vol, 1, N° 2, Dic.
- [20] Hernández, R, (2015), Metodología de la Investigación, (pp, 81-115), México, Editorial McGraw Hill.
- [21] Potter, M, (2015), Mecánica de fluidos, (pp,87-112), México, Editorial CENGAGE.
- [22] Tamburrino, A, (2015), Ecuación de Bernoulli y Aplicaciones, (pp, 1-12), Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile.
- [23] Holman, J, (2015), Métodos experimentales para ingenieros, México, Editorial McGraw Hill.
- [24] Murillo, J, (2015), Métodos de investigación de enfoque experimental, Edición especial, Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle.