



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA



ANÁLISIS Y DEMOSTRACIÓN EXPERIMENTAL DE LA
CONSERVACIÓN DE ENERGÍA DEL AGUA APLICANDO EL
PRINCIPIO DE BERNOULLI EN UN ENSAYO TÉCNICO DE
LABORATORIO

TESIS

PRESENTADA POR:

DENIS VELARDE LAURA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PUNO – PERÚ

2023



NOMBRE DEL TRABAJO

ANÁLISIS Y DEMOSTRACIÓN EXPERIMENTAL DE LA CONSERVACIÓN DE ENERGÍA DEL AGUA APLICANDO EL PRINCIPIO DE BERNOULLI EN UN ENSAYO TÉCNICO DE LABORATORIO

AUTOR

DENIS VELARDE LAURA

RECUENTO DE PALABRAS

17180 Words

RECUENTO DE CARACTERES

88325 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

112 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

6.7MB

FECHA DE ENTREGA

Sep 18, 2023 10:15 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Sep 18, 2023 10:16 PM GMT-5

● **11% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 3% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**


- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



Dr. Freddy Bernardo Coyla Apazti
CIP: 166054

Vº Bº

SUB DIRECTOR(E) DE INVESTIGACIÓN
EPIME


Ing. Walter Oswaldo
Parada Paraja
CIP: 67951
ASESOR

Resumen



DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación va dedicado primeramente a mi madre Teodora Laura por haberme otorgado la vida, brindándome su comprensión, apoyo y amor incondicional durante todos los años de mi formación profesional.

A mi hermana Mappy quien ha sido mi soporte y la fuente de motivación constante para superarme, reflejándome en sus propios logros.

A mi novia Ysumi que le ha dado una dirección a mi vida con su bondad y apoyo incondicional.

Y en general a todos quienes componen mi familia, por su sacrificio, esfuerzo, comprensión y el inmenso amor que nos une y nos ha fortalecido a lo largo del tiempo permitiéndonos superar la adversidad.

A mis maestros por haber sido las guías educativas y morales a lo largo de la formación académica en nuestra gloriosa EPIME.

A mis amigos y compañeros, que sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimientos, experiencias, alegrías y desdichas, en nuestra época universitaria.

Denis Velarde Laura



AGRADECIMIENTOS

A la toda la plana docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Nacional del Altiplano, quienes compartieron su conocimiento académico, su perspectiva moral y sus experiencias a fin de lograr el mejor resultado en mi formación profesional.

A mi familia, especialmente a mi madre por el amor, apoyo y fé en mí que me ha llevado a conseguir mis metas y logros.

A mis amigos de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, por su incondicional amistad, paciencia y apoyo.

A mi asesor de tesis, M.Sc. Walter Oswaldo Paredes Pareja. por su asesoría y consejo para la realización de la presente tesis, y a todos los miembros del jurado dictaminador.

Denis Velarde Laura



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 12

ABSTRACT..... 13

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 15

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 15

2.2.1. Problema general 15

2.2.1. Problema específico 15

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN..... 16

2.2.1. Hipótesis general..... 15

2.2.1. Hipótesis específicas 15

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO 16

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 18

2.2.1. Objetivo general..... 17

2.2.1. Objetivos específicos 17

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO..... 20

2.2. MARCO TEÓRICO..... 26

2.2.1. La conservación de la energía en los fluidos: conceptos e hipótesis básicas...
..... 26

2.2.1.1. Formas de energía 27



2.2.1.2. Caudales y ecuación de continuidad.....	27
2.2.1.3. Balance energético en un sistema de flujo.....	29
2.2.1.4. Ecuación de continuidad.....	30
2.2.1.5. Viscosidad (η).....	32
2.2.1.6. Flujo laminar y turbulento.....	34
2.2.1.7. Número de Reynolds (R).....	35
2.2.2. Deducción del Teorema de Bernoulli.....	35
2.2.3. Ecuación de Bernoulli.....	38
2.2.4. Aplicaciones de la Ecuación de Bernoulli.....	40
2.2.4.1. Teorema de Torricelli.....	40
2.2.4.2. Tubo de Venturi.....	41
2.2.4.3. Contador Venturi.....	41
2.2.4.4. Medida de la presión en fluidos móviles.....	42
2.2.4.5. Sustentación sobre el ala de un avión.....	44
2.2.4.6. Pérdida de carga.....	45

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES.....	46
3.1.1. Instrumentos para medir experimentalmente las condiciones ambientales.....	46
3.1.1.1. Barómetro de sifón.....	46
3.1.1.2. Psicrómetro.....	48
3.1.2. Equipos del módulo básico de suministro de agua.....	49
3.1.2.1. Especificaciones técnicas de los equipos utilizados.....	53
3.1.3. Dispositivos del módulo del Principio de Bernoulli.....	53
3.1.3.1. Tubo de Venturi.....	56
3.1.3.2. Módulo del Principio de Bernoulli.....	58
3.1.3.3. Especificaciones técnicas del Módulo Principio de Bernoulli.....	59
3.2. MÉTODOS.....	60
3.2.1. Medición de la altitud de Puno.....	60
3.2.2. Metodología para medir la presión atmosférica.....	60
3.2.3. Metodología para ensayo de demostración del Principio de Bernoulli.....	63
3.2.3.1. Preparación del ensayo.....	63
3.2.3.2. Ejecución del ensayo.....	64



3.2.3.3. Cálculos en los ensayos	66
--	----

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS	70
4.1.1. Condiciones Ambientales	70
4.1.1.1. Medición de la humedad relativa.....	71
4.1.1.2. Medición de la presión atmosférica	73
4.1.2. Ejecución de ensayos para determinar datos experimentales para la demostración del Principio de Bernoulli	78
4.1.2.1. Preparación para los ensayos a realizar	79
4.1.2.2. Cálculo del caudal (Q)	81
4.1.2.3. Cálculo de las velocidades en el tubo de Venturi	82
4.1.2.4. Medición y cálculo de las alturas de presión estática en los seis puntos de medición del tubo de Venturi p_i/γ	87
4.1.2.5. Demostración del Principio de Bernoulli.....	89
4.2. DISCUSIÓN	91
V. CONCLUSIONES	97
VI. RECOMENDACIONES	99
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	100
ANEXOS.....	103
ANEXO 1. Módulo básico de suministro de agua	103
ANEXO 2. Fotografías del módulo básico de suministro de agua	104
ANEXO 3. Módulo del Principio de Bernoulli	105
ANEXO 4. Esquema del módulo de ensayo del Principio de Bernoulli	106
ANEXO 5. Tubo de Venturi	107
ANEXO 6. Medición de datos experimentales en el módulo de laboratorio	108
ANEXO 7. Planos de esquema P&ID de modulo, plano de conjunto y de despiece del módulo de laboratorio	110

Área: Mecánica de Fluidos.

Línea: Conservación de Energía de un Fluido Incompresible y Principio de Bernoulli.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 21 de setiembre 2023.



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Sistema en general de un flujo.....	29
Figura 2.	Líneas de corriente.....	31
Figura 3.	Tubo de corriente.....	31
Figura 4.	Viscosidad de un fluido.	33
Figura 5.	Flujo laminar y turbulento.	35
Figura 6.	Trayectos de A y b de los elementos de fluido.....	36
Figura 7.	Tubo de fluido de área A_1 y A_2	38
Figura 8.	Teorema de Torricelli.	40
Figura 9.	Tubo de Venturi.....	41
Figura 10.	Contador Venturi.	42
Figura 11.	Manómetros diferenciales de tubo abierto.....	43
Figura 12.	Medición con tubo de Pitot.....	44
Figura 13.	Fuerza de sustentación sobre el ala de un avión.	45
Figura 14.	Pérdida de carga con y sin viscosidad.	45
Figura 15.	Esquema del Barómetro Sifón.....	47
Figura 16.	Barómetro de Sifón. E. Leybold – Alemania.	47
Figura 17.	Psicrómetro.....	48
Figura 18.	Carta Psicrométrica.....	49
Figura 19.	Módulo básico de suministro de agua.	51
Figura 20.	Esquema de las partes del módulo básico de suministro de agua.	52
Figura 21.	Módulo de ensayo del principio de Bernoulli.	54
Figura 22.	Partes del módulo de ensayo para el principio de Bernoulli	55
Figura 23.	Tubo de Venturi.....	56
Figura 24.	Midiendo presiones estáticas en el tubo de Venturi del módulo.....	58



Figura 25.	Esquema del barómetro de sifón.	61
Figura 26.	Tuerca racor (1) de la prensa estopa.	64
Figura 27	Válvulas de salida y válvulas de rebose.	65
Figura 28.	Límites mínimo y máximo del área de medición.	66
Figura 29.	Diámetros y áreas de los niveles del tubo Venturi.	68
Figura 30.	Caseta Meteorológica y Psicrométrica (extremo derecho).	71
Figura 31.	Carta Psicrométrica lecturada.	72
Figura 32.	Medición de la presión atmosférica y temperatura en el Laboratorio de Física de la FICA – UNAP.	73
Figura 33.	Detalles del Módulo para demostración del principio de Bernoulli.	80
Figura 34.	Tubo de Venturi con los diámetros y áreas de los seis puntos de medición.	83
Figura 35.	Manómetro de seis tubitos para la medición de las alturas de presión estática en los seis puntos de medición del tubo de Venturi.	88
Figura 36.	Gráfico para determinar el coeficiente de caudal (C_q)	94
Figura 37.	Evolución de las velocidades en los seis puntos de medición del tubo Venturi.	95



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Viscosidades de fluidos.....	34
Tabla 2.	Especificaciones técnicas de los 6 puntos de medida en este tubo de Pitot.	57
Tabla 3.	Correcciones de temperatura en barómetros y columnas de Hg.....	61
Tabla 4.	Correcciones de gravedad en barómetros y columnas de Hg.	62
Tabla 5.	Correcciones por altitud en mm, para barómetros y columnas de mercurio.	63
Tabla 6.	Corrección de T° para barómetros y columnas de Hg hasta 850 mm	74
Tabla 7.	Corrección de gravedad para barómetros y columnas de Hg y H ₂ O.....	76
Tabla 8.	Correcciones para barómetros en mm Hg por disminución de la presión atmosférica por la altitud.....	77
Tabla 9.	Velocidades calculadas para las áreas de los seis puntos de medición.....	85
Tabla 10.	Alturas de presión dinámica calculadas para las áreas de los seis puntos de medición.....	87
Tabla 11.	Alturas de presión estática medidas en los seis puntos de medición del tubo de Venturi.....	89
Tabla 12.	Cálculo de los parámetros para la demostración del Principio de Bernoulli considerando el caudal calculado por el método ASME.	96



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

ASME	: American Society of Mechanical Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos)
UNAP	: Universidad Nacional del Altiplano Puno
SENAMHI	: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
FICA	: Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura
TBH	: Temperatura de bulbo húmedo
TBS	: Temperatura de bulbo seco
H.R	: Humedad relativa
%	: Porcentaje
mm	: Milímetros
mm CA	: Milímetros de columna de agua
mm Hg	: Milímetros de columna de mercurio
cm	: Centímetro
m	: Metro
L	: Litro
Kg	: Kilogramo
s / seg	: segundo
V	: Voltios
W	: Watts
Hz	: Hertz
min	: Minutos
°C	: Grados centígrados
Pa.s	: Pascal - segundo



RESUMEN

El principio de Bernoulli es fundamental en la hidrodinámica, su aplicación en ingeniería mecánica es importante para el cálculo de la altura efectiva de bombas y ventiladores; en mecánica de fluidos la conservación de la energía en un fluido no compresible no viscoso lo estableció en 1738 el matemático y científico suizo Daniel Bernoulli en su libro Hidrodinámica. En ese contexto se desarrolló la investigación experimental cuyo objetivo es analizar y demostrar experimentalmente la conservación de la energía del agua aplicando el principio de Bernoulli en un ensayo técnico de laboratorio; esta investigación es de tipo aplicada experimental y por su enfoque cuantitativo en su desarrollo se empleó la metodología del Ensayo Técnico Experimental en Ingeniería que involucra la preparación y ejecución del ensayo, utilizando los módulos básico de suministro de agua y módulo del principio de Bernoulli que constan de equipo para medir el caudal y presión del flujo de agua con tubo de Venturi y Pitot. En la preparación del ensayo se puso en operación el módulo básico sobre el cual se montó el módulo de Bernoulli, realizándose ensayos preliminares para aclimatarnos con el funcionamiento del módulo experimental y, en la ejecución se midió en seis puntos del tubo de Venturi cuyas áreas disminuyen y aumentan progresivamente, los parámetros experimentales de caudal, velocidad, presión estática y presión total para la demostración experimental. Los resultados obtenidos al reemplazar en la ecuación de Bernoulli demostraron que la energía total del flujo de agua en cada una de las seis áreas diferentes a lo largo del tubo de Venturi permanece constante con una precisión experimental confiable en el rango de 0,11576 a 0,12373 metros de columna de agua; demostrándose también en el área que tenga mayor velocidad el agua tendrá menor presión y viceversa.

Palabras clave: Principio de Bernoulli, energía, velocidad, caudal, presión estática.



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-compressible, non-viscous fluid was established in 1738 by the Swiss mathematician and scientist Daniel Bernoulli in his book Hydrodynamics. In this context, experimental research was developed whose objective is to experimentally analyze and demonstrate the conservation of water energy by applying Bernoulli's principle in a technical laboratory test; This research is of an experimental application type and due to 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 Bernoulli principle module that consist of equipment to measure the flow rate and pressure of water flow with a Venturi and Pitot tube. In the preparation of the test, the basic module on which the Bernoulli module was mounted was put into operation, preliminary tests were carried out to acclimatize ourselves with the operation of the experimental module and, during execution, six points of the Venturi tube whose areas decreased were measured. and progressively increase the experimental parameters of flow, velocity, static pressure and total pressure for the experimental demonstration. The results obtained by substituting into the Bernoulli equation demonstrated 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 meters of water column; also demonstrating that in the area with the highest velocity the water will have the lowest pressure and vice versa.

Key words: Bernoulli's principle, energy, speed, flow, static pressure.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El científico suizo Daniel Bernoulli contribuyó a la dinámica de fluidos, en el año 1738 en su obra Hidrodinámica estudia el equilibrio de los fluidos deduciendo el principio de Bernoulli establece que cuando aumenta la velocidad de un líquido, su presión se aminora. (Ortiz y Cruz, 2022).

El principio de Bernoulli tiene innumerables aplicaciones prácticas en la ingeniería mecánica eléctrica en las áreas de la mecánica de fluidos, turbomáquinas, dinámica de gases, aviación, etc.; por lo que es importante que este conocimiento sea comprendido íntegramente a través de la experimentación para validar el aspecto teórico.

La comprobación 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 compleja y la ejecución experimental para cumplir el objetivo del ensayo (Seymour, 2015).

Para demostrar esta conservación de energía aplicando el Principio de Bernoulli se empleó un tubo de Venturi, que es un instrumento que se usa para poder medir la velocidad del fluido en un fluido incompresible (Mott, 2019). En el ensayo a lo largo del tubo de Venturi se midió en seis puntos la presión estática a través de manómetros y la presión total se midió utilizando una sonda de tubo de Pitot en dirección axial al tubo de Venturi, demostrándose que la energía se conserva aplicando el principio de Bernoulli en las distintas ubicaciones del tubo de Venturi.



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

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La conservación de la energía es un principio muy importante en la ingeniería mecánica y eléctrica y su demostración experimental contribuirá a reforzar la teoría de este principio fundamental para su conocimiento integral y, de esa manera su aplicación para solucionar problemas prácticos de esta sociedad será eficiente, considerando que el principio de Bernoulli tiene innumerables aplicaciones en las áreas de mecánica de fluidos, hidráulica, dinámica de gases y turbomáquinas; como en la instalación de sistemas hidráulicos, instalaciones de chimeneas, diseño de pulverizadores, carburadores de motor de explosión, en la sustentación de aviones, en dispositivos de tubo de Venturi, en determinar de manera experimental la altura efectiva de bombas, ventiladores y muchas otras aplicaciones más en la ingeniería.

La investigación experimental de la tesis se realizó en el Laboratorio EPIME de Fluidos de la UNA, cuyo desarrollo tiene el propósito de contribuir con los estudiantes de la Escuela Profesional, para solucionar el problema de validación de los conocimientos teóricos a través de la experimentación y la investigación formativa aspecto prioritario actualmente en la universidad peruana; la tesis servirá como marco referencial para la realización de ensayos experimentales en los módulos GUNT del Laboratorio de Mecánica de Fluidos de la EPIME; cuyo aporte es significativo porque permitirá que la formación universitaria de los alumnos tienda a ser integral en el aspecto teórico-práctico lo cual es necesario para su futuro desenvolvimiento profesional. En este contexto realicé



el planteamiento y formulación de las interrogantes que guiaron la investigación de la tesis:

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

- ¿Es posible estudiar y analizar la conservación de la energía aplicando el principio de Bernoulli en un ensayo experimental?

1.2.2. Problema específico

- ¿Es posible demostrar experimentalmente la conservación de la energía a través de la aplicación del principio de Bernoulli en un módulo del Laboratorio de Mecánica de Fluidos?

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis general

Estudio y aplicación del principio de Bernoulli de la mecánica de fluidos para el análisis y demostración experimental de la conservación de la energía del agua en un módulo en el Laboratorio de Mecánica de Fluidos.

1.3.2. Hipótesis específicas

- Estudio y análisis de la conservación de la energía y el principio de Bernoulli para su aplicación en un ensayo experimental en un módulo de laboratorio.
- Demostración en forma experimental la conservación de la energía del agua aplicando el principio de Bernoulli en un módulo en el Laboratorio de Mecánica de Fluidos.



1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

La justificación del desarrollo de la tesis es relevante, considerando que el conocimiento teórico y experimental de la física está en el corazón de la formación académica integral de la ingeniería, ya que es el estudio de las leyes fundamentales de la mecánica, las leyes de Newton y la ley de conservación de la energía, cuyas leyes y aplicaciones se apoyan en los principios fundamentales de mecánica de fluidos y por ende la Ecuación de Bernoulli. La mecánica de fluidos es la rama en la física que estudia el comportamiento de los fluidos cuando están estáticos o móviles. Los líquidos juegan un papel esencial en muchos aspectos de la vida diaria. La mecánica de fluidos es importante en diferentes campos, incluida la ingeniería mecánica, hidráulica, aeronáutica, industria, rubro naval, civil, biomédica, entre otras. Esta ecuación de Bernoulli es de suma consideración y utilidad para la vida humana y el medio ambiente, porque es una de las mínimas contaminantes y un apoyo importante para la economía y el desarrollo nacional. Convierte la energía potencial en electricidad industrial y proporciona enormes beneficios a la industria. Además de llevar H₂O a nuestros hogares y creando empleo a miles de ciudadanos.

Actualmente la investigación es un aspecto importante en las universidades, en la Escuela Profesional por diversas razones, especialmente la económica, no se contaba con módulos en los laboratorios para realizar investigaciones experimentales; lo cual en los últimos dos años fue superado en el Laboratorio de Mecánica de Fluidos, razones que motivaron a analizar y plantear la necesidad de usar estos módulos certificados en la investigación formativa de la Escuela Profesional, fundamental para la formación académica del ingeniero.



En la Ingeniería mecánica la Ecuación de Bernoulli es fundamental, ya que constituye la base para estudiar y analizar la conducta de los fluidos, bombas, ventiladores, cálculos de tuberías, ductos, etc.; aspectos que están presentes en procesos industriales en donde el ingeniero tendrá que abordar en el ejercicio de su profesión.

La contribución del desarrollo de la tesis en lo académico es importante porque se analizará y demostrará experimentalmente un principio fundamental en la ingeniería, en la preservación energética; que pretendemos realizar mediante la investigación experimental de la ecuación de Bernoulli.

Además, la tesis podrá ser utilizada como fuente de consulta para la realización de prácticas experimentales referentes a Bernoulli en el Laboratorio de Mecánica de Fluidos, motivando el desarrollo y capacitación en la investigación formativa, fundamental para contrastar saberes teóricos con la práctica; lo cual influirá en reforzar y mejorar el indicador académico en pregrado en los alumnos de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

- Analizar y demostrar en forma experimentalmente la conservación de la energía del agua aplicando el principio de Bernoulli en un módulo del Laboratorio de Mecánica de Fluidos.

1.5.2. Objetivos específicos

- Estudiar y analizar la conservación de la energía del agua y el principio de Bernoulli para aplicar a un ensayo experimental a realizar en un módulo de laboratorio.



- Demostrar en forma experimental la conservación de la energía del agua aplicando el principio de Bernoulli en un módulo en el Laboratorio de Mecánica de Fluidos.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO

En el país hay un gran número de expertos en metodología de la investigación, pero pocos son ingenieros y la mayoría de los libros son para las ciencias sociales y no tratan de problemas de ingeniería, encontrándose problemas para aplicar la metodología de la investigación a la ingeniería, un problema es la utilización de instrumentación de medición (encuestas, formularios) porque en la ingeniería son de fábrica listos para ser utilizados; un segundo problema es el análisis de data que ya no se hace con la colaboración estadística, un tercer problema es el manejo diferente en la toma de muestras que en la investigación de ingeniería muchas veces no se realiza y un último problema es que los ingenieros dan solución a problemas de ingeniería, en ingeniería se emplea la investigación tecnológica, poco tratado en los libros, considerar estos criterios al aplicar una metodología de investigación para ingeniería (De La Cruz, 2016). En la formulación del problema de investigación en ingeniería se propone un método, estableciendo aspectos importantes que serán guías para el planteamiento del problema, a través de ejemplos de redacciones apropiadas y finalmente se establecerán aspectos importantes para evaluar la redacción y estructura del planteamiento del problema en función a criterios que exige el área. (Itriago y Zerpa, 2011). En física sabemos que la energía ni se crea ni se destruye, solo se transforma, esta es la ley de conservación de la energía; cuando se estudia el flujo en tuberías este adquiere tres tipos de energía: energía potencial debido = elevación (Z), energía cinética = velocidad ($v^2/2g$) y la energía de presión (P/γ); si un fluido fluye a lo largo de dos secciones del conducto y si no se adiciona energía al líquido ni se pierde, entonces la energía en cada una de las secciones 1 y 2, se mantiene continuo,



lo que demuestra la ecuación de Bernoulli; el término P/γ se le denomina como cabezal de presión, al término Z se denomina como cabezal de elevación y el término $v^2/2g$ es la cabezal de velocidad, la fusión de estos términos constituye la cabeza total, al aplicar la ecuación de Bernoulli debe considerarse que solo es aplicada en fluidos incompresible, no puede haber pérdidas por fricción, no hay transferencia de calor hacia fuera o dentro y no debe existir dispositivos que eliminen o adicionen energía al sistema (Mott, 2016). En el ensayo técnico en ingeniería la preparación es la etapa más importante, porque debe decidirse sobre el tipo de ensayo, qué variables medir, cómo debe ser el proceso de medir las variables y la selección conveniente del módulo de laboratorio o instrumentos que sean necesarios. En ensayos complejos la preparación puede durar semanas en comparación con la ejecución que puede durar solo horas y días, es necesario tener la seguridad que la preparación sea correcta. También es necesario tomar precauciones para la etapa de la ejecución, frecuentemente después de los ensayos técnicos se desmantela los instrumentos después de varios ensayos realizados, por lo que el ingeniero investigador tiene que medir datos experimentales correctos para asegurar que sean todos lo necesarios, se desperdiciarían días o semanas de preparación del ensayo sino se tomaron una serie de datos experimentales por no prever su necesidad, de igual manera puede perderse tiempo si los instrumentos no operan en forma correcta o no se calibraron (Saymour, 2012). La planificación de los ensayos experimentales es fundamental y la clave del éxito en la investigación experimental, es necesario que nos preguntemos ¿qué buscamos? ¿por qué mediremos? ¿cómo mediremos? ¿cómo mediremos? ¿dónde se realizará el ensayo?, preguntas simples, pero deben redactarse en cualquier investigación experimental, los instrumentos o dispositivos de investigación nos señalan qué variables deben ser controladas con sumo cuidado, puede ser lógico que las precauciones para registrar la información experimental pero sino se organiza se puede perder, actualmente



los instrumentos registran automáticamente pero en muchos experimentos se realizan observaciones de manera visual y se registran en forma escrita en hojas, hoja que debe planificarse, si se usa computadora la información de transferirse con facilidad a la entrada de la computadora, es importante que el investigador debe llevar un cuaderno a la mano para registrar observaciones importantes durante las etapas de preparación y ejecución del ensayo experimental, el cuaderno sirve para también registrar ideas y observaciones durante el desarrollo del experimento, es necesario que la información necesaria pueda obtenerse a través de un estudio y análisis de resultados de experimentos realizados (Holmes, 2015). La experimentación e innovación en los laboratorios de universidades de América Latina necesitan una nueva estructuración tecnológica para enfrentar el reto actual que es el utilizar el laboratorio como herramienta en el proceso de aprendizaje de los estudiantes para proponer políticas educativas que satisfagan las necesidades sociales con el fin de lograr una educación de alta calidad en el sentido pedagógico con experimentación. Actualmente los laboratorios son centros de experimentación convertidos a centros de innovación tecnológica, destinando a la investigación, generación y divulgación de proyectos de investigación multidisciplinarios de investigadores, estudiantes, docentes y sociedad en general para proponer, generar e investigar la experimentación y aprendizaje en colaboración empleando la tecnología con que se cuenta actualmente en las universidades (Maldonado, Beltrán, Ortiz y Velásques, 2019). Respecto a la metodología experimental, esta investigación usa el método experimental, el investigador administra diferentes variables en estudio, los ensayos experimentales implican cambiar la variable independiente y determinar su efecto sobre la variable dependiente, esto se realiza en un laboratorio bajo condiciones en control con la finalidad de averiguar la causa de una situación especial, la metodología experimental establecen hipótesis de relaciones causales donde se monitorean los efectos , se modifica



una variable independiente para determinar los efectos en la dependiente, analizando su proyección al futuro; los estudios experimentales se distinguen de otros estudios por: equivalencia de grupos aleatorios, comparación de grupos o conjuntos de condiciones, manipulación de variables independientes, medición de cada variable dependiente y diseño para controlar la menor cantidad de variables posible, experimentos en los siguientes entornos. Simulaciones en las que los investigadores manipulan las condiciones de la investigación para comprobar los efectos en las variables de experimentación (Murillo, 2018). La clasificación de las investigaciones que se efectúan en el área académica de las universidades tienen varias formas en cuanto a su clasificación considerando los diversos criterios que existen, se presentan los estudios y análisis según la tendencia u orientación la investigación básica y la investigación aplicada, considerando el criterio del alcance de la investigación puede ser exploratorio, descriptivo, correlacional y la investigación explicativa, considerando el criterio de investigación experimental se tienen las investigaciones pre-experimentales, cuasi experimentales y experimentales puras y la investigación no experimental con enfoque transversal y longitudinal y, según el criterio de direccionalidad investigación retrospectiva y prospectiva y, finalmente según el criterio de recolección de datos las investigaciones retrolectiva e investigaciones prolectiva (Álvarez, 2020). Para el desarrollo de la tesis se estudió el manual de investigación experimental cuya finalidad es ser una guía en el desarrollo del proyecto, que no pretende sustituir los libros para investigación pero si considerar el mal uso que hacen de ellos los alumnos, porque los presentan como sería de reglas que el estudiante entiende, cometiendo errores en la aplicación de la metodología como en la formulación de la hipótesis, se trata que el alumno comprenda el porqué de cada uno de los capítulos y que al redactar la tesis cuente con el fundamento lógico para cada uno de ellos. El estudiante que desarrolla una tesis



tiene que elegir un tema adecuado y averiguar la información concerniente al tema para que la universidad la apruebe la investigación, para lo cual el perfil de tesis debe estar adecuadamente definida en cuanto a la estructura y la metodología de análisis enfatizando los capítulos a desarrollar, las secciones relevantes de estudio, la justificación del proyecto y la aplicación en solución de problemas para la sociedad (Tena y Turnbull, 2017). Para plantear el problema de este proyecto investigativo está diseñado para permitir a los estudiantes aprender física realizando experimentos de diferencias para comprender el principio de Bernoulli; a partir de un test previo para determinar qué conocimientos poseen los estudiantes de física. La investigación desarrolló aspectos de interés para la sociedad científica, a través de la prueba se evaluó la comprensión del principio de Bernoulli desarrollando un método activo para su aprendizaje, estableciendo prototipos que discrepen de los fenómenos físicos del entorno del principio de Bernoulli (Hernando, 2012). En el artículo de la Revista Científica se analiza y estudia la demostración realizada por Daniel Bernoulli en el texto de Hidrodinámica publicado en 1738 con el objetivo de divulgar el principio de Bernoulli, siendo su aporte fundamental establecer la relación entre velocidad y presión del flujo de agua en tuberías. Este aporte científico del siglo XVIII fue presentado en el movimiento intelectual y cultural que tomó el nombre de Ilustración (Riaño, 2020). Respecto al diseño y construcción de módulos para experimentar el principio de Bernoulli, se propone como objetivo de la investigación establecer laboratorios de procesos y operaciones de la unidad estructural y promover la investigación en formación técnica; con consideración del significado de la ecuación de Bernoulli para el estudio de fluidos en movimiento, el módulo a implementar permitirá el análisis del comportamiento de fluidos incompresibles, el cálculo de la velocidad promedio del sistema hidráulico para determinar las pérdidas a través de tubos capilares; la instalación de un tubo de Venturi permitirá realizar con mayor precisión los cálculos



de los parámetros relacionados con el principio de Bernoulli (Aguirre y García, 2008). En la demostración del principio de Bernoulli, la investigación tiene el objetivo de validarla realizando ensayos técnicos aplicados a fluidos que fluyen en conductos circulares para la demostración se medirán presiones con el cálculo de la energía cinética y posteriormente la energía total que se mantendrá constante en cada punto del conducto como establece la teoría de Bernoulli, en un sistema hidráulico donde la interacción es de diferentes tipos de energía. En un fluido ideal Bernoulli demuestra que la energía mecánica de un sistema no vacía y establece que la interacción entre presión - altura - velocidad de un líquido ideal determinan el cambio de un tipo de energía a otra. El principio de Bernoulli es utilizado para la demostración de la conservación de la masa y conservación de la energía de los fluidos (Elera y Caruajulca, 204). En el estudio experimental de la ecuación de Bernoulli, el experimento de Torricelli se aplicó al estudio del drenaje de un recipiente cilíndrico, utilizando también la ecuación de Bernoulli para la obtención de datos experimentales, teniendo en cuenta fuentes de disipación de energía. Se plantea la hipótesis de que los fluidos se rigen por las mismas leyes de las partículas sólidas, verificándose también que se puede aplicar el método experimental en flujos turbulentos (Delfose, 2008). En el desarrollo de conceptos elementales de mecánica de fluidos, el estudio de procesos de enseñanza-aprendizaje son independientes de los conocimientos conocidos por el estudiante, no teniendo en cuenta sus conocimientos culturales y que la comprensión de los fenómenos físicos es diferente. Se propone una didáctica particular con aprendizaje del concepto de presión en el principio de Bernoulli utilizando fenómenos comunes. Los resultados determinan que los estudiantes comprenden óptimamente la presión en fluidos y sólidos (Forero, 2017).



2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. La conservación de la energía en los fluidos: conceptos e hipótesis básicas

La mecánica es una rama de la física que estudia el equilibrio y el movimiento de los objetos bajo la acción de fuerzas. Un líquido es un medio continuo con fuerzas de atracción débiles entre sus moléculas. La mecánica de fluidos es el estudio del movimiento de fluidos y gases bajo la influencia de fuerzas, considerando las interacciones con el entorno.

Para la comprensión de estos conceptos de fluidos es necesario el apoyo de conocimientos previos para hacer simple su estudio y, comprender fenómenos en nuestro entorno diario como la densidad, que se define como la masa por unidad de volumen de alguna sustancia o presión definida como la fuerza vertical que actúa sobre la superficie de un objeto.

Deben considerarse las siguientes hipótesis sobre los fluidos:

- Se cumple el parámetro de movimiento y conservación de la masa.
- Son incompresibles (densidad constante).
- Son continuos en el espacio que ocupan, despreciando discontinuidades en su estructura molecular.
- Es estacionario, su velocidad en su punto es independiente del tiempo.
- Considerando que la energía se conserva en el sistema del fluido se obtendrán relaciones importantes de la mecánica de fluidos.



2.2.1.1. Formas de energía

Para cualquier tipo de sistema su energía total está constituida por:

- **Energía cinética:** Generada por la circulación del sistema, para un cuerpo de masa m y velocidad v es:

$$e_c = \frac{1}{2} m v^2 \quad (\text{Joules})$$

- **Energía potencial:** Generada por la ubicación del sistema en un campo potencial de fuerzas. Para un cuerpo de masa m a una altura h en un campo gravitatorio de fuerzas es:

$$e_p = m g z \quad (\text{Joules})$$

- **Energía interna:** Generado por el movimiento molecular y su interacción entre las mismas, lo que determina la temperatura del sistema. Se denota por u y es factible en la práctica determinar diferencias de interna, Δu .
- **Calor:** Es la energía que fluye debido a temperaturas diferentes del sistema y sus alrededores. Se denota por q .
- **Trabajo:** Es la energía que se desarrolla por la aplicación de una fuerza. En los fluidos el trabajo se intercambia entre el fluido y un mecanismo.

2.2.1.2. Caudales y ecuación de continuidad

Este concepto se define como la cantidad de fluido que fluye a través de un área determinada por segundo. unidad de tiempo. Generalmente está relacionado con el caudal volumétrico que circula a través de la sección por unidad de tiempo. También está relacionado con el flujo másico o masa a través de un área por unidad de tiempo.



El caudal o flujo volumétrico:

$$Q \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] = A \left[\text{m}^2 \right] \cdot v \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

donde:

Q = caudal

A = área transversal

v = velocidad del fluido

El flujo másico:

$$\dot{m} \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] = \rho \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \cdot A \left[\text{m}^2 \right] \cdot v \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

donde:

\dot{m} = flujo másico

ρ = densidad del fluido

La relación entre caudal y flujo másico será:

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

Se muestra un sistema en general de un flujo.

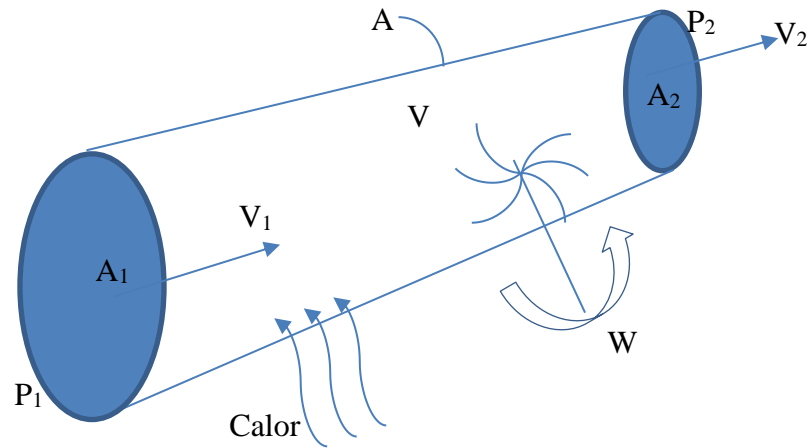


Figura 1. Sistema en general de un flujo.
Elaboración propia.

Por conservación de masa:

$$m_1 = m_2 = m$$

Si esta densidad se mantiene constante:

$$Q_1 = Q_2$$

Por consiguiente;

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 \text{ (Joules)}$$

Llamada la Ecuación de Continuidad.

2.2.1.3. Balance energético en un sistema de flujo

Considerando la Figura 1. y para un mejor análisis utilizamos magnitudes energéticas intensivas o por unidad de masa. Por consiguiente, se tendrá:

$$E_c = \frac{e_c}{m} = \frac{1}{2} v^2 \left[\frac{\text{Joule}}{\text{Kg}} \right] \quad E_p = \frac{e_p}{m} = g z \left[\frac{\text{Joule}}{\text{Kg}} \right]$$



$$U = \frac{u}{m} \left[\frac{\text{Joule}}{\text{Kg}} \right]$$

$$P \frac{V}{m} = \frac{P}{\rho} \left[\frac{\text{Joule}}{\text{Kg}} \right]$$

$$W = \frac{w}{m} \left[\frac{\text{Joule}}{\text{Kg}} \right]$$

$$Q = \frac{q}{m} \left[\frac{\text{Joule}}{\text{Kg}} \right]$$

Dado un sistema estacionario, la adición de los términos que cambian la energía será igual a la energía intercambiada con el medio ambiente, entonces:

$$\frac{1}{2}(v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) + (U_2 - U_1) + \frac{1}{2}(P_2 - P_1) = Q + W \quad \left[\frac{\text{J}}{\text{Kg}} \right]$$

operando:

$$\Delta E_c + \Delta E_p + \Delta U + \Delta \left(\frac{P}{\rho} \right) = Q + W \quad \left[\frac{\text{J}}{\text{Kg}} \right]$$

Denominada Ecuación: Conservación de Energía para un sistema de un fluido.

2.2.1.4. Ecuación de continuidad

Como velocidad en una partícula es tangencial a las líneas de corriente en un fluido en reposo. Las líneas de corriente no se intersecan, sólo se cruzan en los puntos de intersección. Las tuberías aerodinámicas están formadas por líneas de corriente y las partículas líquidas se mueven solo a lo largo de la tubería.

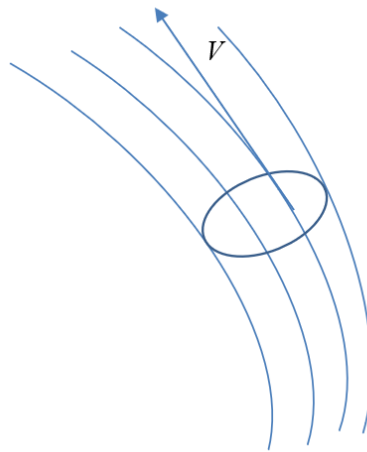


Figura 2. Líneas de corriente.

Elaboración propia.

El siguiente diagrama muestra el movimiento de un fluido a través de una tubería de flujo cuya área de sección transversal aumenta en la dirección del flujo. En un intervalo de tiempo Δt en A_1 , el fluido se desplaza $\Delta x_1 = v_1 \Delta t$, entonces en A_1 se tiene que $\Delta m_1 = \rho_1 A_1 \Delta x_1$. Análogamente ocurre en la sección A_2 .

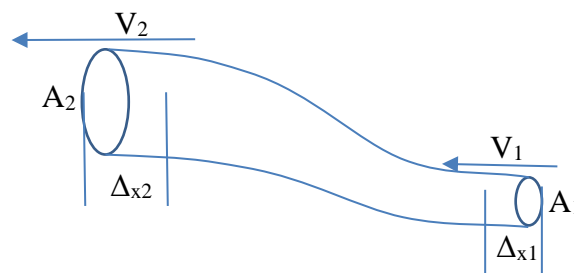


Figura 3. Tubo de corriente.

Elaboración propia.

En la figura:

$$\Delta m_1 = \Delta m_2 \Rightarrow \rho_1 A_1 \Delta x_1 = \rho_2 A_2 \Delta x_2$$



$$\rho_1 A_1 v_1 \Delta t = \rho_2 A_2 v_2 \Delta t$$

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2$$

Esta ecuación muestra la conservación de la masa que se define como ecuación de continuidad.

En un fluido incompresible la densidad constante, para resumir, la ecuación se reduce a:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 = \text{cte.}$$

A lo largo de un tubo de corriente el área por la velocidad normal a la superficie, en todos los puntos es constante. Al producto Av se le denomina caudal $Q = Av$, en el sistema internacional su unidad es m^3/s .

2.2.1.5. Viscosidad (η)

Este concepto dice que la fricción interna entre las moléculas de un líquido, por lo que se aplica una fuerza para hacer que una superficie del líquido haga un deslizamiento sobre otra. La viscosidad depende de la temperatura, en los fluidos se aminora por esta razón.

En la Figura 4. hay dos láminas paralelas con separación de un líquido viscoso. La lámina inferior está fija y la lámina superior se mueve a velocidad constante v ; la velocidad de la capa intermedia se incrementa linealmente de una superficie hacia la otra. En el flujo laminar, las capas fluyen en paralelo sin fusionarse, analizando en forma empírica la lámina superior desacelera si no actúan otras fuerzas, dependiendo de la diferencia de velocidades ($v \rightarrow 0$).

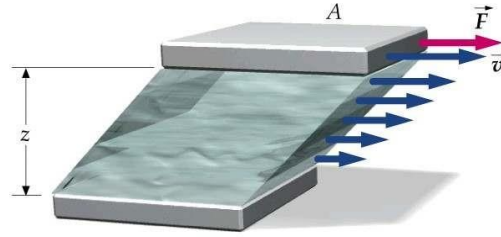


Figura 4. Viscosidad de un fluido.

Fuente: <https://www.ugr.es/earth/apuntesbasesfisicas>.

Entonces, la fuerza que decelera y se opone al movimiento:

$$F = \eta A \frac{v}{l}$$

Tenemos que la velocidad v varía en línea entre 2 láminas, es un fluido newtoniano como el H₂O, Diesel y los aceites.

Por consiguiente, tenemos:

$$F = \eta A \frac{dv}{dy}$$

Donde, dv/dy es la alteración de v entre los puntos cercanos con separación de una distancia dy .

La unidad de las viscosidades en el SI es el pascal segundo (Pa·s)

$$\frac{N \cdot m}{ms^{-1} m^2} = Pa \cdot s$$



Fluido	T(°C)	η (10^{-3} Pa s)
Agua	0	1.8
Sangre	37	~4
Plasma de sangre	37	~1.5
Alcohol etilo	20	1.2
Aceite de motor	30	200*
Glicerina	20	1500
Aire	20	0.018
Hidrógeno	0	0.009
Vapor de agua	100	0.013
* Mucho mayor a temperaturas bajas (importante para los motores)		

Tabla 1. Viscosidades de fluidos.

Elaboración propia.

2.2.1.6. Flujo laminar y turbulento

El flujo laminar en las capas líquidas fluye en paralelo sin hacerse mezcla; y el turbulento no es regular con regiones con remolinos y flujo caótico, se genera por velocidades elevadas o cambios bruscos de velocidad.

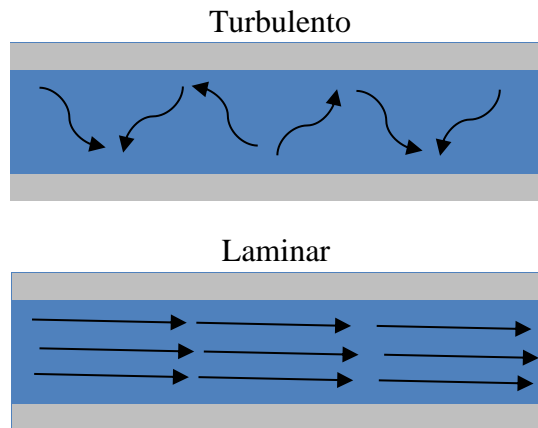


Figura 5. Flujo laminar y turbulento.
Elaboración propia.

2.2.1.7. Número de Reynolds (R)

Este número de Reynolds es adimensional y se usa para calcular si el flujo es laminar o turbulento; en base a propiedades del fluido y del conducto. Está definido por:

$$R = \frac{\rho v D}{\eta} = \frac{\text{inercia}}{\text{fricción}}$$

Donde; ρ simboliza la densidad del líquido, v define la velocidad media, η simboliza la viscosidad y D el diámetro del ducto.

Si: $R < 2000$: flujo laminar.

$R > 3000$: flujo turbulento.

$2000 < R < 3000$: flujo inestable.

2.2.2. Deducción del Teorema de Bernoulli

1. El modelo a emplear es el de “elemento de volumen”, por ser fluidos debemos darle volumen a la partícula, porque el objetivo es estudiar la dinámica de los fluidos.

- El estudio lo iniciaremos con el fluido ideal: incompresible (densidad constante) se deforma, pero su volumen y masa no varían, y no es viscoso.
Aplicaremos la dinámica y los teoremas de trabajo y energía.
- Considerando un diferencial de volumen:

$$dV = A \cdot dr$$
- Consideramos las fuerzas que interactúan entre el fluido y la tierra y determinamos el trabajo realizado por las dos fuerzas en el volumen N en la trayectoria A-B, en el estado inicial EA y el final EB.
- Las fuerzas entre los elementos del fluido varían en el trayecto de A a B.
- Las otras fuerzas que intervienen sobre la materia de volumen son F_{01} y F_{21} ; sobre el siguiente elemento de volumen son F_{12} y F_{32} , y así sucesivamente, como se aprecia en la Figura 6:

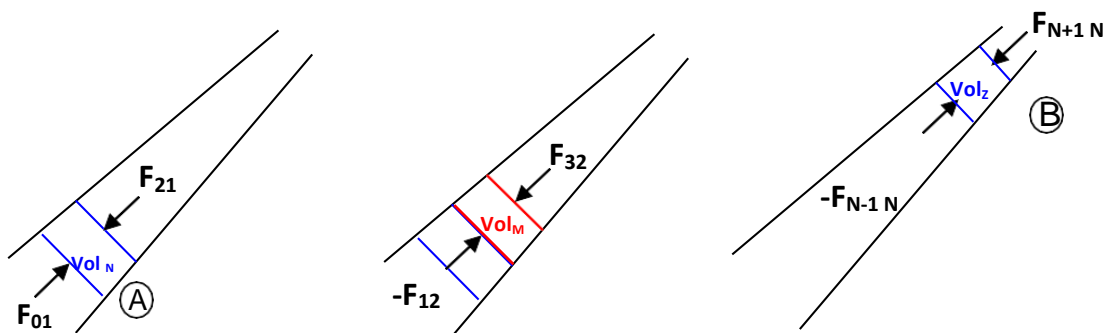


Figura 6. Trayectos de A y b de los elementos de fluido.

Elaboración propia

- Aplicando la 3ra ley Newtoniana sobre acción y reacción $F_{12} = F_{21}$, cuando el elemento N llegue hasta el lugar donde esté el elemento M (Figura 6).
- Entonces dividiendo A-B en n partes de longitud δr :

$$\int \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int F \cdot dr \approx (F_{01} - F_{21})\delta r + (F_{11} - F_{31})\delta r + \dots + (F_{N-1N} - F_{N+1N})\delta r$$



Por la tercera ley de Newton:

$$F_{12} = -F_{21}, F_{23} = -F_{32}, F_{N-1 N} = -F_{N N-1}$$

Operando solo quedan los términos:

$$F_{01} = F_A \text{ y } F_{N+1 N} = F_b.$$

Entonces el trabajo debido a las fuerzas que se aplica por el resto del líquido es:

$$(F_A - F_B) \delta r \quad (\text{A}).$$

Calculando la variación de energía potencial en el curso de A a B

$$\Delta E_p = \delta m g (h_B - h_A) \quad (\text{B})$$

Análogamente el cambio de energía cinética:

$$\Delta E_c = \frac{1}{2} \delta m (v_B^2 - v_A^2) \quad (\text{C})$$

Aplicamos un teorema sobre trabajo y energía para los resultados ((A), (B) y (C))

obtenemos:

$$(F_A - F_B) \delta r = \delta m g (h_B - h_A) + \frac{1}{2} \delta m (v_B^2 - v_A^2)$$

Reemplazando $(F_A - F_B) = (p_A A_A - p_B A_B)$ en la ecuación anterior, tenemos:

$$(p_A A_A - p_B A_B) \delta r = \delta m g (h_B - h_A) + \frac{1}{2} \delta m (v_B^2 - v_A^2)$$

Se sabe que $\delta V = A_A \delta r = A_B \delta r$

Entonces: $(p_A - p_B) \delta V = \delta m g (h_B - h_A) + \frac{1}{2} \delta m (v_B^2 - v_A^2)$

Dividiendo por δV ,

$$(p_A - p_B) = (\delta m / \delta V) g (h_B - h_A) + \frac{1}{2} (\delta m / \delta V) (v_B^2 - v_A^2)$$

Pero $\rho = \delta m / \delta V$ es la densidad, entonces finalmente:

$$p_A + \rho g h_A + \frac{1}{2} \rho v_A^2 = p_B + \rho g h_B + \frac{1}{2} \rho v_B^2$$

Expresión conocida como Teorema de Bernoulli.

2.2.3. Ecuación de Bernoulli

Si la velocidad o la altura varían en un fluido en movimiento en una región, entonces la presión varía también.

En la Figura 7, esta fuerza de una presión p_1 sobre el área A_1 es:

$$F_1 = p_1 A_1.$$

Este trabajo de la fuerza:

$$W_1 = F_1 \Delta x_1 = p_1 A_1 \Delta x_1 = p_1 \Delta V,$$

En la ecuación anterior ΔV es el volumen de fluido analizado.

En un intervalo de tiempo el ΔV que intercepta el área superior de A_2 es lo mismo, por consiguiente, este trabajo será:

$$W_2 = -p_2 A_2 \Delta x_1 = -p_2 \Delta V.$$

Entonces el trabajo total de las fuerzas en el intervalo de tiempo Δt es:

$$W = W_1 + W_2 = (p_1 - p_2) \Delta V$$

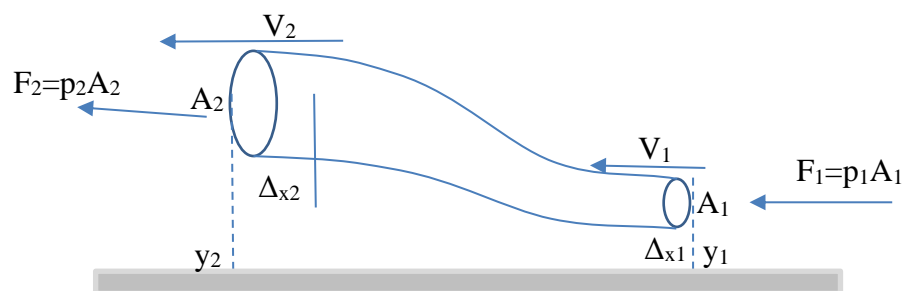


Figura 7. Tubo de fluido de área A_1 y A_2 .

Elaboración propia



Parcialmente este trabajo se usa para variar la energía cinética y gravitacional del líquido. La variación de energía cinética se producirá si una masa Δm pasa a través del tubo de corriente durante t (Figura 7.), por lo expuesto:

$$\Delta E_c = \frac{1}{2} \Delta m v_2^2 - \frac{1}{2} \Delta m v_1^2$$

De la misma manera el cambio de la energía potencial gravitacional sería:

$$\Delta E_g = \Delta m g y_2 - \Delta m g y_1$$

Aplicando el teorema del trabajo y energía:

$$W = \Delta E_c - \Delta E_g \Rightarrow$$

Entonces:

$$(p_1 - p_2) \Delta V = \frac{1}{2} \Delta m v_2^2 - \frac{1}{2} \Delta m v_1^2 + \Delta m g y_2 - \Delta m g y_1$$

Toda la ecuación dividimos por ΔV y sabiendo que la densidad $\rho = \Delta m / \Delta V$, operamos y obtenemos la Ecuación de Bernoulli sobre líquido no compresible, sin viscosidad, estático y sin rotación.

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 - \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g y_2 - \rho g y_1$$

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g y_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g y_2$$

La Ecuación de Bernoulli generalmente se expresa como:

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g y = cte.$$

2.2.4. Aplicaciones de la Ecuación de Bernoulli

2.2.4.1. Teorema de Torricelli

En la Figura 8. aplicamos Bernoulli y considerando como nivel de referencia el fondo del depósito, obtenemos:

$$v_2^2 = v_1^2 + 2 \frac{P - P_a}{\rho} + 2gh$$

Con el contenedor abierto, (P_a : presión atmosférica):

$$P = P_a$$

$$P - P_a = 0$$

Como el área A_1 sobrepasa al área A_2 , entonces v_1 es mucho menor que v_2 , por consiguiente:

$$v_2 = \sqrt{2gh}$$

El teorema de Torricelli se aplica para todo orificio situado en la pared del depósito a una profundidad h .

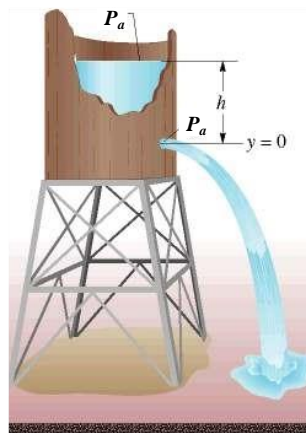


Figura 8. Teorema de Torricelli.

Fuente: <https://www.ugr.es/earth/apuntesbasesfisicas>

Si el depósito está cerrado, v_1 se puede despreciar y la presión P en el depósito cerrado es inmenso, entonces $2gh$ es despreciarse respecto a $2(P - P_a)/\rho$. Por consiguiente, esta velocidad en la salida debería ser:

$$v_2 = \sqrt{2(P - P_a)/\rho}$$

Donde ρ es la densidad y si el depósito está un parte lleno de fluido entonces ρ es su densidad. Si este depósito sólo tiene gas, ρ es su densidad de este gas.

2.2.4.2. Tubo de Venturi

Este tipo de tubo converge gradualmente hasta un área angosta para volver a divergir, en el que no se presenta turbulencia en el estrechamiento.

$$P + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_a + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

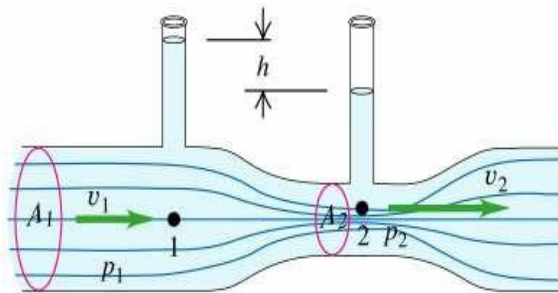


Figura 9. Tubo de Venturi.

Fuente: <https://www.ugr.es/earth/apuntesbasesfisicas>

2.2.4.3. Contador Venturi

Este contador es usado para observar la velocidad en los líquidos y por consiguiente el caudal, llamándosele entonces Venturi.

En la Figura 11, P_1 y P_2 se miden con tubos piezométricos y A_1 y A_2 se conocen.

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad (\text{I})$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (\text{II})$$

Resolviendo (I) y (II):

$$\frac{A_1 v_1}{A_2} = v_2 \Rightarrow P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \left(\frac{A_1 v_1}{A_2} \right)^2$$

$$v_1^2 - \left(\frac{A_1 v_1}{A_2} \right)^2 = \frac{2(P_2 - P_1)}{\rho} \Rightarrow v_1^2 \left(1 - \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 \right) = \frac{2(P_2 - P_1)}{\rho}$$

$$v_1^2 = \frac{2(P_2 - P_1)}{\rho} / \left(1 - \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 \right) \Rightarrow v_1 = \sqrt{\frac{2(P_2 - P_1)}{\rho} / \left(1 - \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 \right)} = \sqrt{2gh / \left(\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right)}$$

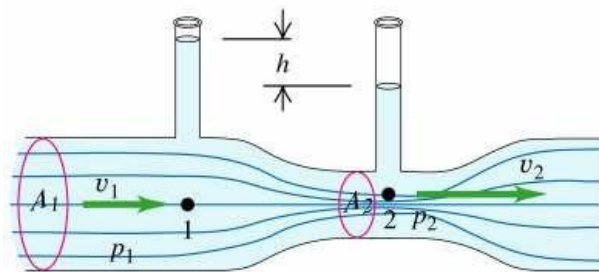


Figura 10. Contador Venturi.

Fuente: <https://www.ugr.es/earth/apuntesbasesfisicas>

2.2.4.4. Medida de la presión en fluidos móviles

Para un fluido que pasa por un canal cerrado, P se puede medir con un manómetro de tubo abierto.

En la Figura 12.:

- La rama de un manómetro unificada a un hueco en la pared del canal.
- Dentro del flujo se intercambia una sonda sin provocar turbulencia.

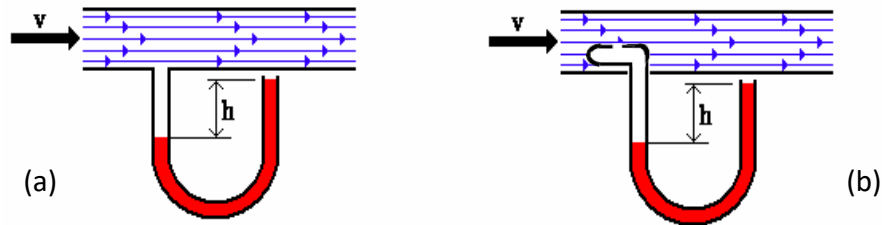


Figura 11. Manómetros diferenciales de tubo abierto.

Fuente: <https://www.ugr.es/earth/apuntesbasesfisicas>

Aplicando manometría en la figura (a):

$$P - P_a = \rho_m g h_1 \Rightarrow P = P_a + \rho_m g h_1$$

donde:

ρ_m : densidad del líquido del manómetro

El tubo de Pitot mide a través de una sonda la presión P_2 en la corriente del fluido, donde la velocidad es cero.

Aplicando la ecuación de Bernoulli en (b):

$$P_2 = P + \frac{1}{2} \rho v^2 = P_a + \rho g h_2$$

donde:

P_2 = lectura del manómetro.

P = presión estática

$\frac{\rho v^2}{2}$ = presión dinámica

Para un punto “1” su presión es P , y para un punto 2:

$$P_2 = P + \frac{1}{2} \rho v^2 \qquad \frac{1}{2} \rho v^2 = \rho_m g h$$

En la sonda del tubo de Pitot la lectura es directa, si se instala en una aeronave, mide la velocidad de esta respecto al aire.

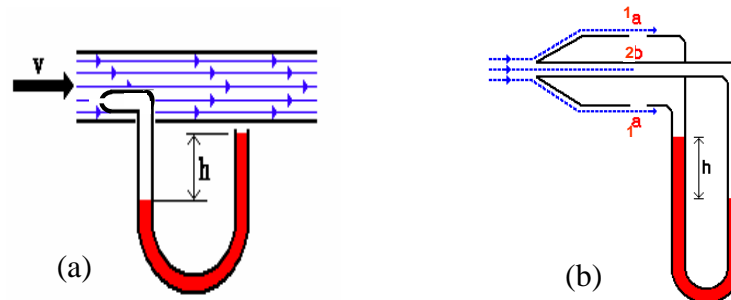


Figura 12. Medición con tubo de Pitot.

Fuente: <https://www.ugr.es/earth/apuntesbasesfisicas>

2.2.4.5. Sustentación sobre el ala de un avión

El diseño aerodinámico de las alas de una nave hace que la velocidad de flujo de aire aumente en la cima del ala y disminuyendo su presión, mientras que por debajo de ala se conserva cercana a la presión atmosférica, que a su vez genera la sustentación del avión debido a que la fuerza hacia arriba es mayor que la que actúa hacia abajo. Si se produce flujo turbulento sobre el ala del avión la sustentación disminuye por lo que predice la ecuación de Bernoulli; en casos extremos pierde velocidad bruscamente.

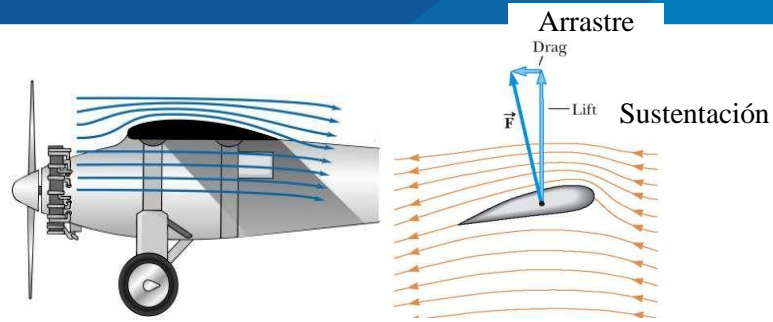


Figura 13. Fuerza de sustentación sobre el ala de un avión.

Fuente: <https://www.ugr.es/earth/apuntesbasesfisicas>

2.2.4.6. Pérdida de carga

El concepto de Bernoulli se adecua para considerar la pérdida de carga por la viscosidad del fluido. La velocidad de un líquido en dos áreas de igual diámetro debería ser idénticas por la ecuación de la continuidad, pero por la viscosidad la presión disminuye a lo largo de los tubos horizontales pudiendo verse en la Figura 14 (b):

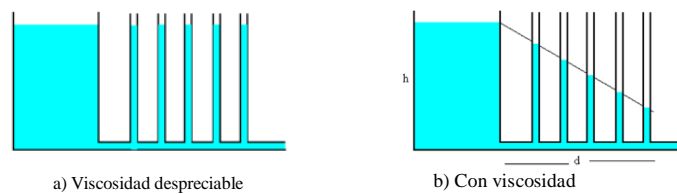


Figura 14. Pérdida de carga con y sin viscosidad.

Fuente: <https://www.ugr.es/earth/apuntesbasesfisicas>

Considerando la pérdida de carga como H_f y aplicando la ecuación de Bernoulli establecemos una ecuación para de pérdida de carga:

$$\left(\frac{P_1}{\rho} - \frac{v_1^2}{2} + \rho g y_1 \right) - \left(\frac{P_2}{\rho} - \frac{v_2^2}{2} + \rho g y_2 \right) = H_f$$

H_f = pérdida de carga

v_1, v_2 = velocidad para las secciones del tubo



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES

Se describen y detallan las características técnicas de instrumentación, equipos, módulos y dispositivos empleados en la investigación experimental, referidos a los instrumentos para medir las condiciones ambientales de Puno, equipos del módulo básico de suministro de agua y dispositivos del módulo del principio de Bernoulli donde se tomaron datos experimentales para la demostración de la conservación de energía del agua.

3.1.1. Instrumentos para medir experimentalmente las condiciones ambientales

Considerando que el tema de investigación por su naturaleza experimental se realizó para una altura de 3'827 m. sobre el nivel del mar, es necesario especificar los parámetros ambientales como: presión atm. y humedad relativa. Se utilizaron los siguientes instrumentos:

3.1.1.1. Barómetro de Sifón

Este instrumento fue empleado del Laboratorio de Física de la UNA - Puno, es un instrumento utilizado para la medición de la presión atmosférica. Consiste en un tubo de vidrio curvado de 3 mm de diámetro con brazos largos cerrados y cortos abiertos. El tubo está instalado sobre una placa que también tiene una lámina extraíble (S) que contiene un dispositivo de lectura de presión y un termómetro (Th). La parte superior de la hoja móvil (S) tiene una escala milimétrica (T) y la parte inferior tiene un marcador con una marca (M₁). La hoja deslizante se puede mover dentro del carril guía y fijar con tornillos

moleteados.

El marcador (M_2) se utiliza para leer con precisión la altura de la columna de mercurio del brazo largo. Evite que entren burbujas de aire en el tubo de vidrio utilizando una trampa (F). en las figuras siguientes se aprecia la descripción del barómetro.

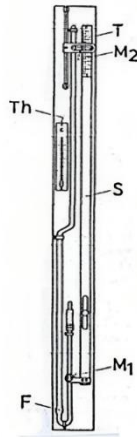


Figura 15. Esquema del Barómetro Sifón.

Elaboración propia.



Figura 16. Barómetro de Sifón. E. Leybold – Alemania.

Fuente: Fotografía - Laboratorio Física – UNA – Puno

3.1.1.2. Psicrómetro

Un psicrómetro es un dispositivo usado en meteorología para mediciones de la humedad relativa o el nivel de vapor de agua del aire. Un higrómetro es una variación especial cuyo propósito es leer directamente la humedad relativa del aire.

El psicrómetro utilizado es un instrumento de lectura indirecta; Consta de 2 termómetros, el primero de bulbo seco y el segundo de bulbo húmedo. La temperatura de bulbo seco (TBS) y la temperatura de bulbo húmedo (TBH) se utilizan para establecer la humedad relativa en una tabla psicrométrica.



Figura 17. Psicrómetro.

Fuente: Fotografía – SENAMHI: Estación Meteorológica

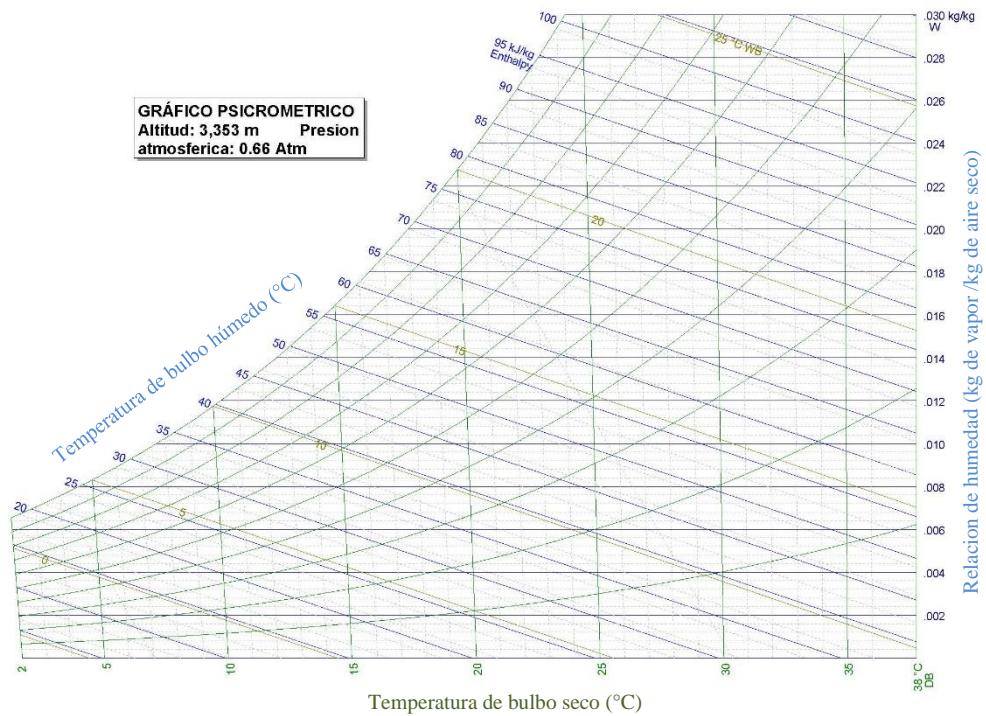


Figura 18. Carta Psicrométrica.

Elaboración propia

3.1.2. Equipos del módulo básico de suministro de agua

El módulo básico es móvil y sirve de soporte para montar el módulo Bernoulli, suministra la cantidad de H_2O para un ensayo técnico. La proporción de H_2O en el circuito cerrado está constituida para el depósito de reserva en la parte inferior, utilizando una bomba de rendimiento tope, y en la parte superior el tanque de medición, que recoge el H_2O que regresa. El depósito para medición de caudal pequeño utiliza un matraz graduado. Los caudales volumétricos se miden utilizando un cronómetro.

La superficie superior del módulo básico facilita la disposición segura de los equipos del módulo del principio de Bernoulli. Los equipos y dispositivos del módulo básico permiten durante el ensayo experimental:



- La provisión de agua en el circuito cerrado del módulo.
- Determinar el caudal volumétrico.
- La disposición adecuada del equipo de pruebas se ubica encima de la superficie del módulo.
- Recoger el agua de goteo.

En el depósito de medición se mide el caudal dentro dos secciones diferentes. La escala exterior permite la medida exacta del volumen de agua.

Mediante una válvula de compuerta se conectan los depósitos de medición y reserva. Un tubo en la abertura existente en la parte superior evita el rebose del agua.

La motobomba impulsa el agua hacia arriba, la que se distribuye a los ensayos mediante un acoplamiento.

La calidad de los materiales protege la corrosión. El módulo básico es móvil, desplazándose sobre llantas de jebe.

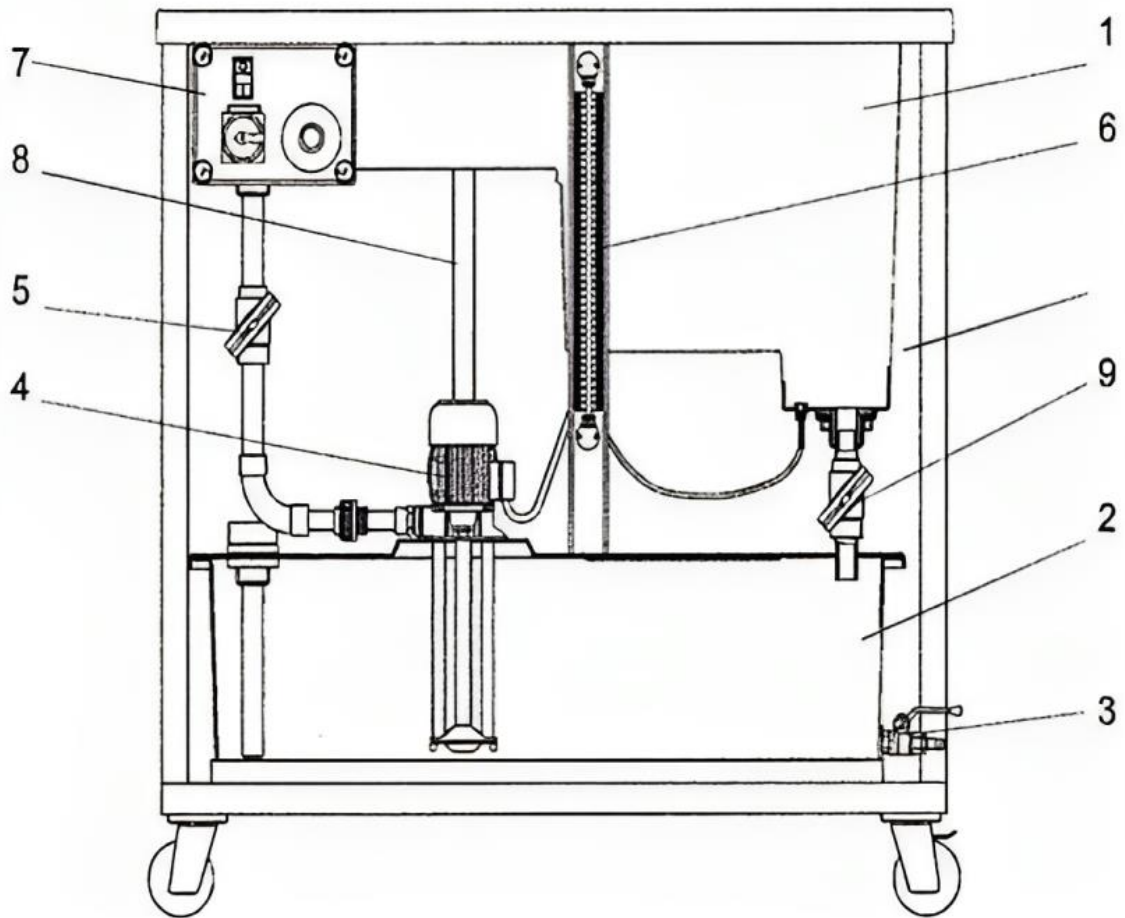
Para medir volúmenes pequeños se usa la probeta de dos litros que se adjunta al módulo.



Figura 19. Módulo básico de suministro de agua.

Fuente: Gunt Hamburg

Se muestra en la siguiente ilustración todas las partes de este módulo básico de suministro de agua.



- 1 Deposito de medición volumétrico con recorrido de medición como canal abierto
- 2 Deposito
- 3 Válvula de purga
- 4 Bomba centrífuga
- 5 Válvula para ajustar el caudal
- Tubo de cristal con escala para leer el nivel de agua
- 7 Caja de distribución
- 8 Tubo de rebose

Figura 20. Esquema de las partes del módulo básico de suministro de agua.

Elaboración propia.



3.1.2.1. Especificaciones técnicas de los equipos utilizados

a) Especificaciones técnicas de la Bomba

- Potencia : 250 W
- Caudal máximo : 150 L/min
- Altura de elevación máxima : 7,6 m
- Capacidad del depósito de reserva : 180 L

b) Especificaciones técnicas del tanque de medición

- Caudales grandes : 40 L
- Caudales pequeños : 10 L

c) Especificaciones técnicas del canal

- Largo × Ancho × Altura : 530 × 150 × 180 mm

d) Especificaciones técnicas de la probeta graduada, caudales pequeños

- Capacidad : 2 L

e) Especificaciones técnicas del cronómetro digital

- Rango : 0 - 9h 59 min 59 seg

f) Especificaciones técnicas de la corriente eléctrica de una fase

- 230 V, 50/60 Hz
- 120 V, 60 Hz/CSA

3.1.3. Dispositivos del módulo del Principio de Bernoulli

El módulo del principio sobre Bernoulli en forma fácil y segura se coloca encima de la parte superior del módulo de pruebas de suministro de H₂O.

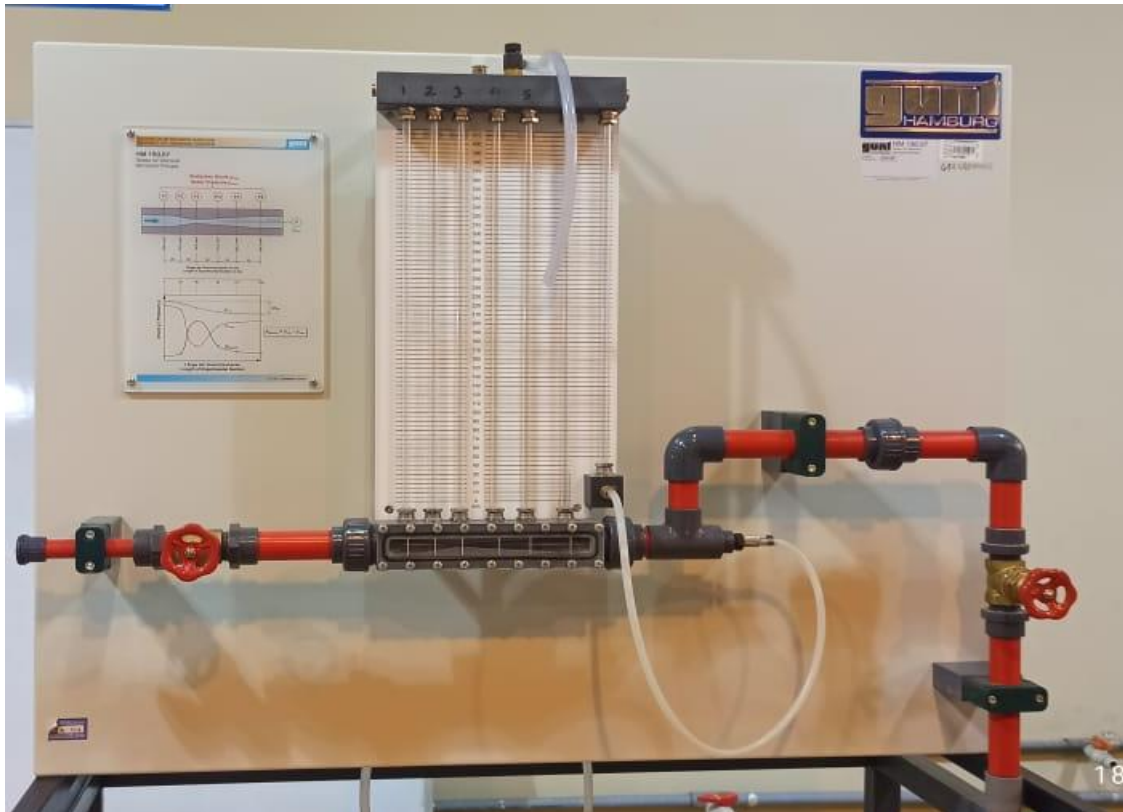
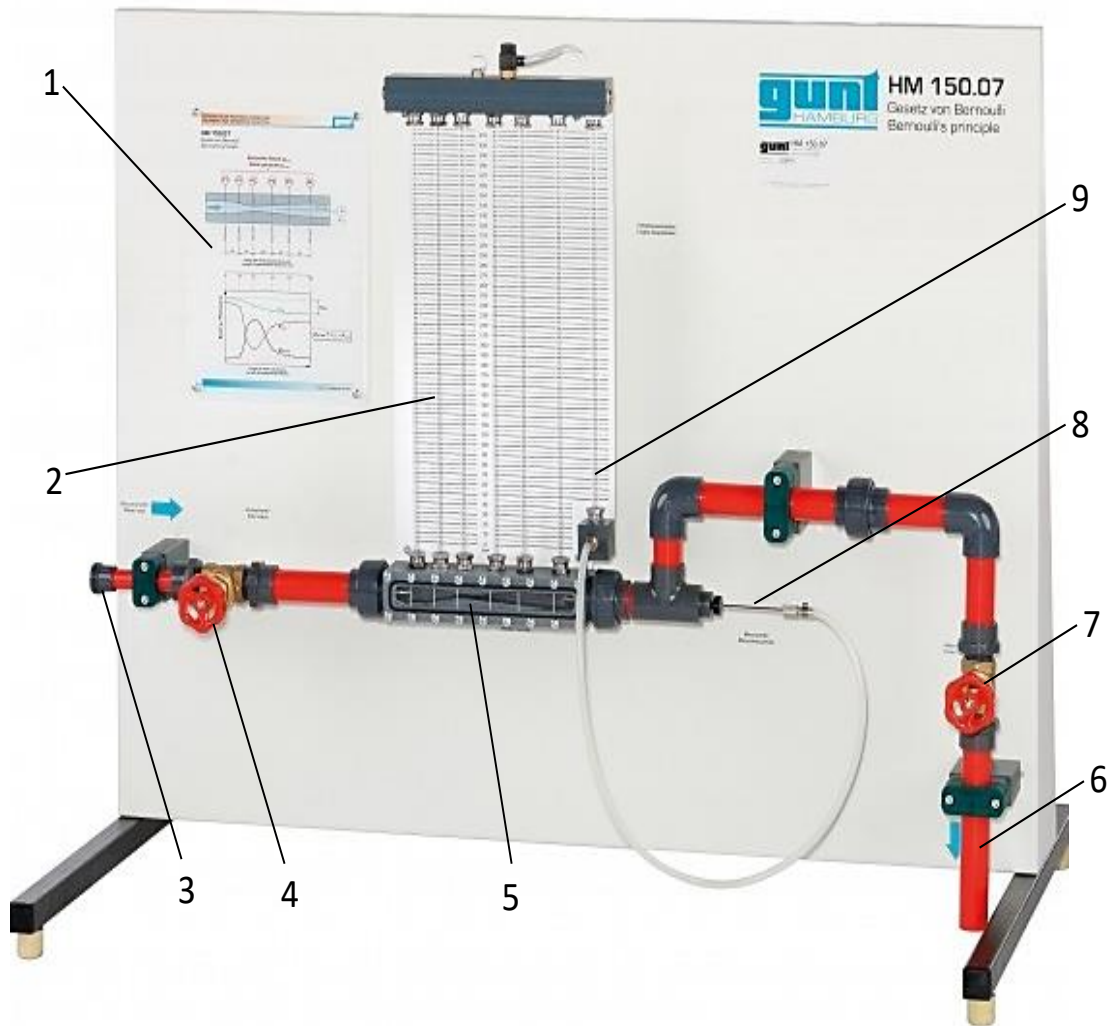


Figura 21. Módulo de ensayo del principio de Bernoulli.

Fuente: Gunt Hamburg

Se muestra en la figura siguiente la ubicación de los dispositivos e instrumentos que forman parte del módulo del principio de Bernoulli:



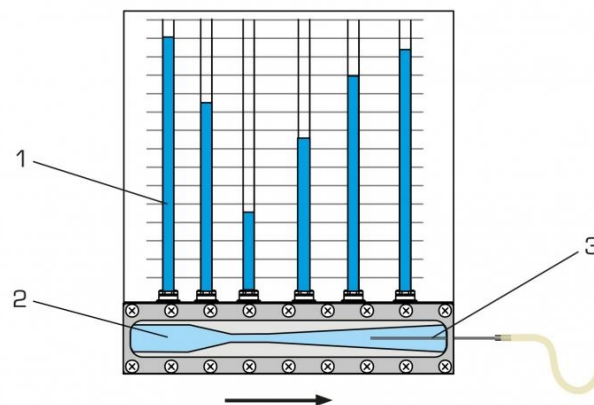
- | | |
|---|------------------------------------|
| 1 Esquema, | 6 Salida de agua, |
| 2 Tubos manométricos (presiones estáticas), | 7 Válvula para salida de agua, |
| 3 Alimentación de agua, | 8 Tubo de Pitot, |
| 4 Válvula para alimentación de agua, | 9 Tubo manométrico (presión total) |
| 5 Tubo de Venturi, | |

Figura 22. Partes del módulo de ensayo para el principio de Bernoulli

Fuente: Gunt Hamburg

3.1.3.1. Tubo de Venturi

El principio de Bernoulli establece la relación de la velocidad del flujo del agua y su presión respectiva en un punto del flujo. El módulo de prueba experimental consta de una sección de tubería que contiene un tubo Venturi transparente con puntos de medición para medir la presión estática del flujo de agua en seis tuberías de presión, como se muestra en la siguiente figura:



Medición de las presiones en un tubo de Venturi:

- 1 tubos manométricos para indicar las presiones estáticas,
- 2 tubo de Venturi con puntos de medición,
- 3 tubo de Pitot para medir la presión total, desplazable axialmente

Figura 23. Tubo de Venturi.

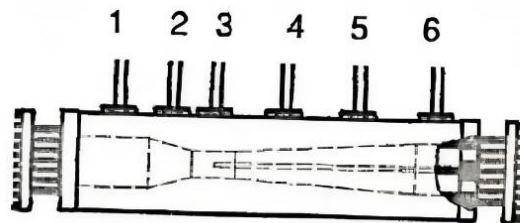
Elaboración propia

Especificaciones Técnicas del tubo de Venturi

Hay 6 puntos de medición para la medición de presión estática en el tubo Venturi y sus características técnicas son:

- Área : 84 – 338 mm²
- Ángulo de entrada : 10,5°
- Ángulo de salida : 4°
- Presión estática : 0 – 290 mm CA

Las especificaciones técnicas de los diámetros y áreas de los 6 puntos de medida de las presiones estáticas en el tubo de Venturi se muestran en la tabla siguiente:



Punto de medición i	A _i [mm ²]	A _i [m ²]
1	338,6	338,6 × 10 ⁻⁶
2	233,5	233,5 × 10 ⁻⁶
3	84,6	84,6 × 10 ⁻⁶
4	170,2	170,2 × 10 ⁻⁶
5	255,2	255,2 × 10 ⁻⁶
6	338,6	338,6 × 10 ⁻⁶

Tabla 2. Especificaciones técnicas de los 6 puntos de medida en este tubo de Pitot

Elaboración propia.



Figura 24. Midiendo presiones estáticas en el tubo de Venturi del módulo

Elaboración propia.

3.1.3.2. Módulo del Principio de Bernoulli

El módulo de prueba Bernoulli tiene un tubo Venturi transparente para medir la presión estática y un tubo Pitot colocado dentro del tubo Venturi para medir la presión total. El tubo Pitot está desplazado axialmente. Por medio de la placa frontal transparente del tubo Venturi se puede observar la ubicación del tubo Pitot.

Para medir las presiones estáticas el tubo Venturi posee 6 puntos de medición, como se puede apreciar en la ilustración siguiente:

En forma fácil y segura se coloca el equipo de ensayo sobre la superficie superior del módulo básico de suministro de agua donde se mide el caudal.



3.1.3.3. Especificaciones técnicas del Módulo Principio de Bernoulli

Especificaciones del tubo de Venturi

- Área : 84 - 338 mm²
- Ángulo de la entrada : 10,5°
- Ángulo de la salida : 4°

Especificaciones del tubo de Pitot:

- Área desplazable : 0 - 200 mm²
- Diámetro : 4 mm

Especificaciones del tubo y conexiones de PVC

Rango de Medida:

- Presión estática : 0 - 290 mm CA
- Presión total : 0 - 370 mm CA

Dimensiones y pesos:

- Largo × Ancho × Altura : 1100 × 680 × 900 mm
- Peso aproximado : 28 Kg



3.2. MÉTODOS

3.2.1. Medición de la altitud de Puno

La medición de la altitud de Puno, ciudad donde se realizó la investigación de la tesis, se obtendrá de la realizada mediante el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), institución especializada, cuya información meteorológica de la altitud es garantizada.

3.2.2. Metodología para medir la presión atmosférica

Esta medición se llevó a cabo con un barómetro de sifón marca Leybold de Alemania cuyo manual de uso especifica la metodología de medición. El brazo abierto se cierra por medio de un tubo pequeño de goma con un tapón de vidrio. Por medio de golpes suaves, se hace caer en el recipiente de mercurio del brazo abierto hasta que el nivel de la columna de Hg alcance la parte estrecha del tubo. Durante la operación hay que cuidar que no entre ninguna burbuja de aire en el brazo corto, dejando caer el mercurio gota a gota. Una vez desalojado el mercurio excesivo, se fija el barómetro a una pared sólida.

Para tomar una lectura, coloque la parte móvil (S) de modo que la marca del marcador (M_1) coincida con precisión con la altura de la columna de mercurio del brazo corto. Fije la lámina (S) y coloque la marca (M_2) a la altura de la columna de Hg en el brazo largo. La presión atmosférica se lee directamente en la escala (T) en milímetros de Hg. Para mediciones exactas hay que tener en cuenta la temperatura, la altura y la gravedad; condiciones ambientales del lugar.

Como se muestra en el cuadro 3.1 las correcciones que se usaran en las columnas barométricas y otras columnas de mercurio para corregir los efectos de la temperatura. Estas modificaciones disminuyen la altura observada del Hg a 0°C. Dado que la gravedad

específica del mercurio a 0 °C es 13,595 g/cm³ y la aceleración se debe 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 la presión siempre debe corregirse para gravedad cero.

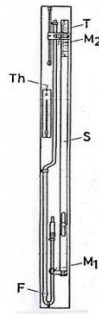


Figura 25. Esquema del barómetro de sifón.

Elaboración propia.

Corrección	Temperatura de la columna (°C)	Lecturas observadas de la columna (mmHg)								
		400	450	500	550	600	650	700	730	850
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
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

Tabla 3. Correcciones de temperatura en barómetros y columnas de Hg.

Fuente: ASME Power Test Codes

En la Tabla 3. da las correcciones por efecto de la gravedad que deben aplicarse a las columnas barométricas y otras columnas mercuriales. Estas correcciones deben sumarse algebraicamente a las alturas corregidas a 0°C para obtener las alturas corregidas al nivel del mar a 45° N de latitud, donde la aceleración de la gravedad es 9,80665 m/s².

Altitud (m)	0		600		1200		1800		2400		3000	
Altura de la columna (mmHg)	760	700	700	650	650	600	600	550	550	500	500	450
Latitud grados (°)	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

Tabla 4. Correcciones de gravedad en barómetros y columnas de Hg.

Fuente: ASME Power Test Codes

La corrección por altitud se da en la Tabla 4.

Altitud media (m)	Temperatura media de la atmósfera (°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

Tabla 5. Correcciones por altitud en mm, para barómetros y columnas de mercurio.

Fuente: ASME Power Test Codes.

Para terminar, la presión atmosférica con corrección por condiciones ambientales se determinará de la siguiente manera:

$$P_{at_c} = P_{at} \pm C_t \pm C_g \pm C_h$$

Donde:

P_{at_c} : Presión atmosférica corregida

P_{at} : Presión atmosférica medida

C_t : Corrección por temperatura

C_g : Corrección por gravedad

C_h : Corrección por altitud

3.2.3. Metodología para ensayo de demostración del Principio de Bernoulli

3.2.3.1. Preparación del ensayo

En la preparación del ensayo se debe familiarizar con el modelo y tener en cuenta los siguientes ítems:

- Tener cuidado y considerar que los resultados de las mediciones pueden tener errores.
- Es necesario nivelar el equipo de ensayo con un nivel.

- El módulo básico de suministro de agua se debe disponer de modo que la salida de agua llegue al depósito de medición.
- Conectar adecuadamente la unión de mangueras entre el módulo básico y el módulo para aplicar el principio de Bernoulli.

3.2.3.2. Ejecución del ensayo

Tenga en cuenta las siguientes precauciones al realizar las pruebas. Al medir la presión, el depósito del módulo básico debe estar vacío y la válvula de cierre debe estar abierta. Porque si sube el nivel del H₂O en el tanque medidor, el cabezal de la bomba de agua cambiará; esto causará un cambio en la presión. Por lo tanto, debe mantenerse la presión de elevación de la bomba con caudal mínimo, sino las mediciones serán erróneas. Si durante el ensayo varía el caudal, entonces se debe volver a ajustar las dos válvulas, lo que determinará que las mediciones de las presiones estén en el rango respectivo; el procedimiento a seguir en la ejecución del ensayo es el siguiente:

- En el módulo básico de suministro de H₂O abrir la válvula de cierre.
- Para que la sonda pueda desplazarse con pequeña resistencia, se debe ajustar la tuerca de racor (1) de prensaestopas de la sonda, como se observa en la figura:

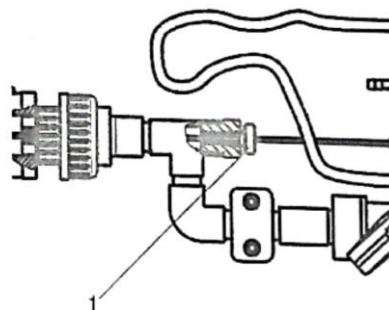


Figura 26. Tuerca racor (1) de la prensa estopa.

Fuente: Gunt Hamburg.

- Simultáneamente abrir ambas válvulas salida-entrada.
- Debe cerrarse la válvula de salida (2) del manómetro de tubito simple.
- Proceder a prender la bomba y abrir de manera lenta la válvula principal del módulo básico de suministro de agua.
- Abrir en forma simultánea las válvulas de rebose (3) de los manómetros.
- Luego con mucho cuidado proceder a cerrar la válvula de salida hasta que todos los manómetros estén con la irrigación correcta.

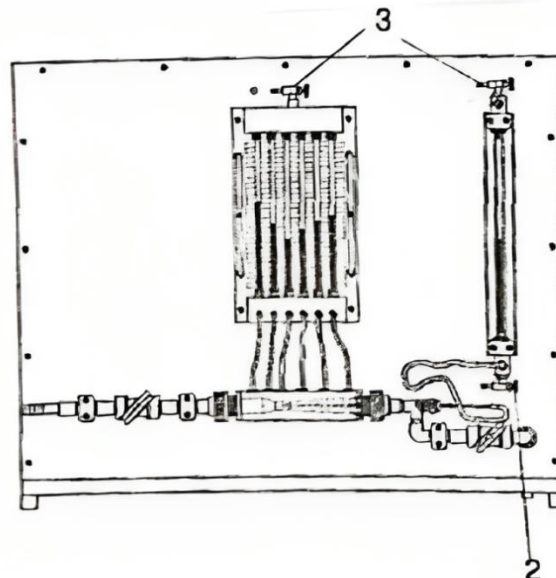


Figura 27. Válvulas de salida y válvulas de rebose.

Fuente: Gunt Hamburg.

- Ajustar el nivel del agua en el tubo manómetro de manera que no supere el límite inferior (5) y el límite superior (4) del rango de medición, y al mismo tiempo ajustar las válvulas de entrada y salida.

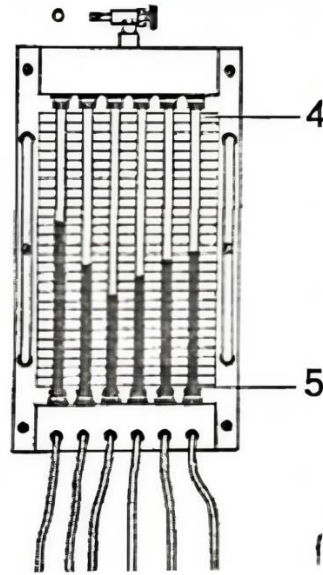


Figura 28. Límites mínimo y máximo del área de medición.

Fuente: Gunt Hamburg

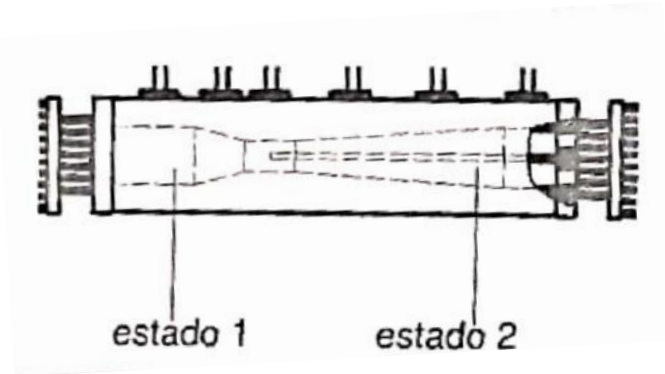
- Realizar las mediciones de las presiones estáticas en los manómetros, posteriormente colocar la sonda del tubo de Pitot en el nivel correspondiente y medir la presión total. Llenar el depósito de medición del lóbulo básico de 20L a 30L, cronometrando el tiempo de llenado y determinar el flujo volumétrico.

3.2.3.3. Cálculos en los ensayos

Sabemos que para una altura h constante, la ecuación de Bernoulli es:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} = \text{constante}$$

Tenga en cuenta las pérdidas por fricción y convierta las presiones P_1 y P_2 a escalas de presión estática (columna de H_2O) h_1 y h_2 :



$$h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_{fric}$$

Donde:

P_1 : Presión de la sección A,

h_1 : Altura de la columna de agua en la sección A,

v_1 : velocidad en la sección A,

P_2 : Presión de la sección A₂,

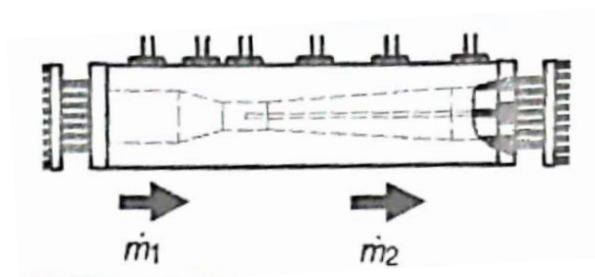
h_2 : Altura de la columna de agua en la sección A₂,

v_2 : velocidad en la sección A₂,

ρ : densidad del agua,

h_{fric} : nivel de pérdida.

También, por la ecuación de la continuidad:



$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

Siendo $\dot{m} = \dot{v} \rho$

Entonces: $\dot{v}_1 \rho = \dot{v}_2 \rho$

$$\dot{v}_1 = \dot{v}_2$$

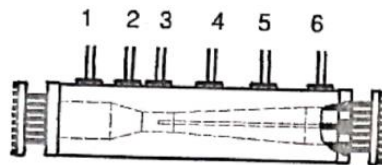
Donde: $\dot{v} = Av$

Por consiguiente

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 = \dot{v} = Q = \text{constante}$$

Para el cálculo de las velocidades en el tubo de Venturi que tiene 6 niveles de medición; considerando que el caudal (Q) es constante la velocidad teórica en cada punto de medición se determinara a través de la siguiente ecuación.

$$v_i = \frac{\dot{v}}{A_i} = \frac{Q}{A_i}$$



Punto de medición i	Di [mm]	A [m ² · 10 ⁻⁴]
1	28,4	6,33
2	22,5	3,97
3	14,0	1,54
4	17,2	2,32
5	24,2	4,60
6	28,4	6,33

Figura 29. Diámetros y áreas de los niveles del tubo Venturi.

Fuente: Gunt Hamburg.



En los ensayos experimentales, se considerará las siguientes relaciones para los cálculos de las alturas dinámicas:

$$h_{din} = h_{total} - h_{estat}$$

Para calcular las velocidades (v_i) se determinará considerando el cálculo de las presiones dinámicas mediante la ecuación:

$$V = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P_{din}}{\rho}}$$

$$V = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_{din}}$$



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Condiciones Ambientales

En las investigaciones es imprescindible que se especifiquen las condiciones ambientales del lugar donde se realizan, teniendo en cuenta que éstas pueden influir en resultados experimentales, considerando que una investigación realizada al nivel del mar puede tener resultados diferentes si ésta se realiza por ejemplo a 4000 metros sobre el nivel del mar.

Los parámetros importantes que se tuvieron que medir con respecto a las condiciones ambientales del laboratorio donde se realizó la investigación fueron la altitud con respecto al nivel del mar, la humedad relativa, la presión atmosférica y la temperatura. Con respecto a la altitud sobre el nivel del mar a la que se encuentra Puno, se consideró una fuente de información confiable como es el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) de Puno, que considera una altitud de 3812 metros sobre el nivel del mar para la ciudad de Puno.

Para la medición de la humedad relativa se tomaron datos experimentales en la Estación Meteorológica del SENAMHI ubicado en la Avenida Floral frente a la UNA Puno.

La presión atmosférica se midió en el Laboratorio de Física de la Escuela Profesional de Físico Matemáticas de la UNA Puno (UNAP).

4.1.1.1. Medición de la humedad relativa

La medición de la humedad relativa es una medición indirecta, para lo cual en el trabajo de campo es necesario un psicrómetro y para el trabajo de gabinete donde se determina la humedad relativa es necesario el diagrama o Carta Psicrométrica

En la estación meteorológica del SENAMHI, específicamente en la caseta meteorológica donde se encuentra el Psicrómetro, se midió la temperatura de bulbo seco (TBS) y la temperatura de bulbo húmedo (TBH); lecturas de temperatura que proporciona este instrumento. Como se aprecia en la Figura 30, las temperaturas medidas en el trabajo de campo fueron:

$$TBS = 15^{\circ}\text{C}$$

$$TBH = 11,5^{\circ}\text{C}$$

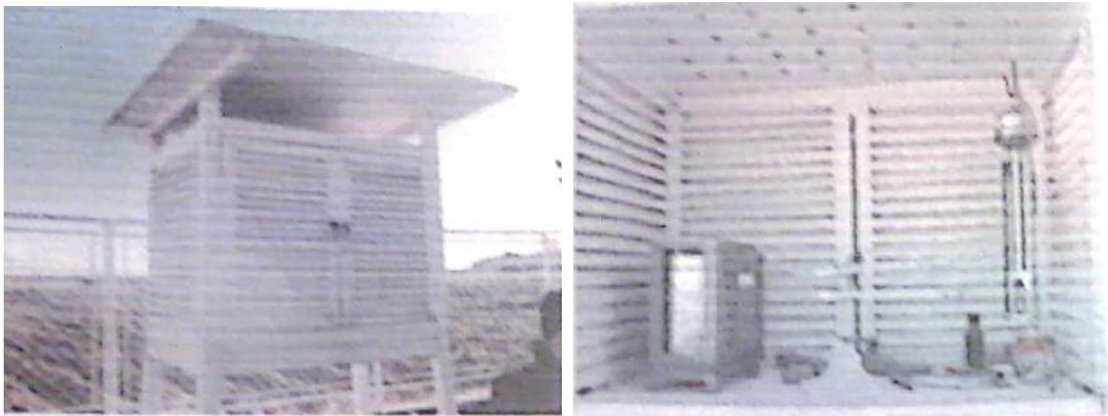


Figura 30. Caseta Meteorológica y Psicrométrica (extremo derecho).

Elaboración propia

Y en el trabajo de gabinete, utilizando el diagrama psicrométrico y las dos temperaturas experimentales se procedió a la determinación de la humedad relativa (h.r) obteniéndose una $h.r = 71\%$ como se muestra en la carta psicrométrica de la Figura 31:

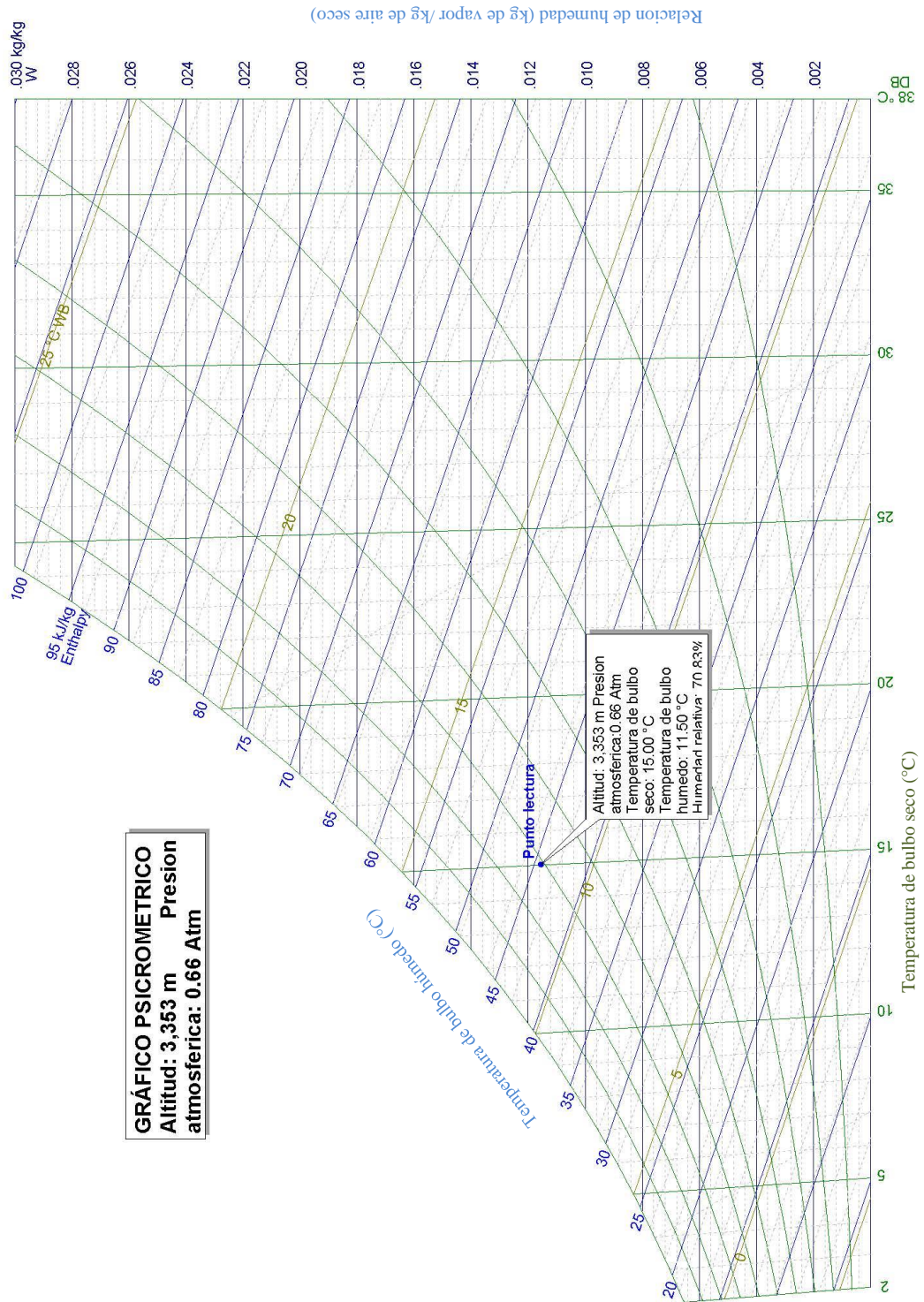


Figura 31. Carta Psicrométrica letrada.

Elaboración propia.

4.1.1.2. Medición de la presión atmosférica

La presión atmosférica con un barómetro de sifón marca Leybold's, cuya lectura fue de 486 mm Hg y una temperatura de 20°C, como se observa en la Figura 32:



Figura 32. Medición de la presión atmosférica y temperatura en el Laboratorio de Física de la FICA – UNAP.

Elaboración propia

Por nuestras condiciones climáticas que determina la altitud de Puno, se hace necesario corregir la lectura barométrica para tomar en cuenta:

1. Temperatura
2. Latitud (gravedad)
3. Altitud

Para lo cual utilizaremos las tablas basadas en datos de los ASME Power Test Codes.

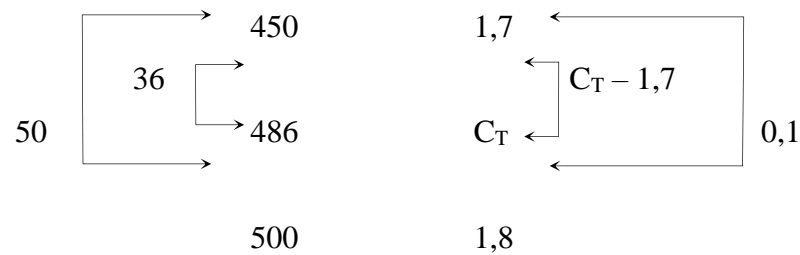
- En Tabla 6., muestra las correcciones que debemos usar en las columnas mercuriales de los barómetros para corregir los efectos de la temperatura.

Corrección	Temperatura de la columna (°C)	Lecturas observadas de la columna (mmHg)								
		400	450	500	550	600	650	700	730	850
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
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

Tabla 6. Corrección de T° para barómetros y columnas de Hg hasta 850 mm

Fuente: ASME POWER TEST CODES

Interpolando en la Tabla 6:



Operando:

$$\frac{C_T - 1,7}{0,1} = \frac{36}{50}$$

Entonces, la corrección por temperatura (C_T):

$$C_T = -1,772 \text{ mm Hg}$$

- Tabla 7, muestra las correcciones por latitud que está en función de la variación de la gravedad, por lo que se dan en la tabla correcciones de gravedad para barómetros y columnas de Hg y H₂O. La corrección por latitud (C_g) se calculará teniendo en cuenta la presión atmosférica de 436 mm Hg, la altitud de 3812 m y la latitud de Puno de 15,84°.

Altitud (m)	0		600		1200		1800		2400		3000	
Altura de la columna (mmHg)	760	700	700	650	650	600	600	550	550	500	500	450
Latitud grados (°)	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

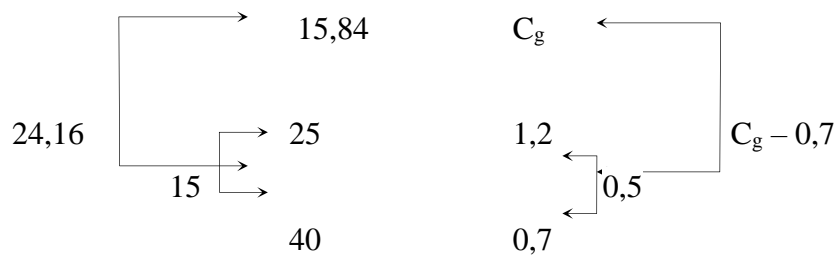
30	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,2	-1,0	-1,2	-1,0	-1,2	-1,0	-1,2	-1,0
35	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-1,0	-0,7	-1,0	-0,7	-1,0	-0,7
40	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,7	-0,3	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7
45	-0,0	-0,0	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
50	+0,2	+0,2	+0,2	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2

Tabla 7. Corrección de gravedad para barómetros y columnas de Hg y H₂O.

Fuente: ASME POWER TEST CODES

Considerando que la corrección por latitud de (C_g) para una altitud de 3000 m y más, no varía significativamente para la columna de mercurio para una latitud de 25° asumiremos que, para 3812 m, 486 mm Hg y latitud 25, la corrección $C_g = -1,2$.

Entonces extrapolaremos para una latitud de 15,84°:



Extrapolando:

$$\frac{C_g - 0,7}{24,16} = \frac{0,5}{15}$$

Operando obtenemos la corrección por latitud (gravedad):

$$C_g = 1,505 \text{ mm Hg}$$

- En la Tabla 8., muestra las correcciones para barómetros y manómetros en mm de Hg, por disminución de la presión atmosférica cada 100 m de aumento de altitud. La corrección por altitud (C_h) se determinará considerando la temperatura de 20°C y la

altitud de 3812 m. Analizando la Tabla se observa que la corrección por altitud tiende a mantenerse constante para los rangos donde se sitúan nuestros valores de altitud y temperatura, entonces: $C_h = -6,000$ mm Hg.

Altitud media (m)	Temperatura media de la atmósfera (°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

Tabla 8. Correcciones para barómetros en mm Hg por disminución de la presión atmosférica por la altitud.

Fuente: ASME POWER TEST CODES

Por consiguiente, la presión atmosférica de 486 mm Hg, corregida por las correcciones ambientales y geográficas será:



$$P_{at} = 486 - C_T - C_g - C_h$$

Entonces la P_{at} con las tres correcciones:

$$P_{at} = 486 - 1,772 - 1,505 - 6,000$$

$$P_{at} = 476,723 \text{ mm Hg}$$

4.1.2. Ejecución de ensayos para determinar datos experimentales para la demostración del Principio de Bernoulli

En mecánica de fluidos, la conservación de la energía está definida por el principio de Bernoulli, que establece que la energía mecánica de un fluido incompresible (densidad constante) e invisible (sin fricción) permanece constante aguas abajo; significa presión, velocidad, gravedad. La relación entre, y la velocidad aumenta al disminuir la presión. Conservación de energía, conversión entre energía cinética, energía de flujo y energía potencial.

La energía de cualquier fluido está constituida por energía cinética por su velocidad, energía potencia por la altura a la que se encuentra y energía de flujo pro la presión que tiene.

La ecuación de Bernoulli es la siguiente:

$$p_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \rho gh_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 = \text{Constante}$$

donde:

v : velocidad del fluido en área específica

ρ : densidad del fluido

p : presión del fluido en la línea de corriente



g : aceleración de la gravedad

h : altura desde una cota de referencia

La ecuación de Bernoulli expresa que la energía posee un fluido al pasar por un punto “1” de una línea de corriente debe ser igual a la que tiene en el punto “2”; “3” siempre y cuando no exista pérdidas.

Es importante al aplicar la ecuación las siguientes suposiciones:

- La viscosidad o fricción interna del fluido es cero.
- El caudal es constante.
- El fluido es incomprensible, densidad constante.
- La aplicación de la ecuación de Bernoulli es a lo largo de una línea de corriente.

4.1.2.1. Preparación para los ensayos a realizar

El módulo de laboratorio para demostrar el principio de Bernoulli se ubicó de manera precisa sobre el módulo básico de suministro de agua, el cual se conectó a la red hidráulica del laboratorio, el módulo básico opera de manera que crea un circuito cerrado para el flujo de agua.

El módulo Bernoulli tiene un tubo de Venturi que tiene seis puntos de medición que son agujeros pequeños donde se instalan tubos piezométricos para la medición de las presiones estáticas que se muestran en un panel en el equipo.

Mida la presión total en seis puntos del Venturi de la misma manera que las seis presiones estáticas. La presión total se mide en el manómetro mediante una sonda móvil que se mueve axialmente con respecto al Venturi, que está sellado con una junta de prensaestopas.

Considerando la Figura 33 donde se muestra detalladamente el esquema del módulo Bernoulli, se siguió el siguiente procedimiento para poner en puesta de servicio el equipo para realizar los ensayos.

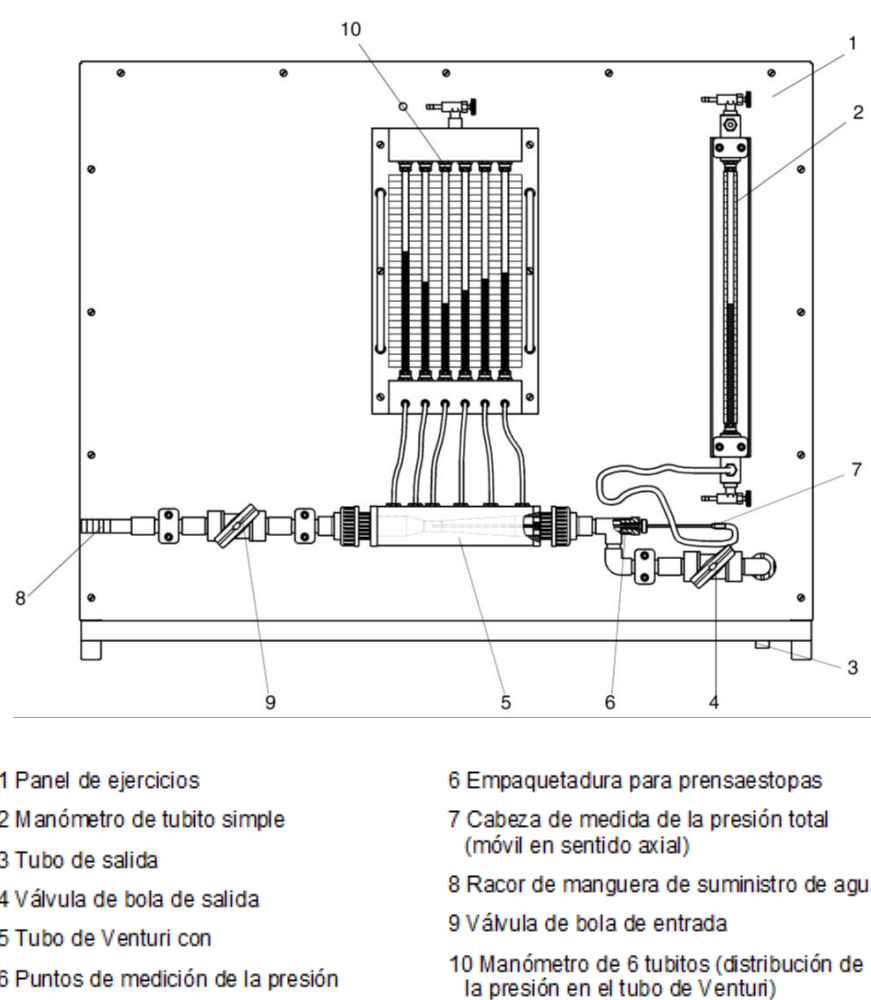


Figura 33. Detalles del Módulo para demostración del principio de Bernoulli.

Fuente: Gunt Hamburg.

Procedimiento:

- Realizar el montaje del Módulo Bernoulli sobre el módulo básico de suministro de agua, uniendo la manguera que sale de la bomba con la tubería a través del racor de manguera de suministro de agua (8).



- La tuerca del conector (6) se ajustó con precisión para poner operativa la sonda del tubo de Pitot para la medición de las presiones totales, de manera que puedan desplazarse axialmente libremente.
- Abra simultáneamente las válvulas de bola de entrada (9) y salida (4), la válvula de ventilación en el manómetro de seis tubos (10) y la válvula de ventilación en el manómetro de columna (2).
- Arrancar la bomba y en forma lenta abrir su válvula de salida.
- Cierre la válvula de bola de salida (4) hasta que el manómetro (10) se lave con agua y calibre el flujo a medir en el cuello del Venturi.
- En la hoja de datos experimental preparada anteriormente, registre las lecturas de presión estática en el manómetro del colector y la presión total en 6 puntos de medición, colocando con precisión la punta del tubo de Pitot en cada punto de medición en cada sección.
- Considere el volumen recomendado de 10 a 15 litros en el tanque del módulo básico de suministro de agua, mida el caudal y calcule el tiempo de llenado.

4.1.2.2. Cálculo del caudal (Q)

Se tomó en cuenta la recomendación del manual del módulo, en el depósito de medición se hizo subir el nivel del agua de un volumen inicial de 21 litros a 33 litros, cronometrando el tiempo de variación de estos dos volúmenes en un tiempo de 131 segundos.

Para medir el volumen de agua, cierre la válvula deslizante al final del vaso medidor y lea el volumen final en el tubo de vidrio. El caudal (Q) se calculó empleando la relación

entre el volumen medido y el tiempo cronometrado matemáticamente:

$$Q = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t}$$

Donde:

$$v_2 = 33 \text{ L} = 0,033 \text{ m}^3$$

$$v_1 = 21 \text{ L} = 0,021 \text{ m}^3$$

$$\Delta t = 131 \text{ s}$$

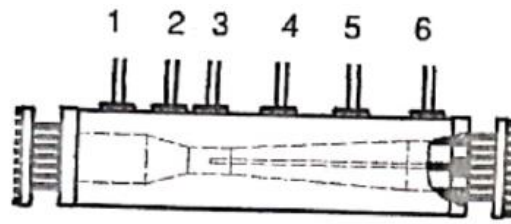
Entonces:

$$Q = \frac{0,033 - 0,021}{131}$$

$$Q = 0,916 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

4.1.2.3. Cálculo de las velocidades en el tubo de Venturi

El caudal (Q) a través de un tubo Venturi es constante, pero sabemos que la velocidad a la que fluye el agua a través del dispositivo depende del caudal y del área por la que pasa el líquido. Los experimentos se llevaron a cabo manteniendo constante el caudal de agua a través del tubo Venturi, la velocidad solo dependerá del área, por especificaciones técnicas del tubo, para los seis puntos donde se calcularon las velocidades se utilizaron la información que se muestra en la Figura 34; donde se tienen los diámetros y áreas respectivas de los seis puntos de medición:



Puntos i	A_i [mm ²]	A_i [m ²]
1	338,6	$338,6 \times 10^{-6}$
2	233,5	$233,5 \times 10^{-6}$
3	84,6	$84,6 \times 10^{-6}$
4	170,2	$170,2 \times 10^{-6}$
5	255,2	$255,2 \times 10^{-6}$
6	338,6	$338,6 \times 10^{-6}$

Figura 34. Tubo de Venturi con los diámetros y áreas de los seis puntos de medición.

Elaboración propia.

Por consiguiente:

$$Q = v \cdot A$$

Como el caudal es constante, la velocidad en cada área de los puntos de medición

será:

$$v_i = \frac{Q}{A_i}$$



Para el primer punto de medición los cálculos son:

$$v_1 = \frac{Q}{A_1}$$

Donde:

$$Q = 0,916 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A_1 = 338,6 \text{ mm}^2 = 338,6 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Entonces:

$$v_1 = \frac{0,916 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{338,6 \times 10^{-6} \text{ m}^2}$$

$$v_1 = 0,2705 \text{ m/s}$$

Además, se calcularon otras velocidades en los 6 puntos de medición de Venturi utilizando los datos obtenidos de la Tabla 4. y teniendo en cuenta que el caudal es constante:

$$v_2 = \frac{0,916 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{233,5 \times 10^{-6} \text{ m}^2}$$

$$v_2 = 0,3923 \text{ m/s}$$

$$v_3 = \frac{0,916 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{84,6 \times 10^{-6} \text{ m}^2}$$

$$v_3 = 1,0827 \text{ m/s}$$

$$v_4 = \frac{0,916 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{170,2 \times 10^{-6} \text{ m}^2}$$



$$v_4 = 0,5382 \text{ m/s}$$

$$v_5 = \frac{0,916 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{255,2 \times 10^{-6} \text{ m}^2}$$

$$v_5 = 0,3589 \text{ m/s}$$

$$v_6 = \frac{0,916 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{338,6 \times 10^{-6} \text{ m}^2}$$

$$v_6 = 0,2705 \text{ m/s}$$

Las velocidades que se calcularon se tabularon en la Tabla 9. siguiente:

Punto de medición (i)	Q (m ³ /s)	A_i (m ²)	v_i (m/s)
1	0916×10^{-4}	$338,6 \times 10^{-6}$	0,2705
2	0916×10^{-4}	$233,5 \times 10^{-6}$	0,3923
3	0916×10^{-4}	$84,6 \times 10^{-6}$	1,0827
4	0916×10^{-4}	$170,2 \times 10^{-6}$	0,5382
5	0916×10^{-4}	$255,2 \times 10^{-6}$	0,3589
6	0916×10^{-4}	$338,6 \times 10^{-6}$	0,2705

Tabla 9. Velocidades calculadas para las áreas de los seis puntos de medición.

Elaboración propia.

Para la ecuación del principio de Bernoulli, que demostraremos:

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g z_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g z_2 = \dots = p_6 + \frac{1}{2} \rho v_6^2 + \rho g z_6 \quad (1)$$

donde p_i ; v_i ; z_i constituyen la presión estática, velocidad del H₂O y la altura en el punto i respectivo; de la misma manera ρ es la densidad del H₂O y g la gravedad. Considerando que en el módulo Bernoulli “ p_i ” se midió experimentalmente a través de una altura manométrica “ h_i ”, dividimos cada término de la ecuación anterior (1) por el peso específico del agua $\gamma = \rho g$ y, en la experimentación el movimiento del agua es horizontal a través del tubo de Venturi, se tiene que las alturas $z_1 = z_2 = \dots = z_6$ son iguales, operando la ecuación (1) se simplifica a:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} = \dots = \frac{p_6}{\gamma} + \frac{v_6^2}{2g} \quad (2)$$

Donde “ $\frac{p_i}{\gamma}$ ” es la altura de presión estática y “ $\frac{v_i^2}{2g}$ ” corresponde a la altura de presión dinámica. Esta suma de ambas presiones se la denomina altura de presión total (h_t) que será constante a través de todo el recorrido del tubo de Pitot. En función a las seis velocidades calculadas y tabuladas en la Tabla 9 calculamos las alturas de presión dinámica que corresponde a las energías cinéticas que posee el agua en los seis puntos de medición, pero en metros de columna de agua “ $\frac{v_i^2}{2g}$ ”:

$$\frac{v_1^2}{2g} = \frac{(0,2705 \text{ m/s})}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,00373 \text{ m}$$

$$\frac{v_2^2}{2g} = \frac{(0,3923 \text{ m/s})}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,00784 \text{ m}$$

$$\frac{v_3^2}{2g} = \frac{(1,0827 \text{ m/s})}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,05975 \text{ m}$$

$$\frac{v_4^2}{2g} = \frac{(0,5382\text{m/s})}{2 \times 9,81\text{m/s}^2} = 0,01476\text{m}$$

$$\frac{v_5^2}{2g} = \frac{(0,3589\text{m/s})}{2 \times 9,81\text{m/s}^2} = 0,00657\text{m}$$

$$\frac{v_6^2}{2g} = \frac{(0,2705\text{m/s})}{2 \times 9,81\text{m/s}^2} = 0,00373\text{m}$$

Punto de medición (i)	Velocidad 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

Tabla 10. Alturas de presión dinámica calculadas para las áreas de los seis puntos de medición.

Elaboración propia.

4.1.2.4. Medición y cálculo de las alturas de presión estática en los seis puntos de medición del tubo de Venturi p_i/γ

En la Figura 33 de los detalles del módulo Bernoulli se aprecia en la parte central la parte (10) que es el manómetro de los seis tubitos, que corresponden a los 6 puntos de medida del tubo de Venturi; donde se midieron las seis alturas de presión estática, como se muestra en el esquema siguiente:

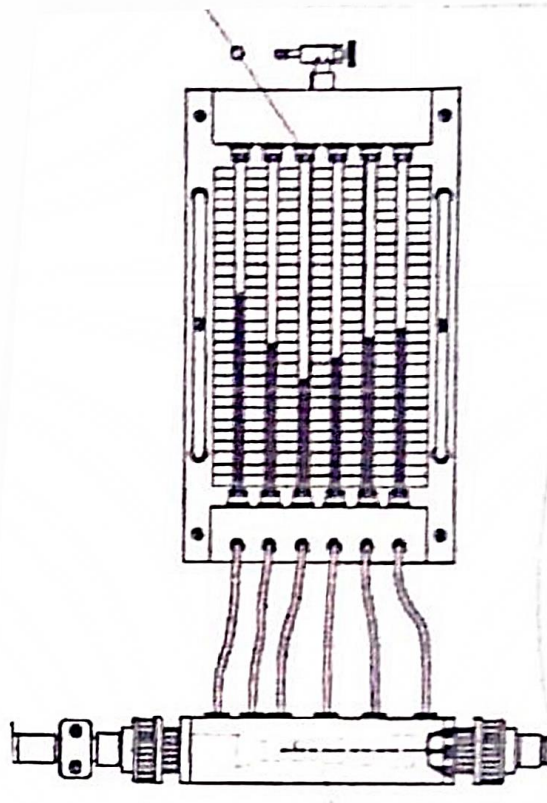


Figura 35. Manómetro de seis tubitos para la medición de las alturas de presión estática en los seis puntos de medición del tubo de Venturi.

Elaboración propia.

En los seis puntos de medición, por los tubitos manométricos subió el agua por los orificios que son tangenciales a la velocidad del agua, lo cual implica que solo miden la altura de presión estática en el lugar de cada orificio, es decir en cada uno de los seis puntos de medición que tienen secciones o áreas diferentes a lo largo del tubo de Venturi. Las lecturas medidas en el manómetro de los seis tubitos, correspondientes a las alturas de las presiones estáticas se muestran en la siguiente Tabla 11:

Punto de medición (i)	Altura de presión estática p_i/γ (mm)	Altura de presión estática 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

Tabla 11. Alturas de presión estática medidas en los seis puntos de medición del tubo de Venturi.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2.5. Demostración del Principio de Bernoulli

El principio de Bernoulli, también conocido como ecuación de Bernoulli, describe el comportamiento de un fluido que se mueve en una corriente. Se considera un líquido ideal, es decir, no pierde energía por viscosidad o fricción; determine si pasa por una tubería cerrada, circula y su energía es constante durante todo el recorrido, esta energía se compone de energía cinética por su velocidad, energía potencial por la altura del líquido y energía de flujo por la presión hidrostática que produce.

Considerando que el tubo de Venturi en el Módulo Bernoulli es horizontal, la energía potencial debido a la altitud de cada uno de los seis puntos de medición con respecto al piso del laboratorio es igual, entonces tenemos la ecuación (2) del acápite 4.1.2.3:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} = \dots = \frac{p_6}{\gamma} + \frac{v_6^2}{2g} = \text{Constante} \quad (3)$$

Reemplazando los valores calculados de las alturas de presión estática y dinámica



de las Tablas 10 y 11 en la ecuación (3):

$$\begin{aligned} 0,120 + 0,00373 &= 0,113 + 0,00784 = 0,057 + 0,05975 = 0,101 + 0,01476 \\ &= 0,111 + 0,00657 = 0,116 + 0,00373 \end{aligned}$$

Los resultados de las sumas de la expresión:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} = \dots = \frac{p_6}{\gamma} + \frac{v_6^2}{2g}$$

Resultan:

$$0,12373 \text{ m} = 0,12084 \text{ m} = 0,11675 \text{ m} = 0,11576 \text{ m} = 0,11757 \text{ m} = 0,11973 \text{ m}$$

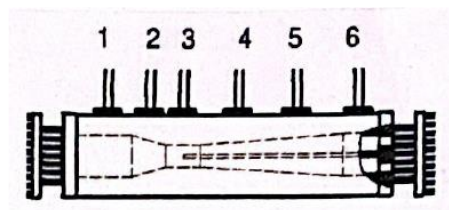
Análisis de la energía calculada en seis puntos de medición del tubo Venturi, se pudo observar que en cada punto, ninguno tiene un resultado con la exactitud igual al de los otros, pero teniendo en cuenta que se obtuvieron en un ensayo experimental, presentan las energías de cada punto de medición una aceptable aproximación expresada en metros de columna de agua; por lo que puede afirmar de una manera general que se cumplió la demostración del principio de Bernoulli en el trabajo de investigación desarrollado.

4.2. DISCUSIÓN

En la demostración del principio de Bernoulli el caudal empleado se calculó midiendo un volumen de agua entre 10 a 15 litros y cronometrando el tiempo de llenado del volumen considerando; en función a este caudal se calcularon las velocidades en cada uno de los seis puntos de medición del tubo de Venturi; por lo tanto, por la naturaleza del ensayo experimental no se consideró las pérdidas. Por estas consideraciones validaremos la precisión de los cálculos realizados, calculando el caudal que fluye a través del tubo de Venturi, considerando las pérdidas, empleando un paper o investigación de la American Society Mechanical Engineer (ASME).

En el módulo Bernoulli se puede aplicar el método de la ASME, para calcular el caudal con pérdidas aplicando la ecuación de Bernoulli en el tubo de Venturi entre el punto de entrada y el punto con menor diámetro de la tobera, se procedió 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 $A_3 = 84,6 \text{ mm}^2$:



Ecuación Bernoulli:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_3}{\gamma} + \frac{v_3^2}{2g} + z_3 \quad (\text{I})$$

Por ecuación de continuidad:

$$A_1 v_1 = A_3 v_3 \quad (\text{II})$$

Resolviendo (I) y (II) y considerando $z_1 = z_3$ por estar el tubo de Venturi horizontal y despejamos v_1 , velocidad teórica en la sección 1:

$$v_1 = \sqrt{\frac{2g \left(\frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_3}{\gamma} \right)}{\left(\frac{A_1}{A_3} \right)^2 - 1}}$$

Donde p_1/γ y 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_{teor}). Será igual a:

$$Q_{\text{teor}} = A_1 v_1$$

$$Q_{\text{teor}} = A_1 \cdot \sqrt{\frac{2g \left(\frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_3}{\gamma} \right)}{\left(\frac{A_1}{A_3} \right)^2 - 1}}$$

Reemplazando los valores experimentales respectivos:

$$Q_{\text{teor}} = 338 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \sqrt{\frac{2(9,81 \text{ m/s}^2)(0,120 \text{ m} - 0,057 \text{ m})}{\left(\frac{338 \times 10^{-6} \text{ m}^2}{84,6 \times 10^{-6} \text{ m}^2} \right)^2 - 1}}$$

$$Q_{\text{teor}} = 0,9715 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

Por la investigación de la ASME el coeficiente de caudal o descarga (C_q) considerará las pérdidas del fluido a través del tubo de Venturi y corregirá el cálculo del



caudal teórico (Q_{teor}).

Se calculará en el gráfico del ASME, que requiere el # de Reynolds, de cualquiera de los seis puntos de medición.

Calculamos el # de Reynolds para el punto 1:

$$N_R = \frac{v_1 \cdot D_1}{\nu}$$

Donde:

v_1 : Velocidad (punto 1)

D_1 : diámetro en la sección 1

ν : viscosidad cinemática del agua a 20°C

$$- v_1 = \sqrt{\frac{2(9,81 \text{ m/s}^2)(0,120 \text{ m} - 0,057 \text{ m})}{\left(\frac{338 \times 10^{-6} \text{ m}^2}{84,6 \times 10^{-6} \text{ m}^2}\right)^2 - 1}}$$

$$v_1 = 0,2874 \text{ m/s}$$

$$- A_1 = \frac{\pi D_1^2}{4} = 338 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\text{Entonces: } D_1 = 20,745 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$- \nu = 1,02 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Calculando el número de Reynolds:

$$N_R = \frac{(0,2874 \text{ m/s})(20,745 \times 10^{-3} \text{ m})}{1,02 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$N_R = 0,5845 \times 10^4$$

Ubicado en N_R en el gráfico siguiente determinamos el coeficiente de caudal C_q , considerando la tendencia lineal de la curva al inicio y al final;

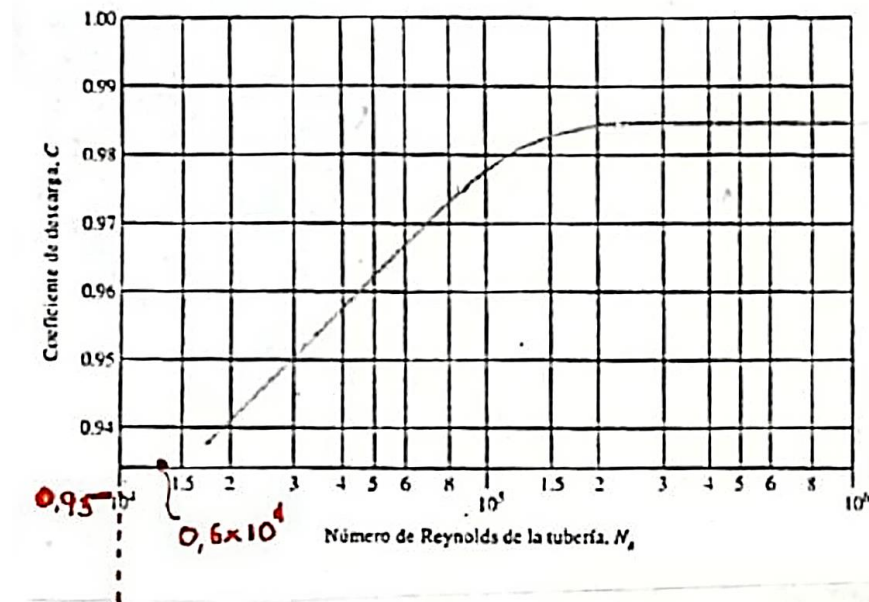


Figura 36. Gráfico para determinar el coeficiente de caudal (C_q)

Fuente: ASME Research Committee on Fluid Meters.

Entonces el caudal real calculado sería igual a:

$$Q_{\text{real}} = C_q \cdot Q_{\text{teor}}$$

$$Q_{\text{real}} = 0,9325(0,9715 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s})$$

$$Q_{\text{real}} = 0,9059 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

Analizando el Q_{real} calculado es menor con respecto al Q_{real} determinado experimentalmente porque el calculado considera las pérdidas que tiene el agua al fluir por el tubo de Venturi, por lo tanto, es más preciso.

$$Q_{\text{real calculado}} < Q_{\text{real experimental}}$$

$$0,9059 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} < 0,9160 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

En la Figura 37 se elaboró una comparación de la evolución de las velocidades calculadas con el caudal real por el procedimiento ASME, y las velocidades medidas o experimentales, se observa las mismas tendencias en ambas curvas.

Con todos los parámetros calculados considerando el caudal real ASME, valores más precisos por considerar pérdidas en el tubo Venturi, demostrándose con buena aproximación (de la misma manera el principio de Bernoulli).

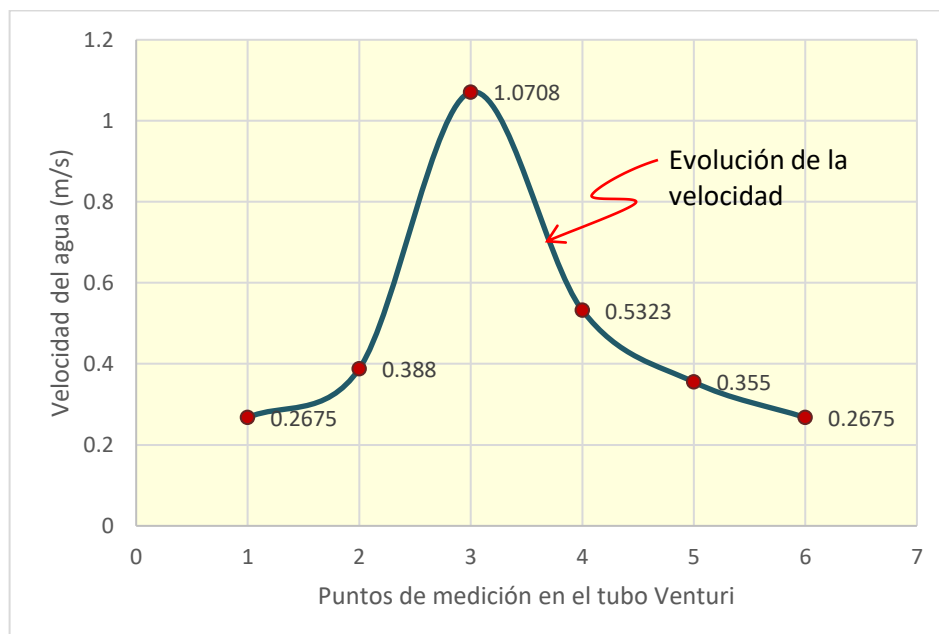


Figura 37. Evolución de las velocidades en los seis puntos de medición del tubo Venturi.

Elaboración propia.



Punto de medición (i)	$Q_{\text{real calculado}}$ (m ² /s)	Áreas 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 Principio Bernoulli $(\frac{p_i}{\gamma}) + (\frac{v_i^2}{2g})$ (m)
1	09059×10^{-4}	$338,6 \times 10^{-6}$	0,2675	0,00365	0,120	012365
2	09059×10^{-4}	$233,5 \times 10^{-6}$	0,3880	0,00767	0,113	012067
3	09059×10^{-4}	$84,6 \times 10^{-6}$	1,0708	0,05844	0,057	011544
4	09059×10^{-4}	$170,2 \times 10^{-6}$	0,5323	0,01444	0,101	011544
5	09059×10^{-4}	$255,2 \times 10^{-6}$	0,3550	0,00642	0,111	011742
6	09059×10^{-4}	$338,6 \times 10^{-6}$	0,2675	0,00365	0,116	011965

Tabla 12. Cálculo de los parámetros para la demostración del Principio de Bernoulli considerando el caudal calculado por el método ASME.

Elaboración propia.

V. CONCLUSIONES

En el desarrollo de la tesis se empleó el método científico, que es un sistema experimental de conocimientos que se fundamenta en la observación y simulación de fenómenos naturales, comprende: la observación, inducción, hipótesis, experimentación, antítesis o refutación y tesis o teoría. Por ser una investigación aplicada o experimental, nuestra hipótesis empírica o experimental se comprobó o verificó a través de una demostración experimental y no a través de la estadística; 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, teniendo las consideraciones necesarias y enfocando el análisis de estos conocimientos a la aplicación del principio de Bernoulli en un ensayo experimental que se realizó en un módulo de laboratorio de la marca GUNT – Alemania para experimentación del principio de Bernoulli. Empleando la metodología del ensayo técnico en ingeniería que nos permitió realizar en forma óptima la etapa de preparación del ensayo experimental familiarizándonos con el funcionamiento del módulo, operación de equipos del módulo y la medición de los parámetros experimentales del ensayo técnico; efectuándose conveniente la ejecución de ensayos preliminares de prueba para la toma de datos experimentales en seis puntos (áreas) a lo largo del tubo de Venturi, en donde se cumplió la conservación de la energía en la ecuación de Bernoulli:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 = \dots = \frac{P_c}{\gamma} + \frac{v_c^2}{2g} + Z_c$$

Estableciendo Bernoulli sintéticamente que la presión ejercida por un fluido está en una proporción inversa a su velocidad de flujo.



- Se ejecutó el ensayo experimental con cuyos datos experimentales se demostró experimentalmente la conservación de la energía del agua, reemplazando 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 , obteniéndose que los valores de la 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, concluyéndose que la precisión es aceptable en la ingeniería experimental y sus mínimas variaciones se debe a que el principio de Bernoulli está establecido para un fluido ideal incompresible sin viscosidad ni rozamiento.



VI. RECOMENDACIONES

- Considerando que en la ingeniería hay áreas que son importantes para ciertas regiones geográficas por su ubicación y ventajas competitivas como es el caso de Puno, cuya radiación solar es una de las mayores de los departamentos del país, en ese sentido se recomienda realizar investigaciones de estudios y análisis sobre la caracterización de la radiación en Puno y sus aplicaciones prácticas a la solución de problemas de la sociedad como es el frío en los meses de mayo a julio; también por los aspectos del cambio climático proponer soluciones para la cosecha de agua, aplicando conocimientos de hidráulica, turbomáquinas, motores de combustión, energías renovables, etc.
- Se recomienda realizar investigaciones experimentales similares a la que se realizó, utilizando los módulos de laboratorio de la Escuela Profesional para demostrar la teoría de ciertos aspectos de la Ingeniería, importantes para fortalecer la formación académica de los estudiantes como el área de las turbinas hidráulicas que es importante en la generación de energía hidráulica y contribuir a la mitigación del calentamiento global de la tierra.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, J. & García, E. (2008). *Diseño, Construcción e Instalación de un equipo modular para experimentar el teorema de Bernoulli*. (pp. 44-63). Tesis Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Iquitos.
- Cengel, Y. (2016). *Mecánica de fluidos*. (pp. 98-147). España. Editorial McGraw Hill.
- Delfosse, V. (2008). *Estudio experimental de la Ecuación de Bernoulli*. (pp. 15-29). Artículo Científico – Universidad del General San Martín. Argentina.
- Elera, J. & Caruajulca, L. (2014). *Demostración del Teorema de Bernoulli* (pp. 11-22). Guía Laboratorio Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque.
- 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.
- Giles, D. (2017). *Mecánica de fluidos e hidráulica*. (pp. 107-163). EE.UU. Editorial Schaum.
- Hernández, R. (2015). *Metodología de la Investigación*. (pp. 81-115). México. Editorial McGraw Hill.
- Hernando, L. (2012). *Un modelo de Aprendizaje activo de la ley de Presión Hidrodinámica de Bernoulli con Experimentos Discrepantes en estudiantes de Ingeniería*. (pp. 42-80). Tesis del Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional de México.



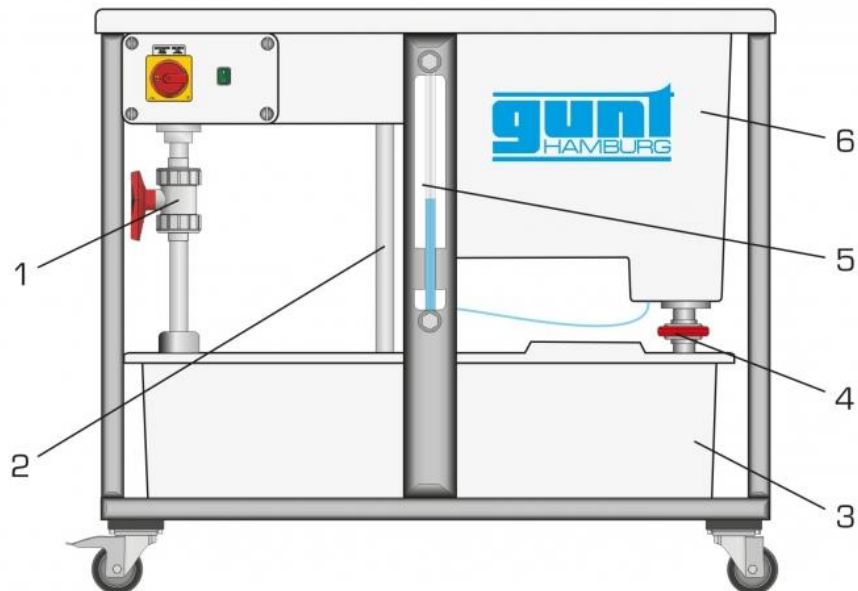
- Laboratorio de Aerodinámica y fluidos (2017). *Teorema de Bernoulli, Artículo*.
Universidad Tecnológica Nacional. Buenos Aires. Argentina.
- Mott, R. (2018). *Mecánica de fluidos*. (pp. 93-137). EE.UU. Editorial Pearson.
- Potter, M. (2015). *Mecánica de fluidos*. (pp.87-112). México. Editorial CENGAGE.
- Riaño, F. (2020). *Antecedentes de la Conocida Ecuación de Bernoulli*, (pp. 17-35).
Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental – Universidad Tecnológica de la
Habana, Cuba.
- Seymour, J. (2008). *El Laboratorio del Ingeniero Mecánico*. (pp. 77-121). Buenos Aires.
HASA. Editorial Hispano Americana.
- Shames, I. (2010). *Mecánica de fluidos*. (pp. 105-153). México. Editorial McGraw Hill.
- Tamburrino, A. (2015). *Ecuación de Bernoulli y Aplicaciones*. (pp. 1-12). Facultad de
Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile.
- GUNT HAMBURG (2018). *Manual de experimentos del Principio de Bernoulli*,
G.U.N.T. Geratebau, Barsbuttel, Alemania 2017.
- 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.
- Itriago, M. y Zerpa, C. (2011). *El planteamiento del problema en el proyecto de
investigación en ingeniería*. Revista de la Facultad de Ingeniería, Universidad
Central de Venezuela, UCV, V-26, N° 3, Caracas.
- Holman, J. (2015). *Métodos experimentales para ingenieros*, México, Editorial McGraw
Hill.



- Maldonado, J. y Beltran, A. (2019). *Laboratorios Universitarios: Experimentación e Innovación*. Revista Latina de Comunicación social, Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador.
- Murillo, J. (2015). *Métodos de investigación de enfoque experimental*. Edición especial. Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle.
- Álvarez, A. (2020). *Clasificación de las investigaciones*. Facultad de Ciencias Empresariales y Económicas. Universidad de Lima.
- Tena, E. y Turnbull, B. (2017). *Manual de investigación experimental*. Editorial Plaza, Valdez, Universidad Iberoamericana, México.
- Ortiz, M. y Cruz, A. (2022). *Principio de Bernoulli, Boletín Científico: Ingenio y Conciencia*. Escuela Superior Sahagun. Publicación Semestral vol. 9, N° 18.

ANEXOS

ANEXO 1. Módulo básico de suministro de agua.

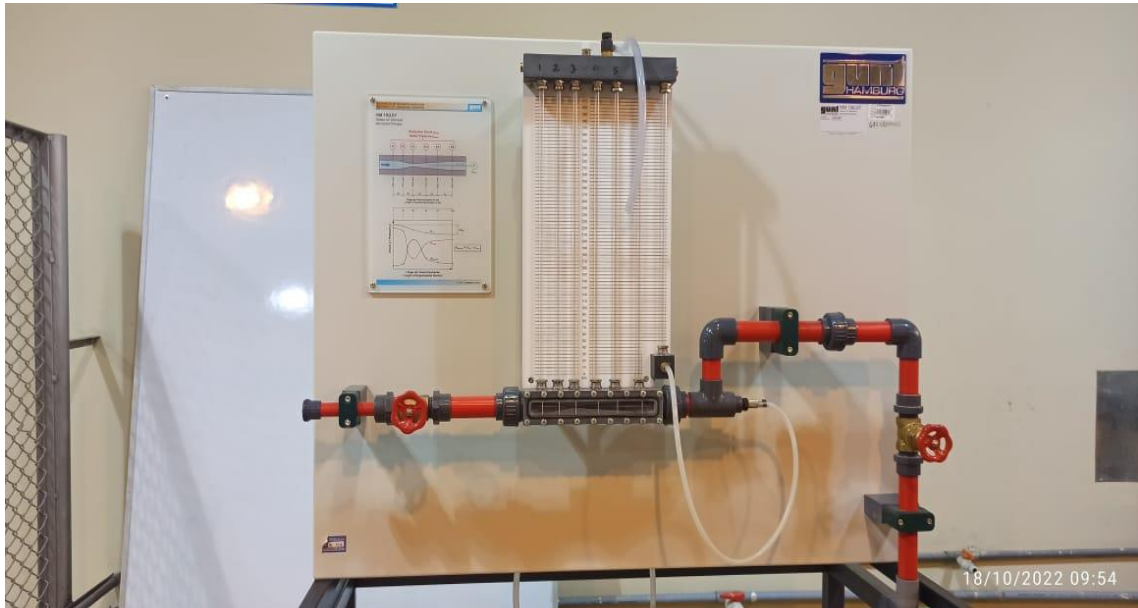


PARTES: 1 válvula de estrangulación, 2 rebose, 3 depósito de reserva con bomba sumergible, 4 válvula de compuerta para descargar el tanque de medición, 5 indicador de nivel, 6 tanque de medición

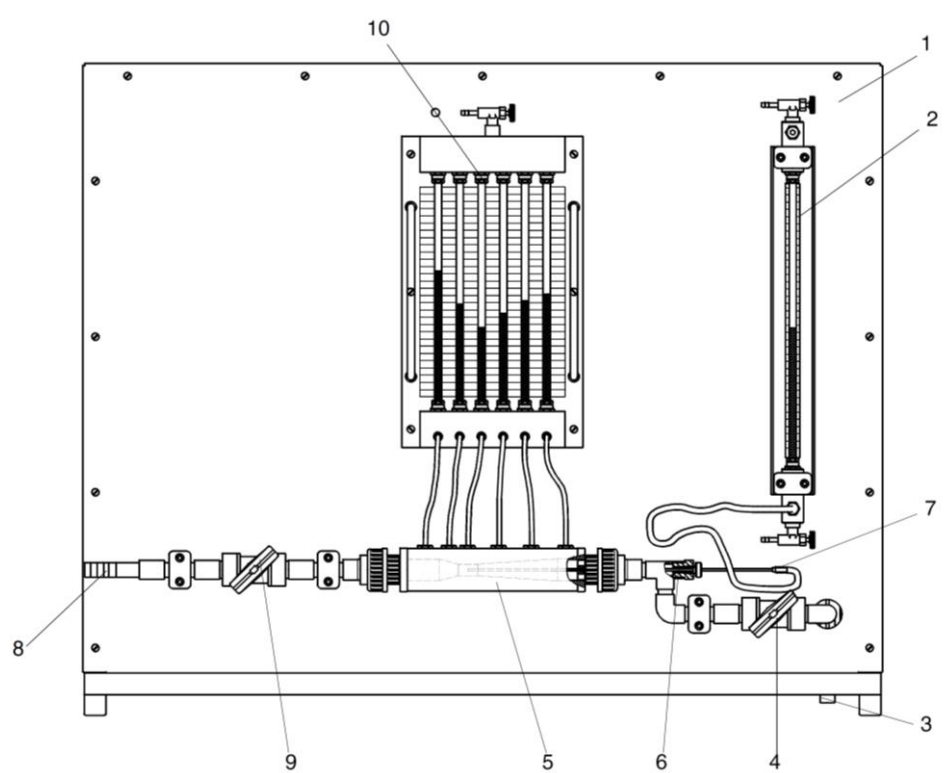
ANEXO 2. Fotografías del módulo básico de suministro de agua.



ANEXO 3. Módulo del Principio de Bernoulli

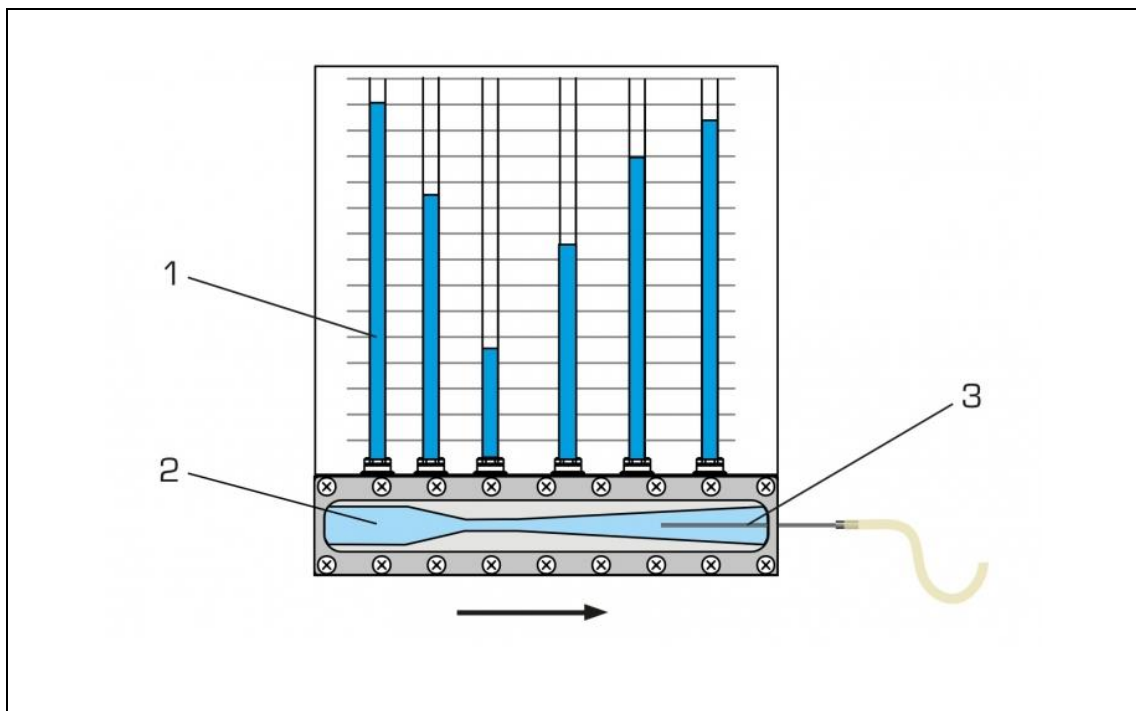
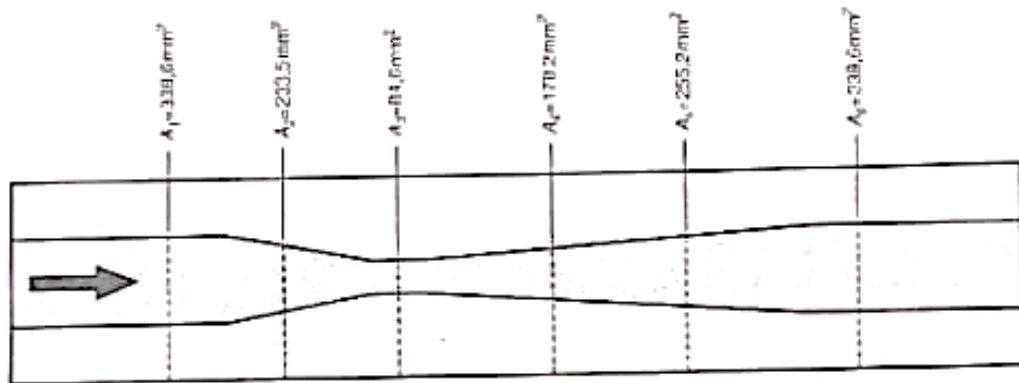
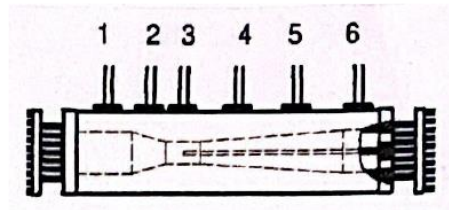


ANEXO 4. Esquema del módulo de ensayo del Principio de Bernoulli



- | | |
|------------------------------------|--|
| 1 Panel de ejercicios | 6 Empaquetadura para prensaestopas |
| 2 Manómetro de tubo simple | 7 Cabeza de medida de la presión total (móvil en sentido axial) |
| 3 Tubo de salida | 8 Racor de manguera de suministro de agua |
| 4 Válvula de bola de salida | 9 Válvula de bola de entrada |
| 5 Tubo de Venturi con | 10 Manómetro de 6 tubitos (distribución de la presión en el tubo de Venturi) |
| 6 Puntos de medición de la presión | |

ANEXO 5. Tubo de Venturi



Medición de las presiones en un tubo de Venturi

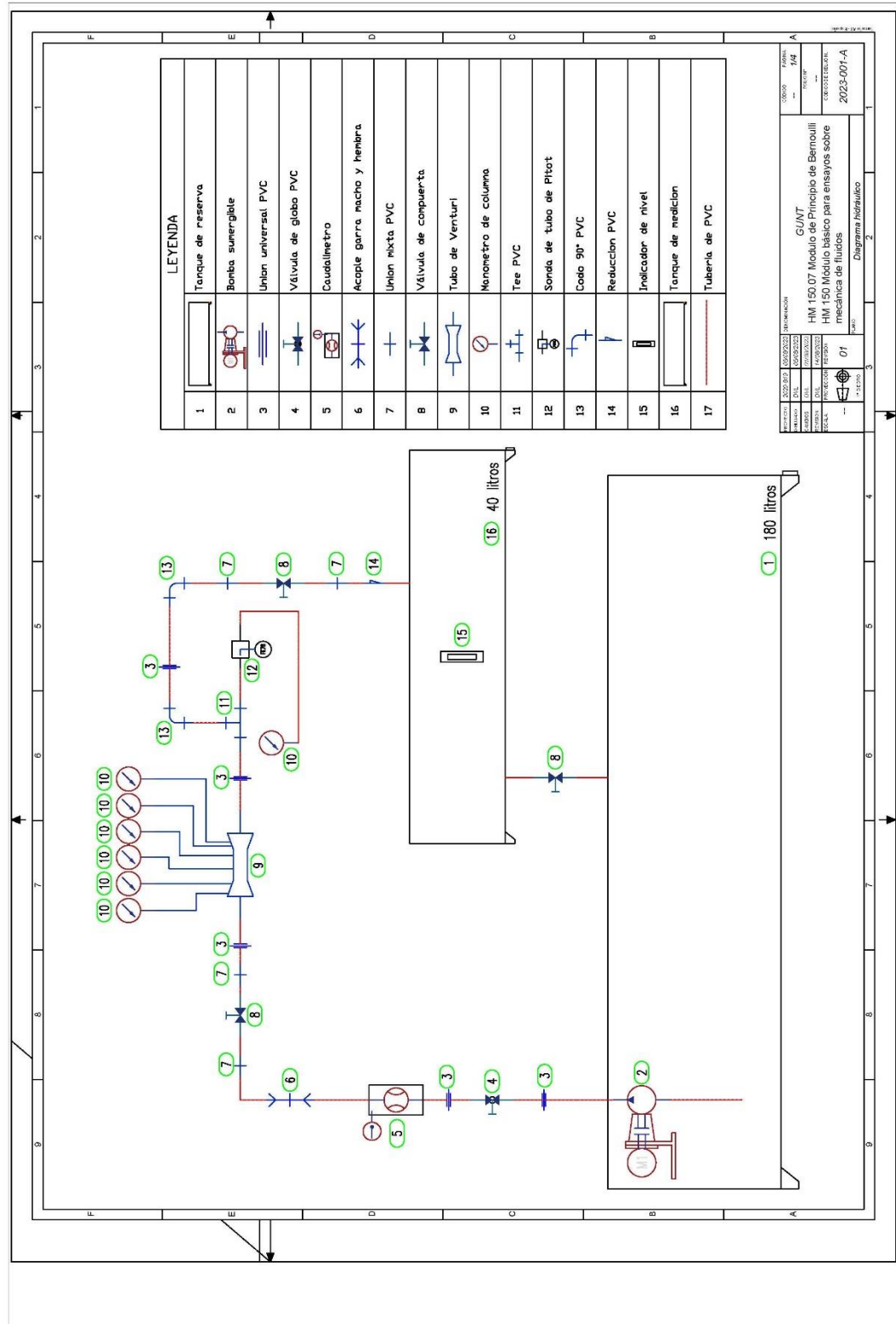
1 tubos manométricos para indicar las presiones estáticas, 2 tubo de Venturi con puntos de medición, 3 tubo de Pitot para medir la presión total, desplazable axialmente

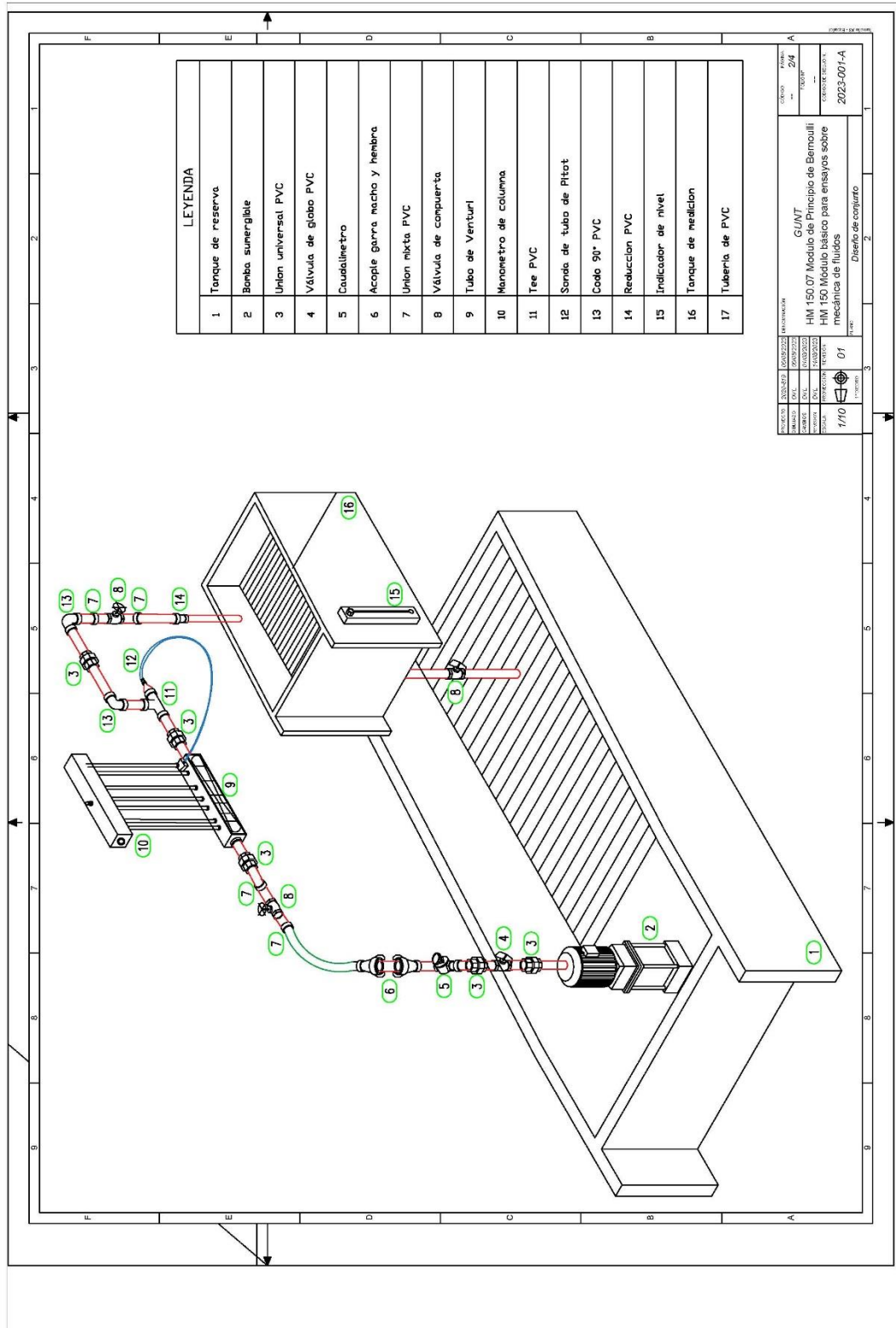
ANEXO 6. Medición de datos experimentales en el módulo de laboratorio.

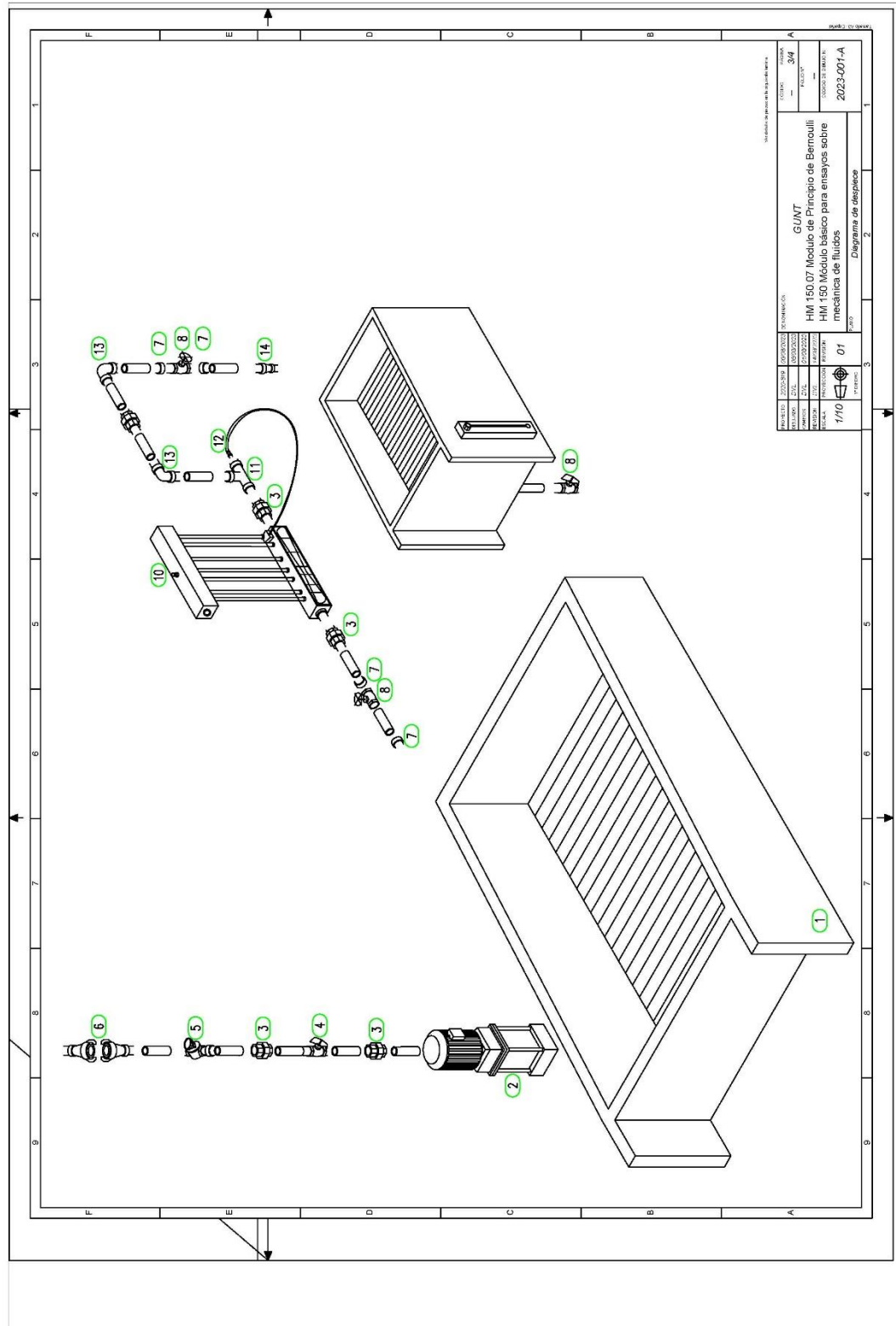




ANEXO 7. Planos de esquema P&ID de modulo, plano de conjunto y de despiece del módulo de laboratorio.









N°	Simbolo	m		Descripción	Cantidad
1				Tanque de reserva modulo de abasto / Volumen 180 litros	1
2				Electrobomba sumergible / 230 V, 60 Hz, 045 KV ø 3/4"	1
3				Union universal PVC ø 3/4"	5
4				Válvula de globo PVC ø 3/4"	1
5				Caudalímetro ELSTER M170	1
6				Acople garrn macho y hembra bronce ø 3/4"	1
7				Union nicta PVC ø 3/4"	4
8				Válvula de compuerta taton ø 3/4"	3
9				Tubo de Venturi con visor de metacrilato	1
10				Manometro de columna, modulo de 7 manómetros	1
11				Tee PVC ø 3/4"	1
12				Sonda de tubo de Pitot	1
13				Codo 90° PVC ø 3/4"	2
14				Reduccion PVC ø 3/4" ø 1/2"	1
15				Indicador de nivel tipo columna 0 - 50 Litros/s	1
16				Tanque de medición / capacidad de 50 litros	1
17				Tubería de PVC ø 3/4" / longitud variable por trazo	--

PROYECTO	INSTRUMENTOS	INSTRUMENTOS	RECONSTRUCCION	FECHA	4/9
REVISADO	DIV	00005222			
APROBADO	DIV	00005222			
PROYECTO	CON PROYECTO	REVISADO			
FECHA	01				
GUNT HM 150.07 Modulo de Principio de Bernoulli HM 150 Modulo básico para ensayos sobre mecánica de fluidos 2023.001-A Lista de componentes - Diagrama de despiece					



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Denis Velarde Laura
identificado con DNI 76010621 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
" Análisis y demostración experimental de la conservación de energía del agua aplicando el principio
de Bernoulli en un ensayo técnico de laboratorio
"

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 16 de setiembre del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Denis Velarde Laura
identificado con DNI 76010621 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
Ingeniería Mecánica Eléctrica

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

« Análisis y demostración experimental de la conservación de energía del agua aplicando el principio
de Bernoulli en un ensayo técnico de laboratorio »

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 16 de setiembre del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella