



Julio 2019 - ISSN: 1989-4155

CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO EXPERIMENTAL DE TUBO DE VENTURI PARA LA DETERMINACIÓN DE SU CAUDAL TEÓRICO Y PRÁCTICO, CON Y SIN DISMINUCIÓN DE SU SECCIÓN TRANSVERSAL EN LA TRANSICIÓN, EL MISMO QUE SE UTILIZARÁ EN LAS PRACTICAS DE LA ASIGNATURA FÍSICA EN LA CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

CONSTRUCTION OF AN EXPERIMENTAL MODEL OF VENTURI TUBE FOR THE DETERMINATION OF ITS THEORETICAL AND PRACTICAL FLOW, WITH AND WITHOUT DECREASE OF ITS TRANSVERSAL SECTION IN THE TRANSITION, THE SAME ONE THAT WILL BE USED IN THE PRACTICES OF THE PHYSICAL SUBJECT IN THE AGRONOMIC ENGINEERING CAREER THE CENTRAL UNIVERSITY OF ECUADOR

Jaime Pazmiño Mayorga

Universidad Central del Ecuador
Profesor de la Facultad Ciencias Agrícolas
M.Sc. en Docencia Universitaria
Email: jpazminom@uce.edu.ec

Juan Pazmiño González

Universidad Central del Ecuador
Profesor de la Facultad Ciencias Agrícolas
M.Sc. en Economía del Desarrollo

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Jaime Pazmiño Mayorga y Juan Pazmiño González (2019): "Construcción de un modelo experimental de tubo de venturi para la determinación de su caudal teórico y práctico, con y sin disminución de su sección transversal en la transición, el mismo que se utilizará en las prácticas de la asignatura física en la carrera de ingeniería agronómica de la Universidad Central del Ecuador", Revista Atlante: Cuadernos de Educación y Desarrollo (julio 2019). En línea:

<https://www.eumed.net/rev/atlanter/2019/07/construccion-tubo-venturi.html>

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo el diseño y construcción de modelo experimental de medidor de Venturi para utilizarlo en la determinación del caudal teórico y práctico, cuando se considera la disminución o no de la sección transversal en su transición. En este modelo experimental se puede aplicar la ecuación de Bernoulli, debido a que el régimen de flujo es laminar al comprobarlo mediante el cálculo del número de Reynolds y el caudal es constante debido a la utilización del frasco de Mariotte; verificando la aplicación de la Ecuación de Bernoulli para la determinación de los caudales, este modelo se lo utilizará en la realización de prácticas experimentales en la asignatura Física en la Carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Central del Ecuador.

Palabras claves: Fundamentos de flujo en tuberías; frasco de Mariotte; ecuación de Bernoulli; medidores de Caudal; tubo de Venturi.

ABSTRACT

The objective of the research was the design and construction of an experimental Venturi meter model to be used in determining the theoretical and practical flow rate, when considering the decrease or not of the cross section in its transition. In this experimental model the Bernoulli equation can be applied, because the flow regime is laminar when checked by calculating the Reynolds number and the flow rate is constant due to the use of the Mariotte bottle; verifying the application of the Bernoulli Equation for the determination of the flows, this model will be used in the realization of experimental practices in the subject Physics in the Agronomic Engineering Program of the Central University of Ecuador.

Key words: Basics of piping flow; bottle of Mariotte; Bernoulli Equation; flow meters; Venturi Tube.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación fue un Proyecto Semilla aprobado por parte de la Dirección General de Investigación y Posgrado de la Universidad Central del Ecuador. En la misma se planteó la construcción de modelo experimental de tubo de Venturi para la determinación del caudal teórico y práctico en el mismo, tomando en cuenta la variable de disminuir o no la sección transversal en su transición. El propósito de la construcción de este modelo experimental fue el proporcionar material didáctico, tomando en consideración la forma como los estudiantes universitarios perciben la información, que según Vivas (2019), indica que “se evidenció que el principal tipo de relación positiva para percibir la información comparada con el rendimiento académico fue la visual, ocupando en segundo lugar el tipo visual cinético y finalmente con el mismo puntaje el tipo cinético y visual-verbal” en el mismo estudio se menciona que “la forma como perciben la información los estudiantes, lo que predomina es el visual (ciencias exactas 45%, ciencias de la vida 46% y ciencias humanas 46%)”. Otro estudio realizado por Vivas (2017), afirma que los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Agronómica presentan un enfoque de aprendizaje superficial es decir “Los estudiantes tienen como objetivo aprobar las asignaturas con el menor esfuerzo posible, con un bajo interés por adquirir la mayor cantidad de conocimientos de cada una de las asignaturas que reciben”.

La necesidad de tener equipo experimental para la realización de prácticas y concretamente de hidrodinámica para la asignatura Física de la Carrera de Ingeniería Agronómica en la Universidad Central del Ecuador y tomando en consideración la forma como los estudiantes aprenden fueron determinantes para plantear la necesidad de construir un modelo experimental de tubo de Venturi en vidrio, donde se considera la percepción de la información preferida por el estudiante que según lo anterior es la visual, además de mejorar el interés del estudiante hacia la asignatura de Física y por ende a todo su proceso educativo. El modelo mencionado considera el estudio previo denominado “Diseño y construcción de un prototipo de medidor de Venturi con fines didácticos y aplicación a la ingeniería agronómica” de los autores Pazmiño, García, Fernández, Cisneros (2017).

Dentro del fundamento teórico necesario para la investigación realizada se considera:

- Fundamentos de flujo en tuberías
- Frasco de Mariotte
- Ecuación de Bernoulli
- Medidores de caudal
- Tubo de Venturi

FUNDAMENTOS DEL FLUJO EN TUBERÍAS

Número de Reynolds

Este parámetro adimensional es una medida de la razón de la fuerza de inercia sobre un elemento del fluido a la fuerza viscosa sobre un elemento. (Martínez E., Navarrete C. 2000.)
El número de Reynolds está definido por la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

ρ = densidad del fluido

V = velocidad característica del fluido

D = diámetro de la tubería a través de la cual circula el fluido

μ = viscosidad dinámica del fluido

Flujo laminar

En el flujo laminar las partículas del fluido solo se mezclan a escala molecular, de modo que, durante el movimiento, dichas partículas se desplazan según trayectorias paralelas bajo la acción de la viscosidad. En la práctica, el flujo laminar se produce cuando el número de Reynolds no excede los valores de 1.500 a 2.000. (Martínez E., Navarrete C. 2000)

Flujo turbulento

En el flujo turbulento las partículas del fluido se mezclan a escala molar, de modo que durante el movimiento se produce un intercambio de cantidad de movimiento entre partículas adyacentes, ocasionando una rápida y continua agitación y mezcla en el seno del fluido. En la práctica el flujo turbulento se produce para números de Reynolds por encima de valores entre 6.000 a 10.000. (Martínez E., Navarrete C. 2000)

Pérdida de energía

También es llamada pérdida de carga y es la pérdida de energía que experimentan los líquidos que fluyen en tuberías y canales abiertos. La energía necesaria para vencer los efectos del rozamiento en el flujo turbulento es la pérdida de carga. Las pérdidas de energía localizadas en las turbulencias incluidas por las piezas especiales y los accesorios que se utilizan en tuberías y canales son también pérdidas de carga. La pérdida de carga se representa habitualmente por el símbolo hL. (Martínez E., Navarrete C. 2000)

Línea piezométrica

Línea piezométrica como muestra el Gráfico No. 1, es la línea que une los puntos hasta los que el líquido podría ascender si se insertan tubos piezométricos en distintos lugares a lo largo de la tubería o canal abierto. Es una medida de la altura de presión hidrostática disponible en dichos puntos. (Martínez E., Navarrete C. 2000)

Línea de energía

También es llamada línea de carga. La energía total del flujo en cualquier sección, con respecto a un plano de referencia determinado, es la suma de la altura geométrica o de elevación Z, la altura piezométrica o de carga, y, y la altura cinética o de presión dinámica $V^2/2g$. La variación de la energía total de una sección a otra se representa por una línea denominada de carga o de energía y también gradiente de energía, ver Gráfico 1. En ausencia de pérdidas de energía, la línea de carga se mantendrá horizontal, aun cuando podría variar la distribución relativa de la energía entre las alturas geométrica, piezométrica y cinética. Sin embargo, en todos los casos reales se producen pérdidas de energía por rozamiento y la línea de carga resultante es inclinada. (Martínez E., Navarrete C. 2000)

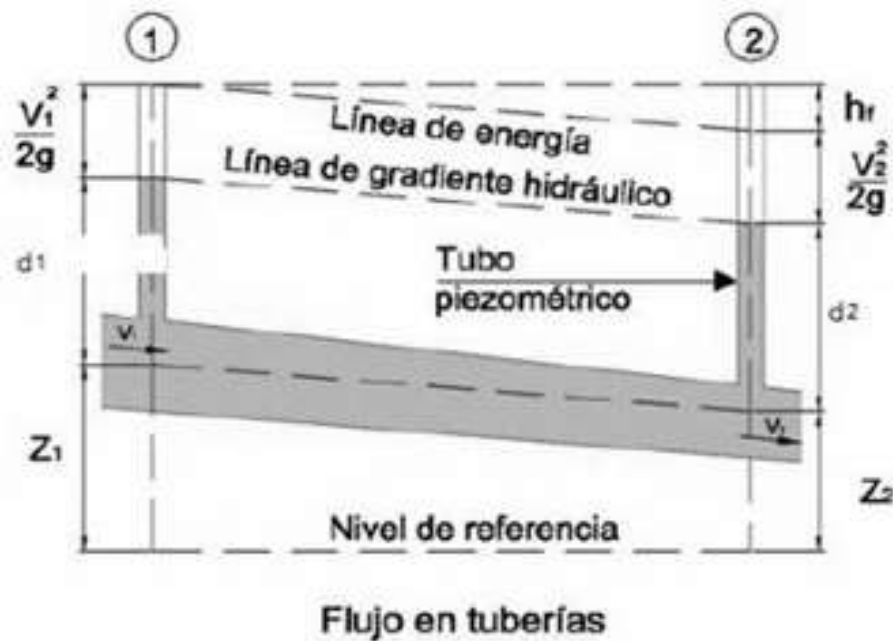


Gráfico 01.-Línea de Energía o Gradiente de Energía

Flujo permanente

El flujo permanente se produce cuando la descarga o caudal en cualquier sección transversal permanece constante. (Martínez E., Navarrete C. 2000.)

Flujo uniforme y no uniforme

Se llama flujo uniforme aquel en que el calado, sección transversal y demás elementos del flujo se mantienen sustancialmente constantes de una sección a otra. Si la pendiente sección transversal y velocidad cambian de un punto a otro de la conducción, el flujo se dice no uniforme. Un ejemplo de flujo permanente no uniforme es aquel que atraviesa un tubo Venturi utilizado para medir caudales. (Martínez E., Navarrete C. 2000.)

FRASCO DE MARIOTTE

El Frasco de Mariotte es un artefacto destinado a conseguir una velocidad constante de salida de un líquido, el mismo se describe en el Figura 1. Para la utilización del mismo se debe considerar que entre el recipiente y la tubería vertical se produce un cierre hermético, que esta tubería y el orificio de salida son de pequeño diámetro y también que la velocidad de salida es función directa de la altura (H) de líquido considerada entre el extremo inferior de la tubería y el centro del orificio. Es necesario acoplar el frasco de Mariotte al sistema para la determinar de las pérdidas de energía por rozamiento, ya que el mismo nos permite tener un caudal constante. (Pazmiño, García, Fernández, Cisneros, 2017)

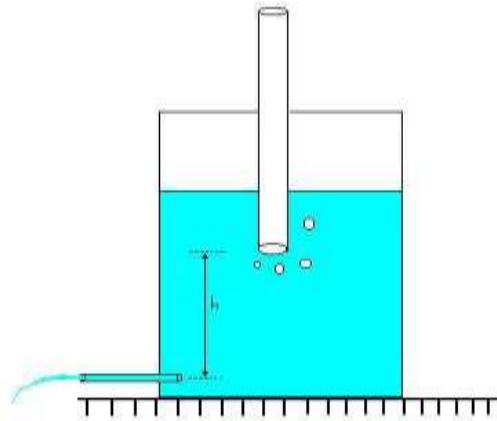


Figura 01.- Frasco de Mariotte

ECUACIÓN DE BERNOULLI

La hidrodinámica es una de las ramas de la Física que más interacción tiene con la ingeniería y con los fenómenos de la naturaleza. Estudia las propiedades de los fluidos hídricos, las principales leyes de la mecánica aplicadas a los mismos y las diferentes teorías que soportan el conocimiento de esta importante rama de la ciencia. En la Universidad Central del Ecuador se estudia hidrodinámica como parte de las mallas curriculares. (Pazmiño et al., 2017)

El principio de Bernoulli, también denominado ecuación de Bernoulli o Trinomio de Bernoulli, describe el movimiento de un fluido a lo largo de un tubo de corriente. Fue expuesto por Daniel Bernoulli en su obra Hidrodinámica (1738) y expresa que: *“La energía total por unidad de volumen de un fluido incompresible animado de movimiento estacionario es constante”* (fluido ideal). (Serway, Raymond A. 2008)

Según la investigación realizada por (Pazmiño et al., 2017), la ecuación de Bernoulli consta de los siguientes elementos:

1. Energía Cinética por unidad de volumen: es la energía debida a la velocidad que posea el fluido. Conocida como presión dinámica.

$$\frac{Ec}{\Delta V} = \frac{1}{2} v^2 \rho$$

Ecuación 1: Energía Cinética por unidad de volumen.

2. Energía Potencial Gravitacional por unidad de volumen: es la energía debido a la altitud que un fluido posee. Conocida como presión hidráulica o altimétrica.

$$\frac{Eg}{\Delta V} = \rho g Y$$

Ecuación 2: Energía Potencial Gravitacional por unidad de volumen.

3. Energía de flujo o Energía Potencial de Presión por unidad de Volumen: es la energía que un fluido contiene debido a la presión que posee. Conocida como presión estática.

$$P$$

La suma de estas energías se conoce como “Ecuación de Bernoulli” (Trinomio de Bernoulli)

$$\frac{Ec}{\Delta V} + \frac{Eg}{\Delta V} + P = \text{constante} \qquad \frac{1}{2} v^2 \rho + \rho g Y + P = \text{constante}$$

Ecuación 3: Ecuación de Bernoulli o Conservación de la energía del fluido.

En donde:

- v Velocidad del fluido en la sección considerada.
- ρ Densidad del fluido.
- P Presión a lo largo de la línea de corriente.
- g Aceleración gravitatoria.
- Y Altura en la dirección de la gravedad desde una cota de referencia.

La Ecuación 3 representa la conservación de la energía del fluido usada en fluidos ideales y su uso es limitado para fluidos compresibles como los gases.

En el movimiento de un fluido líquido por una tubería de sección variable se deduce que en los lugares de menor área de la tubería aumenta la velocidad del fluido, disminuyendo la presión estática, caso contrario en los lugares de mayor área.

En esta investigación es fundamental que el prototipo utilizado cumpla con las condiciones de utilización de la Ecuación de Bernoulli y poder medir adecuadamente la pérdida de energía por rozamiento.

MEDIDORES DE CAUDAL

Es un dispositivo que instalado en una tubería permite determinar el caudal que circula por la misma. La mayor parte de medidores de caudal son construidos reduciendo el área de flujo, por lo que se determina que en el estrechamiento se gana energía de velocidad, pero se pierde energía de presión, posteriormente con los datos obtenidos se determina el caudal aplican la ecuación de Bernoulli. Uno de los tipos de medidor de caudal más utilizado es el Tubo de Venturi.

TUBO DE VENTURI

Descripción de tubo de Venturi

El tubo de Venturi se utiliza para medir la velocidad de un fluido incompresible. Consiste en un tubo con un estrechamiento, de modo que las secciones antes y después del estrechamiento son A_1 y A_2 , con $A_1 > A_2$. En cada parte del tubo hay un manómetro, de modo que se pueden medir las presiones respectivas p_1 y p_2 . Encuentra una expresión para la velocidad del fluido en cada parte del tubo en función del área de las secciones, las presiones y su densidad. (Serway, Raymond A. 2008)
En el Figura 2 siguiente se observa el esquema elemental del tubo de Venturi utilizado.

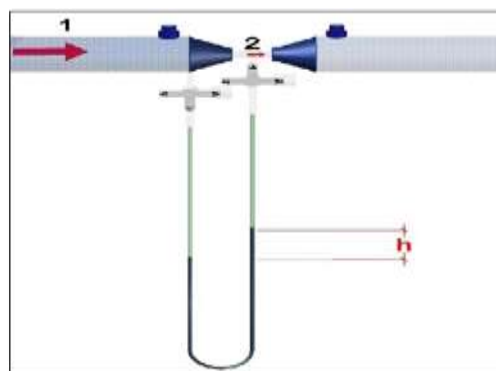


Figura 02.- Esquema elemental de tubo Venturi horizontal

Determinación de velocidad y caudal mediante tubo de Venturi

A continuación, en Gráfico 2 la representación de variables para la determinación de velocidad y caudal en el tubo de Venturi.

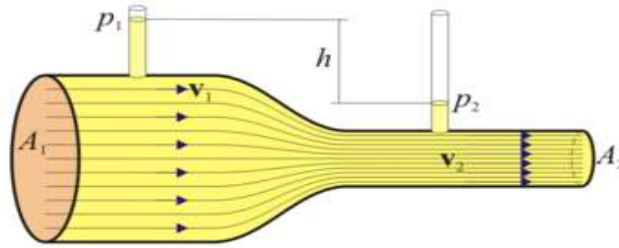


Gráfico 02.- Representación gráfica de variables en el tubo de Venturi

La ley de conservación de la masa establece que en un flujo estacionario toda la masa que entra por un lado de un recinto debe salir por otro, lo que implica que la velocidad debe ser mayor en la parte más estrecha del tubo, entonces:

$$v_1 A_1 = v_2 A_2$$

Por otro lado, la ley de Bernoulli establece que para dos puntos situados en la misma línea de corriente se cumple:

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

Si los dos puntos se encuentran a la misma altura la presión hidrostática es la misma para ambos, por lo que:

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

Reordenando términos, entonces:

$$v_1^2 - v_2^2 = \frac{2(p_2 - p_1)}{\rho}$$

Sustituimos la ecuación de conservación de la masa, entonces:

$$v_1^2 \left(1 - \frac{A_1^2}{A_2^2} \right) = \frac{2(p_2 - p_1)}{\rho} \Rightarrow v_1 = A_2 \sqrt{\frac{2(p_2 - p_1)}{\rho(A_1^2 - A_2^2)}}$$

Análogamente,

$$v_2 = A_1 \sqrt{\frac{2(p_2 - p_1)}{\rho(A_1^2 - A_2^2)}}$$

y el flujo volumétrico es:

$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2 = A_1 A_2 \sqrt{\frac{2(p_2 - p_1)}{\rho(A_1^2 - A_2^2)}}$$

Si la diferencia de presiones se mide a partir de la diferencia de altura en dos manómetros, esta ecuación queda de la siguiente manera:

$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2 = A_1 A_2 \sqrt{\frac{2gh}{\rho(A_1^2 - A_2^2)}}$$

METODOLOGÍA

El enfoque de esta investigación es el análisis de datos obtenidos de tipo cuantitativo y las variables principales estudiadas son: el caudal práctico y teórico del tubo de Venturi obtenido con y sin disminución de la sección transversal. Por tener como propósito la comprobación de una pregunta de investigación por medio de modelos cuantitativos esta investigación se ubica en el área de las ciencias exactas. Al manipular deliberadamente las variables vinculadas a las causas con la finalidad de medir el efecto en la variable de interés esta investigación es de tipo experimental (Sampieri, 2014).

Una vez construido el modelo experimental se debe verificar y aplicar lo siguiente:

- El tubo de vidrio del Frasco de Mariotte debe permanecer a la misma altura relativa.
- Las mediciones de caudal obtenidas sean en régimen laminar, lo cual se debe comprobar calculando el número de Reynolds.
- La disminución de sección transversal se logra mediante la colocación de un anillo de neopreno en la transición.

Para la determinación del caudal teórico se aplica la ecuación de Bernoulli, para ello se toman datos del tubo de Venturi en flujo laminar, como son: la sección transversal mayor, menor, diferencia de altura del mercurio y las alturas correspondientes que permiten el cálculo de las presiones en las secciones transversales descritas. Estos resultados son comparados cuando se utiliza o no el accesorio de disminución de sección transversal en la transición del tubo de Venturi.

Para la determinación del caudal práctico en el modelo de tubo de Venturi se utilizan como instrumentos de medición cronómetro y probeta graduada, se obtienen valores de tiempo y volumen que permiten calcular el caudal cuando se usa o no un accesorio para la reducción de la sección transversal del tubo de Venturi. Se realiza un análisis estadístico de los caudales prácticos obtenidos.

Se comparan los caudales teóricos y prácticos obtenidos, con y sin disminución de la sección transversal y adicionalmente se determina la aplicabilidad de este modelo en la realización de prácticas de hidrodinámica en la asignatura Física en la Carrera de Ingeniería Agronómica en la Universidad Central del Ecuador.

Pregunta de investigación

¿Se puede determinar a partir de la construcción y utilización experimental de un prototipo de tubo de Venturi, las relaciones entre los valores de caudal teórico y caudal práctico del mismo, con y sin disminución de la sección transversal?

Constantes y variables

- Aceleración de la gravedad
- Densidad del agua
- Densidad del mercurio
- Volumen
- Tiempo
- Caudal Práctico
- Diferencia de altura de mercurio en el tubo de Venturi (Diferencia de Presión)
- Posición y Velocidad de la partícula de líquido en la sección transversal mayor y menor
- Caudal Teórico
- Número de Reynolds

RESULTADOS

A) CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE TUBO DE VENTURI

A continuación, en la figura 3 y figura 4, se observa el diseño y construcción del tubo de Venturi. El cuerpo de este fue construido en vidrio y sirve para los objetivos propuestos de determinación de caudal teórico y práctico con y sin reducción de sección transversal en su transición.

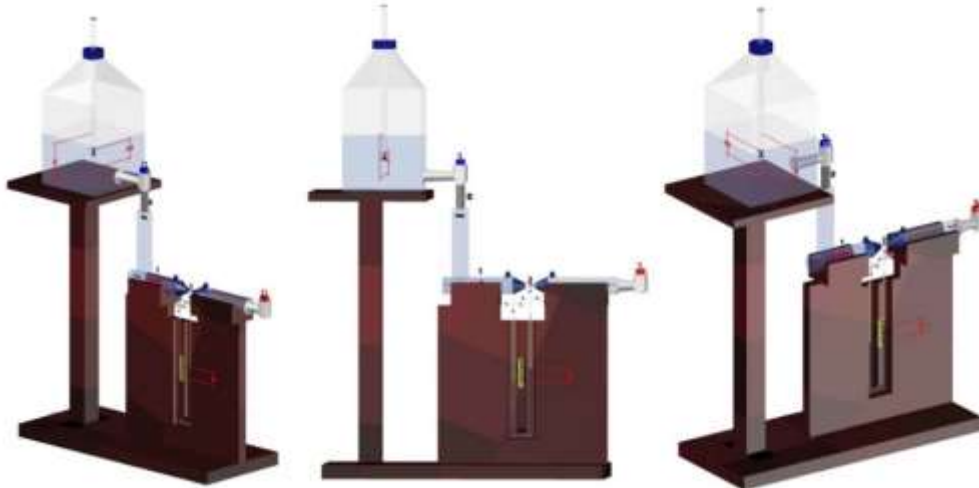


Figura 03.- Esquema de tubo de Venturi utilizado en esta investigación



Figura 04.- Modelo de tubo de Venturi construido y utilizado en esta investigación

B) CÁLCULO DEL CAUDAL TEÓRICO

Para determinar el caudal teórico se utiliza la Ecuación de Continuidad, la Ecuación de Bernoulli y la diferencia de presión entre la sección transversal mayor y la sección transversal menor, determinada por la diferencia constante de altura de mercurio en el tubo de Venturi construido.

Datos experimentales:

$$\rho_{H_2O} = 1000 \left[\frac{kg}{m^3} \right]; \rho_{Hg} = 13600 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

Fórmulas utilizadas en el cálculo:

$$P_1 - P_2 = (d(Hg) - d(H_2O)) * \Delta(Hg) * g$$

$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2 = A_1 A_2 \sqrt{\frac{2(p_2 - p_1)}{\rho(A_1^2 - A_2^2)}}$$

B.1) Cálculo de la diferencia de presión y el caudal teórico sin disminución de la sección transversal:

<u>dHg</u> (Kg/m ³)	d(H ₂ O) (Kg/m ³)	Δ Hg (m)	P1-P2 (Pa)
13600	1000	0,00415	512,4

Tabla No. 1.- Determinación de la diferencia de presión sin disminución de la sección transversal

A1	A2	A1 ²	A2 ²	P2-P1	Q teórico * 10 ⁻⁶
m ²	m ²	m ⁴	m ⁴	Pa	m ³ /s
6,82E-04	5,32E-05	4,65E-07	2,83E-09	512,44	54,02

Tabla No. 2.- Determinación del caudal teórico sin disminución de la sección transversal

B.2) Determinación de la diferencia de presión y del caudal teórico con disminución de la sección transversal:

dHg (Kg/m ³)	d(H ₂ O) (Kg/m ³)	□□Hg (m)	P1-P2 (Pa)
13600	1000	0,0026	321,0

Tabla No. 3.- Determinación de la diferencia de presión con disminución de la sección transversal

A1	A2	A1 ²	A2 ²	P2-P1	Q teórico * 10 ⁻⁶
m ²	m ²	m ⁴	m ⁴	Pa	m ³ /s
6,82E-04	5,32E-05	4,65E-07	2,83E-09	321,05	42,76

Tabla No. 4.- Determinación del caudal teórico con disminución de la sección transversal

C) DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE REYNOLDS

Sección Transv.	Densidad (H ₂ O) Kg/m ³	Diámetro m	Velocidad m/s	Viscosidad Cinemática (H ₂ O-15 °C)	Número de Reynols
mayor	1000	0,02947	0,07921	0,00139	1679,4
menor	1000	0,00823	1,01544	0,00139	6012,281

Tabla 05.- Determinación del Número de Reynolds

Del resultado obtenido se desprende que el flujo de agua en las dos secciones transversales no se encuentra en régimen turbulento, porque el valor del número de Reynolds es menor a 10000.

D) DETERMINACIÓN DE CAUDAL PRÁCTICO

Para la determinación del caudal práctico se utilizó el sistema indicado en el Grafico 03; una vez que el caudal del sistema de tubo de Venturi se encuentra en régimen laminar se procede a realizar mediciones de tiempo de llenado de la probeta graduada ubicada en el extremo, los volúmenes considerados son 100, 200, 300, 400, 500 cm³.

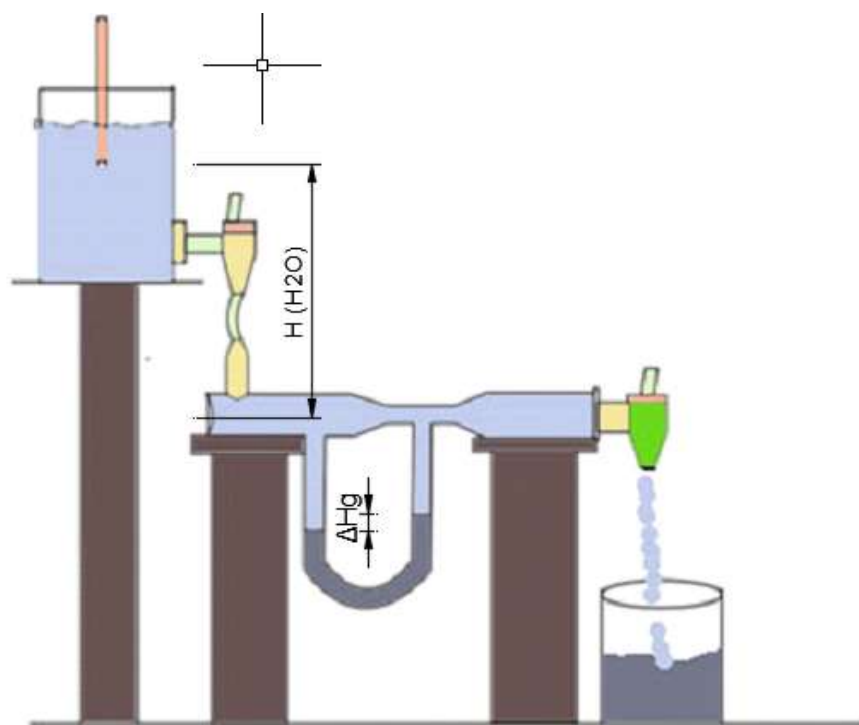


Gráfico 03.- Disposición del tubo de Venturi para la medición de: volumen-tiempo de llenado de la probeta graduada ubicada en el extremo, se observa la diferencia de altura en el mercurio (ΔHg) y la altura de presión adicional a la atmosférica $H(H_2O)$

D.1) Cálculo del caudal práctico sin disminución de la sección transversal

En la tabla 06 se observan los datos experimentales de volumen y tiempo de llenado, para el cálculo del caudal práctico, cuando no existe reducción de la sección transversal en el tubo de venturi.

Vol.	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t prom.	$Q * 10^{-6}$	Q prom. $* 10^{-6}$
cm ³	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	(m ³ /s)	(m ³ /s)
100	2,47	2,34	1,97	2,19	2,34	2,18	2,34	2,25	2,08	2,21	2,24	44,70	40,42
200	4,78	4,88	5,05	5,14	4,68	4,69	4,95	5,02	4,49	4,79	4,85	41,26	
300	7,89	7,9	7,49	7,6	7,23	7,4	7,7	7,68	7,84	7,7	7,64	39,25	
400	10,73	10,9	9,88	10,09	9,92	10,26	10,49	10,44	10,53	10,28	10,35	38,64	
500	14,12	14,08	12,7	11,73	12,76	12,75	13,03	12,97	13,31	13,26	13,07	38,25	

Tabla 06.- Datos experimentales para la determinación del caudal práctico cuando no existe reducción de la sección transversal en el tubo de venturi

D.2) Cálculo del caudal práctico con disminución de la sección transversal

En la tabla 07 se observan los datos experimentales de volumen y tiempo de llenado, para el cálculo del caudal práctico, cuando existe reducción de la sección transversal en el tubo de Venturi

Vol.	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t prom.	Q * 10 ⁻⁶ (m ³ /s)	Q prom. * 10 ⁻⁶ (m ³ /s)
cm ³	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	(m ³ /s)	(m ³ /s)
100	2,56	2,82	2,3	2,76	2,36	2,76	2,3	2,77	2,58	2,65	2,586	38,67	34,93
200	5,43	5,58	5,77	5,95	5,69	5,74	5,33	5,53	5,56	5,58	5,616	35,61	
300	8,8	8,75	9,21	9,1	9,22	9,67	8,1	8,68	8,37	8,42	8,832	33,97	
400	12,3	12,41	12,41	12,39	12,43	12,57	11,33	11,51	11,4	11,43	12,018	33,28	
500	15,21	15,46	15,65	15,79	15,79	16,03	14,31	14,04	14,25	14,43	15,096	33,12	

Tabla 07.- Datos experimentales para la determinación del caudal práctico cuando existe reducción de la sección transversal en el tubo de Venturi

DISCUSIÓN

Modelo de tubo de Venturi

El modelo construido de tubo de Venturi se ajusta a los requerimientos de esta investigación debido a que permite el flujo laminar de acuerdo al cálculo del número de Reynolds y en consecuencia también aplicar la ecuación de Bernoulli. Este sistema permite acoplar una arandela para disminuir la sección transversal en la transición en el tubo de Venturi.

Caudal teórico con y sin disminución de la sección transversal en la transición

La diferencia entre los caudales teóricos con y sin disminución de la sección transversal en el tubo de Venturi es 20,96%, considerando al caudal teórico sin disminución de la sección transversal como el 100%.

Caudal práctico con y sin disminución de la sección transversal en la transición

En el gráfico 04 se observa la diferencia significativa en el cálculo del caudal práctico con y sin disminución de la sección transversal en la transición



Gráfico 04. Diferencia en el cálculo del caudal práctico en m^3/s , con y sin disminución en la sección transversal del tubo de Venturi.

Análisis estadístico de distribución normal del caudal calculado con y sin disminución de la sección transversal en la transición, en el análisis se utilizó Stata Ver 10.0.

En los siguientes gráficos 05 y 06 se observa la distribución normal de la variable caudal.

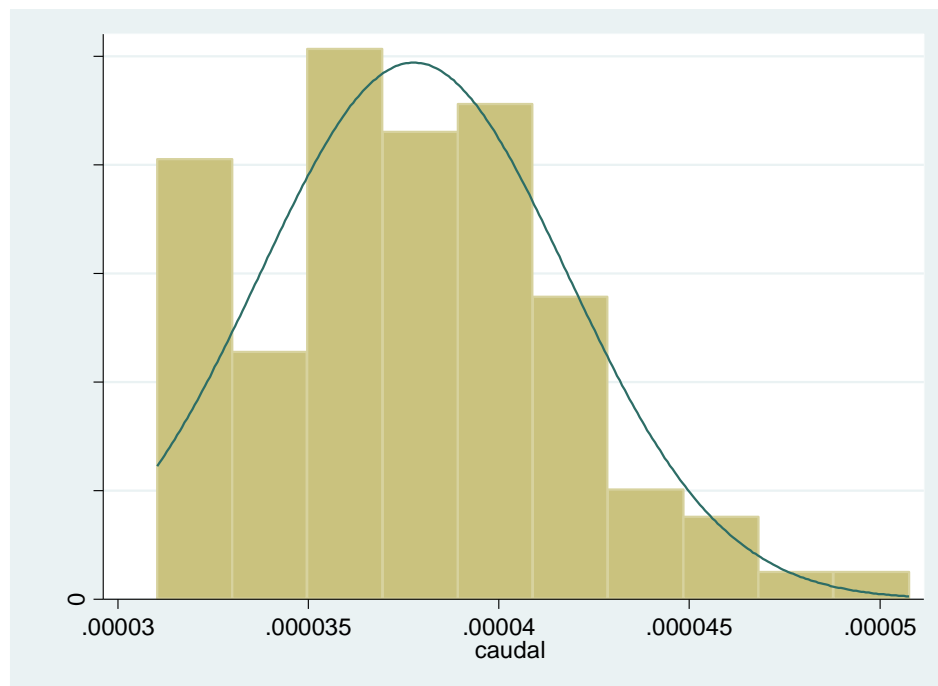


Gráfico 05.- Histograma del caudal calculado

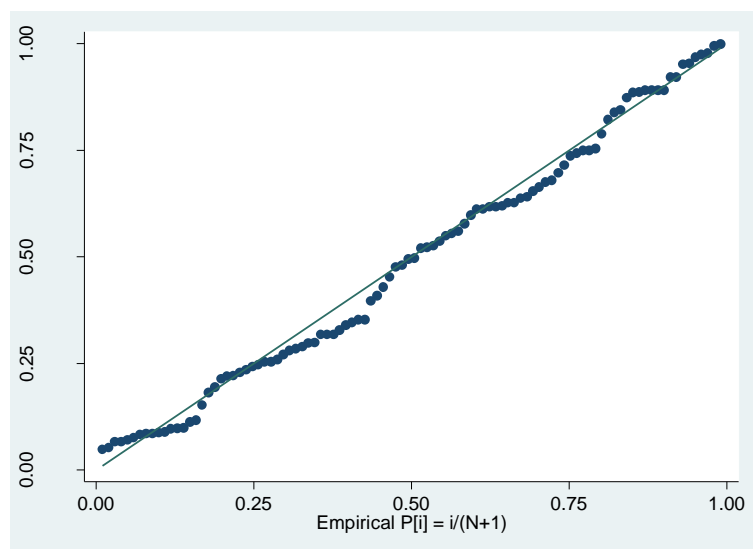


Gráfico 06.- Prueba de normalidad de la variable Caudal

El resultado obtenido de la prueba de Skewness/Kurtosis es de 0,0776, ver Tabla 08, es superior al 0.05, que indica que si existe normalidad de la variable, con lo cual se puede realizar el análisis de la varianza de la variable caudal práctico con y sin disminución de la sección transversal.

Skewness/Kurtosis tests for Normality					
----- joint -----					
Variable	Obs	Pr(Skewness)	Pr(Kurtosis)	adj chi2(2)	Prob>chi2
caudal_	100	0.028	0.560	5.11	0.0776

Tabla 08.- Prueba de normalidad de Skewness y Kurtosis de la variable caudal practico con sin disminución de la sección transversal en la transición.

En el análisis de la varianza de la variable caudal práctico (con y sin), ver Tabla 09, se observa que existe alta significación estadística para los tratamientos encontrándose dos rangos de significación en la prueba de Scheffé al 5%, obteniendo el mejor promedio sin pérdidas de 4.05×10^{-5} y con pérdidas de $3,5 \times 10^{-5}$.

Number of obs = 100 R-squared = 0.4648					
Root MSE = 3.0e-06 Adj R-squared = 0.4594					
Source	Partial SS	df	MS	F	Prob > F
Model	7.4966e-10	1	7.4966e-10	85.12	0.0000
cod_perdi~s	7.4966e-10	1	7.4966e-10	85.12	0.0000
Residual	8.6309e-10	98	8.8070e-12		
Total	1.6128e-09	99	1.6290e-11		

Tabla 09.- Prueba de significación Scheffé al 5% para la variable caudal práctico (con y sin)

oneway caudal_ cod_perdidas, t sch						
cod perdidas		Summary of caudal				
		Mean	Std. Dev.	Freq.		
-----+-----						
Sin pérdidas		.0000405a	3.074e-06	50		
Con pérdidas		.00003503 b	2.857e-06	50		
-----+-----						
Total		.00003776	4.036e-06	100		
Analysis of Variance						
Source		SS	df	MS	F	Prob > F

Between groups		7.4966e-10	1	7.4966e-10	85.12	0.0000

Within groups	8.6309e-10	98	8.8070e-12
<hr/>			
Total	1.6128e-09	99	1.6290e-11

Bartlett's test for equal variances: $\chi^2(1) = 0.2583$ Prob> $\chi^2 = 0.611$

Comparison of caudal by cod perdidas
(Scheffe)

Row Mean-	
Col Mean	0
-----+-----	
1	-5.5e-06
	0.000

Comparación entre los caudales teóricos y prácticos:

Caudales teóricos y prácticos sin disminución de la sección transversal en la transición

El valor mayor es el teórico y la diferencia de valor entre el caudal teórico y práctico en porcentaje es del 25,18%, sin disminución de la sección transversal en la transición en el sistema de tubo de Venturi utilizado, en este análisis se consideró al caudal teórico sin disminución de la sección transversal como el 100%.

Caudales teóricos y prácticos con disminución de la sección transversal en la transición

El valor mayor es el teórico y la diferencia de valor entre el caudal teórico y práctico en porcentaje es del 18,31%, con disminución de la sección transversal en la transición en el sistema de tubo de Venturi utilizado, en este análisis se consideró al caudal teórico con disminución de la sección transversal como el 100%.

CONCLUSIONES

El prototipo de tubo de Venturi construido permite aplicar la ecuación de Bernoulli debido a que en este sistema se utiliza el principio del frasco de Mariotte que garantiza un caudal constante y también debido a que el cálculo número de Reynolds determina que el flujo en el mismo no es turbulento.

Si se puede determinar a partir de la construcción y utilización experimental de un prototipo de tubo de Venturi, las relaciones entre los valores de caudal teórico y caudal práctico del mismo, con y sin disminución de la sección transversal.

Se determina en el estudio una diferencia de valor porcentual del 20,96% en el cálculo del caudal teórico con y sin disminución de la sección transversal, lo manifestado tiene directa relación cuando se observa en el prototipo de tubo de Venturi utilizado una diferencia mayor de nivel de mercurio cuando no se utiliza el accesorio que permite la disminución en la sección transversal.

En el estudio estadísticamente se determina que existe una diferencia significativa entre el caudal práctico con y sin disminución de la sección transversal.

Se determina al comparar los valores de cálculo de caudal teórico y caudal prácticos sin la utilización del accesorio que permite la reducción de la sección transversal en la transición, una diferencia de valor porcentual del 25,18%, la misma se puede considerar como un porcentaje de error relativo.

Se determina en el estudio que al comparar los valores de cálculo de caudal teórico y caudal prácticos con la utilización del accesorio que permite la reducción de la sección transversal en la transición, se evidencia una diferencia de valor porcentual del 18,31%, que se puede considerar como un porcentaje de error relativo.

Los porcentajes de error relativo entre caudal teórico y práctico, con y sin disminución de la sección transversal, permiten concluir que si bien es cierto son valores relativamente altos para un equipo de práctica experimental, sin embargo no se han considerado la pérdidas de energía en el sistema construido y se concluye que el modelo permite en forma clara establecer las relaciones entre las variables que constituyen la ecuación de Bernoulli y en consecuencia servirá como equipo experimental para la realización de prácticas de la asignatura Física en la Carrera de Ingeniería agronómica en la Universidad Central del Ecuador.

La utilización del tubo de Venturi construido permitirá en futuras investigaciones determinar, utilizando la diferencia entre el valor del caudal práctico y caudal teórico, el coeficiente de descarga y en consecuencia la velocidad real de flujo del sistema de tubo de Venturi, también se podrán considerar otras variables como el área de la sección transversal que se disminuye mediante el accesorio para este efecto.

BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, M. (1979). Física Mecánica y Termodinámica. Addison - Wesley Iberoamericana. Estados Unidos
- Arregui De La Cruz F., Cabrera Rochera E., Cobacho Jordán R., Soriano Olivares J., Gómez Sellés E. (2017). Apuntes de Mecánica de Fluidos. Editorial Universitat Politècnica de Valencia. España
- Bueche F. (2006). Física General. Décima edición Mc Graw Hill. México DF
- Frish, S. (1977). Curso de Física General. Tomo 3. Editorial Mir. Moscú
- Giancolli D. (2009). Física. Sexta edición, Pearson educación. México
- Giles, R. (1967). Mecánica de los fluidos e Hidráulica. Mc Graw-Hill. U.S.A.
- Halliday D., Resnick R., Walker J. (2005). Fundamentos de la Física. Volumen 2 Sexta edición en español CECSA. México
- Hewitt P. (2007). Física Conceptual. Pearson educación. México
- Martínez E., Navarrete C. (2000). Diseño e Implementación de un Sistema de Bombeo de Aguas Residuales para una Urbanización. Espol. Ecuador
- Pazmiño-Mayorga, J. A., García-Espinoza, J. S., Fernández-Peinado, L. J., & Cisneros-Paredes, C. M. (2017). Diseño y construcción de un prototipo de medidor de Venturi con fines didácticos y aplicación a la ingeniería agronómica. *Polo del Conocimiento*, 2(5), 1033-1056.
- Potter, M., Wiggert, C. (1998). Mecánica de los fluidos. Prentice Hall. México
- Sears F., Zemansky M., Young H. (2006). Física Universitaria. Fondo Educativo Iberoamericano, S. A. Wilmintong, Delaware. Estados Unidos de América
- Serway, R. (2008). Física para Ciencias e Ingeniería. Cengage Learning Editores, S.A. de C.V. México, D.F.
- Vivas, R., Lastra, X., & Yépez, B. (2017). Enfoques de aprendizaje y rendimiento académico universitario en ecuador. *Revista De Investigación Enlace Universitario*, 16(1), 23-30. Recuperado de <http://enlace.ueb.edu.ec/index.php/enlaceuniversitario/article/view/16>
- Vivas-Vivas, Ramiro José, Cabanilla-Vasconez, Enrique, & Vivas Vivas, Walter Hernán. (2019). Relación entre los estilos de aprendizaje y el rendimiento académico del estudiantado de la carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Central del Ecuador. *Revista Educación*, 43(1), 468-482. <https://dx.doi.org/10.15517/revedu.v43i1.28439>
- Watkins, D. (2003). Student learning: A cross cultural perspectives. In: *International handbook of educational research in the Asia-Pacific region*. pp. 441-462. Springer Netherlands