



**Universidad
de Cartagena**
Fundada en 1827



Acreditación Institucional de Alta Calidad
Resolución 2583 del 26 de febrero de 2014. Ministerio de Educación Nacional



Montaje y calibración de un medidor de flujo: Venturímetro

MARIANA LARA RUIZ

7371610005

DANITH ANTONIO POLO MANCERA

7371520008

**Trabajo de grado como requisito para optar el título de “Tecnólogo en
metrología industrial”**

MSc EDGAR ENRIQUE VERGARA VERBEL

**Universidad de Cartagena-Facultad de Ciencias Exactas y Naturales -programa
de Metrología- Cartagena 08-08-2016**



SC-CER153470



Departamento Académico – Programa de Metrología
Campus San Pablo Barrio Zaragocilla

Email: prmetrologia@unicartagena.edu.co - gbuelvasm@unicartagena.edu.co
web: ww.unicartagena.edu.co · Cartagena de Indias D, T y C - Colombia



**Universidad
de Cartagena**
Fundada en 1827



Acreditación Institucional de Alta Calidad
Resolución 2583 del 26 de febrero de 2014. Ministerio de Educación Nacional

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado



SC-CER153470



Departamento Académico – Programa de Metrología
Campus San Pablo Barrio Zaragocilla

Email: prmetrologia@unicartagena.edu.co - gboelvasm@unicartagena.edu.co
web: ww.unicartagena.edu.co · Cartagena de Indias D, T y C - Colombia



**Universidad
de Cartagena**
Fundada en 1827



Acreditación Institucional de Alta Calidad
Resolución 2583 del 26 de febrero de 2014. Ministerio de Educación Nacional

Cartagena de indias D. T y C. 2016

En primer lugar a Dios por guiar mis pasos cada día en este proceso arduo para alcanzar el éxito.

A mis madres Marta y Luz Marina, que con su amor incondicional me han hecho crecer como persona.

Mi padre Leo Serrano, que con su firmeza y decisión hizo de mí una mujer luchadora y capaz de enfrentar cualquier reto.

Con no menos importancia a todas las personas que hicieron posible la elaboración de este proyecto, en especial al instrumentista Clemente Venencia e ingeniero de alimentos Huberto Sará que con sus apoyos incondicionales lograron que nuestra formación se enalteciera.

Con gran sentido de agradecimiento a nuestro asesor, Edgar Enrique Vergara Por brindarnos su apoyo, colaboración y tiempo.

Mariana Lara Ruiz



SC-CER153470



Departamento Académico – Programa de Metrología

Campus San Pablo Barrio Zaragocilla

Email: prmetrologia@unicartagena.edu.co - guelvasm@unicartagena.edu.co

web: ww.unicartagena.edu.co · Cartagena de Indias D, T y C - Colombia



**Universidad
de Cartagena**
Fundada en 1827



Acreditación Institucional de Alta Calidad
Resolución 2583 del 26 de febrero de 2014. Ministerio de Educación Nacional

Primeramente agradezco a Dios por darme sabiduría y ser perseverante.

A mis padres, Estebina Mancera y Danith Polo, que con su esfuerzo y sacrificio me han motivado a seguir adelante con esta carrera, enseñándome a ser una persona luchadora con valores y principios.

Resalto de igual manera al instrumentista Clemente Venencia y Huberto Sará que con sus conocimientos excepcionales, mostraron su gran apoyo.

A nuestro tutor, Edgar Enrique Vergara Por brindar su conocimiento, experiencia y tiempo.

Amigos y compañeros de la vida, Rafael y Cristian Matute, su entrega para con este proyecto lo hace suyo también.

Danith Antonio Polo Mancera



SC-CER153470



Departamento Académico – Programa de Metrología
Campus San Pablo Barrio Zaragocilla

Email: prmetrologia@unicartagena.edu.co - gbelvasm@unicartagena.edu.co
web: ww.unicartagena.edu.co · Cartagena de Indias D, T y C - Colombia



Universidad
de Cartagena
Fundada en 1827



Acreditación Institucional de Alta Calidad
Resolución 2583 del 26 de febrero de 2014. Ministerio de Educación Nacional

RESUMEN

El presente trabajo de grado denotado **“Montaje y calibración de un medidor de flujo: venturímetro”** tiene como objetivo principal La elaboración de este instrumento de medición de flujo, basados en la importancia de un sistema de control de fluidos, en donde es de vital importancia el conocimiento de variables como la presión, la velocidad, y el caudal.

Además de la elaboración se inspeccionara el buen funcionamiento del mismo para con ello realizar diferentes prácticas o pruebas que ayuden a los estudiantes de cualquier área académica interesada a comprender de una manera sencilla y objetiva cuál es su funcionamiento y uso.

Con esta finalidad se describen las características operativas, así como también los detalles estructurales y las características propias de este medidor de flujo.



SC-CER153470



Departamento Académico – Programa de Metrología
Campus San Pablo Barrio Zaragocilla

Email: prmetrologia@unicartagena.edu.co - gboelvasm@unicartagena.edu.co
web: ww.unicartagena.edu.co · Cartagena de Indias D, T y C - Colombia



TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	10
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
OBJETIVOS	12
OBJETIVO GENERAL	12
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
METODOLOGÍA	13
BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN	13
CÁLCULOS DE DISEÑO Y DISEÑO	13
CONSTRUCCIÓN.....	13
PRUEBAS DEL EQUIPO	13
ANÁLISIS DEL RESULTADO	13
MARCO CONCEPTUAL	14
MARCO TEÓRICO	14
ESQUEMA DEL PROTOTIPO	21
MATERIALES PARA CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO	21
MATERIALES ADICIONALES.....	22
CONSTRUCCIÓN	22
PRUEBAS	25
ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	26
CONCLUSIÓN.....	37
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	38
CIBERGRAFIA	38
NOMENCLATURA.....	41
ANEXOS	42





LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Partes principales de un venturímetro	14
FIGURA 2: Prototipo de venturímetro de la Universidad de Cartagena	15
FIGURA 3: Bomba centrífuga perteneciente al canal hidráulico de la Universidad de Cartagena.....	15
FIGURA 4: Manómetros conectados a entrada y garganta	16
FIGURA 5: Esquema del principio de Bernoulli.....	18
FIGURA 6: Dimensiones del prototipo	22
FIGURA 7: Piezas cónicas I	23
FIGURA 8: Piezas cónicas II	23
FIGURA 9: Proceso de torno	23
FIGURA 10: Soldadura de piezas cónicas con tubo de menor diámetro que funciona como garganta en el Venturi	23
FIGURA 11: Soldadura entre partes del Venturi I	24
FIGURA 12: Soldadura entre partes del Venturi II.....	24
FIGURA 13: Proceso con pulidora, para eliminar impurezas	24
FIGURA 14: Proceso de torno para rectificación interna del Venturi	24
FIGURA 15: Soldadura para adaptación de los acoples roscados	25





FIGURA 16: Proceso de perforaciones para adaptación de manómetros en entrada y garganta 25

FIGURA 17: Producto final 25

FIGURA 18: Tubo venturi con columna de mercurio 27

FIGURA 19: Codo de 90° 31

FIGURA 20: Té 31

FIGURA 21: Unión universal 31

FIGURA 22: Válvula de globo 31





LISTA DE TABLAS

TABLA 1: Pruebas y resultados	26
TABLA 2: Diámetros de las diferentes partes de la tubería y viscosidad del agua a 25°C.....	33
TABLA 3: Coeficiente de fricción por contracción y ensanchamiento gradual	33
TABLA 4: Coeficiente de fricción por accesorios más número de accesorios en el sistema	33
TABLA 5: Resultados con diferentes diferencias de presiones.....	35
TABLA 6: Cálculos de número de reynolds en entrada y garganta del Venturi	36
TABLA 7: Viscosidad del agua a diferentes temperaturas.....	43
TABLA 8: Tabla de coeficientes de fricción de pérdidas por accesorios en diferentes longitudes.....	44
TABLA 9: Tabla de coeficiente de fricción para cada accesorio	45





INTRODUCCIÓN

La metrología como parte fundamental del desarrollo tecnológico determina los alcances de los sistemas de control, persiguiendo siempre los objetivos de seguridad y calidad. En el control de un proceso industrial se requiere conocer la cantidad de materia que entra y sale de los distintos equipos y operaciones que lo componen. es justamente en la mecánica de fluidos y la hidráulica donde nos enfrentamos al conocimiento de la cantidad de fluido que pasa por una determinada tubería, es allí donde se basa principalmente el funcionamiento y aplicaciones de uno de los medidores de flujo más utilizados en el área industrial: El Venturimetro.

El principio de funcionamiento de este instrumento se debe a un estrechamiento en su tubería, el cual provoca en el fluido un aumento de velocidad y una disminución de la presión, variaciones que al ser relacionadas mediante la ecuación de Bernoulli se podría cuantificar o determinar el caudal.

Al igual que otros tipos de instrumentos, este posee características y condiciones para su construcción y uso que se encuentran estandarizadas para la buena obtención de resultados.

En esencia, éste es una tubería corta recta, o garganta, entre dos tramos cónicos. La presión varía en la proximidad de la sección estrecha; así, al colocar un manómetro o instrumento registrador en la garganta se puede medir la caída de presión y calcular el caudal instantáneo.

El medidor Venturi es uno de los dispositivos más precisos para medir el gasto en tuberías y tiene la desventaja de tener un costo elevado. Causa una muy baja pérdida de carga y, con las precauciones debidas, se puede usar para líquidos con determinadas concentraciones de sólidos.

El siguiente trabajo abarcará las características principales, sus parámetros, así como el proceso de construcción de este instrumento, funcionamiento y procedimiento para el cálculo del caudal.





PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una de las necesidades principales para medir flujos en los laboratorios y prácticas industriales se lleva a cabo con el uso de un instrumento llamado venturímetro, el cual la Universidad de Cartagena posee un prototipo en el laboratorio de mecánica de fluidos e hidráulica de la facultad de Ingeniería civil.

La idea principal de este trabajo de grado es realizar el montaje y calibración de un venturímetro que pueda ser utilizado como material didáctico y práctico que preste servicio a la comunidad estudiantil en general, en especial el laboratorio de metrología de la facultad de ciencias exactas y naturales también perteneciente a la Universidad de Cartagena.





OBJETIVOS

Objetivo General

- Realizar la construcción de un medidor de flujo (venturímetro), mediante la aplicación de la fundamentación teórica-práctica de la mecánica de fluidos con el fin de contribuir al fortalecimiento de los laboratorios de medición de flujo del programa de metrología

Objetivos Específicos

- Observar el funcionamiento de este dispositivo de medición de caudal y las condiciones que el fluido debe tener para su correcta utilización.
- Aplicar teorema de Bernoulli y la Ecuación de Continuidad como principios para el cálculo del caudal.
- Realizar pruebas del correcto funcionamiento del mismo.





METODOLOGÍA

Para el desarrollo y puesta en funcionamiento del prototipo de instrumento de Venturi se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

Búsqueda de información

La información obtenida para la profundización de las áreas específicas para el diseño y construcción del prototipo, se tuvieron en cuenta páginas web, bibliografías y artículos referentes al tema, además de personal humano calificado en el área.

Cálculos de diseño y diseño

Los cálculos del diseño del equipo están basados en la teoría guiada en el libro “**Instrumentación industrial**” 8ª edición de Antonio Creus, donde se especifican la forma más adecuada para la construcción de este.

Construcción

Se determinó el tipo de material adecuado para su construcción, tomando de base la utilidad en un futuro.

Pruebas del equipo

Inspeccionar que el equipo construido no presente fallas en el proceso de medición de la variable y que la respuesta dada por el instrumento registrador muestre datos verídicos

Análisis del resultado

Se analiza y se compara los datos obtenidos con información teórica que afirme la información mostrada en la respuesta del equipo, si esta afirmación es negativa, hacer las correcciones pertinentes según la necesidad.





MARCO CONCEPTUAL

En el libro de Antonio Creus; “**Instrumentación industrial**”, enfatizamos la gran mayoría de la información conceptual- teórica de la elaboración del prototipo de tubo Venturi. En la información que tiene su contenido se encuentran especificadas la elaboración y calibración del mismo.

MARCO TEÓRICO

El venturímetro es un tipo de medidor de flujo que fue creado por el físico italiano Giovanni Battista Venturi (1.746 – 1.822) y patentado por el ingeniero hidráulico Clemens Herschel (1.842 –1.930) en 1895. Según él, este era un dispositivo para medir el gasto de un fluido, es decir, la cantidad de flujo por unidad de tiempo, a partir de una diferencia de presión entre el lugar por donde entra la corriente y la garganta (mínima sección) para finalizar en su parte ancha que actúa como difusora a la tubería.

Tiene como característica principal poseer una sección estrecha llamada garganta entre dos tramos cónicos llamados sección convergente y sección divergente (entrada y salida respectivamente) como se indica en la figura 1¹.

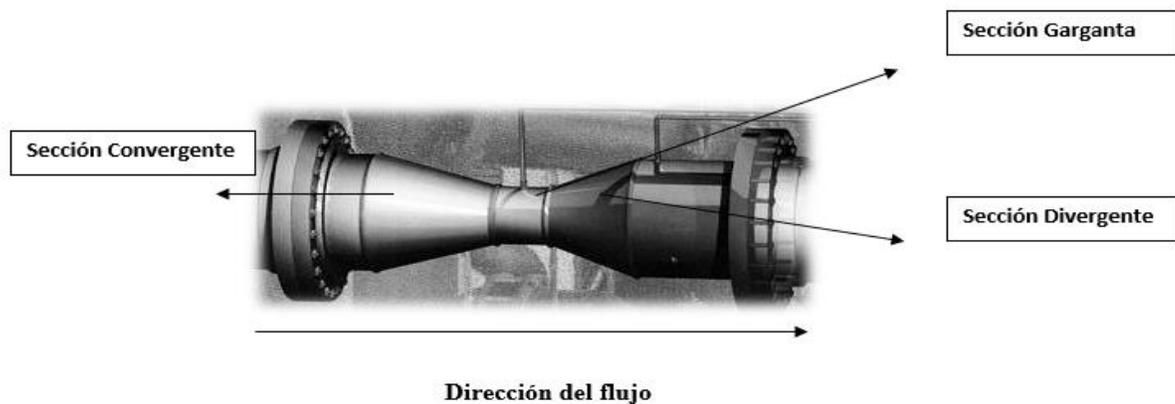
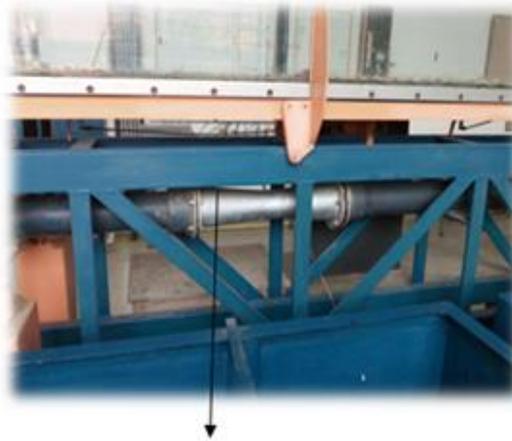


Figura 1. Partes principales de un venturímetro

¹https://www.google.com.co/search?q=imagenes+venturi&espv=2&biw=1366&bih=667&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEWjrmaGdpL7MAhXMmR4KHUxsB_cQ_AUIBigB#tbn=isch&q=tubo+de+venturi+casero&imgcr=trTCVibPpH73UM%3A

La presión varía en la proximidad de la sección estrecha; así, al colocar un instrumento registrador en la garganta se puede medir la caída de presión y calcular el caudal instantáneo. Se encuentra conectado a una parte de la tubería haciéndose parte de ella. (Debe ser equitativo con el diámetro de la tubería) como se puede notar en la figura 2². Así mismo la tubería se encuentra conectada a una bomba centrífuga con determinadas especificaciones de fábrica según las necesidades previstas anteriormente. En la figura 3³ se muestra la bomba centrífuga del canal hidráulico de la Universidad de Cartagena.



Venturi Conectado a tubería

Figura 2. Venturi



Bomba centrífuga

Figura 3. Bomba centrífuga

En el tubo Venturi la sección de entrada conduce hacia un cono de convergencia angular fija, terminando en una garganta de un diámetro más reducido, se fabrica exactamente según las dimensiones que establece su cálculo; la garganta se comunica con un cono de salida o de descarga con divergencia angular fija, cuyo diámetro final es habitualmente igual al de la entrada.

² Canal Hidráulico- Laboratorio de Hidráulica, Facultad de ingeniería- Universidad de Cartagena.

³ Canal Hidráulico- Laboratorio de Hidráulica, Facultad de ingeniería- Universidad de Cartagena.



En otras palabras, el flujo que viene de la tubería pasa por la primera sección convergente y se acelera a través de la sección estrecha llamada garganta, donde disminuye la presión del fluido para después expandirse a través de la porción divergente al mismo diámetro que la tubería principal.

La sección de entrada está provista de tomas de presión que acaban en un racor anular, cuyo fin es uniformar la presión de entrada. Es en este punto donde se conecta a la toma de alta presión del instrumento registrador. La conexión de la toma de baja presión se realiza en la garganta mediante un dispositivo similar, la diferencia entre ambas presiones sirve para realizar la determinación del caudal.

Ejemplo de tipos de instrumentos registradores a los que puede estar conectado son: manómetros diferenciales o un piezómetro. En la figura 4⁴ se muestran dos manómetros conectados a la garganta y entrada respectivamente.

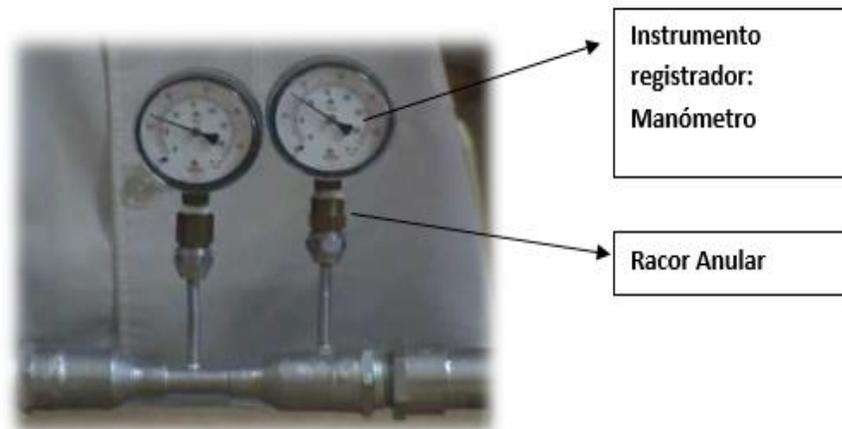


Figura 4. Manómetros conectados a entrada y garganta (nótese que la dirección del flujo es de izquierda a derecha)

El tubo Venturi es uno de los dispositivos más precisos para medir caudales en tuberías, aunque es recomendable su utilización en flujos de gran magnitud y no en micro flujos, La principal ventaja del Venturi estriba en que sólo pierde un 10 - 20% de la diferencia de presión entre la entrada y la

⁴https://www.google.com.co/search?q=venturi+instalado&espv=2&biw=1366&bih=667&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKewiBtzXpsPMAhXCqh4KHSacA8wQ_AUIBigB#imgdii=XDpJFvJG3jw4VM%3A%3BXDpJFvJG3jw4VM%3A%3BTINDq28zbkANiM%3A&imgsrc=XDpJFvJG3jw4VM%3A



garganta⁵. Esto se consigue por el cono divergente que desacelera la corriente, además de causar una muy baja pérdida de carga y, con las precauciones debidas, se puede usar para líquidos con determinadas concentraciones de sólidos.

El venturímetro se da aprovechando el efecto Venturi (concepto también establecido por Giovanni Battista Venturi) que dice que la corriente de un fluido dentro de un conducto cerrado disminuye la presión del fluido al aumentar la velocidad cuando pasa por una zona de sección menor. Si en este punto del conducto se introduce el extremo de otro conducto, se produce una aspiración del fluido contenido en este segundo conducto⁶.

El efecto Venturi va también relacionado a la ecuación de Bernoulli que establece que la energía mecánica de un fluido medida por energía potencial gravitacional, y la energía cinética más la de la presión; es constante⁷.

Se define:

$$P_2 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 + \rho g y_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2 + \rho g y_2$$

Donde:

P: Presión

ρ : Densidad

g : Gravedad

y : Altura

Una aplicación de esta ecuación es en el venturímetro el cual representa la conservación de la energía mecánica aplicada al caso de la corriente fluida ideal, es decir, sin viscosidad, Daniel Bernoulli (1700-1782) al estudiar el comportamiento de los líquidos descubrió que la presión que fluye por una tubería es baja si su velocidad es alta y por el contrario es alta si su velocidad es baja. En la figura 5⁸ se representa el esquema en el cual se basó Bernoulli en su teorema.

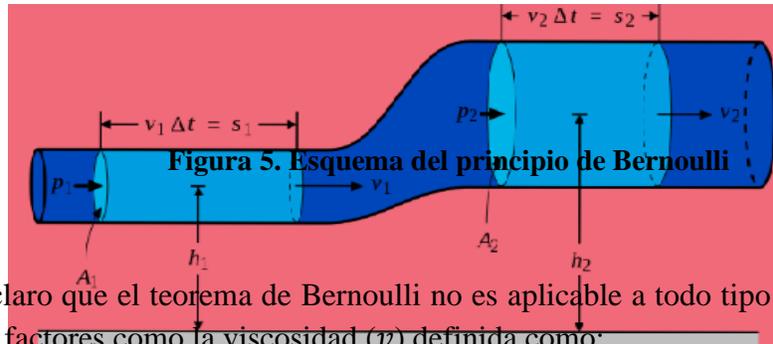
⁵ Creus, Antonio. (2011). Instrumentación industrial” 8a edición. Pág. 118-Barcelona España: Marcombo S.A- ediciones técnicas.

⁶ <http://es.slideshare.net/lozadamalarin/efecto-venturi-24190667>

⁷ https://es.wikipedia.org/wiki/Principio_de_Bernoulli

⁸ <https://prezi.com/18xjlvrooog/principio-de-bernoulli-y-tubo-de-venturi/>





Se debe tener claro que el teorema de Bernoulli no es aplicable a todo tipo de fluido ya que este no tiene en cuenta factores como la viscosidad (ν) definida como:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

$$\mu = \nu * \rho$$

Donde:

ν : Viscosidad cinemática⁹

μ : Viscosidad dinámica o absoluta

ρ : Densidad del fluido

Y el coeficiente de fricción (K) que todos los fluidos reales presentan aun en una cantidad mínima.

La viscosidad y la fricción externa (el flujo se mueve con una pérdida de energía) son los principales responsables de la variación y resultados erróneos en la determinación del caudal.

El teorema de Bernoulli no se puede aplicar a fluidos con viscosidades elevadas o que influyan demasiado en el fluido, porque parte de la energía mecánica total se disipa como consecuencia del rozamiento viscoso, lo que provoca una caída de presión a lo largo de la tubería. Es allí donde las ecuaciones sugieren que dados una tubería y un fluido determinados, esta caída de presión debería ser proporcional a la velocidad de flujo y los experimentos demostraron que esto sólo era cierto para

⁹ <https://es.wikipedia.org/wiki/Viscosidad>



velocidades bajas pero para velocidades mayores, la caída de presión era más bien proporcional al cuadrado de la velocidad.

Este problema se resolvió cuando Reynolds demostró la existencia de dos tipos de flujo viscoso en tuberías. A velocidades bajas, las partículas del fluido siguen las líneas de corriente (flujo laminar), y los resultados experimentales coinciden con las predicciones analíticas. A velocidades más elevadas, surgen fluctuaciones en la velocidad del flujo, o remolinos (flujo turbulento), en una forma que ni siquiera en la actualidad se puede predecir completamente.¹⁰

Número de Reynolds es un parámetro adimensional y se define como:

$$R_E = \frac{\rho * V * D}{\nu}$$

Donde:

V: velocidad

D: Diámetro

ν : Viscosidad Cinemática

ρ : Densidad

Reynolds también determinó que la transición del flujo laminar al turbulento era función de un único parámetro, que desde entonces se conoce como número de Reynolds. Si el número de Reynolds (que carece de dimensiones y es el producto de la velocidad, la densidad del fluido y el diámetro de la tubería dividido entre la viscosidad del fluido) si el resultado es menor de 2.100, el flujo a través de la tubería es siempre laminar; cuando los valores son mayores de 2100 pero menores o iguales a 4000 el flujo está en transición y si sobrepasa los 4000 el flujo es turbulento. El concepto de número de Reynolds es esencial para gran parte de la moderna mecánica de fluidos.¹¹

Para poder conocer con certeza el caudal que pasa por la tubería y poder tener un control del mismo se deben determinar el número de accesorios que tiene el sistema de tuberías, para con ello determinar las pérdidas por accesorios (H)¹² en donde cada accesorio tiene su propio coeficiente de

¹⁰ Manual para ensayo de pérdidas de energía en accesorios de tubería del laboratorio de hidráulica

¹¹ Manual para ensayo de pérdidas de energía en accesorios de tubería del laboratorio de hidráulica

¹²Formula en: Mott, R. L. (1996). Mecánica de fluidos aplicada. México: Prentice Hall.



fricción (K), por lo cual es determinante encontrar el valor de número de Reynolds. Este coeficiente expresa la oposición al deslizamiento que ofrecen las superficies de dos cuerpos en contacto¹³, es decir, al circular el agua por una tubería, dado que lleva una cierta velocidad que es energía cinética, y a la vez rozar con las paredes de la tubería pierde parte de la velocidad por la fricción que se produce entre el material y el líquido contra el sólido de las paredes. Entre mayor es la velocidad mayor será el roce.

Las pérdidas se definen así:

$$H_{Accesorio} = N * K * \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

N: Número del mismo accesorio que hay en el sistema

K: Coeficiente de Fricción

V: Velocidad

g: Gravedad

Los accesorios más comunes dentro de un sistema se encuentran las válvulas de globo, té, codos, uniones universales, entre otros.

Para hallar las pérdidas totales del sistema se suman las pérdidas por cada accesorio así:

$$H_{TOTAL} = (H_{Acces1} + H_{Acces2} + H_{Acces3} + H_{Acces4} + H_n)^{14}$$

Los venturímetro resultan ser medios simples y precisos para medir caudales en conductos. Frente a los otros medidores de la categoría de estrechamiento en conductos (orificios y toberas), también presentan la ventaja adicional de inducir una pérdida de carga comparativamente más pequeña, gracias a que las transiciones en el área de la sección de paso se hacen gradualmente. Ello es

¹³ <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/frict.html>

¹⁴ Mott, R. L. (1996). Mecánica de fluidos aplicada. México: Prentice Hall.

especialmente destacable en lo que se refiere al tramo difusor o divergente, situado en la zona posterior a la garganta.¹⁵

Su fabricación puede ser de cualquier material, incluso de plástico, pero los principales materiales utilizados son hierro, aluminio, fibra de vidrio, entre otros y la escogencia va ligada a la necesidad o utilidad, ya sea por el tipo del fluido, cantidad, o características del mismo.

Esquema del prototipo

La elaboración del prototipo va ligada a la teoría expuesta en el libro Instrumentación industrial de Antonio Creus y consenso tutor-estudiante. En la figura 6¹⁶ se definen las especificaciones del Venturi por realizar.

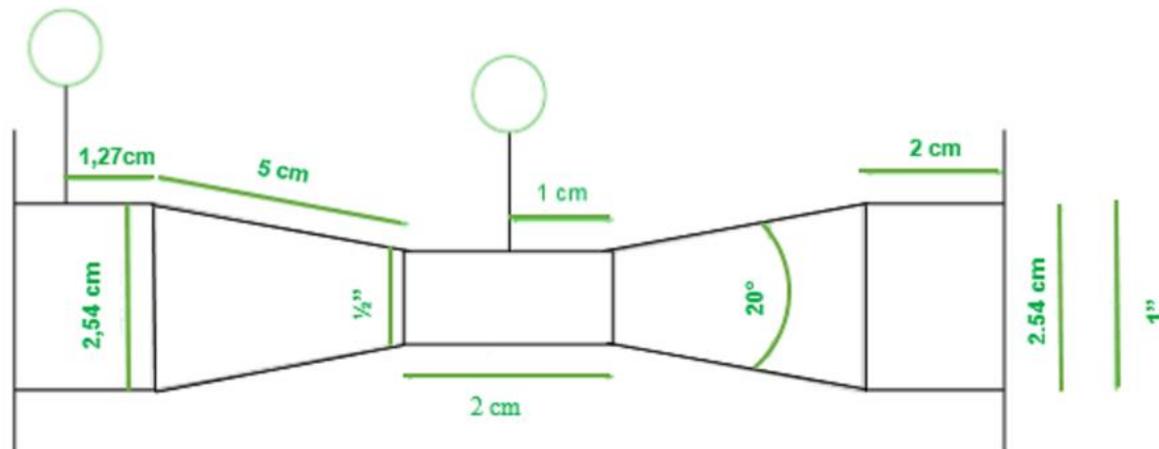


Figura 6. Dimensiones del prototipo

- Entrada (sesión convergente): 1”
- Garganta: ½”
- Salida (sesión divergente): 1”

Materiales para construcción del prototipo

¹⁵ <https://es.scribd.com/doc/74144459/Medida-de-Gasto-Con-Tubo-Venturi-y-Diafragma-de-Orificio>

¹⁶ Creus, Antonio. (2011). Instrumentación industrial” 8a edición. Pág. 119-Barcelona España: Marcombo S.A- ediciones técnicas.

Tubo Schedule 10 Inoxidable 304 - 1" X reducción 1/2", tubing acero inoxidable 1/4", tubo Schedule 10 inoxidable 1/2", manómetro MR6 0-90 PSI.

Materiales adicionales.

Bomba de agua de 0.5 hp - size 1" X 1", Tubo pvc de 1" X 3, Codos de pvc 1", Unión de pvc 1", Te de pvc 1", Flanches M.H adaptador pvc 1", Unión universal de pvc 1", Codos de 1/4" NPT de cobre, válvula de globo pvc 1", Unión HH fija 1/4" de bronce, Adaptador PP 1/4" X 1/4" de bronce, Recipiente plástico, 35 x 30 x 30, capacidad de agua 26L, Rollo de teflón, Adaptador hembra pvc 1", Adaptador 1/4" NPT a 1/4" tubing de cobre, Te de cobre 1/4" NPT.

Construcción

En la construcción del equipo se llevó la siguiente secuencia:

1. Para facilitar la construcción del área convergente y divergente se obtuvieron dos piezas cónicas de medidas de 1" a reducción de 1/2". **Referencia:** Tubo Schedule 10 Inoxidable 304 - 1" X reducción 1/2". Las piezas cónicas se muestran en la figura 7 y 8.



Figura 7



Figura 8

2. Las piezas cónicas se llevaron a un taller industrial donde se trataron con tornos para quitar los biselos de diseños de fábrica propios y se llevaron seguidamente a soldadura para unir la garganta (tubo de 1/2" de diámetro y 2 cm de longitud) con las dos piezas mostradas anteriormente. Proceso descrito se muestra en la figura 9 y 10.



Figura 9



Figura 10

3. Cumplimiento de soldadura entre partes del Venturi. Proceso descrito se muestra en la figura 11 y 12.



Figura 11



Figura 12

4. Proceso con pulidora, para eliminar impurezas exteriores que quedan después de la soldadura. Proceso descrito se muestra en la figura 13.
5. Proceso de torno para rectificación interior del Venturi, eliminando impurezas que quedan después de la soldadura. Proceso descrito se muestra en la figura 14.





Figura 13

Figura 14

6. Proceso de soldadura en ambos extremos del Venturi como método para adaptación de los acoples roscados. Proceso descrito se muestra en la figura 15.
7. Perforaciones con brocas de tungsteno de 1/8" en entrada (área convergente) y garganta, para adaptación de tubos de 1/4" a la cual irán conectados por medio de racores anulares los manómetros que determinaran las presiones en ambas áreas. Proceso descrito se muestra en la figura 16.



Figura 15



Figura 16

8. Producto final mostrado en la figura 17.



Figura 17

Pruebas

Se realizaron 5 pruebas con diferentes estados en las válvulas, viendo las diferencias de presiones mostradas en la Columna de mercurio conectada a la entrada y garganta por medio de adaptadores de $\frac{1}{4}$ " NPT a $\frac{1}{4}$ " tubing del venturimetro, pero corroborando la presión de salida que la bomba centrífuga envía con un manómetro conectado a la tubería por una té de pvc de 1" y un adaptador de 1" a $\frac{1}{4}$ ".

Con todo lo anterior mencionado las pruebas se llevaron a cabo:

- Con todas las válvulas abiertas, sin ninguna restricción.
- Se fueron restringiendo las válvulas manualmente y anotando datos en la tabla 1 representada.
- Se determinaron las diferencias de presión mínimas y máximas mostradas por el equipo.

PRUEBAS



N° PRUEBA	Entrada	garganta	Δh	ρ manométrica (PSI)
1	11	7,9	3,1	3
2	10,8	8	2,8	6
3	10,6	8,2	2,4	9
4	10,4	8,5	1,9	12
5	10,2	8,7	1,5	15

Tabla 1. Pruebas y resultados

Análisis y resultados

Después del diseño y construcción artesanal del Venturimetro, se procedió a comprobar su correcto funcionamiento obteniendo los resultados esperados en los cuales la presión disminuía en el tramo de sección divergente, debido a la reducción del diámetro en la garganta y debido a esto el aumento de la velocidad del fluido. Se determinó de igual manera el gasto por la diferencia de presión existente entre un punto en el tramo convergente y otro punto en la garganta del Venturi aplicando también el principio de Bernoulli hallando el caudal teórico que circula en la tubería. En la figura 18 se muestra el esquema de un tubo Venturi con columna de mercurio para medir el caudal de un líquido.

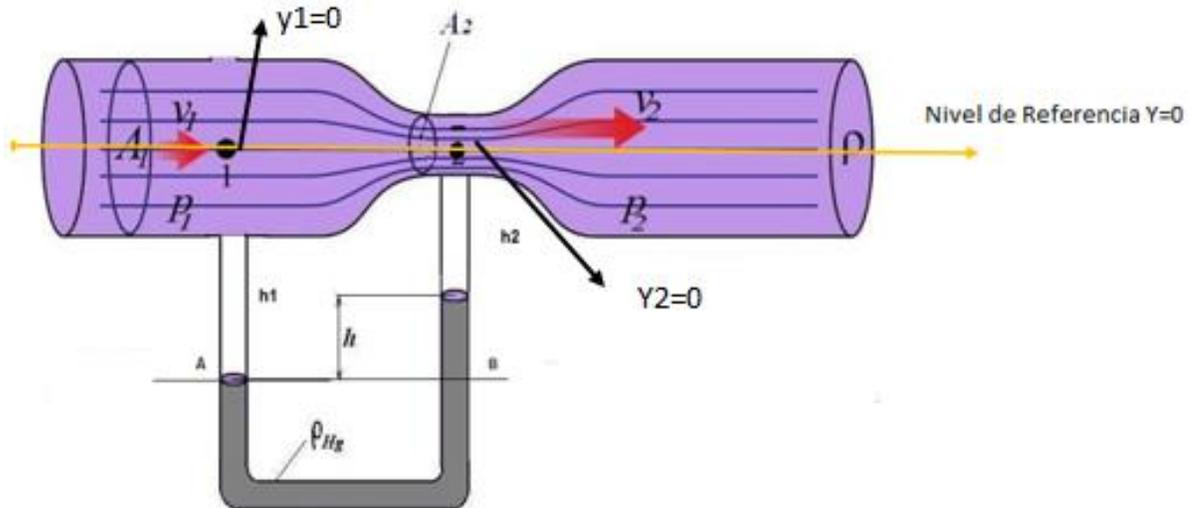


Figura 18. Tubo de Venturi usando el mercurio para medir el caudal de un líquido.¹⁷

Dentro de los resultados encontramos:

Q : Caudal del liquido. (m^3/s)

V_1 : Velocidad de fluido en el punto 1. (m/s)

A_2 : Sección del Venturi en el punto 2. (m^2)

A_1 : Sección del Venturi en el punto 1. (m^2)

ρ : Densidad relativa del liquido.

¹⁷https://www.google.com.co/search?q=tubo+venturi+pdf&espv=2&biw=1366&bih=643&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKewjzgvS3xPHNAhWK2B4KHWelCYoQ_AUIBigB#tbm=isch&tbs=rim%3ACaQnYAJJQWRyIjdb4ApRbdHeVb7MAEHoCRtyAcuZCdAQvc-fH12GIQnLTm3aJXskvE5InrfXpU7FIJXiFsh7pb8yoSCZ1vgClFt0d5EcBPz5tyDZE6KhIJVvswAQegJG0RUxei6F646r0qEgnIBy5kJOBC9xFXy0IBFY-8pCoSCT58fXYYhCctEXAgu9N15I-UKhIJOufdoleyS8QRJk8kV51kyHwqEgnkiet9elTsUhedS56fA-mnYCoSCQleIWyHulvzEXAxzmO7BwEk&q=tubo%20venturi%20con%20columna%20de%20mercurio&imgdii=yAcuZCdAQveC1M%3A%3ByAcuZCdAQveC1M%3A%3BO9awWiDaFIG-1M%3A&imgcr=yAcuZCdAQveC1M%3A



ρ_{Hg} : Densidad relativa del mercurio = $13600 \text{ Kg}/\text{m}^3$

g : Gravedad = $9.81 \text{ m}/\text{s}^2$.

h : Altura de la columna de mercurio

Demostración en la Ecuación de Bernoulli.

$$P_2 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 + \rho g y_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2 + \rho g y_2$$

Teniendo en cuenta el nivel de referencia, observamos que para este caso Y1 y Y2 son igual a cero. Ya que están en la misma línea de referencia de $y=0$.

$$P_2 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 + \cancel{\rho g y_1} = P_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2 + \cancel{\rho g y_2}$$

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2$$

Despejando el diferencial de presiones nos queda:

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho V_2^2 - \frac{1}{2} \rho V_1^2$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho (V_2^2 - V_1^2)$$

Teniendo en cuenta la ecuación fundamental de la hidrostática.

$P = P_0 + \rho g y$. Esta ecuación depende de la altura Y a la que se encuentre un punto en específico P (y).

La presión en el punto A del sistema y el punto B serán iguales ya que se encuentran en la misma línea de referencia.

$$P_A = P_B$$

$$P_1 + \rho H_{20} * g * h_1 = P_2 + \rho H_{20} * g * h_2 + \rho H_g * g * h$$



$$P_1 - P_2 = \rho H_{20} * g (h_2 - h_1) + \rho H_g * \rho * h$$

$$h_2 - h_1 = -h$$

$$P_1 - P_2 = -\rho H_{20} * g * h + \rho H_g * g * h$$

$$P_1 - P_2 = h * g * (\rho H_g - \rho H_{20}) \quad (1)$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho (V_2^2 - V_1^2)$$

$$\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho} = V_2^2 - V_1^2 \quad (2)$$

Por Continuidad.

$$Q_1 = Q_2$$

$$V_1 A_1 = V_2 A_2 \Rightarrow V_1 = V_2 \left(\frac{A_2}{A_1}\right) \quad (3)$$

Reemplazando (3) en (2)

$$\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho} = V_2^2 - \left(V_2 \left(\frac{A_2}{A_1}\right)\right)^2$$

$$\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho} = V_2^2 - \left[V_2 \left(\frac{\cancel{x} * 0,00635^2}{\cancel{x} * 0,0127^2}\right)\right]^2$$

$$\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho} = V_1^2 - 0,0625V_2^2$$

$$\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho} = 0,9375 V_2^2$$

$$V_2^2 = \frac{2(P_1 - P_2)}{0,9375 \rho} \Rightarrow V_2 = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{0,9375 \rho}} \quad (4)$$

$$V_1 = V_2 \left(\frac{A_2}{A_1}\right) \quad \text{Reemplazando (4) en (3)}$$

$$V_1 = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{0,9375 \rho}} * \left(\frac{A_2}{A_1}\right)$$

Cálculo De Caudal





Por Continuidad.

$$Q_1 = Q_2$$

$$V_1 A_1 = V_2 A_2$$

$$Q_1 = V_1 A_1$$

$$Q_1 = V_2 A_2$$

Cálculo de Pérdidas Menores en el Sistema:

Las pérdidas de cargas accidentales se determinan en función de $V^2/2g$. Por tanto se calcula en la entrada de la tubería.

$$H_{CA} = 1 * \frac{V^2}{2g}$$

Perdidas por accesorios en el sistema.

En el sistema desde la salida de la bomba hasta la salida del tubo Venturi se encuentran.

Por codos de 90° Figura 19¹⁸

$$N = 3 \text{ Codos}$$

$$K = 0,7$$

$$H_{Codos} = N * K * \frac{V^2}{2g}$$



Figura 19

Por Té. Figura 20¹⁹



Figura 20

¹⁸https://www.google.com.co/search?q=codo+de+90&source=wAMwQ_AUICCGb&biw=1366&bih=643#imgrc=1Z

¹⁹https://www.google.com.co/search?q=te+tuvo&source=9w_HNAhXEFh4KHYohDEAQ_AUICCGb&biw=1366&bih=643#imgrc=1Z

https://www.google.com.co/search?q=te+tuvo&source=9w_HNAhXEFh4KHYohDEAQ_AUICCGb&biw=1366&bih=643#imgrc=1Z

$$N = 1 T\acute{e}$$

$$K = 0,5$$

$$H_{Tee} = N * K * \frac{V^2}{2g}$$

Por Unión Universal. Figura 21²⁰

$$N = 1 Union$$

$$K = 8,2$$

$$H_{UU} = N * K * \frac{V^2}{2g}$$



Figura 21

Por Válvula de Globo. Figura 22²¹

$$N = 1 Union$$

$$K = 0,08$$

$$H_{VG} = N * K * \frac{V^2}{2g}$$



Figura 22

Por Contracción Gradual.²²

La pérdida de energía en una contracción puede disminuirse sustancialmente haciendo la contracción más gradual.

El coeficiente de fricción se basa en la cabeza de velocidad en el conducto menor después de la contracción.

²⁰https://www.google.com.co/search?q=union+universal+pvc&espv=2&biw=1366&bih=643&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiWurPkw_HNAhXIFh4KHftODjsQ_AUIBigB#imgrc=RXdQFPLLA5PIOM%3A

²¹https://www.google.com.co/search?q=valvula+de+globo&espv=2&biw=1366&bih=643&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiyguj5w_HNAhVM2B4KHe8sAVQQ_AUIBigB&dpr=1#tbn=isch&q=valvula+de+globo+pvc&imgrc=d9O2RpL2bdw_vM%3A

²² Robert L. Mott. Mecánica de Fluidos Aplicada, Pág. 268, 277, 275.



$$K = \frac{d_1}{d_2}$$

$$H_{CG} = K * \frac{V_2^2}{2g}$$

Ensanchamiento Gradual.

Se comprueba experimentalmente que los valores de K dependen de la relación entre los diámetros inicial y final, así como también, la extensión de la pieza. Para las piezas usuales se tiene la siguiente fórmula:

$$K = \frac{d_2}{d_1}$$

$$H_{EG} = K * \frac{(V_1^2 - V_2^2)}{2g}$$

Total De Pérdidas Del Sistema.

$$H_{TOTAL} = (H_{CA} + H_{CODOS} + H_{Té} + H_{UU} + H_{VG} + H_{CG} + H_{EG})$$

$$H_{TOTAL} = \left(1 * \frac{V^2}{2g} + N * K * \frac{V^2}{2g} + K * \frac{V_2^2}{2g} + K * \frac{(V_1^2 - V_2^2)}{2g} \right)$$

A partir de lo anterior se plasma en una hoja de cálculo los datos obtenidos en las pruebas y se concluyen matemáticamente los resultados de las demás diferencias de presión y con ello los diferentes caudales acordes a esta.

Información previa para cálculos mostradas en las tablas 2, 3, y 4.

VISCOSIDAD DEL AGUA A 25°C	0,896	m ² /s
DIAMETRO DE LA TUBERIA DE 1" EN m	0,0254	m
DIAMETRO DE LA ENTRADA DEL TUBO VENTURI	0,0254	m
DIAMETRO DE LA GARGANTA DEL TUBO VENTURI	0,0127	m



De los cálculos anteriores se determinan los siguientes datos llevando consigo la congruencia de la diferencia de presión de 0,00 cm a 4,00 cm de la diferencia de altura de columna de mercurio. Los resultados se muestran en la tabla 5.

TABLA PARA LA OBTENCIÓN DE CAUDALES EN L/S MEDIANTE LECTURAS REALIZADAS EN UN MANOMETRO DIFERENCIAL DE MERCURIO (Hg) ACOPLADO A UN VENTURI EN EL LABORATORIO DE HIDRAULICA D ELA UNIVERSIDAD DE CARTAGENA.

DIF. DE ALTURA DE COLUMNA DE Hg (Cm)	DIF. DE ALTURA DE COLUMNA DE Hg (m)	CAUDAL L/S	CAUDAL m ³ /S	V ₁	V ₂	DIFERENCIA DE PRESIONES
0,00	0,00000	0,000	0,0000	0,000	0,000	0,000
0,10	0,00100	0,065	0,0001	0,128	0,514	123,606
0,20	0,00200	0,092	0,0001	0,182	0,726	247,212
0,30	0,00300	0,113	0,0001	0,222	0,889	370,818
0,40	0,00400	0,130	0,0001	0,257	1,027	494,424
0,50	0,00500	0,145	0,0001	0,287	1,148	618,030
0,60	0,00600	0,159	0,0002	0,314	1,258	741,636
0,70	0,00700	0,172	0,0002	0,340	1,359	865,242
0,80	0,00800	0,184	0,0002	0,363	1,452	988,848
0,90	0,00900	0,195	0,0002	0,385	1,541	1112,454
1,00	0,01000	0,206	0,0002	0,406	1,624	1236,060
1,10	0,01100	0,216	0,0002	0,426	1,703	1359,666
1,20	0,01200	0,225	0,0002	0,445	1,779	1483,272
1,30	0,01300	0,235	0,0002	0,463	1,851	1606,878
1,40	0,01400	0,243	0,0002	0,480	1,921	1730,484
1,50	0,01500	0,252	0,0003	0,497	1,989	1854,090
1,60	0,01600	0,260	0,0003	0,514	2,054	1977,696
1,70	0,01700	0,268	0,0003	0,529	2,117	2101,302
1,80	0,01800	0,276	0,0003	0,545	2,179	2224,908
1,90	0,01900	0,284	0,0003	0,560	2,238	2348,514
2,00	0,02000	0,291	0,0003	0,574	2,296	2472,120
2,10	0,02100	0,298	0,0003	0,588	2,353	2595,726
2,20	0,02200	0,305	0,0003	0,602	2,409	2719,332
2,30	0,02300	0,312	0,0003	0,616	2,463	2842,938
2,40	0,02400	0,319	0,0003	0,629	2,516	2966,544
2,50	0,02500	0,325	0,0003	0,642	2,568	3090,150
2,60	0,02600	0,332	0,0003	0,655	2,618	3213,756
2,70	0,02700	0,338	0,0003	0,667	2,668	3337,362
2,80	0,02800	0,344	0,0003	0,679	2,717	3460,968
2,90	0,02900	0,350	0,0004	0,691	2,765	3584,574
3,00	0,03000	0,356	0,0004	0,703	2,813	3708,180
3,10	0,03100	0,362	0,0004	0,715	2,859	3831,786
3,20	0,03200	0,368	0,0004	0,726	2,905	3955,392
3,30	0,03300	0,374	0,0004	0,737	2,950	4078,998
3,40	0,03400	0,379	0,0004	0,749	2,994	4202,604
3,50	0,03500	0,385	0,0004	0,759	3,038	4326,210
3,60	0,03600	0,390	0,0004	0,770	3,081	4449,816
3,70	0,03700	0,396	0,0004	0,781	3,124	4573,422
3,80	0,03800	0,401	0,0004	0,791	3,165	4697,028
3,90	0,03900	0,406	0,0004	0,802	3,207	4820,634
4,00	0,04000	0,411	0,0004	0,812	3,248	4944,240



Tabla 5. Resultados con diferentes diferencias de presiones

Cálculos para hallar las perdidas menores por accesorios en el sistema por medio de número de Reynolds. Los resultados se muestran en la tabla 6.

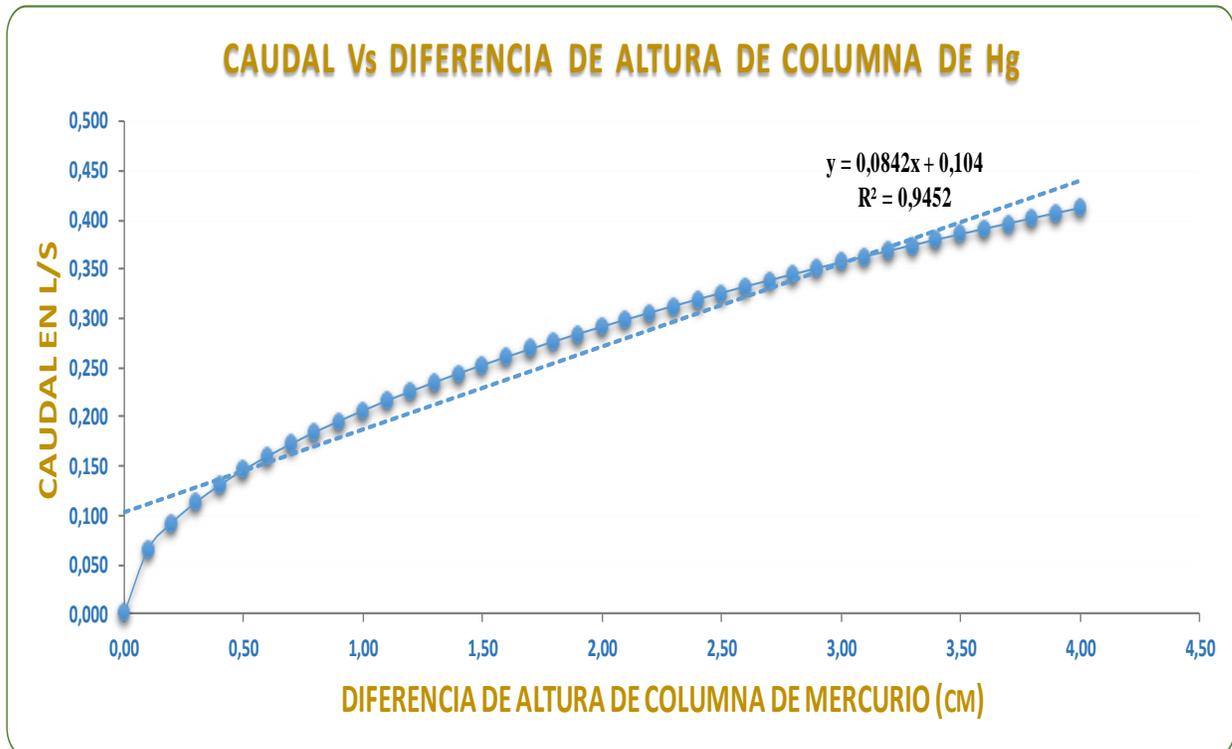
NÚMERO DE Re TUBERIA				NÚMERO DE Re EN LA ENTRADA DEL TUBO VENTURI		NÚMERO DE Re EN LA GARGANTA DEL TUBO VENTURI		PÉRDIDAS MENORES POR ACCESORIOS EN EL SISTEMA
$\frac{V^2}{2g}$	$\frac{V_1^2 - V_2^2}{2g}$	$R_E = \frac{V * D}{\nu}$	TIPO DE FLUJO	$R_E = \frac{V_1 * D_1}{\nu}$	TIPO DE FLUJO	$R_E = \frac{V_2 * D_2}{\nu}$	TIPO DE FLUJO	
0,000	0,000	0,000	Laminar	0,000	Laminar	0,000	Laminar	0,000
0,001	-0,013	0,004	Laminar	0,004	Laminar	0,007	Laminar	0,031
0,002	-0,025	0,005	Laminar	0,005	Laminar	0,010	Laminar	0,061
0,003	-0,038	0,006	Laminar	0,006	Laminar	0,013	Laminar	0,092
0,003	-0,050	0,007	Laminar	0,007	Laminar	0,015	Laminar	0,122
0,004	-0,063	0,008	Laminar	0,008	Laminar	0,016	Laminar	0,153
0,005	-0,076	0,009	Laminar	0,009	Laminar	0,018	Laminar	0,183
0,006	-0,088	0,010	Laminar	0,010	Laminar	0,019	Laminar	0,214
0,007	-0,101	0,010	Laminar	0,010	Laminar	0,021	Laminar	0,244
0,008	-0,113	0,011	Laminar	0,011	Laminar	0,022	Laminar	0,275
0,008	-0,126	0,012	Laminar	0,012	Laminar	0,023	Laminar	0,306
0,009	-0,139	0,012	Laminar	0,012	Laminar	0,024	Laminar	0,336
0,010	-0,151	0,013	Laminar	0,013	Laminar	0,025	Laminar	0,367
0,011	-0,164	0,013	Laminar	0,013	Laminar	0,026	Laminar	0,397
0,012	-0,176	0,014	Laminar	0,014	Laminar	0,027	Laminar	0,428
0,013	-0,189	0,014	Laminar	0,014	Laminar	0,028	Laminar	0,458
0,013	-0,202	0,015	Laminar	0,015	Laminar	0,029	Laminar	0,489
0,014	-0,214	0,015	Laminar	0,015	Laminar	0,030	Laminar	0,520
0,015	-0,227	0,015	Laminar	0,015	Laminar	0,031	Laminar	0,550
0,016	-0,239	0,016	Laminar	0,016	Laminar	0,032	Laminar	0,581
0,017	-0,252	0,016	Laminar	0,016	Laminar	0,033	Laminar	0,611
0,018	-0,265	0,017	Laminar	0,017	Laminar	0,033	Laminar	0,642
0,018	-0,277	0,017	Laminar	0,017	Laminar	0,034	Laminar	0,672
0,019	-0,290	0,017	Laminar	0,017	Laminar	0,035	Laminar	0,703
0,020	-0,302	0,018	Laminar	0,018	Laminar	0,036	Laminar	0,733
0,021	-0,315	0,018	Laminar	0,018	Laminar	0,036	Laminar	0,764
0,022	-0,328	0,019	Laminar	0,019	Laminar	0,037	Laminar	0,795
0,023	-0,340	0,019	Laminar	0,019	Laminar	0,038	Laminar	0,825
0,024	-0,353	0,019	Laminar	0,019	Laminar	0,039	Laminar	0,856
0,024	-0,365	0,020	Laminar	0,020	Laminar	0,039	Laminar	0,886
0,025	-0,378	0,020	Laminar	0,020	Laminar	0,040	Laminar	0,917
0,026	-0,391	0,020	Laminar	0,020	Laminar	0,041	Laminar	0,947
0,027	-0,403	0,021	Laminar	0,021	Laminar	0,041	Laminar	0,978
0,028	-0,416	0,021	Laminar	0,021	Laminar	0,042	Laminar	1,008
0,029	-0,428	0,021	Laminar	0,021	Laminar	0,042	Laminar	1,039
0,029	-0,441	0,022	Laminar	0,022	Laminar	0,043	Laminar	1,070
0,030	-0,454	0,022	Laminar	0,022	Laminar	0,044	Laminar	1,100
0,031	-0,466	0,022	Laminar	0,022	Laminar	0,044	Laminar	1,131
0,032	-0,479	0,022	Laminar	0,022	Laminar	0,045	Laminar	1,161
0,033	-0,491	0,023	Laminar	0,023	Laminar	0,045	Laminar	1,192
0,034	-0,504	0,023	Laminar	0,023	Laminar	0,046	Laminar	1,222





Tabla 6. Cálculos de número de Reynolds en entrada y garganta del Venturi

Datos obtenidos en relación de altura de la columna de mercurio con el caudal, es decir, en una altura “x” el caudal es “Y”. Como se denota en la gráfica 1 o curva de calibración del equipo.



Gráfica 1. Caudal vs Diferencia de altura de columna de Hg

La gráfica 1 indica que los datos obtenidos relacionando la diferencia de altura de la columna de mercurio con el caudal, son directamente proporcionales, es decir, a mayor diferencia de altura, mayor será el caudal. La grafica tiene un comportamiento lineal ya que su coeficiente de determinación²⁷ es igual a 0,945 (muy cercano a 1). Este coeficiente con un resultado en 1 determina la probabilidad de calidad del modelo para replicar los resultados, mostrando entonces que lo más posible dentro de datos mayores y superiores que puedan presentarse, la gráfica se comportará de igual manera o muy parecida.

²⁷ https://es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente_de_determinaci%C3%B3n



CONCLUSIÓN

El venturímetro en el área de la hidrodinámica es un factor determinante, el cual estriba en la importancia de conocer con veracidad la cantidad de fluido que circula en una tubería y/o sistema. conocer este tipo de aspectos implica un conjunto de conocimientos previos y fundamentados, además de las diferentes dimensiones del mismo, con ello, brinda amplias aplicaciones de gran utilidad para tener un control de los procesos relacionados.

La reducción de la sección de paso que tiene como característica este instrumento supone un aumento de la velocidad y, por lo tanto, de la energía cinética del fluido, este aumento de la energía cinética se produce a costa de una reducción de la presión.

El tubo Venturi es uno de los elementos primarios colocado en primera línea de importancia y mide una presión diferencial relacionada al mismo flujo.

Este tipo de instrumentos son difíciles de construir y tienen un costo más alto que otros elementos primarios como placas de orificio o toberas.

La principal ventaja se apunta a que no presenta una pérdida demasiado grande en las diferencias de entrada y garganta, consiguiéndose a consecuencia que el cono divergente desacelera la corriente y causa muy baja pérdida de carga.





REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Creus, Antonio. (2011). Instrumentación industrial” 8a edición. Barcelona España: Marcombo S.A- ediciones técnicas.
- [2] Cromer, A. H. (1998). Física en la ciencia y en la industria. Barcelona España: Reverté. S.A.
- [3] Harper, G. E. (2012). El ABC de la instrumentación en el control de procesos industriales. México: Limusa.
- [4] Mott, R. L. (1996). Mecánica de fluidos aplicada. México: Prentice Hall.

CIBERGRAFIA

- [1]https://www.google.com.co/search?q=imagenes+venturi&espv=2&biw=1366&bih=667&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjrmAGdpL7MAhXMmR4KHUxsB_cQ_AUIBigB#tbn=isch&q=tubo+de+venturi+casero&imgcr=trTCVibPpH73UM%3A
- [2]https://www.google.com.co/search?q=venturi+instalado&espv=2&biw=1366&bih=667&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiBttzXpsPMAhXCqh4KHSacA8wQ_AUIBigB#imgdii=XDpJFvJG3jw4VM%3A%3BXDPJFvJG3jw4VM%3A%3BTINDq28zbcANiM%3A&imgcr=XDpJFvJG3jw4VM%3A
- [3] <http://es.slideshare.net/lozadamalarin/efecto-venturi-24190667>
- [4] https://es.wikipedia.org/wiki/Principio_de_Bernoulli
- [5] <https://prezi.com/18xjlvyrooog/principio-de-bernoulli-y-tubo-de-venturi/>
- [6] <https://es.wikipedia.org/wiki/Viscosidad>
- [7] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/frict.html>



[8]<https://es.scribd.com/doc/74144459/Medida-de-Gasto-Con-Tubo-Venturi-y-Diafragma-de-Orificio>

[9]https://www.google.com.co/search?q=tubo+venturi+pdf&espv=2&biw=1366&bih=643&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjzgvS3xPHNAhWK2B4KHWeICYoQ_AUIBigB#tbm=isch&tbs=rimg%3ACaQnYAJJQWRyIjdb4ApRbdHeVb7MAEHoCRtyAcuZCdAQvcfH12GIQnLTrn3aJXskvE5InrfXpU7FIJXiFsh7pb8yoSCZ1vgClFt0d5EcBPz5tyDZE6KhIJVvswAQegJG0RUxei6F646r0qEgnIBy5kJOBC9xFXy0lBFY8pCoSCT58fXYyHcCtEXAgu9N15IUKhIJOfdoleyS8QRJk8kV51kyHwqEgnkiet9eITsUhEdS56fAmnYCoSCQleIWYhulvzEXAaxzmO7BwEk&q=tubo%20venturi%20%20con%20columna%20%20de%20mercurio&imgdii=yAcuZCdAQveC1M%3A%3ByAcuZCdAQveC1M%3A%3BO9awWiDaFIG1M%3A&imgrc=yAcuZCdAQveC1M%3A

[10]https://www.google.com.co/search?q=codo+de+90&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEWjhi7WBw_HNAhUEdh4KHY_wAMwQ_AUICcgB&biw=1366&bih=643#imgrc=1ZYpMFXq0x17VM%3A

[11]https://www.google.com.co/search?q=te+tuvo&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEWj7xL-9w_HNAhXEFh4KHYohDEAQ_AUICcgB&biw=1366&bih=643#tbm=isch&q=te+tubo+pvc&imgrc=-zXSJYQoksd_M%3A

[12]https://www.google.com.co/search?q=union+universal+pvc&espv=2&biw=1366&bih=643&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiWurPkw_HNAhXIFh4KHftODjsQ_AUIBigB#imgrc=RXdQFPLLA5PIOM%3A

[13]https://www.google.com.co/search?q=valvula+de+globo&espv=2&biw=1366&bih=643&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiyguj5w_HNAhVM2B4KHe8sAVQQ_AUIBigB&dpr=1#tbm=isch&q=valvula+de+globo+pvc&imgrc=d9O2RpL2bdw_vM%3A





**Universidad
de Cartagena**
Fundada en 1827



Acreditación Institucional de Alta Calidad
Resolución 2583 del 26 de febrero de 2014. Ministerio de Educación Nacional

[14] https://www.google.com.co/search?q=viscosidad+de+agua&espv=2&biw=1366&bih=643&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiiP9fIvPHNAhUCIR4KHY0pB9AQ_AUIBigB#tbm=isch&q=viscosidad+de+agua+a+25+grados&imgrc=gSjoqm2VkZuUjM%3A

[15] https://es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente_de_determinaci%C3%B3n



SC-CER153470



Departamento Académico – Programa de Metrología
Campus San Pablo Barrio Zaragocilla

Email: prmetrologia@unicartagena.edu.co - gbuelsvm@unicartagena.edu.co
web: ww.unicartagena.edu.co · Cartagena de Indias D, T y C - Colombia



NOMENCLATURA

Q: Caudal del liquido. (m^3/s)

V: Velocidad de fluido (m/s)

A₂: Seccion del Venturi en el punto de la garganta (m^2)

A₁: Seccion del Venturi en el punto convergente (m^2)

ρ: Densidad relativa del liquido.

Hg: mercurio

ρ_{Hg}: Densidad relativa del mercurio = $13600 \text{ Kg}/m^3$

g: Gravedad = $9.81 \text{ m}/s^2$.

h: Altura de la columna de mercurio

NPT: (National Pipe Thread) – rosca nacional de tubo

H: Pérdidas por accesorios

K: Coeficiente de fricción

Re: Número de Reynolds

μ: Viscosidad dinámica

v: Viscosidad cinemática



Anexos

1. Viscosidad del agua a diferentes temperaturas referenciadas en tabla 7²⁸

Temp. ° C	Viscosidad S = 0 °/∞ 10 ⁶ m ² /s	Viscosidad S = 35 °/∞ 10 ⁶ m ² /s
5	1.519	1.607
6	1.472	1.561
7	1.428	1.516
8	1.386	1.474
9	1.346	1.434
10	1.308	1.395
11	1.272	1.357
12	1.237	1.321
13	1.204	1.287
14	1.172	1.254
15	1.141	1.223
16	1.112	1.192
17	1.084	1.163
18	1.057	1.135
19	1.031	1.108
20	1.007	1.082
21	0.983	1.057
22	0.96	1.033
23	0.938	1.009
24	0.917	0.988
25	0.896	0.967
26	0.876	0.946

²⁸https://www.google.com.co/search?q=viscosidad+de+agua&espv=2&biw=1366&bih=643&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiip9fIvPHNAhUCIR4KHY0pB9AQ_AUIBigB#tbn=isch&q=viscosidad+de+agua+a+25+grados&imgc=gSjoqm2VkJZuUjM%3A





2. Tabla de coeficientes de fricción de pérdidas por accesorios en diferentes longitudes. Datos en tabla 8²⁹

- o Longitudes equivalente de tramos de tuberías para distintos accesorios y válvulas.

DIAMETRO D mm pulg.	Codo 90° Radio largo		Codo 90° Radio medio		Codo 90° Radio corto		Codo 45°		Curva 90° R/D = 1		Curva 90° R/D = 1		Curva 45°		Entrada normal	Entrada de Borda	Válvula de compuerta abierta	Válvula tipo globo abierta	Válvula de ángulo abierta	Té paso directo	Té salida lateral	Té salida bilateral	Válvula de pie	Salida de Tubería	Válvula de retención tipo liviana	Válvula de retención tipo pesado		
	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.
13	1/2	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4	0,1	4,9	2,6	0,3	1,0	1,0	3,6	0,4	1,1	1,6								
19	3/4	0,4	0,6	0,7	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2	0,5	0,1	6,7	3,6	0,4	1,4	1,4	5,6	0,5	1,6	2,4								
25	1	0,5	0,7	0,8	0,4	0,3	0,5	0,2	0,3	0,7	0,2	8,2	4,6	0,5	1,7	1,7	7,3	0,7	2,1	3,2								
32	1 1/4	0,7	0,9	1,1	0,5	0,4	0,6	0,3	0,4	0,9	0,2	11,3	5,6	0,7	2,3	2,3	10,0	0,9	2,7	4,0								
38	1 1/2	0,9	1,1	1,3	0,6	0,5	0,7	0,3	0,5	1,0	0,3	13,4	6,7	0,9	2,8	2,8	11,6	1,0	3,2	4,8								
50	2	1,1	1,4	1,7	0,8	0,6	0,9	0,4	0,7	1,5	0,4	17,4	8,5	1,1	3,5	3,5	14,0	1,5	4,2	6,4								
63	2 1/2	1,3	1,7	2,0	0,9	0,8	1,0	0,5	0,9	1,9	0,4	21,0	10,0	1,3	4,3	4,3	17,0	1,9	5,2	8,1								
75	3	1,6	2,1	2,5	1,2	1,0	1,3	0,6	1,1	2,2	0,5	26,0	13,0	1,6	5,2	5,2	20,0	2,2	6,3	9,7								
100	4	2,1	2,8	3,4	1,5	1,3	1,6	0,7	1,6	3,2	0,7	34,0	17,0	2,1	6,7	6,7	23,0	3,2	6,4	12,9								
125	5	2,7	3,7	4,2	1,9	1,6	2,1	0,9	2,0	4,0	0,9	43,0	21,0	2,7	8,4	8,4	30,0	4,0	10,4	16,1								
150	6	3,4	4,3	4,9	2,3	1,9	2,5	1,1	2,5	5,0	1,1	51,0	26,0	3,4	10,0	10,0	39,0	5,0	12,5	19,3								
200	8	4,3	5,5	6,4	3,0	2,4	3,3	1,5	3,5	6,0	1,4	67,0	34,0	4,3	13,0	13,0	52,0	6,0	16,0	25,0								
250	10	5,5	6,7	7,9	3,8	3,0	4,1	1,8	4,5	7,5	1,7	85,0	43,0	5,5	16,0	16,0	65,0	7,5	20,0	32,0								
300	12	6,1	7,9	9,5	4,6	3,6	4,8	2,2	5,5	9,0	2,1	102,0	51,0	6,1	19,0	19,0	78,0	9,0	24,0	38,0								
350	14	7,3	9,5	10,5	5,3	4,4	5,4	2,5	6,2	11,0	2,4	120,0	60,0	7,3	22,0	22,0	90,0	11,0	28,0	45,0								

* Los valores indicados para válvulas tipo globo se aplican también a llaves para regaderas y válvulas o llaves de descarga.

(*) Longitudes equivalentes según Azebedo N., J. y Acosta A. G. 1975

(**) Longitudes equivalentes para acero negro. Deben usarse factores de corrección para otros materiales. $FC = (C_{material}/100)^{1,85}$

²⁹ Tomado de: Laboratorio de Hidráulica de la Universidad de Cartagena



3. Tabla de coeficiente de fricción para cada accesorio. Datos en tabla 9³⁰.

Componente	K	Diagrama
Codos		
Radio corto 90° con bridas o extremo liso	0.3	
Radio corto 90° extremos roscados.	1.5	
Radio largo 90° con bridas o extremo liso	0.2	
Radio largo 90° extremos roscados.	0.7	
Radio largo 45° con bridas.	0.2	
Radio corto 45° extremos roscados.	0.4	
Curvas a 180°		
Curvas a 180° con bridas	0.2	
Curvas a 180° con extremos roscados	1.5	
Tees		
Paso directo con bridas o extremos lisos	0.2	
Paso directo con extremos roscados	0.9	
Salida de lado con bridas o extremos lisos	1.0	
Salida de lado con extremos roscados	2.0	
Union con extremos roscados	0.08	
Válvulas		
Globo totalmente abiertas	10	
Angulo totalmente abiertas	2	
Compuerta totalmente abiertas	0.15	
Compuerta 1/4 cerrada	0.26	
Compuerta 1/2 cerrada	2.1	
Compuerta 3/4 cerrada	17	
Cheque en el sentido del flujo	2	
Bola totalmente abierta	0.05	
Bola 1/3 cerrada	5.5	
Bola 2/3 cerrada	210	

³⁰ Manual para ensayo de pérdidas de energía en accesorios de tubería del laboratorio de hidráulica