



OCT 2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA



INFORME FINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“DISEÑO DE UN BANCO HIDRÁULICO EN
CIRCUITO CERRADO PARA LA CONTRASTACIÓN
Y CALIBRACIÓN DE FLUJÓMETROS
DEPRIMÓGENOS”**

AUTOR: JORGE LUIS ALEJOS ZELAYA

**PERIODO DE EJECUCIÓN: Del 01 de Octubre del
2015 al 30 de Setiembre del 2017**

Resolución de aprobación N° 717-2015-R

CALLAO, 2017

I. ÍNDICE

I. ÍNDICE.....	1
II. RESUMEN Y ABSTRAC	5
III. INTRODUCCIÓN	7
IV. MARCO TEÓRICO	8
4.1. Antecedentes de Estudio	8
4.2. Bases Teóricas	10
4.2.1. Dinámica de Flujo Fluido	10
4.2.2. Consideraciones Hidráulicas	25
4.2.3. Factores para la elección del tipo de medidor deprimógeno.....	30
4.2.4. Maquinas Hidráulicas Generadoras	35
4.3. Definiciones de términos básicos	43
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	45
5.1. Materiales utilizados.....	45
5.2. Métodos.....	46
5.2.1. Selección de los Dispositivos Deprimógenos	47
5.2.2. Condiciones de operación y temperatura del agua.....	50
5.2.3. Selección de la Bomba	50
5.2.4. Selección de la tubería.....	51
5.2.5. Diseño del Tanque de almacenamiento.....	52
5.2.6. Diseño del tanque de aforo	52
5.2.7. Banco hidráulico de circuito cerrado	53



5.2.8. Procedimiento de toma de datos.	55
5.2.9. Análisis y metodología de cálculos para evaluar el coeficiente de descarga C_d	56
5.3. Población de la investigación y Muestra	62
VI. RESULTADOS	63
VII. DISCUSIÓN	64
VIII.REFERENCIALES	65
IX. APÉNDICES	67
X. ANEXOS.....	70



ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 4.1: TUBO VENTURI.....	19
FIGURA N° 4.2: DIÁMETROS DEL TUBO VENTURI	20
FIGURA N° 4.3: TOBERA.....	21
FIGURA N° 4.4: PLACA DE ORIFICIO	22
FIGURA N° 4.5: TIPOS DE PLACA DE ORIFICIO	23
FIGURA N° 4.6: SECCIÓN CONTRACTA DE UN ORIFICIO	33
FIGURA N° 4.7: TANQUE DE PRUEBAS	34
FIGURA N° 4.8: CURVA CARACTERÍSTICA DE UNA BOMBA CENTRIFUGA.....	41
FIGURA N° 4.9: PUNTO DE OPERACIÓN DE UNA BOMBA CENTRIFUGA.....	42
FIGURA N° 5.1: BANCO HIDRÁULICO DE PRUEBAS	54
FIGURA N° 5.2: ESQUEMA HIDRÁULICO.....	54



ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO N° 4.1: DIMENSIONES DE TUBERÍAS DE ACERO	13
CUADRO N° 4.2: TABULACIÓN DE DATOS DE ENSAYO.....	24
CUADRO N° 5.1: TUBERÍA DE ACERO	51
CUADRO N° 5.2: TABULACIÓN DE DATOS.....	55
CUADRO N° 6.1: RESULTADOS	63



II. RESUMEN Y ABSTRAC

RESUMEN

Actualmente el laboratorio de Mecánica de Fluidos y Maquinas Térmicas de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía de la Universidad Nacional del Callao, no cuenta con el equipamiento adecuado de sus unidades de instrucción experimental que respondan a las inquietudes de la calidad académica de los estudiantes, contemplado el mismo en la nueva ley universitaria. Ante esta problemática el presente proyecto de investigación contribuirá a proyectar un banco hidráulico en circuito cerrado para admitir la contrastación y calibración de medidores de flujo volumétrico del tipo deprimógeno. El tipo de investigación es tecnológica por la aplicación del conocimiento científico en la solución de un problema latente que atenta con el nivel académico en la formación de los estudiantes de educación superior. El diseño a emplear es no experimental de acuerdo a las características que presenta el proyecto de investigación y se estima que los resultados permitirán lograr el estudio experimental del efecto Venturi en los dispositivos deprimogenos. Como conclusión se proyecta los lineamientos generales para la futura fabricación y montaje de la unidad de instrucción experimental como parte de la modernización y equipamiento del laboratorio de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía que se encuentra en vías del licenciamiento a fin de garantizar la formación académica de los estudiantes.

Palabras Claves:

Unidad de Instrucción Experimental, Licenciamiento de la Universidad, Circuito cerrado, Contrastación, Calibración, Dispositivos Deprimogenos, Calidad académica.



ABSTRAC

At the moment the laboratory of Mechanics of Fluids and Thermal Machines of the Faculty of Mechanical Engineering and of Energy of the National University of Callao, does not count on the adequate equipment of its units of experimental instruction that respond to the concerns of the academic quality of the students , contemplated the same in the new university law. Faced with this problem, the present research project will contribute to the design of a closed-circuit hydraulic bank to support the testing and calibration of volumetric flowmeters of the deprimogen type. The type of research is technological by the application of scientific knowledge in the solution of a latent problem that attenuates with the academic level in the training of students of higher education. The design to be used is non-experimental according to the characteristics presented by the research project and it is estimated that the results will allow to achieve the experimental study of the Venturi effect in the depressive devices. As a conclusion, the general guidelines for the future manufacture and assembly of the experimental training unit are projected as part of the modernization and equipping of the laboratory of the Faculty of Mechanical and Energy Engineering which is in the process of being licensed in order to guarantee the training of students.

Keywords:

Unit of Experimental Instruction, University Licensing, Closed Circuit, Contrastation, Calibration, Depressogenic Devices, Academic Quality.



III. INTRODUCCIÓN

Estando actualmente la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía de la Universidad Nacional del Callao en vías del licenciamiento y su posterior acreditación, la misma que garantice la buena formación académica de sus estudiantes, exige contar con laboratorios debidamente equipados y con tecnología de punta y con el apoyo del escaso recurso económico y el apoyo que brinda el gobierno regional y central a la universidad, se hizo necesario proyectar un banco de instrucción experimental titulado: ***“Diseño de un Banco Hidráulico en circuito cerrado para la Contratación y Calibración, de Fluómetros Deprimógenos”***, por la importancia que tienen en el desarrollo de investigación tecnológica orientado a los estudiantes y profesores inmersos en el área académica de ciencias e ingeniería: Termo – Fluidos, se permitirá calibrar y contrastar experimentalmente dispositivos deprimógenos como la Tobera, Placa de orificio y Venturi que utilizan el efecto Venturi, causando en ellos una caída de presión entre la corriente arriba y la corriente abajo del dispositivo a cambio de una ganancia de energía cinética del flujo de la sustancia operante; para lo cual se proyectó realizar el cálculo hidráulico, cálculo mecánico y selección de los componentes de la unidad de instrucción experimental en circuito cerrado de dimensiones apropiadas a la limitante espacio que se cuenta en el laboratorio, se espera el apoyo logístico del Vicerrectorado de investigación y del gobierno central de la universidad, a fin que se pueda concretar en un futuro cercano su construcción y fabricación de la unidad experimental, debido a que ya se cuenta con lineamientos generales para su realización.



IV.MARCO TEÓRICO

4.1. Antecedentes de Estudio

Una de las bases de la presente investigación se encuentra en la consulta de algunos antecedentes relacionados sobre el problema objeto de estudio en el proyecto de investigación.

- En la Biblioteca Central de la Universidad Nacional de Ambato - Ecuador, se encuentra registrada la tesis: "***Diseño y construcción del Banco Hidráulico para mediciones de caudal***", cuyos autores son: Echevarría Montesdeoca Diego Augusto y Guilcapi Toapanta Edmundo Vinicio, quienes presentaron y sustentaron para obtener el título de ingenieros industriales en procesos; de cuyo trabajo de investigación se deduce que el banco hidráulico proyectado es versátil en su construcción y permitirá a los estudiantes realizar prácticas de laboratorio que relacionen la teoría y práctica de hidráulica impartidas en aulas con la experimentación en un canal abierto de corriente uniforme donde se determina el caudal con base en la medición de la profundidad ó tirante.
- En la Biblioteca Central de la Corporación Universitaria Minuto de Dios - Colombia, se encuentra registrada la tesis: "***Diseño y Montaje del Laboratorio de Hidráulica de Tubería: Banco de Prueba de Tubo Venturi***", cuyos autores son: García Díaz Alexander, García Díaz Leonardo y Gaviria Montañez Edwin, quienes presentaron y sustentaron para obtener el título de ingenieros Civil y Tecnólogo en Electrónica; de cuyo trabajo de investigación experimental se desprende que el tubo Venturi debe instalarse en un tramo recto de tubería y tan lejano de las singularidades para su control y medición del flujo. El banco



hidráulico de prueba consta básicamente de un depósito inferior, un depósito volumétrico graduado y un sumidero.

- En la Biblioteca Central de la Universidad Albert Einstein – El Salvador, se encuentra registrada la tesis: ***“Diseño y Construcción de un Banco Hidráulico para pruebas de Bombas Centrífugas y Volumétricas”***, cuyos autores son: Castro Sánchez Manuel, Flores Monroy Rene, Menéndez Morales Rafael y Yurrita Tinetti Fernando, quienes presentaron y sustentaron para obtener el título de Ingeniero Mecánico, de cuyo trabajo de investigación se desprenden las pautas generales sobre el Diseño del Banco Hidráulico y el formato de presentación de las guías prácticas que se utilizan al experimentar las Bombas Hidráulicas y Volumétricas operando en forma individual y asociadas en serie – paralelo.
- En la Biblioteca Central de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito - Ecuador, se encuentra registrada la tesis: ***“Diseño y Construcción de un Banco de Pruebas para Pérdidas de Carga de Tuberías y Accesorios con Simulación”***, cuyos autores son: Calderón Córdova Jaime y Pozo Calva Christian, quienes presentaron y sustentaron para obtener el título de Ingeniero Mecánico, de cuyo trabajo de investigación se desprenden los métodos de medición y control del caudal, y velocidad de los fluidos y las pruebas en las singularidades existentes en la conducción hidráulica sometida a presión.
- En la Biblioteca Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se encuentra registrada la tesis: ***“Calibración de instrumentos de medición de flujo para conductos cerrados”***, cuyo autor es López López José, quien presento y sustento para



obtener el título de Ingeniero Civil; de cuyo trabajo de investigación experimental se desprende en forma detalla la caracterización y los factores que se deben tomar en cuenta para la selección de un medidor de flujo; la exactitud requerida y calibración, los cuales estarán en función del tipo de fluido que se esté analizando. Así mismo precisa procedimientos a seguir en la calibración de los cinco medidores de flujo colocados en serie, utilizando como referencia un rotámetro para su respectiva contrastación, detallando el porcentaje de error obtenido en cada medidor y en el aforo volumétrico.

4.2. Bases Teóricas

4.2.1. Dinámica de Flujo Fluido

Movimiento de Fluidos

El estudio del movimiento de los fluidos se puede realizar a través de la dinámica como también de la energía que estos tienen en su movimiento. Una forma de estudiar el movimiento es fijar la atención en una zona del espacio, en un punto en un instante t , en él se especifica la densidad, la velocidad y la presión del fluido. En ese punto se examina lo que sucede con el fluido que pasa por él. Al movimiento de un fluido se le llama "flujo".

Clasificación del Flujo

Dependiendo de las características del flujo, se puede clasificar en:

- **Flujo viscoso y no viscoso.** Los flujos viscosos son aquellos que presentan resistencia al avance. Todos los fluidos reales son viscosos.



- **Flujo incompresible y compresible.** Los flujos incompresibles son aquellos en que la densidad prácticamente permanece constante.
- **Flujo laminar y turbulento.** En el flujo laminar, el fluido se desplaza en láminas o capas paralelas. En el turbulento las partículas se mueven siguiendo trayectorias muy irregulares.
- **Flujo permanente.** Si las propiedades como la densidad, la velocidad, la presión no cambian en el tiempo en un punto del espacio, entonces se dice que el flujo es permanente, pudiendo cambiar de un punto a otro.

Rapidez de flujo de fluido

La cantidad de una sustancia operante que fluye a través de un área de flujo en el tiempo, se puede expresar en los siguientes términos:

- **Rapidez de flujo de volumen (\dot{V}).** Es el volumen de la sustancia operante registrado en un tiempo determinado.

$$\dot{V} = \frac{\text{Volumen}}{\text{tiempo}} = \frac{v}{t} = V * A \dots\dots\dots (4.1)$$

Dónde:

V: Es la velocidad media del flujo.

A: Área de flujo.

t: Es el tiempo.

v: Volumen.

Recodar la siguiente conversión: 1 cfs = 449 gpm = 0.0285 mcs

Dónde:

cfs: pies cúbicos por segundo.

gpm: galones por minuto.

mcs: metros cúbicos por segundo.



• Rapidez de flujo de masa (\dot{m})

$$\dot{m} = \frac{\text{masa}}{\text{tiempo}} = \frac{m}{t} \dots\dots\dots (4.2)$$

Igualando el tiempo en las ecuaciones (4.1) y (4.2), se tiene:

$$\dot{m} = \rho * \dot{V} = \rho * V * A \dots\dots\dots (4.3)$$

Dónde:

ρ : Densidad del fluido que depende de la temperatura de operación de la sustancia operante.

\dot{V} : Medición del caudal o rapidez del flujo volumétrico.

El área de flujo en conducciones hidráulicas sometidas a presión queda establecida por su diámetro hidráulico, que para un caso particular si la sección transversal de la conducción es circular viene a ser su diámetro interior.

La cédula de las tuberías de acero, varían entre 10 hasta 160, dependiendo de la presión de operación del fluido y del esfuerzo permisible del acero.

En los cálculos hidráulicos que se hacen, se determina el diámetro interior de la conducción que luego llevado a unas tablas se selecciona el diámetro comercial denominado diámetro nominal, tener presente que la selección se hace siempre en exceso, Ejemplo: considerando una velocidad del flujo de agua de 2 m/s y un caudal de 5l/s. ¿Se requiere seleccionar el diámetro apropiado si se utiliza una tubería de acero cedula 40 y 80?

Solución:

$$d = \sqrt{\frac{4 * \dot{V}}{V * \pi}} = \sqrt{\frac{4 * 5 * 10^{-3}}{2 * \pi}} * 1000 = 56.42 \text{ mm}$$

Para cedula 40 el diámetro es de 2" y para cedula 80 es 2 ½".



CUADRO N° 4.1. DIMENSIONES DE TUBERÍAS DE ACERO

D _N (in)	CÉD 40			CÉD 80		
	De mm	e mm	Di mm	De mm	e mm	Di mm
1/8	10,3	1,73	6,8	10,3	2,41	5,5
1/4	13,7	2,24	9,2	13,7	3,02	7,7
3/8	17,1	2,31	12,5	17,1	3,20	10,7
1/2	21,3	2,77	15,8	21,3	3,73	13,9
3/4	26,7	2,87	20,9	26,7	3,91	18,8
1	33,4	3,38	26,6	33,4	4,55	24,3
1 ¼	42,2	3,56	35,1	42,2	4,85	32,5
1 ½	48,3	3,68	40,9	48,3	5,08	38,1
2	60,3	3,91	52,5	60,3	5,54	49,3
2 ½	73,0	5,16	62,7	73,0	7,01	59,0
3	88,9	5,49	77,9	88,9	7,62	73,7
3 ½	101,6	5,74	90,1	101,6	8,08	85,4
4	114,3	6,02	102,3	114,3	8,56	97,2

FUENTE: MOTT ROBERT. "Mecánica de Fluidos" 6ª Edición. Pág. 601 – 603

En el Laboratorio de Mecánica de Fluidos de la UNAC – FIME, el equipo del Banco Hidráulico el flujo de agua está dado por:

$$m_{\text{agua}} = 3 \text{ m}_{\text{pesa}} \dots\dots\dots(4.4)$$

De la ecuación (4.2).

$$\dot{m} = \frac{\text{masa de agua}}{\text{tiempo}} = \frac{3 \text{ masa pesa}}{\text{tiempo}} = \rho * \dot{V}$$

$$\dot{V} = \frac{3 \text{ masa pesa}}{\rho * t} \dots\dots\dots (4.5)$$

Llamado también gasto gravimétrico.

Dónde:

La masa de la pesa en el laboratorio es de 2 Kg.



- **Rapidez de flujo de Peso (\dot{W}).** Es el peso registrado de la masa del fluido operante.

$$\dot{W} = \frac{\text{Peso}}{\text{tiempo}} = \frac{m * g}{t} = \rho * g * \dot{V} \dots\dots\dots (4.6)$$

Métodos de medición de flujos

Los métodos para la medición de flujos pueden clasificarse en directos o indirectos.

- Los métodos directos abarcan la medición real del gasto (volumen o peso) para un intervalo de tiempo dado.
- Los métodos indirectos incluyen la medición de un cambio de presión o alguna otra variable, que a su vez se relaciona directamente con el gasto. En conductos cerrados se emplean dispositivos de método indirecto, como medidores Venturi, Placa de orificio y Toberas de flujo.

Uno de los métodos más exactos para medir gasto de líquidos consiste en tomar una muestra del flujo durante cierto tiempo “t”. Después al pesar la muestra se obtiene el peso promedio del gasto. También se puede medir el volumen de la muestra (generalmente en un tanque calibrado), a partir del cual se obtiene el volumen promedio del gasto.

Otro método indirecto es el medidor de flujo o flujómetro electromagnético que opera bajo el principio de generación de voltaje cuando un conductor se mueve en un campo magnético.

Así mismo se puede evaluar el caudal mediante el método de integración del área bajo la curva de velocidad, para lo cual se entiende que la velocidad local es simétrica en la tubería,



alcanzando un valor máximo cuando el radio es cero y un valor de la velocidad cero, cuando el radio es máximo.

Medidores volumétricos

Los medidores volumétricos determinan el caudal en volumen del fluido. Hay que señalar que la medida de caudal en la industria se efectúa principalmente con elementos que dan lugar a una presión diferencial al paso del fluido. Entre estos elementos se encuentran los Caudalímetro de obstrucción; la Placa de Orificio o Diafragma, la Tobera, y el tubo Venturi, funcionan por el efecto Venturi.

En cada caso, el medidor actúa como un obstáculo al paso del fluido provocando cambios en la velocidad. Consecuentemente, estos cambios de velocidad causan cambios en la presión. En los puntos donde la restricción es máxima, la velocidad del fluido es máxima y la presión es mínima. Para este tipo de medidores de gasto volumétrico, se tiene presente que el coeficiente de descarga del dispositivo, es:

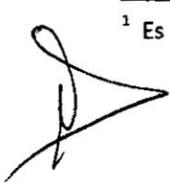
$$C_d = \frac{\text{Caudal real}}{\text{Caudal teórico}} < 1 \dots\dots\dots (4.7)$$

En el laboratorio el caudal real se determina utilizando la ecuación (4.1) o también en forma aproximada la ecuación (4.8).

$$Q_{\text{real}} = K * A_0 * \sqrt{2g * \Delta h} \dots\dots\dots (4.8)$$

Dónde:

“K” es el coeficiente de flujo¹ que se determina haciendo uso de la figura 13.11, del texto de Mecánica de Fluidos. ROBERSON, J.A y CROWE, C.T.



¹ Es un parámetro adimensional que sirve para corregir el gasto volumétrico teórico.

A_0 : Es el área de la garganta del dispositivo de medición.

Δh : Es la variación de la energía cinética del fluido.

Dicha ecuación será utilizada para evaluar el caudal que pasa por una conducción hidráulica, en el cual se instala dispositivos deprimogenos que aprovechan el efecto Venturi.

Medidores de presión diferencial

La medida de caudal en conducciones cerradas, consiste en la determinación de la cantidad de masa o volumen que circula por la conducción por unidad de tiempo. Los instrumentos que llevan a cabo la medida de un caudal se denominan, habitualmente, Caudalímetro o medidores de caudal, constituyendo una modalidad particular los contadores, los cuales integran dispositivos adecuados para medir y justificar el volumen que ha circulado por la conducción. Los medidores de caudal volumétrico pueden determinar el caudal de volumen de fluido de dos formas:

- Directamente mediante dispositivos de desplazamiento positivo o tanque calibrado.
- Indirectamente, mediante dispositivos de: presión diferencial, área variable, velocidad, fuerza, etc. Puesto que la medida de caudal volumétrico en la industria se realiza, generalmente, con instrumentos que dan lugar a una presión diferencial al paso del fluido, abordaremos en primer lugar los medidores de presión diferencial. Esta clase de medidores presenta una reducción de la sección de paso del fluido, dando lugar a que el fluido aumente su velocidad, lo que origina un aumento de su energía cinética y, por consiguiente, su presión tiende a disminuir en una proporción equivalente, de acuerdo con el



principio de la conservación de la energía, creando una diferencia de presión estática entre las secciones aguas arriba y aguas abajo del medidor.

Entre los principales tipos de medidores de presión diferencial se pueden destacar los siguientes: **Placas de orificio, Toberas, Tubos Venturi, Codos y Medidores de área variable**. Se estima que actualmente al menos un 75% de los medidores industriales en uso son dispositivos de presión diferencial, siendo el más popular la placa de orificio.

Las principales ventajas de dichos medidores son:

- ✓ Su sencillez de construcción, no incluyendo partes móviles.
- ✓ Su funcionamiento se comprende con facilidad.
- ✓ No son caros, particularmente si se instalan en grandes tuberías y se comparan con otros medidores.
- ✓ Pueden utilizarse para la mayoría de los fluidos.

Sus principales desventajas son:

- ✓ La amplitud del campo de medida es menor que para la mayoría de los otros tipos de medidores.
- ✓ Pueden producir pérdidas de carga significativas.
- ✓ La señal de salida no es lineal con el caudal.
- ✓ Deben respetarse unos tramos rectos de tubería aguas arriba y aguas abajo del medidor que según el trazado de la tubería y los accesorios existentes, pueden ser grandes.



- ✓ Pueden producirse efectos de envejecimiento, es decir, acumulación de depósitos o la erosión de las aristas vivas.
- ✓ La precisión suele ser menor que la de medidores más modernos, especialmente si, como es habitual el medidor se entrega sin calibrar.

Dispositivos Deprimogenos de presión diferencial

Los dispositivos deprimogenos al utilizar el efecto Venturi aumentan su energía cinética aguas abajo, a cambio de una reducción del área de flujo por lo que se registra una caída de presión corriente arriba y corriente a bajo en las tomas de dichos dispositivos de medición de caudal.

- **El tubo Venturi**

Es un dispositivo que origina una pérdida de presión al pasar por él un fluido. Está compuesto por una tubería corta recta o garganta entre dos tramos cónicos, uno convergente y uno divergente o de descarga. La presión varía en la proximidad de la sección estrecha; es de fácil manejo y mantenimiento con el cual pueden medirse una amplia variedad de fluidos y gases, así al colocar un manómetro o un instrumento registrador en la garganta se puede medir la caída de presión y calcular el caudal.

La principal ventaja de un tubo Venturi con respecto a otros caudalímetros de presión diferencial radica en la mayor recuperación de presión y en las exigencias más bajas a los tramos de entrada y salida del tubo.

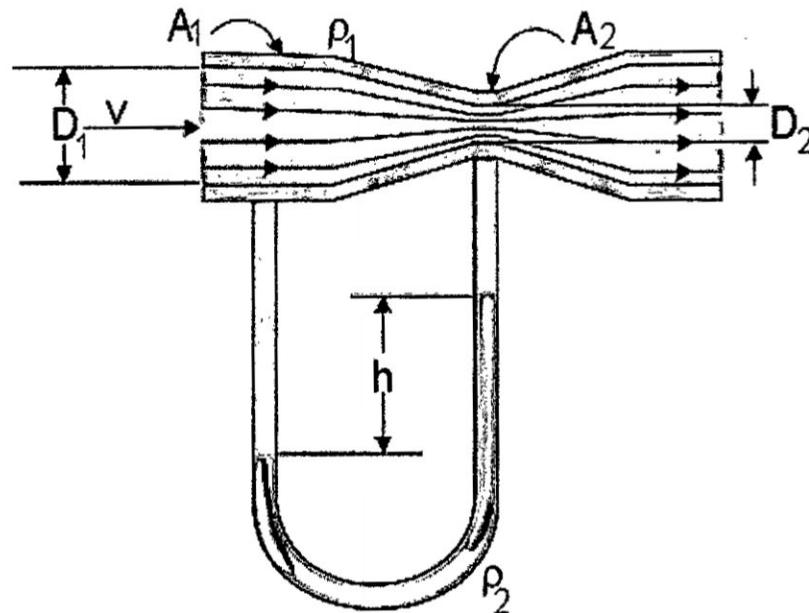
El tubo Venturi se compone de tres secciones, como se muestra:

1. Sección de entrada.



2. Sección de garganta.
3. Sección de salida.

FIGURA N° 4.1. TUBO VENTURI

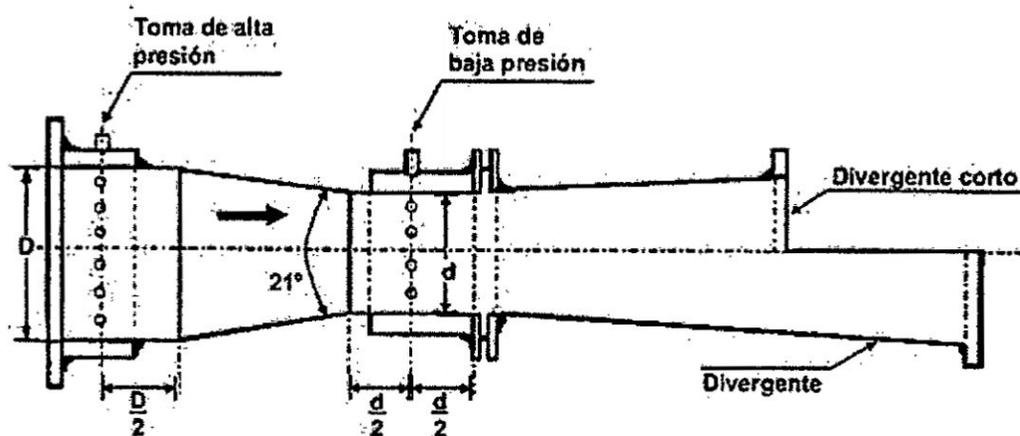


Fuente. Elaboración propia.

En el tubo Venturi, el flujo va desde la tubería principal de diámetro "D" hacia la garganta del dispositivo de diámetro "d" donde se acelera y causa una disminución la presión del fluido. Después el flujo se expande a través del cono divergente al mismo diámetro que la tubería principal. En la pared de la tubería de la sección aguas arriba y en la pared de la garganta, se ubican las tomas de presión. En dichas tomas se puede conectar un manómetro de presión diferencial de tal forma que la deflexión "H" es una indicación de la deferencia de presión $P_1 - P_2$ que se relaciona con el caudal mediante las leyes básicas de la dinámica de los fluidos como son la conservación de la masa

y la conservación de la energía. Los valores del coeficiente de descarga C_d se obtienen de curvas que son función del número de Reynolds y de la relación de diámetros d/D . El tubo Venturi posee una elevada precisión del orden de $\pm 0,75\%$, permite el paso de fluidos con un porcentaje relativamente grande de sólidos. Presenta la desventaja de ser costoso.

FIGURA N° 4.2. DIÁMETROS DEL TUBO VENTURI



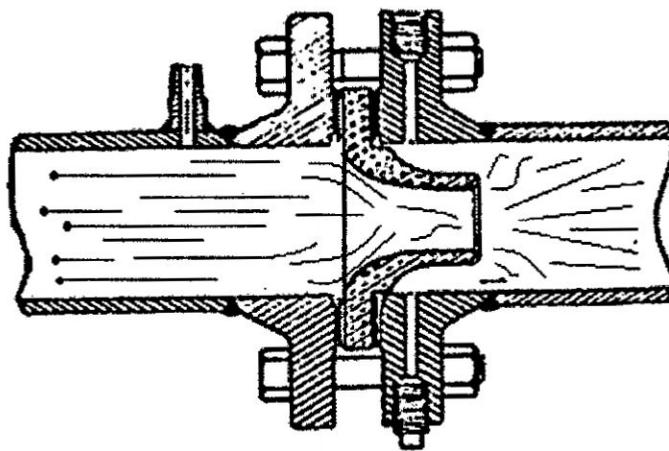
Fuente. Munson Young Okiishi. Fundamentos de Mecánica de Fluidos

- **La tobera**

La tobera consta de un tubo corto cuyo diámetro disminuye en forma gradual de un extremo al otro. También posee dos tomas de presión, una ubicada del lado anterior y otra ubicada del lado posterior de la tobera, en las que se puede conectar un manómetro de presión diferencial. Este tipo de instrumento se caracteriza por ser Apta para medición de líquidos, gases y vapor de agua, da solución óptima para la medición de caudal con vapor con una exactitud sin calibración entre $\pm 0,8$ a 2% , además garantiza una menor pérdida en comparación con la familia de las placas orificio.

Los valores del coeficiente de descarga se obtienen de curvas que son función del número de Reynolds y que tienen como parámetro a la relación de los diámetros $\beta = d/D$, la tobera se puede emplear para medir caudal de fluidos con dos fases, de vapor o líquidos viscosos, Sin embargo, no debe emplearse para líquidos con concentraciones de sólidos mayores que puedan llegar a obturarla. El costo de la tobera es de 8 a 16 veces el de la placa orificio y su precisión es del orden de $\pm 0.95\%$ a $\pm 1,5\%$.

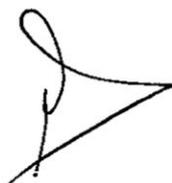
FIGURA N° 4.3. TOBERA



Fuente. Yunus A. Cengel, Mecánica de Fluidos. Fundamentos y Aplicaciones

- **Placa de orificio o diafragma**

Consiste en una placa perforada ubicada en el interior de una tubería. Posee además, dos tomas de presión, una en la parte anterior y otra en la parte posterior de la placa, a las cuales se conecta un manómetro de presión diferencial. La placa de orificio hace que la obstrucción al paso del fluido por la tubería sea de forma abrupta, esto provoca que la vena fluida presente una sección inferior a la del estrechamiento que se denomina "vena contracta" y que se encuentra corriente abajo del mismo.

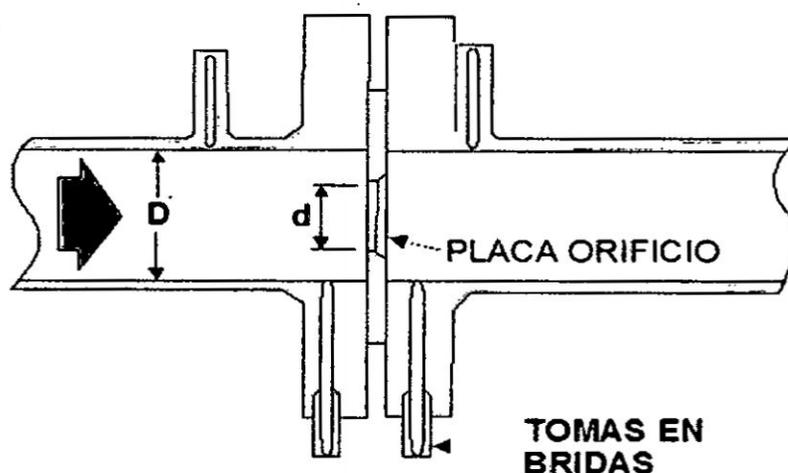


El efecto de la vena contracta no sucede cuando el estrechamiento de la sección de la cañería es de forma gradual. El orificio de la placa puede ser concéntrico, excéntrico o segmental. El concéntrico es el más comúnmente utilizado.

El orificio de la placa es circular y concéntrico con el tubo en el que va instalado. Su exactitud es mucho mayor a la de los otros dos tipos de orificios. Los valores de C_d se obtienen de curvas que son función del número de Reynolds y de la relación $\beta = d/D$, la precisión de la placa orificio está en el orden de $\pm 1\%$ y $\pm 2\%$.

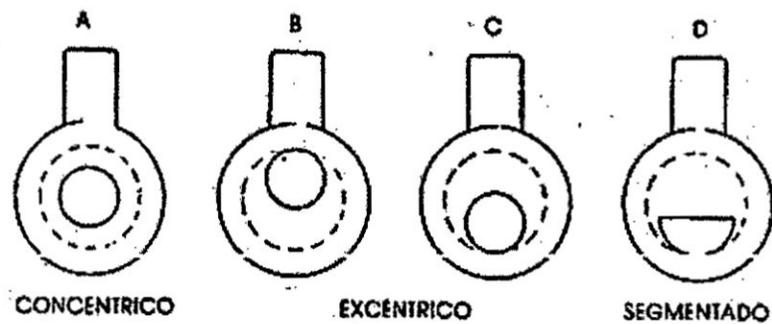
Debido a su técnica probada, su facilidad de montaje y su mantenimiento sencillo, las placas de orificio son los elementos primarios más difundidos a nivel mundial, se caracteriza principalmente por ser apto para medición de líquidos, gases y vapor de agua con una exactitud no calibrada de $\pm 0,5$ a $2,5\%$, puede trabajar hasta una temperatura máxima de servicio de $800\text{ }^\circ\text{C}$ y una presión máxima de trabajo de hasta 400 bar .

FIGURA N° 4.4. PLACA DE ORIFICIO



Fuente. Yunus A. Cengel, Mecánica de Fluidos. Fundamentos y Aplicaciones

FIGURA N 4.5. TIPOS DE PLACA DE ORIFICIO



Fuente. Yunus A. Cengel, Mecánica de Fluidos. Fundamentos y Aplicaciones

Prueba de aforo volumétrico

Es el método más sencillo de medir ó determinar el flujo de agua a la salida de una sección de tubería o canal. En un laboratorio de hidráulica es apropiado este método por que se manejan pequeños caudales, planteándose la pregunta **¿Cuál es el tiempo requerido que tardara en llenar un recipiente de volumen conocido?**

Inicialmente, se realiza una inspección al sitio a investigar días antes de la prueba se revisa y calibra el recipiente a utilizar (cubo o tanque de 5 galones), mediante una probeta calibrada, para verificar que el volumen a medir sea exacto, posteriormente se procede a marcar el recipiente.

Se debe tener en cuenta antes de la prueba:

- Elaboración de ficha técnica.
- Recipientes con graduaciones (05 galones).
- Cronómetro.
- Probeta.
- Equipos de seguridad (Si el agua es potable no se requiere).

- **Medidas de seguridad:** Revisar, verificar que el equipo y las herramientas para la generación de la prueba esté disponible y en buenas condiciones para dar inicio a la prueba de aforo volumétrico en el área del proyecto.

El procedimiento para la Prueba de aforo volumétrico, el analista, debe mantener el cronometro en cero, luego en la salida del flujo constante de la tubería o canal, se coloca el recipiente, simultáneamente se activa el cronometro; este proceso finaliza en el momento en que el flujo llegue a la marca del recipiente y se desactiva el cronometro inmediatamente, el resultado de este procedimiento es el volumen de llenado registrado en un tiempo determinado; el mismo que debe ser repetido mínimamente cinco (5) veces, de esta manera se verifica si el flujo es constante o variable, elaborándose el siguiente cuadro:

CUADRO N° 4.2. TABULACIÓN DE DATOS DE ENSAYO

Prueba	Volumen (cc)	Tiempo (s)
1		
2		
3		
4		
5		

Fuente. Elaboración Propia

Con los datos tomados de tiempo y el delta de volumen de agua escogido se obtiene el caudal que está recorriendo la tubería o canal, después de hacerle un tratamiento estadístico a los datos, resultando en caudal:



$$Q = \frac{Q_1+Q_2+Q_3+Q_4+Q_5}{5} \dots\dots\dots (4.9)$$

Finalmente el analista genera el análisis e informe final y lo remite a su jefe inmediato, para su revisión; dichos trámites conllevan copias para sus respectivos archivos.

4.2.2. Consideraciones Hidráulicas

Como consideraciones hidráulicas previas al cálculo hidráulico que se detalla posteriormente, se debe tener presente lo siguiente:

- La medición de la rapidez del flujo de fluido en volumen, en peso o másico de la sustancia operante en el banco hidráulico de circuito cerrado. La mayor parte de los equipos diseñados para realizar mediciones de caudal en tuberías cerradas a presión se basan en la medición local de la velocidad del flujo (velocidad media axial en la sección) y el área de paso. Sin embargo cada instrumento posee un principio de funcionamiento diferente que permite obtener la velocidad local y relacionar la velocidad medida con la velocidad media de la conducción.
- El comportamiento del flujo de agua o perfil de velocidades al interior de la tubería o conducción, este comportamiento del flujo al interior de la tubería es posible conocerlo a partir de la relación en las velocidades medidas y la velocidad media axial. Idealmente el perfil de velocidades en una tubería de agua con un flujo plenamente desarrollado, debe presentar una simetría axial y dependiendo del tipo de flujo adquiere una forma más o menos parabólica.

Cuando el número de Reynolds (Re) es menor a 2000, el flujo se considera laminar y su perfil es parabólico y cuando el número de

$$\frac{u_r}{V_{\text{máx}}} = \left(\frac{R-r}{R}\right)^{\frac{1}{n}} \dots\dots\dots (4.12)$$

Dónde: "n" depende del número de Reynolds y varía entre 6 y 10, haciéndose luego constante este valor para flujos turbulentos completamente desarrollados, dichos valores se pueden obtener de la tabla de Nikuradse.

En la práctica con muy buena aproximación se puede tomarse n igual a 7.

$$V = \frac{2 \cdot n^2}{(n+1) \cdot (2n+1)} * V_{\text{Maximo}} \dots\dots\dots (4.13)$$

Tener presente que la velocidad máxima del flujo se alcanza en el eje central de la tubería. En forma práctica se puede considerar:

$$V = 0.8166 * V_{\text{Maximo}} \dots\dots\dots (4.14)$$

La rapidez de flujo de volumen con velocidad variable queda definido por:

$$Q : V * A = \int U_r * dA \dots\dots\dots (4.15)$$

- **Coefficiente de velocidad (c_v)**

Experimentalmente se ha comprobado que la velocidad media de un chorro de un orificio de pared delgada, es un poco menor que la ideal, debido a la viscosidad del fluido y otros factores tales como la tensión superficial. Por lo que la velocidad teórica del chorro a la salida del orificio, viene expresado por la ecuación de Torricelli.

$$V_{\text{teo}} = \sqrt{2g * H} \dots\dots\dots (4.16)$$



Finalmente la velocidad real, es:

$$V = C_v * \sqrt{2g * H} \dots\dots\dots (4.17)$$

Dónde:

C_v : Es el coeficiente de velocidad.

g : Es la gravedad.

H : Es la carga.

El valor numérico de C_v para el agua y líquidos de viscosidad similar es ligeramente menor que la unidad, y tiene su valor mínimo para cargas bajas y diámetros pequeños; para un diámetro de $\frac{3}{4}$ de pulgada y una carga de un pie, Smith y Walker encontraron que su valor es de 0.954. Conforme aumentan el diámetro o la carga, el coeficiente aumenta. Para un diámetro de 2.5 pulg. y una carga de 60 ft, los mismos experimentadores obtuvieron un valor de 0.993. Sus datos indican que, para un diámetro dado el incremento de la carga es pequeño.

Un análisis experimental de un chorro que escapa de un orificio al aire libre muestra que la velocidad de las partículas próximas a su superficie exterior es algo más baja que la de las partículas que están más cerca del centro del chorro. Las partículas exteriores antes de pasar por el orificio, se mueven a lo largo o en la proximidad de la cara posterior de la placa del orificio y llegan a su arista con una velocidad menor que aquellas partículas que llegan en una dirección más normal al plano del orificio. Su arrastre por viscosidad sobre las partículas más centrales tiene el efecto de disminuir la velocidad promedio en la sección contraída. Un orificio más grande con la misma carga, produce un chorro en el que todavía hay una variación de velocidad, pero en donde la acción retardante de las partículas exteriores no se extiende la misma



distancia proporcional en el chorro, y la velocidad promedio en la sección contraída se aumenta. Con diámetro constante, un incremento en la carga causa un incremento general en la velocidad del chorro, y el arrastre por viscosidad de las partículas exteriores tiene un menor efecto, debido a la mayor inercia de las partículas internas.

- **Coefficiente de contracción (c_c)**

Es la relación entre el área contraída y la del orificio. Su valor numérico para un fluido determinado varía con el diámetro del orificio y la carga.

$$C_e = \frac{\text{Area real de la vena contracta}}{\text{Area del orificio}} \dots\dots\dots (4.18)$$

El coeficiente de contracción disminuye con un diámetro mayor y con un incremento en la carga. Para el agua, Smith y Walker obtuvieron valores que variaban desde 0.688, para un orificio de $\frac{3}{4}$ de in con un pie de carga, hasta 0.613 para un orificio de 2.5 in con una carga de 60 ft.

Con cargas bajas y bajas velocidades del movimiento que las acompañe, el movimiento lateral de las partículas a lo largo de la parte trasera de la placa del orificio es correspondientemente pequeño, y el cambio en dirección de las partículas al pasar por la arista se lleva a cabo rápidamente, reduciendo la cantidad de contracción. El incremento en la carga tiende a acelerar el movimiento lateral con la parte trasera de la placa y aumenta la cantidad de la contracción. Al aumentar el tamaño del Orificio, es probable que el mayor espacio radial permita que el movimiento continúe más allá de la arista del orificio, con un aumento en la cantidad de la contracción.



- **Coefficiente de descarga: (C_d)**

El volumen del fluido, Q , que escurre del orificio por segundo, puede calcularse como el producto de a' , el área real de la sección contraída por la velocidad real media que pasa por esa sección, y por consiguiente se puede escribir la siguiente ecuación:

$$C_d = \frac{\text{Caudal real}}{\text{Caudal teorico}} \dots\dots\dots (4.19)$$

$$Q_{\text{real}}: C_d * \sqrt{2gH} * \frac{\pi}{4} * d^2 \dots\dots\dots (4.20)$$

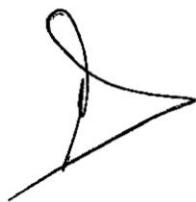
El coeficiente de descarga, variará con la carga y el diámetro del orificio. Sus valores para el agua han sido determinados por varios experimentadores.

4.2.3. Factores para la elección del tipo de medidor deprimógeno

- **Rango:** los medidores disponibles en el mercado pueden medir flujos desde varios mililitros por segundo (ml/s) para experimentos precisos de laboratorio hasta varios miles de metros cúbicos por segundo (m^3/s) para sistemas de irrigación de agua o agua municipal o sistemas de drenaje. Para una instalación de medición en particular, debe conocerse el orden de magnitud general de la velocidad de flujo así como el rango de las variaciones esperadas.
- **Exactitud requerida:** cualquier dispositivo de medición de flujo instalado y operado adecuadamente puede proporcionar una exactitud dentro del 5 % del flujo real. La mayoría de los medidores en el mercado tienen una exactitud del 2% y algunos dicen tener una exactitud de más del 0.5%. El costo es con frecuencia uno de los factores importantes cuando se requiere de una gran exactitud.



- **Pérdida de presión:** debido a que los detalles de construcción de los distintos medidores son muy diferentes, éstos proporcionan diversas cantidades de pérdida de energía o pérdida de presión conforme el fluido corre a través de ellos. Excepto algunos tipos, los medidores de fluido llevan a cabo la medición estableciendo una restricción o un dispositivo mecánico en la corriente de flujo, causando así la pérdida de energía.
- **Tipo de fluido:** el funcionamiento de algunos medidores de fluido se encuentra afectado por las propiedades y condiciones del fluido. Una consideración básica es si el fluido es un líquido o un gas. Otros factores que pueden ser importantes son la viscosidad, la temperatura, la corrosión, la conductividad eléctrica, la claridad óptica, las propiedades de lubricación y homogeneidad.
- **Calibración:** se requiere de calibración en algunos tipos de medidores. Algunos fabricantes proporcionan una calibración en forma de una gráfica o esquema del flujo real versus indicación de la lectura. Algunos están equipados para hacer la lectura en forma directa con escalas calibradas en las unidades de flujo que se deseen. En el caso del tipo más básico de los medidores, tales como los de cabeza variable, se han determinado formas geométricas y dimensiones estándar para las que se encuentran datos empíricos disponibles. Estos datos relacionan el flujo con una variable fácil de medición, tal como una diferencia de presión o un nivel de fluido.
- **Descarga por un orificio**
Considerando el caso de un fluido que sale de una tobera a la atmósfera con flujo subsónico. La presión de salida para tales flujos debe ser la de la atmósfera que lo rodea. Si la presión de la atmósfera fuera inferior que la del chorro, tendría lugar allí una



expansión natural del mismo. Este hecho disminuiría la velocidad en el chorro, de acuerdo con la teoría del flujo isoentrópico, y, por consiguiente, crecería necesariamente la presión en el chorro, agravando más la situación. Una continuación de este evento sería catastrófica. Por otra parte, si se considera la hipótesis de que la presión de la atmósfera sea superior a la del chorro, tendrá lugar entonces una contracción del chorro de acuerdo con la teoría del flujo isoentrópico, y un incremento de velocidad, esto produciría una disminución posterior en la presión del chorro, agravando de nuevo la situación. Cualquiera de estas dos suposiciones conlleva a una inestabilidad en el flujo del chorro.

Puesto que se sabe que el chorro subsónico libre es estable, se puede concluir que la presión del chorro es igual a la presión que lo rodea. Sin embargo, si el chorro emerge supersónicamente, la presión de salida no necesita ser igual a la presión de los alrededores. Puede ajustarse la presión de salida a la presión exterior, mediante una sucesión de ondas de choque y expansiones oblicuas, para el caso bidimensional o de ondas cónicas similares en el caso simétrico tridimensional.

- **Consideraciones generales de los orificios**

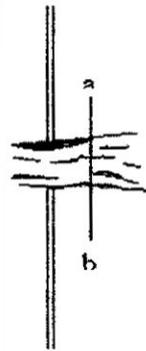
Los orificios intervienen en el diseño de muchas estructuras hidráulicas y para la medida o aforo de los fluidos que escurren.

Orificio, es cualquier abertura que tiene un perímetro cerrado y que se hace en un muro o división. Sus formas son muy variadas, aunque los más empleados son los circulares y rectangulares. Se considera un orificio de pared delgada a aquel en donde una placa o pared de espesor pequeño medible ha sido taladrada por un agujero y se ha producido una arista aguda bien definida en la superficie interior de la placa. (Ver figura N° 4.6). El gasto de la descarga de un orificio depende de la naturaleza de sus aristas u



orillas, y con el objeto de comparar el funcionamiento de los orificios que tienen diferentes diámetros, es necesario que estas aristas estén formadas similarmente.

FIGURA N° 4.6. SECCIÓN CONTRACTA EN UN ORIFICIO



Fuente: Elaboración Propia

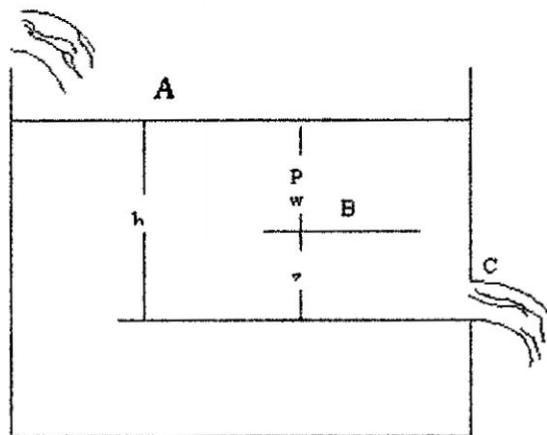
Cualquier fluido que escurra a través de un orificio que tenga una pared delgada presenta las siguientes características: conforme la corriente sale del orificio, gradualmente se contrae para formar un chorro cuya área de sección transversal es menor que la del orificio. Esto se debe al hecho de que las partículas separadas, estando próximas a la pared interior, tienen un movimiento a lo largo de esa pared hacia el orificio, que no puede cambiarse bruscamente en dirección a la arista de éste. La contracción del flujo se puede observar en la figura (4.6), en este punto los recorridos de la corriente se considera que son paralelos y la presión es la de la atmósfera circundante cayendo entonces libremente todas las partículas bajo la acción de la gravedad.

En la corta porción del chorro entre las aristas del orificio y el lado **ab**, la presión será mayor que la atmosférica, porque las partículas se mueven en recorridos curvados y deben ser accionadas por presiones centrípetas de mayor intensidad que la de la atmósfera. Al plantearse la ecuación de BERNOULLI entre

dos puntos, uno en el plano del orificio y el otro en el plano **ab**, se establecerá este mismo hecho. Como las cargas potenciales son iguales y la carga de velocidad en el primer punto mencionado es menor que en el segundo, se deriva que la carga de presión en el orificio es mayor que en la sección contraída.

La figura N° 4.7 representa un orificio en el lado de un gran depósito que tiene una carga **h**, sobre su centro. Con esta carga mantenida constante por un escurrimiento de entrada **A**, considerando que la superficie del depósito sea grande en comparación con la del orificio, no tendrá una velocidad apreciable significativa. Despreciando la fricción, el teorema de Bernoulli planteado entre un punto **B**, y el centro del chorro en la sección contraída, muestra que:

FIGURA N° 4.7. TANQUE DE PRUEBAS



Fuente: Elaboración propia

Para determinar la velocidad real en el tanque de pruebas por el método de la trayectoria, se necesita conocer el diámetro de la sección contraída, el cual puede ser medido con un compás mecánico a una distancia de 1.5 veces del diámetro del orificio en prueba, así mismo se toma valores diferentes de X en la corriente

del flujo aguas abajo para luego determinar los valores de Y que es la distancia vertical desde el punto del flujo considerado en la corriente, hasta el eje del orificio en prueba; con la información registrada en el laboratorio, se reemplaza en la ecuación siguiente:

$$V = \frac{X_0}{\sqrt{\frac{2 \cdot Y_0}{g}}} \dots \dots \dots (4.21)$$

Donde:

X_0 = Es la distancia horizontal considerada desde el punto del flujo hacia la distancia vertical de 1.5 veces D_0 .

Y_0 = es la distancia vertical desde el punto del flujo hacia el eje del diámetro D_0 .

g = Aceleración de la gravedad.

4.2.4. Maquinas Hidráulicas Generadoras

La maquinas hidráulicas generadoras o turbo maquinas son aquellas que absorben energía de un fluido y restituyen generalmente energía mecánica en el eje, como una turbina de vapor, una turbina hidráulica o bien absorben energía mecánica en el eje y restituyen energía a un fluido como una bomba, un ventilador, el fluido puede ser un líquido o un gas y el órgano, intercambiador de energía mecánica y de fluido, está dotado de movimiento rotativo; de allí la palabra Turbo o Turbinis de origen latín que significa que la máquina gira.

- **Bombas centrifugas**

Las bombas son dispositivos que se encargan de transferir energía a la corriente del fluido impulsándolo, desde un estado de baja presión estática a otro de mayor presión, están



compuestas por un elemento rotatorio denominado impulsor, el cual se encuentra dentro de una carcasa llamada voluta. Inicialmente la energía es transmitida como energía mecánica a través de un eje, para posteriormente convertirse en energía hidráulica, el fluido entra axialmente a través del ojo del impulsor, pasando por los canales de éste y suministrándosele energía cinética mediante los álabes que se encuentran en el impulsor para posteriormente descargar el fluido en la voluta, el cual se expande gradualmente, disminuyendo la energía cinética adquirida para convertirse en presión estática.

- **Ecuación de la energía aplicada a las maquinas hidráulicas**

Las maquinas hidráulicas son aquella en que el fluido que intercambia su energía no varía sensiblemente su densidad en su paso a través de la máquina, por lo cual en el diseño y estudio de la misma se hace la hipótesis de que la densidad es constante. Se clasifican en Turbomáquinas y de Desplazamiento Positivo.

Transformación : Energía \longrightarrow Energía
 Energética : Hidráulica \longleftarrow Mecánica

Maquinas Hidráulicas Motoras

Absorben energía hidráulica del fluido y restituyen energía mecánica para un fin.



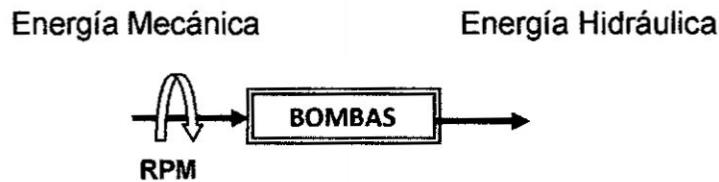
Por lo que la eficiencia de la turbina es:

$$\eta_t = \frac{\text{Energía Mecánica}}{\text{Energía Hidráulica}} = \frac{\text{Torque} \cdot \omega}{\gamma \cdot Q \cdot H_T} \dots\dots\dots (4.22)$$

Dónde: El torque se mide el laboratorio con un torquimetro y H_T es la carga neta de la turbina que se fija con la lectura deseada en un manómetro.

• **Máquinas Hidráulicas Generadoras**

Para su accionamiento necesitan de energía mecánica que puede provenir de fuentes externas como de un motor de combustión interna, motor eléctrico, o energía alternativa no convencional.



El intercambio de energía se realiza en el rodete de la turbomáquina, siendo la eficiencia correspondiente:

$$\eta_B = \frac{\text{Potencia. Hidráulica}}{\text{Potencia. Eje}} = \frac{P}{W_{EJE}} \dots\dots\dots (4.23)$$

• **Primera expresión de la altura útil de una bomba**

Centra su atención entre la entrada y salida de la bomba en funcionamiento y sirve para calcular la altura útil, leyendo las lecturas de los manómetros, y registrando la lectura del caudal.



$$H_b = \frac{P_s - P_e}{\gamma} + \frac{V_s^2 - V_e^2}{2g} + \Delta Z \dots\dots\dots (4.24)$$

La altura útil * MATAIX; Claudio. “**Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas**”,1982, es la diferencia de alturas totales entre la salida y la entrada de la bomba. Esta diferencia es el incremento de altura útil comunicada por la bomba al fluido. La altura útil para las condiciones óptimas de servicio de la bomba debe figurar junto con el caudal, y el número de revoluciones en la placa de características de la bomba.

- **Segunda expresión de la altura útil de la bomba**

El análisis se hace entre los espejos del fluido contenidos en los depósitos. Si los depósitos están abiertos a la atmósfera y se desprecia la variación de la energía cinética en las superficies de referencia, se tiene;

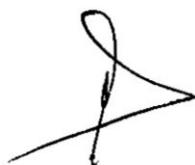
$$H_B = \Delta Z + P_{\text{carga}} \dots \dots \dots (4.25)$$

Para aplicar la segunda expresión de la altura útil, es necesario: Conocer el caudal (las pérdidas de carga son función de el) y las características de la instalación (longitud y tipo de tubería; accesorios). No es necesario conocer las lecturas del manómetro y del vacuómetro; hay que mirar la instalación y no a la bomba.

- **Altura neta de succión positiva (NPSH) y cavitación**

El NPSH de las siglas en ingles de “NET POSITIVE SUCTION HEAD”, corresponde a la cantidad de energía que dispone el líquido al ingreso de la bomba centrífuga.

Durante la operación de la bomba centrífuga, no debe permitirse que la presión en cualquier punto dentro de la bomba caiga por debajo de la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo. Debe haber siempre suficiente energía disponible en la



succión de la bomba para conseguir que el fluido ingrese al impulsor venciendo las pérdidas entre la brida de succión y la entrada al impulsor. La cavitación es un fenómeno que ocurre cuando la presión absoluta dentro del impulsor se reduce hasta alcanzar la presión de vapor del líquido bombeado y se forman burbujas de vapor. Estas burbujas colapsan antes de salir del impulsor originando erosión del material con el que está en contacto.

La cavitación se manifiesta como ruido, vibración, reducción de caudal, de la presión de descarga y de la eficiencia de la bomba. Con el tiempo todos los elementos de la bomba en contacto con la cavitación presentan una fuerte erosión. Debemos diferenciar los dos valores de NPSH que se consideran en el campo de las Bombas Centrifugas: Altura Neta de Succión Positiva Disponible $NPSH_D$ y la Altura Neta de Succión Positiva Requerida $NPSH_R$. La $NPSH_D$ es la cantidad de energía disponible (referido al eje de la bomba) sobre la presión de vapor que dispone el líquido en la brida de succión de la bomba a la temperatura de bombeo.

$$NPSH_D = H_{at} - H_m - h_v - \sum H_p \dots\dots\dots (4.26)$$

Dónde:

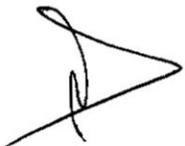
$$H_{at} = \text{Altura de presión atmosférica} \left(\frac{P_{at}}{\gamma} \right).$$

$$H_m = \text{Altura de montaje.}$$

$$h_v = \text{Altura de presión de vapor} \left(\frac{P_v}{\gamma} \right).$$

$$\sum H_p = \text{Altura de pérdidas de carga en la succión.}$$

La ecuación anterior establecido en la referencia * JARA TIRAPEGUI, Wilfredo. "Máquinas Hidráulicas", 2001.



4.3. Definiciones de términos básicos

Aforar.- Medir la cantidad de agua que lleva un fluido por unidad de tiempo.

Altura Piezometrica.- es la energía específica del flujo que se debe suministrar al fluido.

Banco hidráulico.- Es una mesa de trabajo sobre la que se pueden utilizar una gran variedad de equipos didácticos, en los que sea necesario un aporte de caudal.

Calibración.- Se define como la comparación de un estándar de medición, o de un equipo, con un estándar o equipo de mayor exactitud, para detectar y cuantificar imprecisiones y reportarlas o eliminarlas mediante un ajuste. En este sentido, la calibración es la actividad de control de calidad más importante dentro de la medición, ya que establece la relación del valor medido por un equipo con un valor convencionalmente real, dando validez y trazabilidad a la medición.

Caudal.- Cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo.

Caudalímetro.- Es un instrumento de medida para la medición de caudal o gasto volumétrico de un fluido o para la medición del gasto másico. Estos aparatos suelen colocarse en línea con la tubería que transporta el fluido. También suelen llamarse medidores de caudal, medidores de flujo o flujómetro.

Contrastación.- Procesos y actividades que el científico realiza para la justificación de la verdad de sus hipótesis ante la comunidad científica. También se conoce como la verificación que sirve para garantizar la verdad de una teoría. Como generalmente



las hipótesis no se pueden contrastar directamente con los hechos por su carácter general, el científico deduce de sus hipótesis enunciados menos generales y los contrasta con los hechos. Si la realidad se comporta tal y como dichos enunciados indican, entonces supone que la hipótesis es verdadera.

Deprimógenos.- Se denomina así a los dispositivos de medición de gasto volumétrico cuya instalación produce una diferencia de presiones (pérdida de carga), que se vincula con el caudal que circula por una tubería.

Linnímetro.- Es un instrumento que permite registrar y transmitir la medida de la altura de agua en una conducción hidráulica.

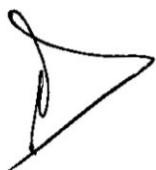
Peso específico Relativo.- Es el peso específico de una sustancia respecto al peso específico del agua en condiciones normales, por lo que es adimensional. También está referida a la densidad del agua.

Piezómetro.- Instrumento que mide la presión de un fluido en un punto.

Potencia al eje ó de accionamiento (W_{EJE}).- Es la potencia en el eje de la bomba o turbina.

Potencia Hidráulica (P).- Para el caso de bombas, es la potencia de accionamiento descontando las pérdidas internas de la bomba.

Trazabilidad.- Es el resultado de una medición o del valor de un patrón, tal que ésta pueda ser relacionada con referencias determinadas, generalmente patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones teniendo todas incertidumbres determinadas.



V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Materiales utilizados

Para el diseño del Banco de Hidráulico en circuito cerrado proyectado para el Laboratorio de Mecánica de Fluidos y Maquinas Térmicas de la Universidad Nacional del Callao, se requieren los siguientes materiales:

- Termómetro de mercurio con características:
 - Amigable con la naturaleza.
 - Confiable y exacto.
 - Temperaturas de -0 a 60 °C.
 - Fácil de leer.
 - Que cumpla con la norma de calidad ISO 9001: 2015.

- Manómetro de Bourdon con características:
 - Del tipo húmedo con glicerina.
 - Escala en el sistema Internacional e Inglés de 0,5 a 1 bar.
 - Fácil de leer.
 - Que cumpla con la norma de calidad ISO 9001: 2015.

- Probeta transparente graduada de 0 a 2000 cc.
- Cronometro digital.
- Linnimetro mecánico de punta y de gancho.
- Regla transparente graduada de 500 mm.
- Tanque de almacenamiento de acero tipo A-36 de 1/16" de espesor.
- Tanque de aforo de acero tipo A-36 de 1/16" de espesor.
- Tuberías de acero comercial de 2".
- Dispositivos de control: Válvulas de Globo, de bola, de compuerta y válvula check.
- Codos de 45 RL roscados.



- Bifurcaciones.
- Bomba centrífuga de 0.5 Hp y 70 L/min.
- Motor eléctrico de corriente alterna.
- Tubo de Venturi de 2" x 1.2".
- Tobera de 2" x 1.2"
- Placa de orificio de arista viva de 2" x 0.8".
- Manómetro diferencial con líquido manométrico de mercurio.
- Voltímetro.
- Amperímetro.
- Caudalímetro volumétrico.
- Medidor de caudal de sección variable: Rotámetro.

5.2. Métodos

Por ser el proyecto de investigación del tipo tecnológico y diseño no experimental al no manipular la variable independiente, se utilizara el **método inductivo** por considerar la experiencia en el manejo de estas unidades de instrucción experimental como punto de partida para la solución de la problemática dada.

Una de las características de esta investigación tecnológica es la realizabilidad desde el punto de vista material y operacional, fundamentada en que se dispone de los conocimientos científicos y habilidades necesarias que se cuentan para su ejecución y hacerla operacionalmente realizable.

El método para alcanzar este fin es la experiencia funcional en la cual se piensa validar el funcionamiento correcto del diseño del Banco Hidráulico en Circuito Cerrado de acuerdo a normas nacionales e internacionales.

Cabe recalcar que este diseño no es definitivo, pues no es la única solución correcta, es por eso que en la ingeniería no puede pensarse



como una ciencia exacta, siempre queda la posibilidad de mejorar el diseño e innovarlo constantemente.

Se presenta un proceso ordenado y sistematizado en el proceso a seguir en el diseño, contemplando las fases y actividades siguientes:

- Selección y designación técnica de los dispositivos deprimógenos.
- Condiciones de operación y temperatura del agua.
- Selección de la bomba centrífuga.
- Selección de la tubería.
- Diseño del tanque de almacenamiento.
- Diseño del tanque de aforo.
- Banco hidráulico de circuito cerrado.
- Procedimiento de toma de datos.
- Análisis y metodología de cálculos.

5.2.1. Selección de los Dispositivos Deprimógenos

Los medidores deprimógenos son medidores de caudal relativamente simples. Consisten básicamente de una reducción gradual o brusca de la sección del flujo en movimiento, ocasionando con esto un aumento de velocidad y una disminución de presión en el fluido. De la correlación de la variación de presión con la velocidad, es posible cuantificar el caudal de escurrimiento.

En este diseño se va a colocar tres dispositivos los cuales son el tubo Venturi, Tobera y la placa de orificio, cada uno de estos dispositivos se colocó respetando las normas ISO 5167.

ISO 5167: La Norma define términos y símbolos, y establece principios generales para los métodos de medida y cálculo de caudal



de fluidos circulando en un conducto por medio de dispositivos de presión diferencial.

a) Tubo Venturi

El tubo de Venturi consiste una tubería con un cono de entrada convergente y con un cono de salida divergente los cuales guían el flujo hacia la continuación de la tubería.

La garganta es la unión de los dos conos y es la parte más estrecha del tubo.

La toma de alta presión se realiza al comienzo del cono de entrada y la toma de baja presión se toma en la garganta del tubo. Las diferencias de presiones se calcularan con la ayuda de un manómetro diferencial.

La construcción de los tubos de Venturi está normalizada, pero las normas ISO 5167 se pueden utilizar siempre que se cumplan las condiciones siguientes:

Tubos de fundición:

- $100 \text{ mm} \leq D \leq 800 \text{ mm}$
- $0.3 \leq \beta \leq 0.75$
- $2 \times 10^5 \leq Re(D) \leq 2 \times 10^6$

Tubos de fundición maquinada:

- $50 \text{ mm} \leq D \leq 250 \text{ mm}$
- $0.4 \leq \beta \leq 0.75$
- $2 \times 10^5 \leq Re(D) \leq 1 \times 10^6$

Tubos de chapa soldada:

- $200 \text{ mm} \leq D \leq 1200 \text{ mm}$



- $0.4 \leq \beta \leq 0.7$
- $2 \times 10^5 \leq Re(D) \leq 2 \times 10^6$

Nuestro Venturi tendrá un diámetro de 2" y un diámetro de garganta de 1.2 ". Hallando nuestra relación de diámetros $\beta = \frac{1.2}{2} = 0.6$. Con estos datos nos corresponde instalar un Venturi de fundición maquinada.

b) Tobera

La tobera consiste en una entrada de forma cónica, redondeada con una expansión en la salida. Este dispositivo esta estandarizado según las normas ISO 5167.

Las normas ISO 5167 se pueden utilizar siempre que se cumplan las condiciones siguientes:

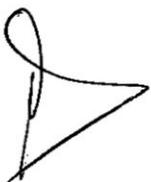
- $50 \text{ mm} \leq D \leq 500 \text{ mm}$
- $0.3 \leq \beta \leq 0.8$
- $7 \times 10^4 \leq Re(D) \leq 10^7$ para $0.3 \leq \beta \leq 0.44$
- $2 \times 10^4 \leq Re(D) \leq 10^7$ para $0.44 \leq \beta \leq 0.8$

Nuestra tobera tiene un diámetro de 2" y diámetro de garganta de 1.2" entonces nuestra relación de diámetros: $\beta = \frac{1.2}{2} = 0.6$.

Con el β ya calculado vemos que nuestra tobera esta entre los límites recomendados por la norma.

c) Placa de orificio

Consiste en una placa metálica delgada que tiene un orificio en el centro por donde pasara el fluido. Hay tres tipos de placas de orificio: Concéntrico, Excéntrico y Segmental.



Los orificios excéntricos y segmental permiten medir el flujo de fluidos que contengan una pequeña cantidad de sólido y gases. Ya que la norma ISO 5167 solo se refiere al tipo de placa concéntrico tomaremos a este como estudio.

Tenemos los límites de uso de esta placa según la norma ya mencionada:

- $d \geq 12.5 \text{ mm}$
- $50 \text{ mm} \leq D \leq 1000 \text{ mm}$
- $0.1 \leq \beta \leq 0.75$

Nuestra placa de orificio tiene un diámetro de 2" y un diámetro de garganta de 0.8", entonces nuestra relación de diámetros: $\beta = \frac{0.8}{2} = 0.4$.

Con el β ya calculado vemos que nuestra placa de orificio esta entre los límites recomendados por la norma.

5.2.2. Condiciones de operación y temperatura del agua.

La proyección del Banco Hidráulico y su posible construcción esta orientado al nivel del mar, con las condiciones estándar de 18 °C y 101,3 KPa.

Para la realización de las pruebas se debe tomar la temperatura al cual se encuentra el agua en el tanque de almacenamiento.

5.2.3. Selección de la Bomba

Para la selección de bomba se escogió una de poca potencia, ya que es solo para experiencias de laboratorio.

En este caso se eligió una electro bomba marca Pedrollo con una potencia de 0.5 HP y con un caudal de $70 \frac{L}{min}$. Ya con nuestro tanque



de almacenamiento de 315 litros se podría bombear durante aproximadamente 4 minutos, tiempo suficiente para la toma de datos en pequeños intervalos de tiempo.

Las especificaciones técnicas de la bomba pedrollo se encuentran en el Anexo N° 1.

5.2.4. Selección de la tubería

Por las condiciones altamente corrosivas que se tiene en el laboratorio ubicado en el callao, se hace necesario utilizar tuberías de acero comercial con protección de pintura epoxica anticorrosiva.

La bomba que se utilizara permite acoplar en la entrada y salida tubería de 1" de diámetro nominal, en este caso le pondremos acoples cada lado para aumentar el diámetro nominal a 2".

CUADRO N° 5.1. TUBERÍA DE ACERO

Material de la tubería Acero Comercial	Tubería de succión Diámetro nominal 2 pulg. CEDULA 40	Tubería de descarga Diámetro nominal 2 pulg. CEDULA 40
D	2 pulg.	2 pulg.
D_e	2.375 pulg.	2.375 pulg.
E	0.154 pulg.	0.154 pulg.
D_i	2.067 pulg.	2.067 pulg.
e	0.045 mm	0.045 mm

Fuente. Acero Arequipa

Dónde:

D: Diámetro Nominal de la tubería.

D_e : Diámetro exterior de la tubería.



e: Espesor.

D_i : Diámetro interior de la tubería.

ϵ_0 : Rugosidad absoluta de la tubería.

5.2.5. Diseño del Tanque de almacenamiento

Aprovechamos el espacio inferior de la mesa para colocar el tanque de almacenamiento y nos abastezca de agua necesaria para la bomba en un cierto tiempo. Tomando en consideración la restricción del espacio en el Laboratorio de Mecánica de Fluidos y Máquinas Térmicas de la FIME, el tanque tendrá las siguientes medidas:

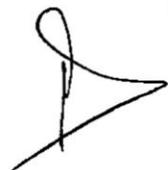
- *Alto : 600 mm*
- *Largo : 1000 mm*
- *Ancho : 700 mm*

Las planchas a utilizar serán de acero comercial A-36 de 1/16" de espesor que será capaz de resistir la fuerza hidrostática que ejerce el agua en cada una de las paredes del tanque, el mismo que estará apoyado sobre unas parrillas hechas con ángulos de perfil en L de 2" x 2", siendo estas protegidas con pintura epoxica anticorrosiva que garantice la defensa de la alta corrosión de la zona, la unión de las planchas se hará con soldadura eléctrica utilizando por electrodo E 6011.

El agua solo estará hasta una altura de 450 mm para que no se rebalse del tanque, con esta altura se tendrá un total de 315 Litros. Más que suficiente para las pruebas de laboratorio.

5.2.6. Diseño del tanque de aforo

El tanque de aforo o tanque de calibración recibirá el agua que ha sido bombeada desde el tanque de almacenamiento, con la variación



de altura medida con una regla milimetrada o un linnimetro mecánico; en un tiempo determinado por lo que se podrá determinar el caudal real por el método volumétrico, puesto que se conoce el nivel del agua, las dimensiones de la base del tanque y el tiempo.

A este tanque se le colocó una válvula de descarga hacia el tanque de almacenamiento para que se cumpla un circuito cerrado. Las dimensiones del tanque de aforo son las siguientes:

- *Alto : 400 mm*
- *Ancho : 400 mm*
- *Largo : 700 mm*

5.2.7. Banco hidráulico de circuito cerrado

En la figura 5.1 se muestra la proyección del Banco Hidráulico en circuito cerrado en 3D, con las medidas siguientes.

- *Largo : 1200 mm*
- *Ancho : 800 mm*
- *Alto : 1500 mm*

El banco Hidráulico será versátil apoyado sobre cuatro garruchas de 2", justificándose por la limitante espacio que se tiene en el laboratorio, puesto que después de las experiencias se puede guardar en el almacén.

La estructura sobre el cual está montado el banco hidráulico será sobre perfiles tipo L de 2" x 2" con uniones de soldadura por arco eléctrico con electrodo E – 6011.

Sobre la mesa de madera estará montado el tanque de aforo que servirá de base para soportar el peso del agua.

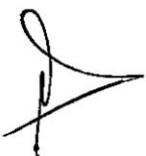
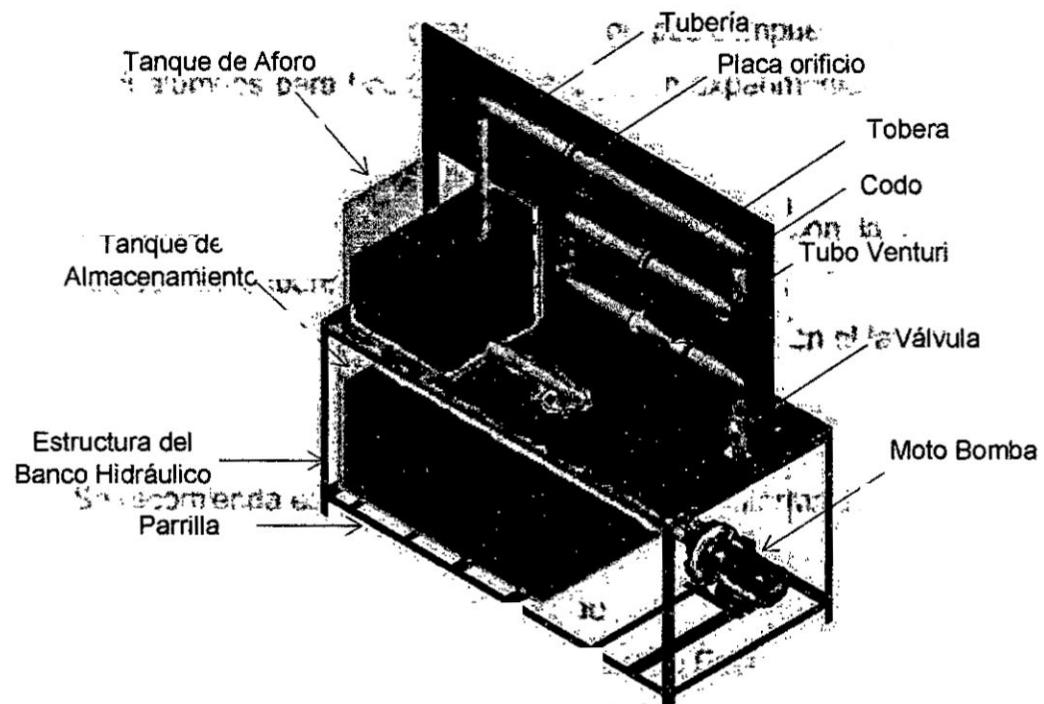


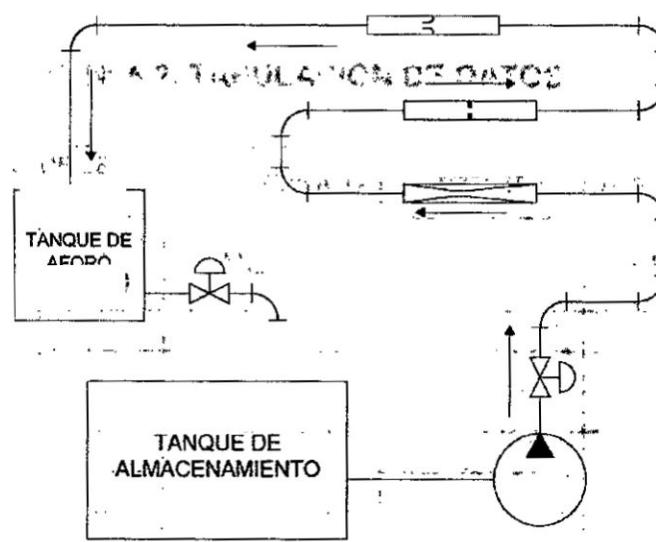
FIGURA N° 5.1. BANCO HIDRÁULICO DE PRUEBAS



Fuente: Elaboración propia

Asimismo el esquema hidráulico se muestra en la figura 5.2

FIGURA N° 5.2. ESQUEMA HIDRÁULICO



Fuente: Elaboración propia



Por lo que se tiene un caudal teórico igual a 2 L/s.

Para la contrastación de lecturas se determina el caudal real, de la manera siguiente:

Primera forma: Se utiliza la figura 13.11 citado en el texto Robertson Crowe, siguiendo el siguiente procedimiento:

- Evaluar la relación de diámetros $\frac{d}{D} = \frac{30,48}{50,8} = 0,6$
- Determinar la relación $\frac{Re(d)}{K} = 7,2 * 10^4$
- Evaluar el coeficiente de flujo (k): 1.01

Con la información descrita, se tiene:

$$\dot{V}_{real} = KxAx\sqrt{2gx\Delta h} = 1,01x\frac{\pi}{4}(0,03048)^2x\sqrt{2x9,81x0,34} = \mathbf{1,90 L/s}$$

Por lo tanto el coeficiente de descarga es:

$$Cd = \frac{\dot{V}_{real}}{\dot{V}_{teórico}} = \frac{1,90}{2,01} = 0,945$$

Segunda forma: El análisis se centra en el tanque de aforo, cuyas dimensiones son: 400 mmx 400 mm x 700 mm. Siguiendo el procedimiento:

- Hacer la lectura del desnivel de agua con una regla graduada.
- Evaluar el tiempo de la actividad anterior.
- Determinar el gasto volumétrico por el método volumétrico.

$$\dot{V} = \frac{\text{Volumen}_{\text{agua}}}{\text{tiempo de prueba}} = \frac{\text{Area}_{\text{Base}} * \text{Desnivel de agua}}{\text{tiempo de prueba}}$$

Para un tiempo de prueba de 20 segundos se alcanza un desnivel del agua de 240 mm.

$$\dot{V} = \frac{0.4^2 * 0,24}{20} * 10^{-3}$$

Caudal real 1,92 L/s

$$C_d = \frac{\dot{V}_{\text{real}}}{\dot{V}_{\text{teórico}}} = \frac{1.92}{2.01} = 0,955$$

b) Tobera

Características técnicas de 50.8 mm X 30.48 mm.

La caída de presión entre la toma corriente arriba (1) y corriente abajo (2) se registra aproximadamente como 1,4 KPa, lectura que se logra al instalar manómetros del tipo Bourdon, Tubos Piezométricos o manómetro diferencial con líquido manométrico mercurio.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

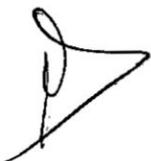
Al instalarse un manómetro diferencial, se tiene:

$$\frac{\Delta P}{\gamma} = \Delta H * (S_{\text{Hg}} - 1)$$

$$\frac{1.4}{10} = \Delta H * (13,6 - 1)$$

$$\Delta H = 0,0111 \text{ m (Deflexión de mercurio)}$$

Siendo la variación de la energía cinética de 0,14 m; por lo que:



$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} = 0,14$$

Aplicando conservación de la masa:

$$V_1 * d_1^2 = V_2 * d_2^2$$

Por lo que se tiene un **caudal teórico** igual a **1.91 L/s**.

Para la contrastación de lecturas se determina **el caudal real**, de la manera siguiente:

Primera forma: Se sigue el procedimiento descrito anteriormente.

- Evaluar la relación de diámetros $\frac{d}{D} = 0,6$.
- Determinar la relación $\frac{Re(d)}{K} = 1,8 * 10^4$.
- Evaluar el coeficiente de flujo (k): 0.97.

Con la información descrita, se tiene:

$$\dot{V}_{real} = KxAx\sqrt{2gx\Delta h}$$

$$\dot{V}_{real} = 0,97x\frac{\pi}{4}(0,1188)^2x\sqrt{2x9,81x0,14} = 1,75 \text{ L/s}$$

Por lo tanto el coeficiente de descarga es:

$$Cd = \frac{\dot{V}_{real}}{\dot{V}_{teórico}} = \frac{1,75}{1,91} = 0,916$$

Segunda forma: Determinar el gasto volumétrico por el método volumétrico.



$$\dot{V} = \frac{\text{Volumen}_{\text{agua}}}{\text{tiempo de prueba}} = \frac{\text{Area}_{\text{Base}} * \text{Desnivel de agua}}{\text{tiempo de prueba}}$$

Para una prueba de 20 segundos y un desnivel del agua de 215 mm de agua se tiene que el caudal real es.

$$\dot{V} = \frac{0,4^2 * 0,215}{20} * 10^{-3}$$

Caudal real 1,72 L/s

$$Cd = \frac{\dot{V}_{\text{real}}}{\dot{V}_{\text{teórico}}} = \frac{1,72}{1,91} = 0,90$$

c) Placa de Orificio

Características técnicas de 50.8 mm X 20.32 mm.

La caída de presión entre la toma corriente arriba (1) y corriente abajo (2) se registra aproximadamente como 2.3 KPa, lectura que se logra al instalar manómetros del tipo Bourdon, Tubos Piezométricos o manómetro diferencial con líquido manométrico mercurio. Al instalarse un manómetro diferencial, se tiene:

$$\frac{\Delta P}{\gamma} = \Delta H * (S_{\text{Hg}} - 1)$$

$$\frac{2,3}{10} = \Delta H * (13,6 - 1)$$

$$\Delta H = 0,01825 \text{ m (Deflexión de mercurio)}$$

Siendo la variación de la energía cinética, es: 0,23 m; por lo que:

$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} = 0,23$$



Aplicando conservación de la masa.

$$V_1 * d_1^2 = V_2 * d_2^2$$

Por lo que el **caudal teórico** resulta igual a **1.75 L/s**.

Para la contrastación de lecturas se determina el **caudal real**, de la manera siguiente:

Primera forma: Se sigue el procedimiento descrito anteriormente

- Evaluar la relación de diámetros $\frac{d}{D} = 0.4$
- Determinar la relación $\frac{Re(d)}{K} = 1.1 * 10^4$
- Evaluar el coeficiente de flujo (k): 0.67

Con la información descrita, se tiene:

$$\dot{V}_{real} = KxAx\sqrt{2gx\Delta h}$$

$$\dot{V}_{real} = 0,67x\frac{\pi}{4}(0,0057)^2x\sqrt{2x9,81x0,23} = 1.15 \text{ L/s}$$

Por lo tanto el coeficiente de descarga es:

$$Cd = \frac{\dot{V}_{real}}{\dot{V}_{teórico}} = \frac{1.15}{1.75} = 0,657$$

Segunda forma: Determinar el gasto volumétrico por el método volumétrico.

$$\dot{V} = \frac{\text{Volumen}_{\text{agua}}}{\text{tiempo de prueba}} = \frac{\text{Area}_{\text{Base}} * \text{Desnivel de agua}}{\text{tiempo de prueba}}$$



Para un tiempo de 20 segundos se estima alcanzar 140 milímetros de desnivel de agua en el tanque de aforo.

$$\dot{V} = \frac{0.4^2 * 0,14}{20} * 10^{-3}$$

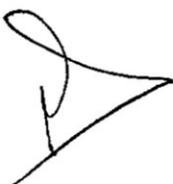
Caudal real 1,12 L/s

$$Cd = \frac{\dot{V}_{real}}{\dot{V}_{teórico}} = \frac{1.12}{1.75} = 0,64$$

5.3. Población de la investigación y Muestra

Es aquella parte representativa de la población, o considerado como el subconjunto del conjunto poblacional, esta puede ser del tipo probabilístico y no probabilístico.

En nuestro caso la población y la muestra tiene el mismo valor el cual es la unidad, ya que el presente informe de investigación trata de un Banco Hidráulico en circuito cerrado para la Contrastación y Calibración de Fluómetros Deprimógenos.



VI. RESULTADOS

La prueba para la contrastación y calibración de los dispositivos deprimogenos se proyectó para un tiempo de 20 segundos, detallándose los resultados en el siguiente cuadro:

CUADRO N° 6.1. RESULTADOS

	VENTURI	TOBERA	PLACA DE ORIFICIO
Designación (mm)	50,8 x 30,48	50,8 x 30,48	50.8 x 20.32
Caída de presión (KPa)	3,4	1.4	2,3
Deflexión de mercurio (mm)	26,98	11,1	18,25
Caudal teórico (L/s)	2	1,91	1.75
Caudal real (L/s): 1° Forma	1.90	1.75	1,15
Coefficiente de Descarga	0,945	0.916	0.657
Caudal real (L/s): 2° Forma	1,92	1,72	1.12
Coefficiente de Descarga	0,955	0,90	0.64

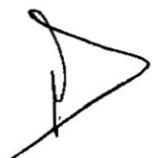
Fuente: Elaboración propia

VII. DISCUSIÓN

La discusión al respecto, es:

- Para una relación de diámetros de los dispositivos deprimógenos, los valores de los coeficientes de descarga se encuentran dentro lo establecido según el código ASME.
- Para un mismo número de Reynolds evaluado en la sección menor, el coeficiente de descarga de la placa de orificio presenta menor coeficiente de flujo, lo que origina mayores pérdidas hidráulicas por singularidades.
- Los valores de índice de coeficiente de flujo entre el Venturi y la Tobera son muy próximos, dependiendo su selección por criterio económico.
- El caudal real evaluado por el método volumétrico y el método utilizando la ecuación (4.8) que se presenta en el texto de Robertson Crowe son bastante próximas para el tubo de Venturi y la tobera con un margen de error de 1.041% para el Venturi y 1.71% para la tobera. Sin embargo para la placa de orificio el porcentaje de error es aproximadamente del 36%.

Esto podría verse reflejado en una mala lectura del coeficiente de flujo citado en la figura 13-11 del texto de Robertson Crowe o tal vez una mala lectura del desnivel de agua alcanzada en el tanque de aforo.

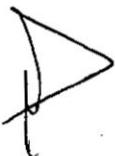


VIII.REFERENCIALES

- ECHEVERRIA MONTESDEOCA, Diego Augusto y GUILCAPI TOAPANTA, Edmundo Vinicio. ***“Diseño y construcción del Banco Hidráulico para mediciones de caudal”***. Tesis de grado para optar el título de Ingeniero Industrial en procesos de administración. Universidad Técnica de Ambato. Ecuador. 2005.
- GARCIA DIAZ, Alexander Leonardo y GAVIRIA MONTAÑEZ, Edwin Cesar. ***“Diseño y Montaje del Laboratorio de Hidráulica de Tubería: Banco de Prueba de Tubo Venturi”***. Tesis de grado para optar el título de ingeniero Civil y Tecnólogo en Electrónica. Universitaria Minuto de Dios. Girardot - Colombia. 2009.
- CASTRO SANCHEZ, Manuel Ernesto y FLORES MONROY, René Edgardo. ***“Diseño y Construcción de un Banco Hidráulico para pruebas de Bombas Centrífugas y Volumétricas”***. Tesis de grado para optar el título de ingeniero Mecánico. Universidad Albert Einstein. Antiguo Cuscatlán - El Salvador. 2005.
- CALDERÓN CÓRDOVA, Jaime Rolando y POZO CALVA, Christian Xavier. ***“Diseño y Construcción de un Banco de Pruebas para Pérdidas de Carga de Tuberías y Accesorios con Simulación”***. Tesis de grado para optar el título de ingeniero Mecánico. Universidad Politécnica Salesiana. Quito – Ecuador. 2011.
- LÓPEZ LÓPEZ, José Ramón. ***“Calibración de instrumentos de medición de flujo para conductos cerrados”***. Tesis de grado para optar el título de ingeniero Civil. Universidad de San Carlos. Guatemala. 2011.
- ASTI VERA Armando. ***Metodología de la Investigación***, Editorial HIAPELUZ 1968.



- BOXER, G. **Mecánica de Fluidos**. Estados Unidos de Norte América: Editorial Addison Wesley Iberoamericana. Primera edición. 1994.
- FOX, Robert – Mc DONALD, Alan. **Introducción a la Mecánica de Fluidos**, México: Editorial Mc Graw Hill. Cuarta edición. 1995.
- GERHART; Philip. **Mecánica de Fluidos**, México: Editorial Addison Wesley Iberoamericana. Segunda edición. 1995.
- MATAIX Claudio. **Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas**. México. Editorial. Harla. Segunda edición. 1982.
- MENDOZA GOMEZ Eduardo. **Bombas Hidráulicas**. Perú. Editorial Inifim – UNI. Primera edición. 1997.
- MOTT Robert. **Mecánica de Fluidos Aplicada**. México. Editorial Prentice Hall Hispanoamericana. Cuarta edición. 1996.
- POTTER, Merle. **Mecánica de Fluidos**, México: Editorial Prentice Hall Hispanoamericana. Segunda edición. 1998.
- ROBERSON, John. **Mecánica de Fluidos**. México: Editorial Mc Gras Hill Interamericana. Segunda edición. 1991.
- TAFUR Raúl. **Introducción a la Investigación Científica**, Editorial MANTARO 1994.
- TAMAYO Mario. **El proceso de la Investigación Científica**, Editorial LIMUSA 1983
- WHITE Frank. **Mecánica de Fluidos**. México. Editorial Mc Graw Hill. Segunda edición. 1983.



IX. APÉNDICES

A-1.- Prefijos del Sistema Internacional.

A-2.- Sistema de Unidades de la Viscosidad Dinámica.

A-3.- Sistema de Unidades de la Viscosidad Cinemática.

A-4.- Propiedades del Agua.

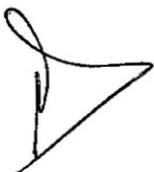


A-1. PREFIJOS DEL SISTEMA INTERNACIONAL

PREFIJO	SIMBOLO	FACTOR
Giga	G	10^9
Mega	M	10^6
Kilo	K	10^3
mili	m	10^{-3}
micro	μ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}

A-2.- SISTEMA - UNIDADES DE LA VISCOSIDAD DINAMICA

SISTEMA	UNIDADES
Internacional	$\frac{N \cdot s}{m^2}$, Pa . s, $\frac{Kg}{m \cdot s}$
Ingles	$\frac{lb_f \cdot s}{s^2}$, $\frac{Slug}{pie \cdot s}$
cgs	Poise = $\frac{dina \cdot s}{cm^2} = 0,1 Pa \cdot s$



A-3.- SISTEMA DE UNIDADES DE LA VISCOSIDAD CINEMATICA

SISTEMA	UNIDADES
Internacional	$\frac{m^2}{s}$
Ingles	$\frac{pie^2}{s}$
cgs	$Stoke = \frac{cm^2}{s}$ $1\text{ cst} = 1 \frac{mm^2}{s}$

A-4. PROPIEDADES DEL AGUA

Temperatura (°C)	Peso específico (KN/m ³)	Densidad (Kg/m ³)	Viscosidad Dinámica (Pa .s)	Viscosidad Cinemática $\frac{m^2}{s}$
5	9,81	1000	$1,52 \times 10^{-3}$	$1,52 \times 10^{-6}$
10	9,81	1000	$1,30 \times 10^{-3}$	$1,30 \times 10^{-6}$
15	9,81	1000	$1,15 \times 10^{-3}$	$1,15 \times 10^{-6}$
20	9,79	998	$1,02 \times 10^{-3}$	$1,502 \times 10^{-6}$
25	9,78	997	$8,91 \times 10^{-4}$	$8,94 \times 10^{-7}$
30	9,77	996	$8,00 \times 10^{-4}$	$8,03 \times 10^{-7}$
35	9,75	994	$7,18 \times 10^{-4}$	$7,22 \times 10^{-7}$
40	9,73	992	$6,15 \times 10^{-4}$	$6,56 \times 10^{-7}$





X. ANEXOS

ANEXO N° 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p>GENERAL:</p> <p>¿Cómo diseñar un banco hidráulico en circuito cerrado que permita contrastar y calibrar flujómetros deprimógenos?</p>	<p>GENERAL:</p> <p>Proyectar un banco hidráulico en circuito cerrado para admitir la contrastación y calibración de medidores de flujo volumétrico del tipo deprimógenos.</p>	<p>GENERAL:</p> <p>Si se diseña y equipa adecuadamente un banco hidráulico en circuito cerrado se podrá contrastar y calibrar flujómetros del tipo deprimógenos</p>	<p>Variable Independiente</p> <p>Diseño del Banco Hidráulico en circuito cerrado</p> <p>a) Cálculo hidráulico</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tipo de flujo - Presión y Temperatura de operación - Gasto volumétrico - Velocidad media del flujo - Coeficiente de descarga 	<p>Tipo de Investigación</p> <p>Aplicada</p> <p>Diseño de la Investigación</p> <p>No Experimental</p> <p>Método de la Investigación</p> <p>Empírico</p>



<p>ESPECÍFICOS:</p> <ul style="list-style-type: none">- ¿Como calcular la demanda del gasto volumétrico requerido y las condiciones de operación de la sustancia operante a utilizar en los flujómetros deprimógenos?- ¿Cómo determinar la capacidad del depósito de almacenamiento del agua y las conducciones hidráulicas respectivas hacia el tanque de calibración?	<p>ESPECÍFICOS:</p> <ul style="list-style-type: none">- Evaluar el gasto volumétrico y las condiciones de operación del agua a utilizar en los dispositivos de medición que funcionan por efecto Venturi.- Determinar la capacidad del depósito de almacenamiento del agua y las conducciones hidráulicas respectivas hacia el tanque de calibración.	<p>ESPECÍFICOS:</p> <ul style="list-style-type: none">- Si se cuenta aceptablemente con una capacidad hídrica del agua a condiciones de operación, se logrará utilizar los dispositivos de medición que funcionan por efecto Venturi.- Si las dimensiones del depósito de almacenamiento del agua y las conducciones hidráulicas están bien diseñadas, se logrará un aforo adecuado hacia el tanque de calibración.	<p>b) Cálculo mecánico</p> <ul style="list-style-type: none">- Dimensiones del tanque de calibración- Dimensiones tanque de alimentación de agua.- Diámetro y longitud normalizada de tuberías- Características de los accesorios <p>c) Selección de componentes</p> <ul style="list-style-type: none">- Tipo de corriente, voltaje y frecuencia del motor eléctrico- Parámetros de carga y Capacidad de la Bomba Hidráulica- Nivel mecánico del agua	<p>Técnica de Investigación</p> <ul style="list-style-type: none">• Documental: Tesis para la elaboración de los antecedentes de estudio. Catálogos de información técnica• Campo: - Venturi, Tobera y Placa de Orificio - Manómetro de Bourdon, Manómetro Diferencial y Termómetro
---	---	---	--	---



<p>- ¿Cómo elegir la máquina hidráulica generadora adecuada con los dispositivos de medición y control que satisfagan la demanda del sistema?</p>	<p>- Elegir la máquina hidráulica generadora adecuada con los dispositivos de medición y control que satisfagan la demanda del sistema.</p>	<p>- Si se selecciona acertadamente la motobomba con la disposición de los dispositivos de medición y control del banco hidráulico, se garantizará la demanda del sistema.</p>	<p>Variable Dependiente</p> <p>Contrastación y Calibración de flujómetros deprímógenos</p> <p>a) Contrastación</p> <ul style="list-style-type: none">- Medición directa- Medición indirecta <p>b) Calibración</p> <ul style="list-style-type: none">- Curva de error- Trazabilidad	<ul style="list-style-type: none">- Coeficiente de flujo, cronómetro, Psicrómetro- Rebose, Visor de nivel- Linnímetro mecánico- Probeta graduada- Especificaciones técnicas de los flujómetro- Curvas de demanda- Confiabilidad e Incertidumbre
---	---	--	--	---