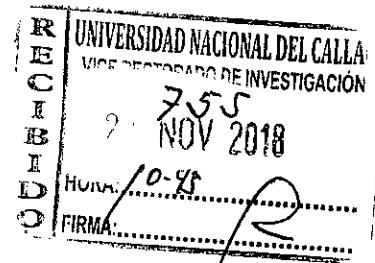


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA



ENE 2019



INFORME FINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“DISEÑO DE UN BANCO HIDRÁULICO PARA EL
ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LAS PÉRDIDAS DE
CARGA EN REDES DE DISTRIBUCIÓN HIDRÁULICA.
LABORATORIO MECÁNICA DE FLUIDOS Y MAQUINAS
TÉRMICAS FIME-UNAC”**

AUTOR: JORGE LUIS ALEJOS ZELAYA

**PERIODO DE EJECUCIÓN: Del 01 de Octubre del 2017 al
30 de Setiembre del 2018**


Resolución de aprobación N° 959-2017-R

CALLAO, 2018

DEDICATORIA

A mi FAMILIA que es lo mejor y más valioso que Dios me ha dado y a quienes han sido parte fundamental de este "sueño alcanzado" para que no me mate el tiempo.

A ustedes señores ESTUDIANTES a quienes llamo "hijos académicos" por sus críticas que permiten construir una sociedad más justa y competente.

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized, cursive letter 'D' followed by a vertical line that extends downwards and slightly to the right.

AGRADECIMIENTO

A mis colegas por su apoyo Académico
- Profesional y lo más importante su
amistad que espero que se mantenga a
lo largo de toda mi existencia.

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized, cursive script that is difficult to decipher but appears to be a personal name or initials.

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 | 9 |
| 4.2.1. Dinámica de Flujo Fluido | 9 |
| 4.2.2. Rapidez de flujo fluido | 13 |
| 4.2.3. Métodos de Medición de flujos | 16 |
| 4.2.4. Ecuación de la energía en tuberías calorifugadas | 18 |
| 4.2.5. Red de distribución | 23 |
| 4.2.6. Carga del sistema o curva resistente del sistema | 26 |
| 4.2.7. Punto de operación de bombas centrifugas | 26 |
| 4.3. Definición de términos básicos | 27 |
| V. MATERIALES Y METODOS | 29 |
| 5.1. Materiales | 29 |
| 5.2. Métodos | 30 |
| 5.2.1. Consideraciones hidráulicas: | 31 |
| 5.2.2. Consideraciones mecánicas | 35 |
| 5.2.3. Pérdidas por resistencia y forma | 43 |
| VI. RESULTADOS | 52 |
| VII. DISCUSIÓN | 53 |
| VIII. REFERENCIALES | 54 |

| | |
|--|----|
| IX. APÉNDICES | 56 |
| APÉNDICE N° 1: Prefijos del Sistema Internacional..... | 57 |
| APÉNDICE N° 2: Sistema - Unidades de la Viscosidad Dinamica | 57 |
| APÉNDICE N° 3: Sistema de Unidades de la Viscosidad Cinematica. | 58 |
| APÉNDICE N° 4: Propiedades del Agua..... | 58 |
| APÉNDICE N° 5: Sistema de Dimensiones | 59 |
| APÉNDICE N° 6: Prefijos en el SI..... | 60 |
| X. ANEXOS | 61 |
| ANEXO N° 1: Matriz de Consistencia | 62 |
| ANEXO N° 2: Diagrama de Moody | 65 |
| ANEXO N° 3: Monograma para Perdidas de Carga Localizadas | 66 |
| ANEXO N° 4: Perdidas Secundarias..... | 67 |



ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA N° 4.1: Representacion Grafica de la Energia: No Viscoso..... | 19 |
| FIGURA N° 4.2: Tuberias en Serie..... | 23 |
| FIGURA N° 4.3: Tuberias en Paralelo..... | 24 |
| FIGURA N° 4.4: Punto de Operación de una Bomba Centrifuga | 27 |
| FIGURA N° 5.1: Curvas Características de Bomba Centrifuga | 35 |
| FIGURA N° 5.2: Tanque de Aforo | 38 |
| FIGURA N° 5.3: Circuito en Paralelo | 41 |
| FIGURA N° 5.4: Circuito en Serie | 42 |
| FIGURA N° 5.5: Conservación de la Energía: Flujos Viscosos | 43 |
| FIGURA N° 5.6: Diagrama Secuencial | 44 |



ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|--|----|
| CUADRO N° 4.1: Dimensiones de Tuberías de Acero..... | 15 |
| CUADRO N° 4.2: Tipos de Problemas en Paralelo..... | 25 |
| CUADRO N° 5.1: Tabulación de Datos de Prueba | 37 |
| CUADRO N° 5.2: Tabulación de Datos: Perdidas Primarias | 45 |
| CUADRO N° 5.3: Tabulación de Datos: Perdidas Secundarias | 45 |



II. RESUMEN Y ABSTRAC

RESUMEN

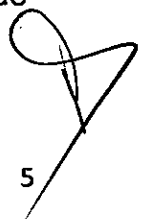
Actualmente el Laboratorio de Mecánica de Fluidos y Maquinas Térmicas de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía de la Universidad Nacional del Callao, no cuenta con el equipamiento adecuado de unidades de instrucción experimental que respondan a las inquietudes de la calidad académica de los estudiantes, especificado como propósito del licenciamiento. A pesar de contar con las limitaciones espaciales en el laboratorio y ante esta problemática el presente proyecto de investigación contribuirá a proyectar un banco hidráulico experimental en circuito cerrado y versátil, para el estudio real de las pérdidas por fricción y singulares que se presentan en una red de distribución hidráulica sometida a presión.

El tipo de investigación es Aplicada – Tecnológica con un Diseño No Experimental por las características propias del proyecto de ingeniería orientada a fortalecer y aplicar conocimientos sobre el estudio de la demanda del sistema, actividad académica muy importante para el ahorro de energía en sistemas de bombeo.

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 Mecánica de Fluidos y Maquinas Térmicas de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía, quien tiene como propósito el licenciamiento institucional.

Palabras Claves:

Licenciamiento de la Universidad, Calidad académica, Unidad de Instrucción Experimental, Red de Distribución Hidráulica, Energía de Flujo, Curva de Demanda, Líneas Características del Flujo Viscoso.



5

ABSTRAC

Currently the Laboratory of Fluid Mechanics and Thermal Machines of the Faculty of Mechanical Engineering and Energy of the National University of Callao, does not have the adequate equipment of experimental instruction units that respond to the concerns of the academic quality of the students, specified as licensing purpose. In spite of having spatial limitations in the laboratory and facing this problem, the present research project will contribute to project an experimental hydraulic bench in a closed and versatile circuit, for the real study of the friction and singular losses that occur in a network of hydraulic distribution subjected to pressure.

The type of research is Applied - Technological with a Non-Experimental Design for the characteristics of the engineering project oriented to strengthen and apply knowledge about the study of the demand of the system, very important academic activity for the saving of energy in pumping systems.

As a conclusion, the general guidelines for the future manufacture and assembly of the experimental instruction unit are projected as part of the modernization and equipping of the Laboratory of Fluid Mechanics and Thermal Machines of the Faculty of Mechanical Engineering and Energy, whose purpose is institutional licensing.

Keywords:

Licensing of the University, Academic Quality, Experimental Instruction Unit, Hydraulic Distribution Network, Flow Energy, Demand Curve, Visible Flow Characteristics.

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 Nacional e Internacional con el fin de garantizar una buena formación académica de los estudiantes de pregrado, debe contar para ello con planes de estudios actualizados que respondan con las expectativas de las sociedades emergentes y laboratorios debidamente equipados, con tecnología de punta y conocedor del escaso recurso económico y del apoyo que brinda el gobierno regional y central a la Universidad, se hizo necesario proyectar un banco de instrucción experimental de circuito cerrado, titulado: ***“Diseño de un Banco Hidráulico para el Estudio Experimental de las Pérdidas de Carga en redes de Distribución Hidráulica. Laboratorio Mecánica de Fluidos y Maquinas Térmicas FIME - UNAC”***, por la importancia que tienen las investigaciones Aplicadas – Tecnológicas como rol que se deben impartir en las Universidades dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje, el proyecto se desarrolló en forma ordenada y sistematizada, teniendo en cuenta aspectos teóricos sobre energía de flujo, rapidez de flujo fluido y tipos de flujo, para posteriormente dimensionar el tanque de aforo, y evaluar en ella el coeficiente de descarga de un dispositivo deprimogeno. Así mismo se dimensiono el tanque de alimentación de agua para trabajar en circuito cerrado la sustancia operante. Se proyectó el banco de instrucción experimental en 4 conducciones hidráulicas de diferentes diámetros y tipos de tubería para evaluar las pérdidas por resistencia, siendo la última línea exclusivamente para evaluar el índice de pérdidas secundarias de las singularidades en estudio. El sistema de tuberías se puede asociar como una red hidráulica en serie y/o paralelo mediante la manipulación de válvulas, siendo los beneficiarios de este proyecto la Universidad, estudiantes y profesores para que puedan realizar futuras investigaciones en conducciones hidráulicas sometidas a presión.



IV. MARCO TEÓRICO

4.1. Antecedentes de Estudio

- En la Universidad Politécnica Salesiana. Facultad de Ingeniería Mecánica, se encuentra la tesis: "Diseño y construcción de un banco de pruebas para pérdidas de carga en tuberías y accesorios con simulación" cuyos autores son CALDERÓN CÓRDOVA, Jaime Rolando y POZO CALVA, Christian Xavier; de cuyo trabajo de investigación se deduce que el banco de pruebas para pérdidas de cargas en tuberías y accesorios proyectado permitirá a los estudiantes realizar prácticas de laboratorio que relacionen la teoría y práctica de hidráulica impartidas en aulas con la experimentación en una red de tuberías donde se determina la caída de presión por tramo de tubería y accesorio.
- En la Universidad Nacional Agraria la Molina. Facultad de Ingeniería Agrícola, se encuentra la tesis: "Diseño y Construcción de un Banco de ensayo para el estudio de Pérdidas de Carga por Fricción y Singularidad" cuyo autor es: POMA SOLANO, Rafael Gregorio; de cuyo trabajo de investigación experimental se desprende que para el cálculo teórico de, las pérdidas de carga por fricción en tuberías de PVC de 1", 3/4" y 1/2" se obtiene los mejores resultados con las fórmulas de Blasius y Darcy-Weisbach, dejando la fórmula de Hagen-Williams para diámetros mayores.
- En la Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de Ingeniería Departamento de Energética y Mecánica, se encuentra la tesis: "Diseño para Construcción de un Banco de Pruebas para determinar las Pérdidas de Carga en un Sistema de Tuberías" cuyos autores, son: PARRA DURÁN, Jorge Andrés y VELASCO MARÍN, Luis Gabriel; de cuyo trabajo de investigación se determinó que para el

cálculo de las pérdidas de carga mediante el banco de pruebas diseñado, se estableció como parámetros constantes: la rugosidad, la densidad, la viscosidad dinámica del fluido, la gravedad, los diámetros nominales de las tuberías y accesorios, además de las longitudes de tuberías acorde con el tamaño del banco de pruebas diseñado, además se estableció en el proceso de los cálculos como parámetros variables la velocidad del fluido y la presión, las cuales dependen de la variación del flujo. Estos parámetros son la base para determinar las pérdidas en el sistema.

- En la Universidad Central de Ecuador. Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemática, Carrera de Ingeniería Civil, se encuentra la tesis: "Diseño y Construcción de un Banco de Pruebas para ensayos de pérdidas de Carga en Tuberías y Accesorios", cuyo autor es: YAMBOMBO GUANUTAXI, Javier Gustavo; resaltándose en la tesis los métodos para obtener el coeficiente de fricción f para los diferentes materiales, tal es el caso del diagrama de Moody o las fórmulas propuestas por varios científicos como son: Colebrook o Prandtl, además el coeficiente de resistencia "K" para los accesorios no era constante, el cual depende mucho del caudal que se esté manejando y de la geometría utilizada por el fabricante.

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 les puede clasificar en:

- **Flujo estacionario y no estacionario**

Se dice que un flujo es permanente (estacionario) cuando las propiedades del flujo y del fluido para un punto dado en el espacio permanecen constantes en el tiempo. Se define matemáticamente, como:

$$\frac{\delta V}{\delta t} = 0 ; \quad \frac{\delta \rho}{\delta t} = 0 ; \quad \frac{\delta P}{\delta t} = 0 ; \quad \frac{\delta T}{\delta t} = 0 \dots\dots\dots (4.1)$$

El flujo es no permanente cuando las condiciones en cualquier punto cambian con el tiempo. Se define matemáticamente como:

$$\frac{\delta V}{\delta t} \neq 0 ; \quad \frac{\delta \rho}{\delta t} \neq 0 ; \quad \frac{\delta P}{\delta t} \neq 0 ; \quad \frac{\delta T}{\delta t} \neq 0 \dots\dots\dots (4.2)$$

- **Flujo uniforme y no uniforme**

Se dice que el flujo es uniforme cuando en cualquier punto del fluido el vector velocidad es idéntico, es decir con igual modulo, dirección y sentido en un instante dado, por lo que las líneas de corriente que describen este flujo deben ser rectas paralelas. Matemáticamente podemos expresar las condiciones de uniformidad y no uniformidad como sigue:

$$\frac{\partial V}{\partial S} = 0 \quad (\text{Flujo Uniforme}) \dots\dots\dots (4.3)$$

$$\frac{\partial V}{\partial S} \neq 0 \quad (\text{Flujo no Uniforme}) \dots\dots\dots (4.4)$$

- **Flujo viscoso y no viscoso**

Un flujo no viscoso es uno en el que los efectos de la viscosidad no afectan significativamente el flujo y por tanto no se toman en cuenta. En un flujo viscoso los efectos de la viscosidad son importantes y no pueden despreciarse. Para modelar analíticamente un flujo no viscoso, simplemente podemos hacer que la viscosidad sea cero, esto hará que todos los efectos viscosos sean cero. Es difícil crear un flujo no viscoso experimentalmente, porque todos los fluidos de interés como el agua y el aire tienen viscosidad.

- **Flujo: Laminar y Turbulento**

El flujo viscoso se puede clasificar como:

- a) **Flujo Laminar.**- El fluido se mueve sin que haya una mezcla significativa de partículas de fluido vecinas.
- b) **Flujo Turbulento.**- El movimiento del fluido es caótico, donde las partículas se mueven desordenadamente y las trayectorias se entrecruzan formando pequeños remolinos. El pasó del flujo laminar a turbulento, se llama flujo transitorio.

Número de Reynolds (Re)

Es un parámetro adimensional * BOXER, G. "Mecánica de Fluidos", 1994, que nos sirve para predecir el régimen de flujo y depende de tres parámetros físicos:

- Escala de longitud del campo de flujo, como el espesor de una capa límite o el diámetro de una tubería (m).
- Escala de velocidad, tal como un promedio espacial de la velocidad (m/s)

- La viscosidad cinemática (m²/s)

$$Re = \frac{\text{Fuerza de Inercia}}{\text{Fuerza Viscosa}} = \frac{\rho v D}{\mu} = \frac{v D}{\nu} \dots\dots\dots (4.5)$$

Para casos prácticos de Ingeniería, considerar:

| | |
|------------------|---------------------|
| Re ≤ 2000 | (Flujo Laminar) |
| 2000 < Re < 2300 | (Flujo Transitorio) |
| Re ≥ 2300 | (Flujo Turbulento) |

Diagrama Moody

- Es uno de los gráficos más prácticos en Ingeniería , para determinar el coeficiente de fricción ó rozamiento "f".
- Es la representación gráfica de dos ecuaciones: Poissuille y Colebrook – White.
- En una tubería se hace necesario conocer si es Lisa (ε₀ = 0) ó Rugosa ε₀ ≠ 0
- Es la base de los cálculos de flujos en tuberías.
- Es un diagrama adimensional utilizable con cualquier sistema coherente de unidades. $f = \varphi\left(Re, \frac{\epsilon_0}{D_H}\right)$
- En muchos problemas cuando se trabaja con agua puede obtenerse una primera aproximación del coeficiente de fricción "f" entre 0, 02 y 0,03.
- La rugosidad absoluta con el tiempo presenta una variación: ε_t = ε₀ + α.t (Ecuación de Colebrook).



4.2.2. Rapidez de flujo 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.

$$\dot{V} = \frac{\text{Volumen}}{\text{tiempo}} = \frac{V}{t} = V * A \dots \dots \dots (4.6)$$

Dónde:

V: Es la velocidad media del flujo.

A: Área de flujo.

t: Es el tiempo.

V: Volumen.

Recordar 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})**

$$\dot{m} = \frac{\text{masa}}{\text{tiempo}} = \frac{m}{t} \dots \dots \dots (4.7)$$

Igualando el tiempo en las ecuaciones (4.6) y (4.7), se tiene:

$$\dot{m} = \rho * \dot{V} = \rho * V * A$$

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: Si se considera una velocidad del flujo de agua de 2 m/s y un caudal de 5l/s. ¿Se requiere seleccionar el diámetro apropiado de 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 1/2". Se debe recordar que para un mismo diámetro nominal de diferentes cedulas, el diámetro exterior se mantiene constante y el espesor

aumenta con la cedula, por consiguiente disminuye el diámetro interior.

**CUADRO N° 4.1.
DIMENSIONES DE TUBERÍAS DE ACERO**

| D _N (in) | CÉD 40 | | | CÉD 80 | | |
|------------------------|-----------|---------|----------|----------|---------|----------|
| | D e 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:

$$m_{\text{agua}} = 3 \text{ m pesa}$$

De la ecuación (4.7).

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

$$\dot{V} = \frac{3 \text{ masa pesa}}{\rho * t} \dots\dots\dots(4.8)$$

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.

$$\dot{W} = \frac{\text{Peso}}{\text{tiempo}} = \frac{m * g}{t} = \rho * g * \dot{V} \dots\dots\dots(4.9)$$

4.2.3. 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:

$$C_d = \frac{\text{Caudal real}}{\text{Caudal teórico}} < 1 \dots \dots \dots (4.10)$$

En el laboratorio el caudal real se determina utilizando la ecuación (4.6) o también en forma aproximada la ecuación (4.8).

$$Q_{\text{real}} = K * A_0 * \sqrt{2g * \Delta h} \dots \dots \dots (4.11)$$

Dónde:

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



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.

4.2.4. Ecuación de la energía en tuberías calorifugadas

Flujos no viscosos

Su representación en términos de energía específica es:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + g.z_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + g.z_2 \dots\dots\dots(4.12)$$

Así mismo su representación como carga es:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2.g} + .z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2.g} + .z_2 \dots\dots\dots(4.13)$$

La ecuación de Bernoulli es para flujo: No viscoso, Permanente, Adiabático, Unidimensional; y sin Transferencia de energía. Cada uno de los términos que intervienen en esta ecuación tienen unidades de altura y se expresan en metros, aunque propiamente son alturas equivalentes que resultan de dividir las energías específicas correspondientes en $(\frac{m^2}{s^2})$ por g en $(\frac{m}{s^2})$.

La ecuación de Bernoulli se presta por tanto a una representación gráfica, recibiendo cada término un nombre especial; tal como:

Z : Cota, energía potencial o geodésica.

$\frac{P}{\rho.g}$: Altura o carga de presión o energía de flujo.



$\frac{V^2}{2.g}$: Altura o carga de Velocidad o energía cinética específica.

➤ La suma de $\frac{P}{\gamma} + z$ se denomina altura piezométrica. HGL

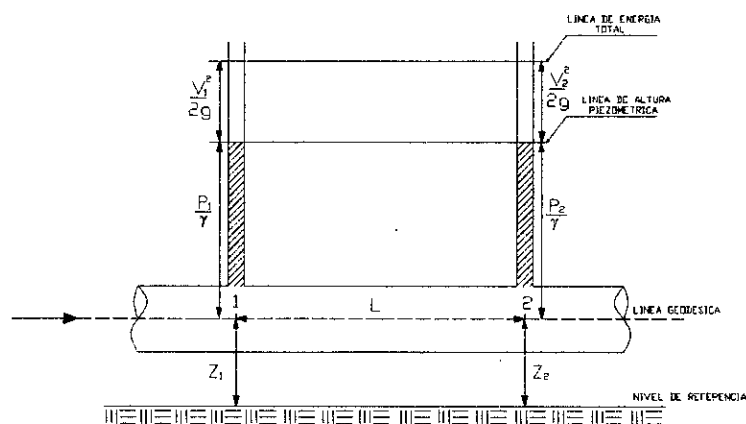
➤ La suma de $Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2.g}$ se denomina Carga Hidráulica.

EGL.

Se puede hacer una representación gráfica de la ecuación de Bernoulli en su forma general idealizada entre dos puntos cualesquiera, no situados en una misma línea de corriente de un tubo de corriente imaginario o materializado (tubería, canal) además de ser fluido ideal (viscosidad cero) es menester que el flujo sea irrotacional (las partículas se trasladan sin realizar giro alguna alrededor de su centro de gravedad). Cuando la conducción hidráulica presenta secciones de discontinuidad en el flujo: cambios de sección transversal, accesorio, bomba, etc., hay que numerarlas.

FIGURA N° 4.1

REPRESENTACION GRAFICA DE LA ENERGIA: NO VISCOSO



Fuente: Elaboración Propia.



Para flujo Viscoso

Para plantear la ecuación de la energía o ecuación de Bernoulli para flujos viscosos o reales, se hace necesario definir las pérdidas de energía en una conducción hidráulica, las mismas que se clasifican en:

- a) **Pérdidas mayores** (Resistencia, Primarias ó Fricción)
- b) **Pérdidas menores** (Locales, Secundarias ó Singulares).

El método más común para transportar fluidos de un punto a otro es impulsarlo a través de un sistema de tuberías, donde la sustancia operante está sometida a presión.

Pérdidas mayores (Resistencia, Primarias ó Fricción)

El cálculo de pérdidas de carga en las tuberías pertenece a la práctica diaria del ingeniero instalador y proyectista, en los sistemas de flujos de aceites y combustibles, refrigeración y aire acondicionado, redes de suministro de agua, oleoductos, gasoductos, etc.

Para el análisis supongamos una tubería horizontal de longitud "L" y diámetro interior "D", por la que circula un fluido con una velocidad media "V". La energía en la sección aguas abajo (2) será igual a la energía aguas arriba (1) menos la energía perdida (pérdida de carga por resistencia) entre los puntos 1 y 2; es decir se cumple la ecuación general de la energía: Teorema de Bernoulli, que expresada en alturas equivalentes será:

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + Z_2 + \text{Pérd.Carga}_{1-2} \dots\dots\dots(4.14)$$

Ecuación general de las pérdidas por resistencia: DARCY – WEISBACH

Los manuales de hidráulica están llenos de tablas, curvas, ábacos y nomogramas para el cálculo de las pérdidas primarias que es preciso utilizar con precaución. Hay tablas por ejemplo que solo sirven para las tuberías de fundición.

En estas tablas no se mencionan para nada la rugosidad absoluta porque es un factor constante en las tuberías de fundición. Otras tablas se han construido para utilizarlas únicamente para el agua. En estas tablas no se menciona para nada la viscosidad porque es un factor constante en el flujo con agua, pero sería erróneo utilizar estas tablas cuando se trata de calcular las pérdidas de carga en un conducto de lubricación.

Experimentos realizados con tuberías de agua de diámetro constante demostraron que la pérdida de carga es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad media en la tubería y a la longitud de la tubería e inversamente proporcional al diámetro de la misma. La fórmula utilizada generalmente en Hidráulica Aplicada * FERNANDEZ L. Bonifacio. "Introducción a la Mecánica de Fluidos", 1998, que expresa lo anterior, es:

$$h_p = f \frac{L V^2}{2 g D} \dots \dots \dots (4.15)$$

Dónde:

- h_p: Pérdida de carga por resistencia, fricción o primaria
- L : Longitud de la tubería.
- D : Diámetro hidráulico del conducto
- V : Velocidad media del flujo.
- g : Gravedad.
- f : Coeficiente de pérdida de carga primaria o fricción



Esta fórmula es de uso universal en el mundo entero en los libros y formularios de hidráulica.

En el cálculo de las pérdidas de carga por resistencia en tuberías juegan un papel importante dos factores:

- El que la tubería sea lisa o rugosa
- Que el régimen de corriente sea laminar o turbulento.

El coeficiente de fricción es parámetro adimensional, que depende de la velocidad media del flujo V , del diámetro de la tubería D , de la densidad del fluido ρ , de la viscosidad absoluta del fluido μ y de la rugosidad absoluta de la tubería ϵ_0 (depende del material de la tubería). De lo dicho se establece la ecuación funcional cuya ecuación funcional, es:

$$f = (D, V, \rho, \mu, \epsilon_0) \dots \dots \dots (4.16)$$

Pérdidas secundarias

Su evaluación se puede realizar por dos métodos:

Primer método: Ecuación General

$$h_s = K \frac{V^2}{2g} \dots \dots \dots (4.17)$$

Donde:

K: Es el índice de pérdidas secundarias y depende de la singularidad que se presenta en la conducción hidráulica (Válvulas, codos, ensanchamientos, contracciones, bifurcaciones, etc.)

$\frac{V^2}{2g}$: Carga de velocidad

Segundo Método: Longitud equivalente

La longitud equivalente de una singularidad se puede hallar en monogramas ya establecidos o utilizar la ecuación siguiente:

$$L_e = \frac{Kd}{f} \dots \dots \dots (4.18)$$

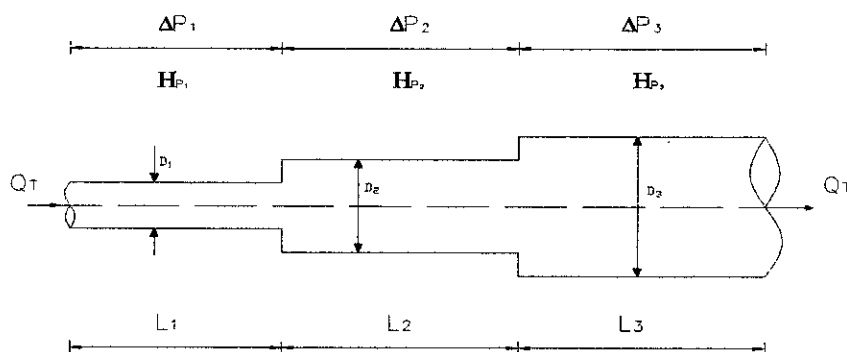
4.2.5. Red de distribución

Las redes de distribución hidráulica abarca todos los campos de la ingeniería y obviamente un ingeniero debe conocer la mecánica básica de los fluidos para el respectivo análisis.

Su estudio tiene una analogía con las redes de distribución eléctrica. En esta analogía el caudal corresponde a la intensidad de la corriente, la pérdida de carga a la caída de tensión y la resistencia hidráulica a la resistencia óhmica.

a) Tuberías en serie.

FIGURA N° 4.2
TUBERÍAS EN SERIE



Fuente: Elaboración Propia

El lector debe darse cuenta de que en un sistema de tuberías en serie, la descarga se mantiene constante (principio de conservación de la masa) de un elemento de tubería al siguiente y que las pérdidas

son acumulativas, es decir, son la suma de las pérdidas menores de los componentes y las pérdidas por fricción de los tubos. Por lo que se cumple que:

- Continuidad: $Q = Q_1 = Q_2 = Q_3$
 $V_1 * D_1^2 = V_2 * D_2^2 = V_3 * D_3^2$

- Pérdida de carga: $h_T = h_{p1} + h_{p2} + h_{p3} + h_{s1} + h_{s2}$

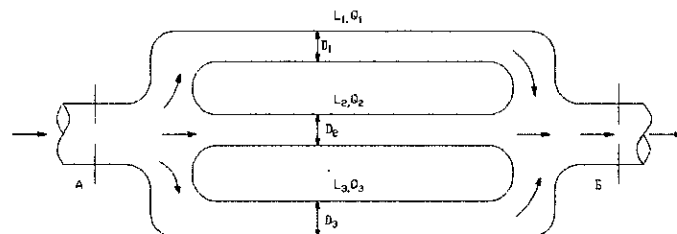
La pérdida de carga total, será:

$$h_T = f_1 \frac{L_1}{D_1} * \frac{V_1^2}{2g} + f_2 \frac{L_2}{D_2} * \frac{V_2^2}{2g} + f_3 \frac{L_3}{D_3} * \frac{V_3^2}{2g} + K_1 \frac{V_2^2}{2g} + K_2 \frac{V_3^2}{2g} \dots (4.19)$$

b) Tuberías en paralelo

En la figura se muestra una disposición de tres tuberías en paralelo, donde:

FIGURA N° 4.3
TUBERÍAS EN PARALELO



Fuente: Elaboración propia

- El caudal total "Q" se reparte entre todas las tuberías.
- La presión al comienzo P_A y al final P_B en cada rama es la misma para todas las ramas, luego la caída de altura de presión (diferencia de lecturas en los tubos piezométricos); por lo que la pérdida de carga será también igual en todas las ramas.



- Los tipos de problemas que pueden presentarse se presentan en el cuadro siguiente

CUADRO N° 4.2
TIPOS DE PROBLEMAS EN PARALELO

| TIPO | DATO | INCÓGNITA |
|------|-------|----------------------|
| I | h_T | Q_1, Q_2, Q_3, Q |
| II | Q | Q_1, Q_2, Q_3, h_T |

Fuente: Elaboración propia

La solución del tipo de problema I. Se hace igualando la pérdida de carga entre los nodos, a las pérdidas de carga en cada una de las tuberías, dando como resultado por método iterativo el caudal en cada una de las tuberías. Se suma los caudales parciales de cada tubería y se verifica que debe ser igual al caudal de ingreso., para cumplir el principio de conservación de masa; si no lo es se hace un reparto proporcional, de modo que:

$$Q_n = \frac{Q_n^*}{\sum Q^*} * Q_{ENTRADA} \dots\dots\dots(4.20)$$

La solución del tipo de problema 2. Se hace inicialmente asumiendo un caudal de ingreso en la primera tubería, para luego evaluar la pérdida de carga correspondiente, la misma que se iguala a las otras dos tuberías, dando como resultado los caudales correspondientes y si la suma de los caudales parciales difiere al caudal total hay que hacer un reparto proporcional del mismo.

Los principios que se aplican, son:

- **Conservación de la masa:** $Q_A = Q_B = Q_1 + Q_2 + Q_3$

$$Q_A = Q_B = V_1 * \frac{\pi}{4} D_1^2 + V_2 * \frac{\pi}{4} D_2^2 + V_3 * \frac{\pi}{4} D_3^2$$

- **Pérdida de carga:** $h_{A-B} = h_{p1} = h_{p2} = h_{p3}$

Si se desprecia la variación de energía potencial y las pérdidas secundarias en el sistema de tuberías, se tiene:

$$\frac{P_A - P_B}{\gamma} = f_1 \frac{L_1}{D_1} * \frac{V_1^2}{2g} = f_2 \frac{L_1}{D_2} * \frac{V_1^2}{2g} = f_3 \frac{L_3}{D_3} * \frac{V_3^2}{2g}$$

4.2.6. Carga del sistema o curva resistente del sistema

Para definir la proyección de la unidad de instrucción, se define como la suma algebraica de todas las alturas energéticas exceptuando la de la bomba.

$$H_s = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + Z_2 - Z_1 + P_C \dots\dots\dots(4.21)$$

Si los recipientes están abiertos a la atmosfera y se toma como referencia las superficies libres del fluido, la curva del sistema o demanda del sistema tiene una forma parabólica y se representa por.

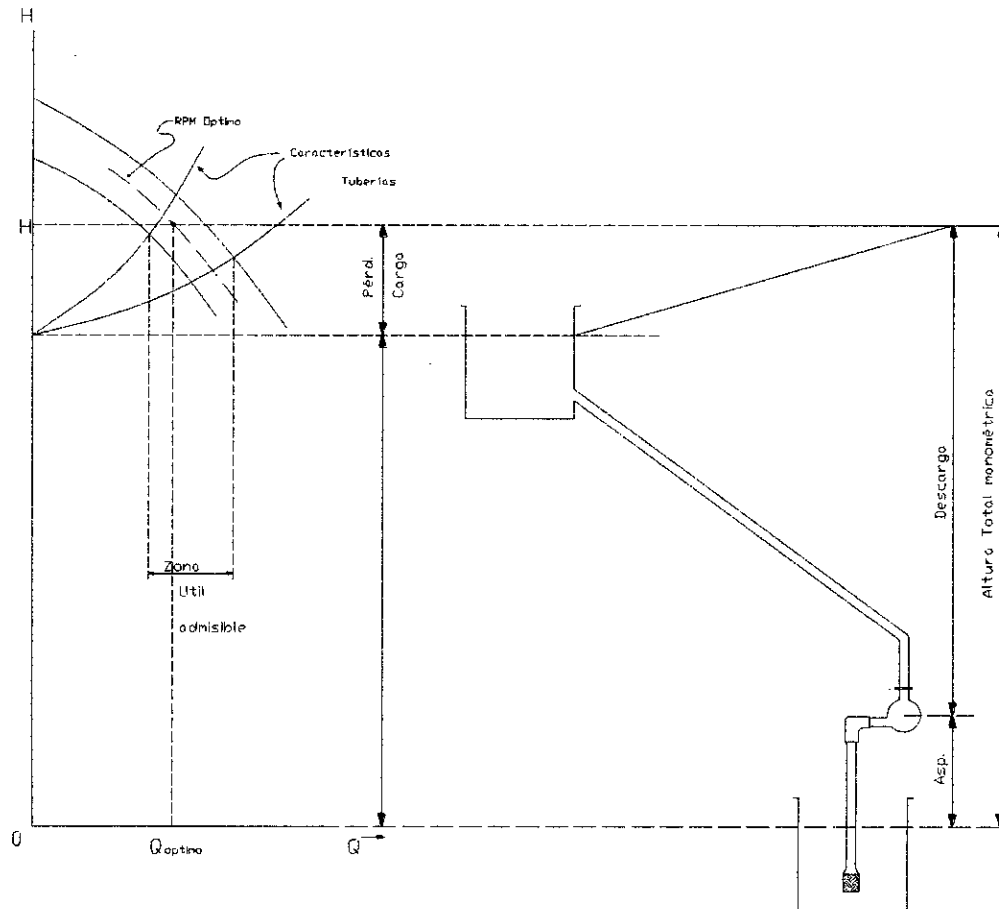
$$H_s = (Z_2 - Z_1) + C Q^2 \dots\dots\dots(4.22)$$

4.2.7. Punto de operación de bombas centrifugas

La bomba debe suministrar en todo momento, la potencia necesaria para llevar el líquido del nivel aguas abajo al nivel aguas arriba. Por lo tanto la altura útil de la bomba comprenderá además de la diferencia de niveles, las diferentes pérdidas en las tuberías y los accesorios. Si en el mismo gráfico se anotan las características de la bomba y de la instalación (tubería), el punto donde se cortan ambas curvas recibe el nombre de "Punto de Operación o Servicio" de la bomba, lo cual representa la dependencia entre el caudal y la altura de elevación para cierto número de revoluciones (RPM) de la bomba.

$$H_{Bomba} = H_{sistema} \dots\dots\dots(4.23)$$

FIGURA N° 4.4
PUNTO DE OPERACIÓN DE UNA BOMBA CENTRIFUGA



Fuente. Elaboración Propia

4.3. Definición de términos básicos

- **Rapidez de flujo Fluido.-** Es la cuantificación del flujo de la sustancia operante en un tiempo determinado que pasa por una conducción hidráulica.
- **Altura Piezometrica.-** Es la energía representada como carga en las secciones corriente arriba y corriente abajo del flujo.
- **LGH.-** Línea de gradiente hidráulico o líneas de alturas piezometricas que se dan entre puntos de estudio.

- **LGE.-** Línea de energía total entre la sección corriente arriba y corriente abajo del Flujo.
- **Nodo Hidráulico.-** Es el punto de llegada o salida de las conducciones hidráulicas.
- **Curva de demanda.-** Es la curva de pérdidas del sistema y tiene una ecuación parabólica ascendente.
- **Carga al cierre.-** Es la carga máxima que se alcanza con un caudal cero.
- **Descarga libre.-** Es la capacidad máxima que se logra con una carga cero.
- **PME.-** Punto de mejor eficiencia o punto de diseño.
- **Tubería liza.-** Conducciones hidráulicas con rugosidad absolutas despreciables (vidrio, cobres bien pulido. etc.).
- **Tubería calorifugada.-** Conducción hidráulica que no permite entrada ni salida de calor del volumen de control.
- **Flujo totalmente desarrollado.-** Cuando el perfil de velocidades es el mismo en todas las secciones transversales de la tubería o conducción de área constante.
- **Flujo de Hagen – Poiseuille.-** Se da para flujo laminar, donde la rugosidad de la tubería no tiene efectos sobre el coeficiente de fricción.
- **Tuberías rugosas.-** Tienen rugosidades absolutas significativas que dependen del tiempo de la vida útil de la tubería.

V. MATERIALES Y METODOS

5.1. Materiales

El informe final del Proyecto de Investigación, titulado: "***Diseño de un Banco Hidráulico para el Estudio Experimental de las Pérdidas de Carga en Redes de Distribución Hidráulica. Laboratorio Mecánica de Fluidos y Maquinas Térmicas FIME-UNAC***", requiere de los siguientes materiales:

- Sustancia operante: Agua a condiciones normales que puede provenir de la red de suministro o con un tanque de alimentación en circuito cerrado.
- 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.
- Bomba centrífuga de 1 HP.
- 3 tuberías de acero comercial de 2,5 metros de longitud y diámetros de 1", 3/4" y 1/2" – cedula 40.
- 2 tuberías de cobre de 2,5 metros de longitud y diámetros de 1/2" tipo K o L.
- 1 tubería de hierro galvanizado de 2,5 metros de longitud y diámetros de 1".
- 1 tubería de PVC de 2,5 metros de longitud y diámetros de 3/4".
- 4 codos 90 – RC de 1".
- Reducciones de 1" x 3/4".
- Uniones universales de 1".
- Bifurcaciones.
- 1 Contador volumétrico.
- Rotámetro de 2 a 8 litros por segundos.
- Piezómetros transparentes.
- 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.
- 6 codos de 90 – RL de 1" de diámetro.
 - Codos de 45 RL roscados.
 - Probeta de 2000 cc.
 - Cronometro digital.
 - 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.
 - Psicrómetro.
 - Barómetro de mercurio.
 - Mangueras de plástico transparente de 1/4"
 - Linnimetro mecánico de punta y de gancho.
 - Regla transparente graduada de 500 mm.
 - 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.

5.2. Métodos

Por ser el proyecto de investigación del tipo Aplicada - Tecnológica y diseño no experimental por 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 de instrucción experimental 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 contempladas en las fases:

5.2.1. Consideraciones hidráulicas:

- **Condiciones de operación de la sustancia operante**

Agua a condiciones normales de presión y temperatura, que serán registrados con un barómetro de mercurio a ser instalado en el interior del laboratorio, para registrar la presión local y un termómetro de mercurio de 0 a 60 °C.

Con dicha información se recurre a las tablas de termo fluidos y se determinan las propiedades del agua como: densidad, viscosidad



absoluta o dinámica y peso específico. Como consideraciones prácticas se puede tomar la viscosidad cinemática del agua como $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

- **Tipo de flujo**

Para precisar el tipo de flujo en la tubería, se hace necesario evaluar el número de Reynolds, que tiene entre otras variables la densidad, viscosidad absoluta o dinámica y la viscosidad cinemática. El tipo de flujo por lo general a nivel de ingeniería es turbulento que se puede alcanzar para números de Reynolds mayores a 2300 y para flujo laminar menores a 2000.

Se requiere de estudios muy minuciosos para alcanzar la velocidad crítica inferior que debe ser menor a la velocidad media del flujo para alcanzar régimen laminar.

- **Gasto volumétrico**

El gasto volumétrico se determinara por medición directa e indirecta, es decir por método volumétrico o gravimétrico, para ser contrastado luego con la lectura de la caída de presión que origina un dispositivo deprimiendo que se instala en las líneas de conducción en estudio.

Se ha proyectado el banco hidráulico para trabajar con caudales de 2 a 5 litros por segundo

- **Velocidad media del flujo**

Recomendaciones técnico económicas sobre la velocidad del flujo para el transporte del agua en una conducción hidráulica está comprendida entre 1 y 5 m/s, con muy buena aproximación se puede empezar los cálculos con 3 m/s.

Al evaluar la carga de velocidad se debe afectar o corregir esta

energía por el factor de corrección de la energía cinética que está comprendido entre 1,02 a 1,15 para flujos turbulentos y para flujos laminares como 2.

$$(1,02 - 1,15) \frac{v^2}{2g} \quad \text{Flujo turbulento}$$

$$(2) \frac{v^2}{2g} \quad \text{Flujo laminar}$$

- **Caída de presión**

La caída de presión entre los tramos horizontales de tuberías será registrada con la instalación de un banco de tubos piezométricos.

Las pérdidas de carga primaria se puede evaluar por.

$$\frac{\Delta P}{\gamma} = \text{Pérdida de carga} = h_1 - h_2 \dots\dots\dots(5.1)$$

h_1 y h_2 representan la altura del nivel del agua alcanzada en los tubos piezométricos y registrada con una regla graduada, por lo que se puede evaluar directamente la energía del flujo en la ecuación de Bernoulli, se puede observar que h_1 es menor que h_2 , puesto que la pérdida de carga es positiva y está orientada al sentido del flujo.

Para la evaluación de la pérdida secundaria, se instalara líneas corriente arriba y corriente abajo en un manómetro diferencial con líquido manométrico mercurio, en el cual hay que registrar la deflexión del mercurio (ΔH), por lo que el índice de pérdidas secundarias se puede evaluar, según:

$$K = \frac{2 g \Delta H (S_{Hg} - 1)}{v^2} \dots\dots\dots(5.2)$$

Esta evaluación del índice de pérdidas secundaria "K", nos permitirá graficar su valor para diferentes números de Reynolds y ver la tendencia correspondiente para ser contrastado posteriormente con

lo indicado en los manuales de hidráulica.

- **Línea de altura piezométrica**

Para el trazado correspondiente se hace necesario tomar dos puntos corriente arriba y corriente abajo en la tubería, para sumar luego en cada una de ellas la energía del flujo y la energía potencial.

$$\frac{P}{\gamma} + z: \text{Altura piezométrica. (HGL).}$$

- **Línea de energía total**

Para el trazado correspondiente se hace necesario tomar dos puntos corriente arriba y corriente abajo en la tubería, para sumar luego en cada una de ellas la energía del flujo, la energía potencial y la carga de velocidad.

$$Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2.g}: \text{Carga Hidráulica o energía total. (EGL).}$$

Al respecto la línea de altura piezométrica y la línea de energía total se hacen paralelas cuando el diámetro de la conducción hidráulica no varía.

- **Selección de la bomba**

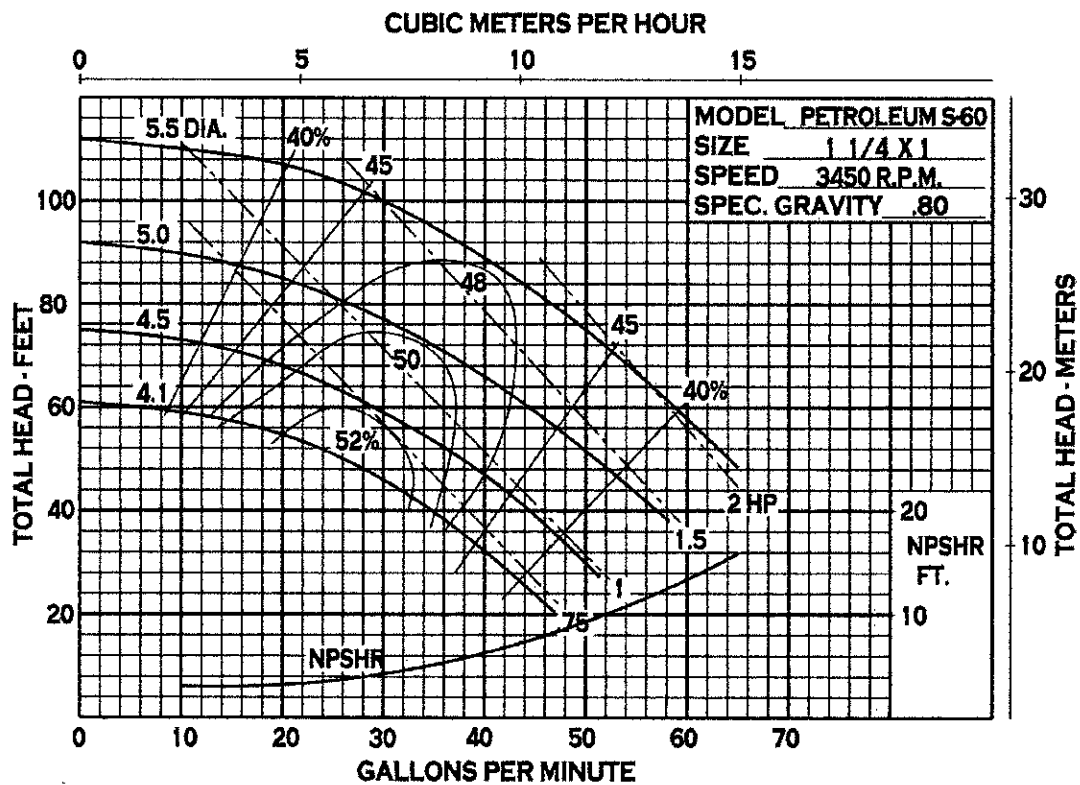
Para la selección de bomba se escogió una de poca potencia, ya que es solo para experiencias de laboratorio.

En este caso se eligió una electro bomba marca Petroleun con una potencia de 1 HP y con un caudal hasta $3 \frac{L}{seg}$.

Las curvas características de carga - capacidad de la bomba para diámetros de impulsor entre 4,1 y 5,5 pulgadas, con régimen de

operación de 3450 RPM y diámetros en la succión y descarga igual a 1¼" y 1" respectivamente se muestran en la gráfica siguiente:

FIGURA N° 5.1
CURVAS CARACTERISTICAS DE BOMBA CENTRIFUGA



Fuente: Catalogo de bombas centrifugas. Petroleum.

5.2.2. Consideraciones mecánicas

- Dimensiones tanque de alimentación de agua

Las planchas a utilizar serán de acero comerciar 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.

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

- **Dimensiones 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.

La 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, 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.

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 cronómetro en cero, luego en la salida del flujo constante de la tubería o canal, se coloca el recipiente, simultáneamente se activa el cronómetro; este proceso finaliza en el momento en que el flujo llegue a la marca del recipiente y se desactiva el cronómetro 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° 5.1
TABULACIÓN DE DATOS DE PRUEBA

| 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 el canal, después de hacerle un tratamiento estadístico a los datos, resultando en caudal:

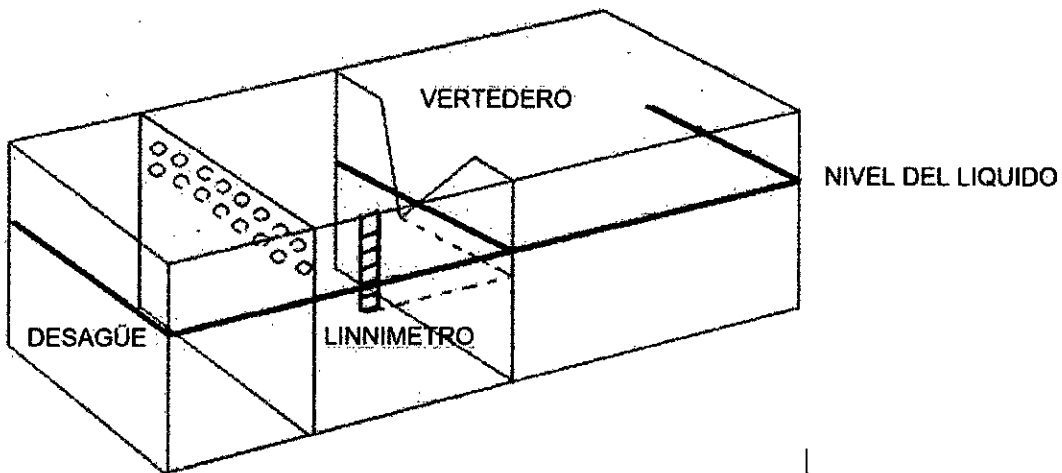
$$Q = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5}{5} \dots\dots\dots (5.3)$$

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.

Al tanque se le proyecta instalar una válvula de descarga hacia el tanque de almacenamiento para que se cumpla un circuito cerrado. Por lo que las dimensiones del tanque de aforo son las siguientes:

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

**FIGURA N° 5.2
TANQUE DE AFORO**



Fuente. Elaboración Propia

- **Diámetro y longitudes normalizadas de tuberías**

Nuestra unidad de instrucción experimental estará dotada por cuatro líneas de acero comercial de calibre permutable (Cedula 40 y 80) y

contara con 3 tuberías de acero comercial de 2,5 metros de longitud y diámetros de 1", 3/4" y 1/2", estas tuberías nos permite evaluar las perdidas hidráulicas bajo dos circuitos:

CIRCUITO EN SERIE: Para poner el banco de pruebas con un conexionado en circuito en serie se debe tener en cuenta para su recorrido del flujo, lo siguiente.

- Cerrar las dos llaves de los extremos de la línea 4 (Tramo solo para accesorios)
- Abrir la válvula V1, para lo cual se dará inicio para el circuito en serie.
- Si se desea trabajar las 3 primeras líneas en serie se debe de.
 - ✓ Cerrar las válvulas: V2, V3, V8.
 - ✓ Abrir las válvulas V1, V4, V5, V6, V7, V9, V10, V11, V12 y V15.
- La válvula V15 debe permanecer siempre abierta, ya que es por donde se descarga todo el flujo de agua que circula por el banco hidráulico.
- Se debe tener en cuenta que las lecturas registradas en los caudalímetros C1, C2 y C3 deben ser iguales, ya que el circuito está en serie.

CIRCUITO EN PARALELO: Para que el banco de pruebas trabaje en un circuito en paralelo, se deberá tener en cuenta los siguientes arreglos de las válvulas.

- Para las 3 primeras líneas en paralelo se debe de.
 - ✓ Cerrar la válvula V10.
 - ✓ Abrir las válvulas V1, V3, V4, V5, V6, V7, V8, V9, V11 y V15.
- Para las dos primeras líneas en paralelo:
 - ✓ Cerrar las válvulas V2, V10 y V11.
 - ✓ Abrir las válvulas V1, V2, V4, V5, V6, V7, V8, V9, V12 y V15.

Se debe tener en cuenta que tanto para un circuito en serie o paralelo en el banco hidráulico de pruebas, deben de estar siempre abiertas, las válvulas V1, V9 y V15. Por la válvula V1 ingresa el agua al sistema y por la válvula V9 y V15 el agua sale del sistema.

La lectura que registran los caudalímetros C1, C2, C3, serán diferentes y proporcionales a sus diámetros de sus líneas de recorrido, mientras que el caudalímetro C4, dará el caudal total del agua que ingresa al sistema.

Así mismo el caudal de entrada al sistema se puede regular con una válvula esférica VE1 teniendo así una gama de caudales para los cuales tendremos diferentes pérdidas primarias y secundarias con diferentes caudales en circuito en paralelo.

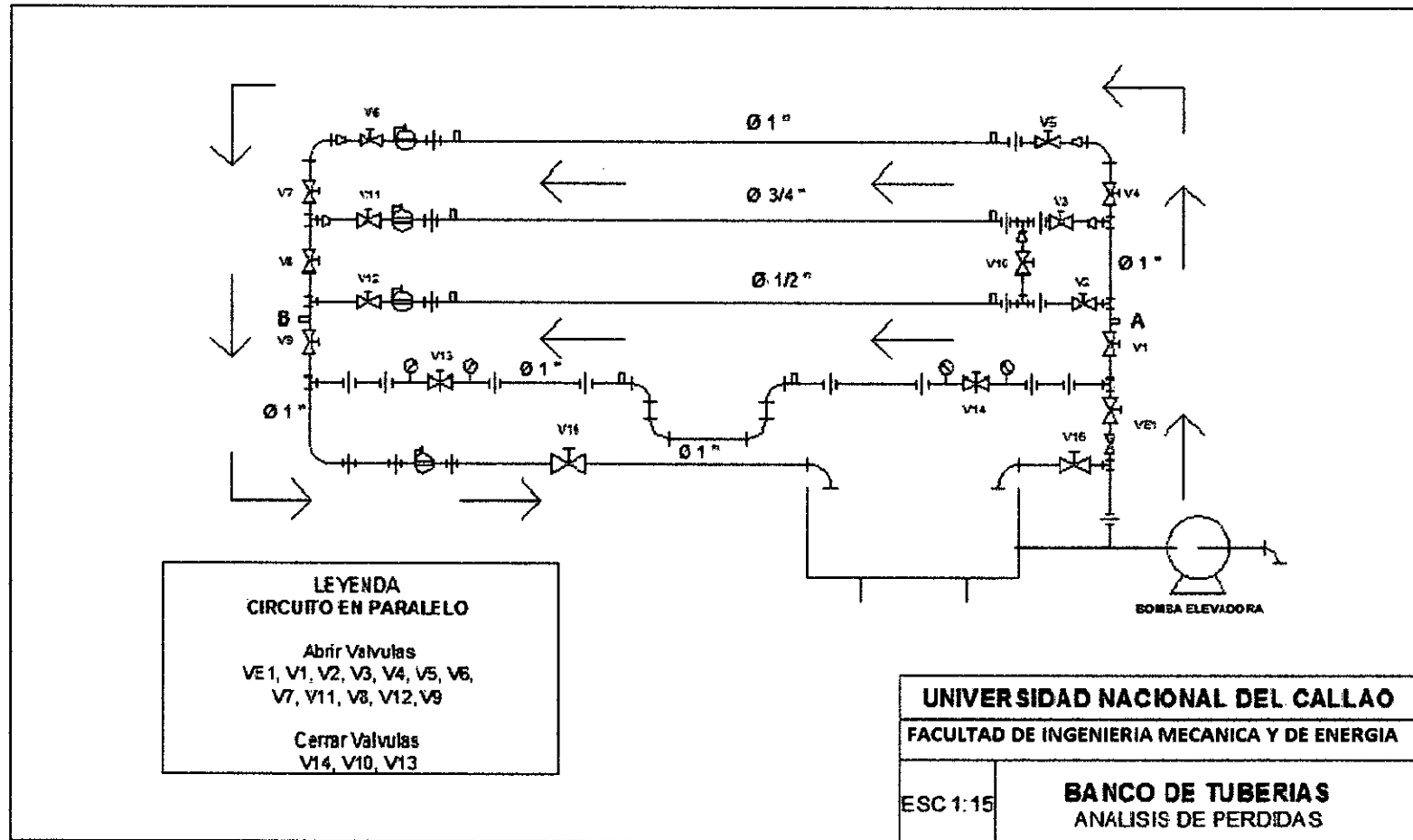
- **Características de los Accesorios**

Las singularidades y dispositivos de medición y control a considerar, serán los siguientes:

- 4 codos 90 – RC de 1”.
- Reducciones de 1” x ¾”.
- Uniones universales de 1”.
- 1 bomba centrifuga de 1 Hp.
- Contador volumétrico.
- Rotámetro.
- Manómetros húmedos con glicerina.
- 6 codos de 90 – RL de 1” de diámetro.
- Probeta de 2000 cc.
- Cronometro digital.
- Termómetro.
- Psicrómetro.
- Barómetro.

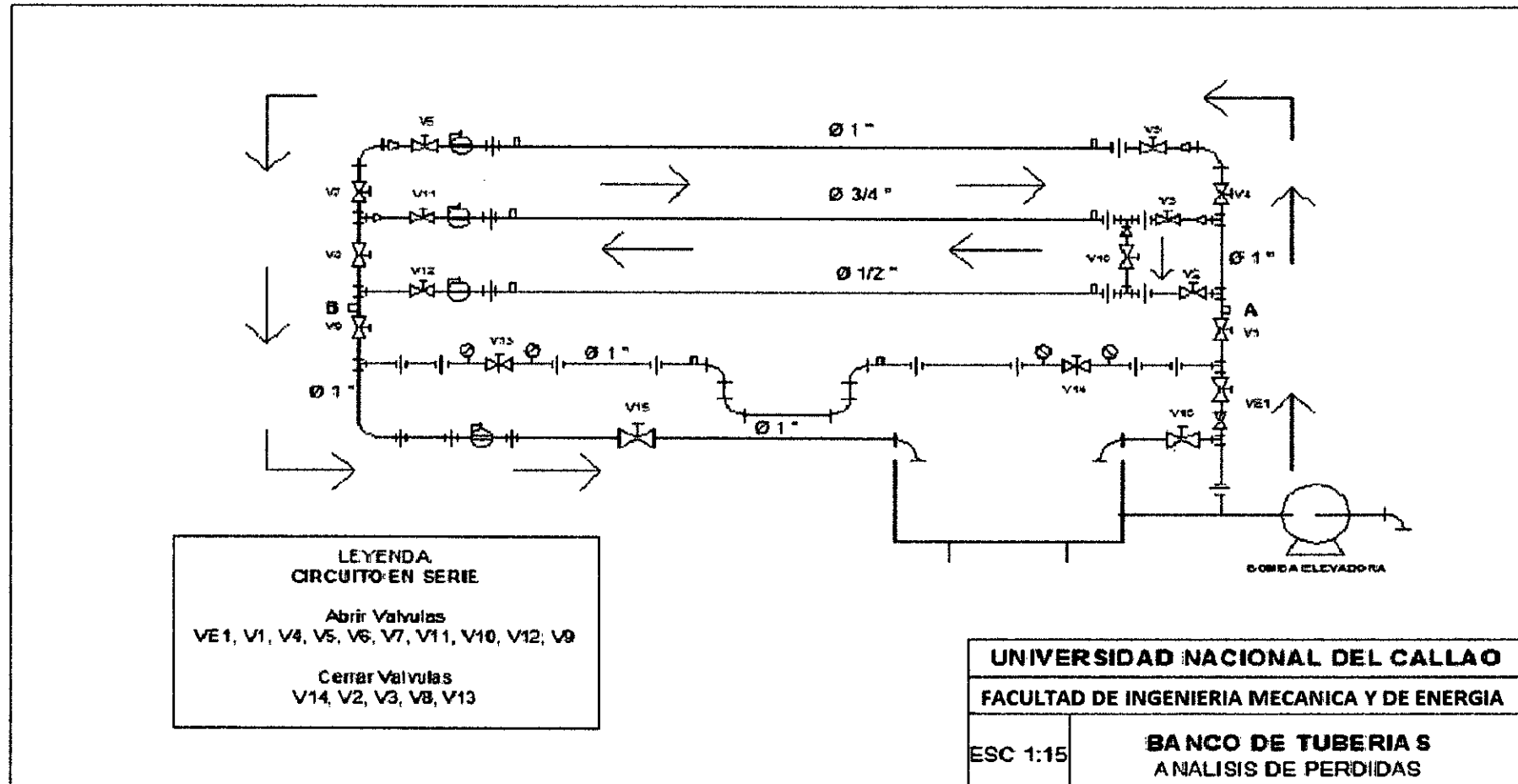


FIGURA N° 5.3
CIRCUITO EN PARALELO



Fuente: Elaboración Propia

FIGURA N° 5.4
CIRCUITO EN SERIE



Fuente: Elaboración Propia

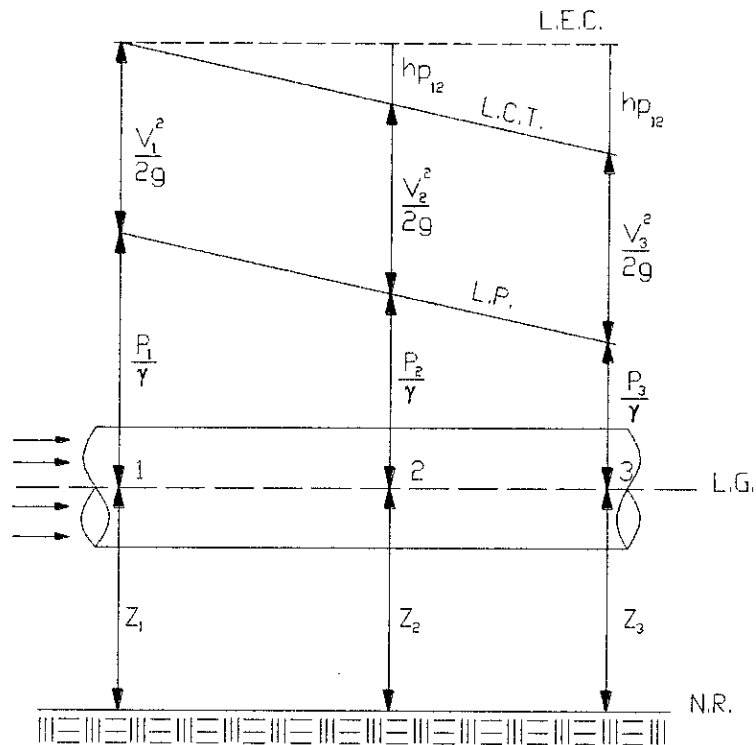
5.2.3. Pérdidas por resistencia y forma

En las líneas 1, 2 y 3 se evaluarán las pérdidas de resistencia o fricción de la conducción en estudio, mediante la diferencia de alturas piezometricas entre los puntos aguas arriba y aguas abajo de la conducción, para luego aplicar los principios de conservación de masa y energía al flujo fluido en una tubería, bajo las consideraciones de (Permanente, Adiabático, Unidimensional, Uniforme, sin variación de energía interna y no se desarrolla trabajo), se tiene:

$$\iint_{SC} (e + Pv)\rho * \bar{V} * dA + \iint_{SC} \tau * \bar{V} * dA = 0$$

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + Pc_{1-2} \dots\dots\dots(5.4)$$

FIGURA N° 5.5
CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA: FLUJOS VISCOSOS



Fuente: Elaboración propia.



El análisis en la línea 4 (tramo de accesorios); se deben tener presente que:

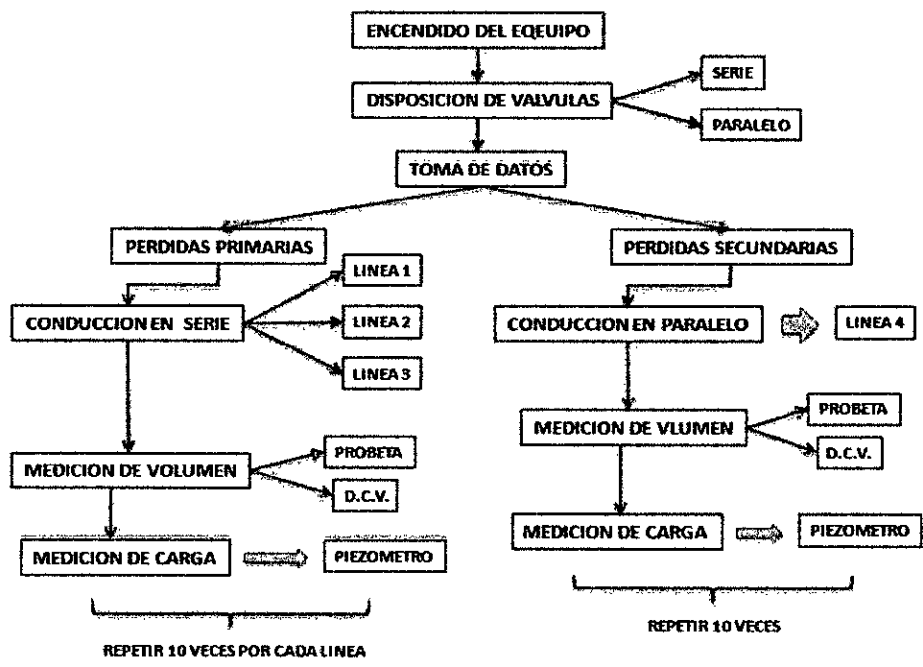
- Los piezómetros deber ser probados previamente.
- En el tubo galvanizado hay una pérdida mayor que en una tubería de PVC.
- Se pueden instalar dispositivos deprimógenos para evaluar sus coeficientes de descarga respectiva.

El proceso ordenado y sistematizado a seguir en el estudio experimental de las:

- A. Pérdidas primaria
- B. Pérdidas por singularidades.
- C. Red de distribución: Serie y Paralelo.

El mapa sinóptico siguiente muestra la metodología a seguir en el estudio de la variable del problema a investigar.

FIGURA N°5.6
DIAGRAMA DE FLUJO SECUENCIAL



Fuente: Elaboración Propia

La metodología a seguir en cuanto al registro de datos en cada una de las líneas (1,2 y 3) para las pérdidas primarias y línea 4 para las pérdidas secundarias se hará en el formato siguiente de tabulación de datos:

CUADRO N° 5.2
TABULACIÓN DE DATOS: PERDIDAS PRIMARIAS

| | Longitud (m) | Diámetro (Pulg) | N° | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---------|--------------|-----------------|-----------------------|---|---|---|---|---|---|---|
| Línea 1 | | 1/2" | Q (m ³ /s) | | | | | | | |
| | | | Δ h (mm) | | | | | | | |
| Línea 2 | | 3/4" | Q (m ³ /s) | | | | | | | |
| | | | Δ h (mm) | | | | | | | |
| Línea 3 | | 1" | Q (m ³ /s) | | | | | | | |
| | | | Δ h (mm) | | | | | | | |

Fuente: Elaboración Propia

CUADRO N° 5.3
TABULACIÓN DE DATOS: PERDIDAS SECUNDARIAS

| Accesorio | Diámetro (Pulg) | N° | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-----------|-----------------|-----------------------|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Q (m ³ /s) | | | | | | | |
| | | Δ h (mm) | | | | | | | |
| | | Q (m ³ /s) | | | | | | | |
| | | Δ h (mm) | | | | | | | |
| | | Q (m ³ /s) | | | | | | | |
| | | Δ h (mm) | | | | | | | |
| | | Q (m ³ /s) | | | | | | | |
| | | Δ h (mm) | | | | | | | |

Fuente: Elaboración Propia

Casuísticas:

Caso 01.- En un laboratorio se realizan mediciones de velocidad en una tubería horizontal de 300 mm de diámetro. Se muestra que la velocidad



radial en el centro es 1,5 m/s y se observa que la distribución de velocidades es parabólica. Si la caída de presión es de 1,9 KPa por 100 m de tubería y la densidad relativa del fluido operante es 0,8.

Considerando: ($\gamma_{\text{agua}}: 10 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}$ y $g: 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$). **Determinar:**

- El coeficiente de fricción.
- La viscosidad del fluido.
- El esfuerzo de contorno o esfuerzo máximo.
- La velocidad de corte

Solución:

- Cálculo del coeficiente de fricción: Por condición del problema la distribución de velocidades es parabólica, por lo que el flujo es laminar:

$$V = \frac{V_{\text{max}}}{2} = \frac{1,5}{2} = 0,75 \text{ m/s}$$

$$\Delta P = f \frac{L}{D_H} * \rho * \frac{V^2}{2}$$

$$1,9 * 1000 * 0,3 * 2 = f * 100 * 800 * 0,75^2$$

$$f = 0,0253$$

- Cálculo de la viscosidad cinemática:

$$Re = \frac{64}{f} = 2526,2 = \frac{0,75 * 0,3}{\nu}$$

$$\nu = 8,9 * 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

- Cálculo del esfuerzo cortante:

$$\tau_0 = \frac{\Delta P * R}{2 L} = \frac{1,9 * 1000 * 0,15}{2 * 100} = 1,425 \text{ Pa}$$

- Cálculo de la velocidad de corte:

$$V_c = V \sqrt{\frac{f}{8}} = 0,75 \sqrt{\frac{0,053}{8}} = 0,0422 \text{ m/s}$$

Caso 02.- En un Banco Hidráulico de Instrucción Experimental, se instala una válvula en una de las tuberías (área de flujo "a") horizontales. Entre las tomas aguas arriba y aguas abajo de la válvula en estudio se instala un manómetro diferencial, registrándose en él una deflexión de 120 mmHg cuando el agua se descarga hacia un tanque calibrado de área de base "A" de sección constante. Para un tiempo de 15 s se registró un desnivel del agua en el tanque de 120 mm. Considerando $\frac{A}{a} = 200$ y $S_{Hg} = 13.6$. **Determinar.**

- La velocidad media del agua en la tubería.
- La pérdida de carga originada por la válvula.
- El índice de pérdida secundaria de la válvula.

Solución:

- Cálculo de la velocidad media del flujo:

$$V = \left(\frac{A}{a}\right) * \frac{\Delta h_{\text{agua}}}{\text{tiempo}} = \frac{200 * 0,12}{15} = 1,6 \text{ m/s}$$

- Cálculo de la pérdida secundaria originada por la válvula: Aplicamos conservación de la energía antes y después de la válvula y manometría entre la toma.

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

$$h_s = \Delta H * (S_{Hg} - 1) = 0,12 * 12,6 = 1,512 \text{ m}$$

- Cálculo del índice de pérdida secundaria:

$$K = \frac{h_s * 2g}{V^2} = \frac{1,512 * 2 * 9,81}{1,6^2} = 11,58$$

Caso 03.- En un banco hidráulico para el estudio del efecto viscoso de un fluido, se instala una tubería inclinada de acero comercial de 20 mm de diámetro. Fluye glicerina a 20°C ($\gamma_g = 12.3 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}$; $\mu = 0.62 \text{ Pa.s}$) a una velocidad de 0.6 m/s. Se utilizan dos piezómetros en las tomas corrientes arriba y abajo para medir la carga piezométrica. La distancia de la tubería entre los tubos piezométricos verticales es 1 m. La inclinación del tubo es 20°. ¿Cuál es la diferencia de altura Δh (m) entre la glicerina en los dos tubos verticales? Considerar el sentido del flujo de abajo hacia arriba

Solución:

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

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} - \Delta Z = f \frac{L}{d} \times \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (a)$$

Aplicando manometría entre (1) y (2)

$$P_1 = \gamma_g \times \Delta h + \gamma_g \times h_2 + \gamma_g \times \Delta Z$$

$$P_2 = \gamma_g \times h_2$$

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} - \Delta Z = \Delta h \dots\dots\dots (b)$$

Igualemos las ecuaciones (a) y (b)



$$\Delta h = f \frac{L}{d} \times \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (c)$$

Cálculo del coeficiente de fricción "f"

$$\gamma = \frac{0.62 \times 9.81}{12.3 \times 1000} = 4.94 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

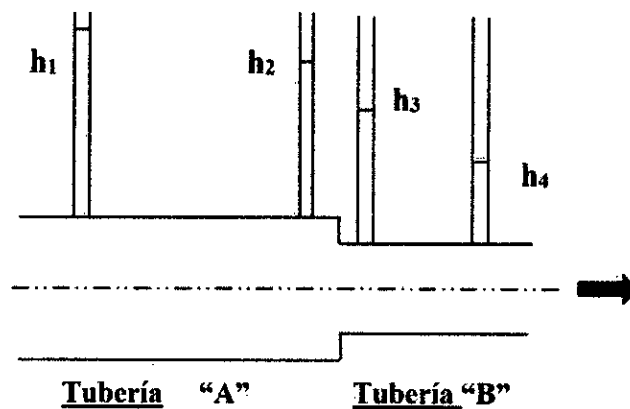
$$\text{Re} = \frac{0.6 \times 0.020}{4.94 \times 10^{-4}} = 24.26 \text{ (laminar)}$$

$$f = \frac{64}{\text{Re}} = 2.637$$

Reemplazando valores en la ecuación (c): $\Delta h = 2.419 \text{ m}$

Caso 04.- El esquema muestra un banco de tuberías en serie para el estudio experimental de flujo interno viscoso sometido a presión. Las condiciones del estudio, son:

- Sustancia operante: Agua ($\gamma = 10 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}$)
- Tubería "A": 10 m – 100 mm ϕ – f: 0,030
- Tubería "B": 5 m – 50 mm ϕ – f: 0,020
- El agua descarga hacia un tanque calibrado de 1 m² de área de base, originando un desnivel del agua de 50 mm en 5 s.
- $h_2 : 10 \text{ m}$ y $h_4 : 5 \text{ m}$



Considerando $g: 10 \text{ m/s}^2$. **Determinar:**

- La energía de flujo en la sección (1)
- La energía de flujo en la sección (3).
- La pérdida secundaria originada por la contracción brusca.
- La pérdida de carga total.
- El índice "K" de pérdida secundaria.

Solución:

- Cálculo de la energía de flujo en la sección (1): Se determina primeramente la rapidez de flujo de volumen que pasa a través de las tuberías en serie.

$$Q = \frac{\text{Area}_{\text{Base}} * \Delta h}{\text{tiempo}} = \frac{1 * 50 * 10^{-3}}{5} = 0,01 \text{ mcs}$$

Por lo que: $V_{100}: 1,273 \text{ m/s}$ y $V_{50}: 5,0929 \text{ m/s}$. Aplicamos la ecuación de Bernoulli entre las secciones (1) y (2)

$$h_1 = 10 + 0,030 * \frac{10}{0,1} * \frac{1,273^2}{2 * 10} = 10,243 \text{ m}$$

- Cálculo de la energía de flujo en la sección (3): Aplicamos la ecuación de Bernoulli entre las secciones (3) y (4)

$$h_3 = 5 + 0,020 * \frac{5}{0,050} * \frac{5,0929^2}{2 * 10} = 7,5938 \text{ m}$$

- Cálculo de la pérdida secundaria: Aplicamos la ecuación de Bernoulli entre las secciones (2) y (3)

$$10 + 0,081 = 7,5938 + 1,2969 + h_s$$

$$h_s = 1,19 \text{ m}$$



- Cálculo de la pérdida de carga total:

$$Pc_{Total} = hp_{1-2} + hs_{2-3} + hp_{3-4}$$

$$Pc_{Total} = 0,243 + 1,19 + 2,5938 = 4,0268 \text{ m}$$

- Cálculo del índice "K" de pérdida secundaria.

$$K = \frac{h_s * 2g}{V^2} = \frac{1,19 * 2 * 10}{5,0929^2} = 0,917$$

Caso 05.- Una unidad de instrucción experimental presenta una tubería inclinada de 50 mm de diámetro y 4 m de longitud, por el que circula agua a 20°C ($\gamma = 9.81 \frac{KN}{m^3}$) a razón de 3m/s. Entre las tomas aguas arriba y aguas abajo con una variación de energía potencial de 1m, se conecta un manómetro diferencial. Para una abertura de la válvula se registra una deflexión de 800 mm de líquido manométrico ($S = 2,5$). **Determinar** el coeficiente de fricción.

Solución:

- Aplicando el principio de conservación de la energía entre las tomas de medición, se tiene:

$$\frac{\Delta P}{\gamma_{agua}} - \Delta Z = f \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

- Por manometría corriente arriba y corriente abajo del flujo:

$$\frac{\Delta P}{\gamma_{agua}} - \Delta Z = \Delta H(S_m - 1)$$

- Igualando las expresiones anteriores, se tiene:

$$0,8 * (2,5 - 1) = f * \frac{4}{0,050} * \frac{3^2}{2 * 9,81}$$

$$f = 0,0327$$



VI. RESULTADOS

- Con el diseño del banco hidráulico para el estudio experimental de las pérdidas de carga en redes de distribución hidráulica, se puede construir y realizar el montaje del proyecto, a fin de lograr determinar el estudio del coeficiente de fricción real para diferentes diámetros y tipos de tuberías, con la finalidad de contrastar dicho valor con el coeficiente de fricción teórico determinado en el diagrama de Moody o utilización de ecuaciones apropiadas para diferente régimen de flujo.
- Para diferentes singularidades en la conducción hidráulica se proyecta a evaluar el índice de perdidas secundarias, para ser graficadas para diferentes números de Reynolds y contrastar las mismas que brindan los fabricantes.
- La unidad de instrucción experimental al ser proyectado con un tanque de aforo, se podría determinar la rapidez de flujo volumétrico real y ser contrastado con algún dispositivo deprimogeno en la evaluación propia del coeficiente de descarga.
- La proyección de la unidad de instrucción experimental, nos permitirá trabajar la red de distribución en serie o paralelo mediante una manipulación de válvulas y los caudales determinados serán contrastados a los valores obtenidos por métodos iterativos.
- Si existiese valores de energía de flujo elevados, se podría utilizar manómetros diferenciales, con liquido manométrico de mercurio conectados, corriente arriba y corriente debajo de la tubería o accesorio a estudiar.



VII. DISCUSIÓN

- La presente investigación se proyecta a confirmar lo establecido por CALDERÓN CÓRDOVA, Jaime Rolando y POZO CALVA, Christian Xavier, en su tesis "Diseño y Construcción de un Banco de Pruebas para Pérdidas de Carga en Tuberías y Accesorios con Simulación" ya que las pérdidas de carga en tuberías y accesorios pueden ser evaluadas realmente mediante la caída de presión registrados por piezómetros para diferentes tramos en estudio.
- De igual manera la presente investigación se inclina a fortalecer lo dicho por POMA SOLANO, Rafael Gregorio, en su Tesis "Diseño y Construcción de un Banco de ensayo para el estudio de Pérdidas de Carga por Fricción y Singularidad", quien hace un análisis de las perdidas primarias en tuberías de PVC para diferentes diámetros y analizar sus resultados con las ecuaciones de Blasius y Darcy - Weisbach.
- Así mismo la presente investigación no se alineada con lo establecido por PARRA DURÁN, Jorge Andrés y VELASCO MARÍN, Luis Gabriel, en su Tesis "Diseño para Construcción de un Banco de Pruebas para determinar las Pérdidas de Carga en un Sistema de Tuberías", ya que establece en sus cálculos la rugosidad absoluta del material como nueva, restando importancia a la variación de dicha variable con el tiempo, para dar origen al factor de envejecimiento de la tubería en la evaluación de la curva de demanda o del sistema.
- Por último, la presente investigación se encuentra de acuerdo a lo establecido por YAMBOMBO GUANUTAXI, Javier Gustavo. En su Tesis "Diseño y Construcción de un Banco de Pruebas para ensayos de pérdidas de Carga en Tuberías y Accesorios", puesto que presenta métodos para evaluar el coeficiente de fricción.

VIII. REFERENCIALES

- CALDERÓN CÓRDOVA, Jaime Rolando y POZO CALVA, Christian Xavier. Tesis "Diseño y construcción de un banco de pruebas para pérdidas de carga en tuberías y accesorios con simulación".
- POMA SOLANO, Rafael Gregorio. Tesis "Diseño y Construcción de un Banco de ensayo para el estudio de Pérdidas de Carga por Fricción y Singularidad".
- PARRA DURÁN, Jorge Andrés y VELASCO MARÍN, Luis Gabriel. Tesis "Diseño para Construcción de un Banco de Pruebas para determinar las Pérdidas de Carga en un Sistema de Tuberías".
- YAMBOMBO GUANUTAXI, Javier Gustavo. Tesis "Diseño y Construcción de un Banco de Pruebas para ensayos de pérdidas de Carga en Tuberías y Accesorios"
- BOXER, G. "**Mecánica de Fluidos**", Estados Unidos de Norte América: Editorial Addison Wesley Iberoamericana. Primera edición, 1994.
- CENGEL A. Yunus. "**Mecánica de Fluidos: Fundamentos y Aplicaciones**" México: Editorial Mc Graw Hill. Segunda edición, 1995.
- FERNÁNDEZ L. Bonifacio. "**Introducción a la Mecánica de Fluidos**" Chile. Ediciones Universidad Católica de Chile. Alfaomega. Segunda Edición, 1998.
- 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

- MOTT, Robert. **“Mecánica de Fluidos Aplicada”**, México: Editorial Prentice Hall Hispanoamericana. Cuarta edición, 1996.
- ROBERSON, John. **“Mecánica de Fluidos”**, México: Editorial Mc Graw Hill Interamericana. Segunda edición, 1991.
- SHAMES, Irvin. **“Mecánica de Fluidos”**, Colombia: Editorial Mc Graw Hill. Novena edición, 2000.
- WHITE, Frank. **“Mecánica de Fluidos”**, México: Editorial Mc Graw Hill. Segunda edición, 1983.



IX. APÉNDICES

APÉNDICE N° 1: Prefijos del Sistema Internacional.

APÉNDICE N° 2: Sistema de Unidades de la Viscosidad Dinámica.

APÉNDICE N° 3: Sistema de Unidades de la Viscosidad Cinemática.

APÉNDICE N° 4: Propiedades del Agua.

APÉNDICE N° 5: Sistema de Dimensiones.

APÉNDICE N° 6: Prefijos en el SI.



APÉNDICE N° 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} |

Fuente: Claudio Mataix. Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas.

APÉNDICE N° 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 = $\frac{dina \cdot s}{cm^2} = 0,1 Pa \cdot s$ |

Fuente: Elaboración propia.



APÉNDICE N° 3

SISTEMA DE UNIDADES DE LA VISCOSIDAD CINEMATICA

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

Fuente: Elaboración propia.

APÉNDICE N° 4

PROPIEDADES DEL AGUA

| Temperatura (°C) | Peso especifico (KN/m³) | Densidad (Kg/m³) | 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 | $6,15 \times 10^{-4}$ | $6,56 \times 10^{-7}$ |

Fuente: Claudio Mataix. Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas.

APÉNDICE N° 5
SISTEMA DE DIMENSIONES

| Nombre | Representación Dimensional | | | | g_c Constante de Proporcionalidad |
|------------------------------|----------------------------|-----|---|-----------------|--|
| | M | L | T | F | |
| M.K.S ó (SI) | kg | m | s | N | $1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{N} \cdot \text{s}^2}$ |
| C.G.S. | gr | cm | s | dina | $1 \frac{\text{gr} \cdot \text{cm}}{\text{dina} \cdot \text{s}^2}$ |
| Métrico de Ingeniería | kg | m | s | kg _f | $9.81 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{kg}_f \cdot \text{s}^2}$ |
| Gravitacional Métrico (ST) | UTM | m | s | kg _f | $1 \frac{\text{UTM} \cdot \text{m}}{\text{Kg}_f \cdot \text{s}^2}$ |
| Británico Gravitacional (BG) | slug | pie | s | lb _f | $1 \frac{\text{slug} \cdot \text{pie}}{\text{lb}_f \cdot \text{s}^2}$ |
| Inglés de Ingeniería (II) | lb | pie | s | lb _f | $32.2 \frac{\text{lb} \cdot \text{pie}}{\text{lb}_f \cdot \text{s}^2}$ |
| Absoluto Inglés | lb | pie | s | Poundal | $1 \frac{\text{lb} \cdot \text{pie}}{\text{poundal} \cdot \text{s}^2}$ |

Fuente: Elaboración propia



APÉNDICE N° 6
PREFIJOS EN EL SI

| Factor de multiplicación | Prefijo | Símbolo |
|---------------------------------|----------------|----------------|
| 10^{12} | tera | T |
| 10^9 | giga | G |
| 10^6 | mega | M |
| 10^3 | kilo | K |
| 10^2 | hecto | h |
| 10 | deka | da |
| 10^{-1} | deci | d |
| 10^{-2} | centi | c |
| 10^{-3} | mili | m |
| 10^{-6} | micro | μ |
| 10^{-9} | nano | n |
| 10^{-12} | pico | p |
| 10^{-15} | femto | f |
| 10^{-18} | atto | a |

Fuente: Elaboración propia



X. ANEXOS

ANEXO N° 1: Matriz de Consistencia.

ANEXO N° 2: Diagrama de Moody.

ANEXO N° 3: Monograma para Perdidas de Carga Localizadas.

ANEXO N° 4: Perdidas Secundarias.



**ANEXO N° 1
MATRIZ DE CONSISTENCIA**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: DISEÑO DE UN BANCO HIDRÁULICO PARA EL ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LAS PERDIDAS DE CARGA EN REDES DE DISTRIBUCIÓN HIDRÁULICA. LABORATORIO MECÁNICA DE FLUIDOS Y MAQUINAS TÉRMICAS – FIME UNAC

| PROBLEMAS | OBJETIVOS | HIPÓTESIS | VARIABLES | METODOLOGÍA |
|---|---|--|---|---|
| <p>GENERAL:</p> <p>¿Cómo diseñar un Banco Hidráulico para el Estudio Experimental de las Pérdidas de Carga en Redes de Distribución Hidráulica para el Laboratorio de Mecánica de Fluidos y Maquinas Térmicas de la FIME-UNAC?</p> | <p>GENERAL:</p> <p>Diseñar un Banco Hidráulico para el Estudio Experimental de las Pérdidas de Carga en Redes de Distribución Hidráulica para el Laboratorio de Mecánica de Fluidos y Maquinas Térmicas de la FIME-UNAC.</p> | <p>GENERAL:</p> <p>Si se diseña un banco hidráulico se podrá realizar el estudio experimental de las Pérdidas de Carga en las Redes de Distribución Hidráulica en el Laboratorio de Mecánica de Fluidos y Maquinas Térmicas de la FIME-UNAC</p> | <p>Variable Independiente</p> <p>Diseño de un Banco Hidráulico</p> <p>a) Cálculo hidráulico</p> <ul style="list-style-type: none"> - Condiciones de operación de la sustancia operante - Tipo de flujo - Gasto volumétrico - Velocidad media del flujo - Caída de presión - Línea de altura | <p>Tipo de Investigación</p> <p>Tecnológica o Aplicada</p> <p>Diseño de la Investigación</p> <p>Experimental</p> <p>Método de la Investigación</p> <p>Empírico</p> |

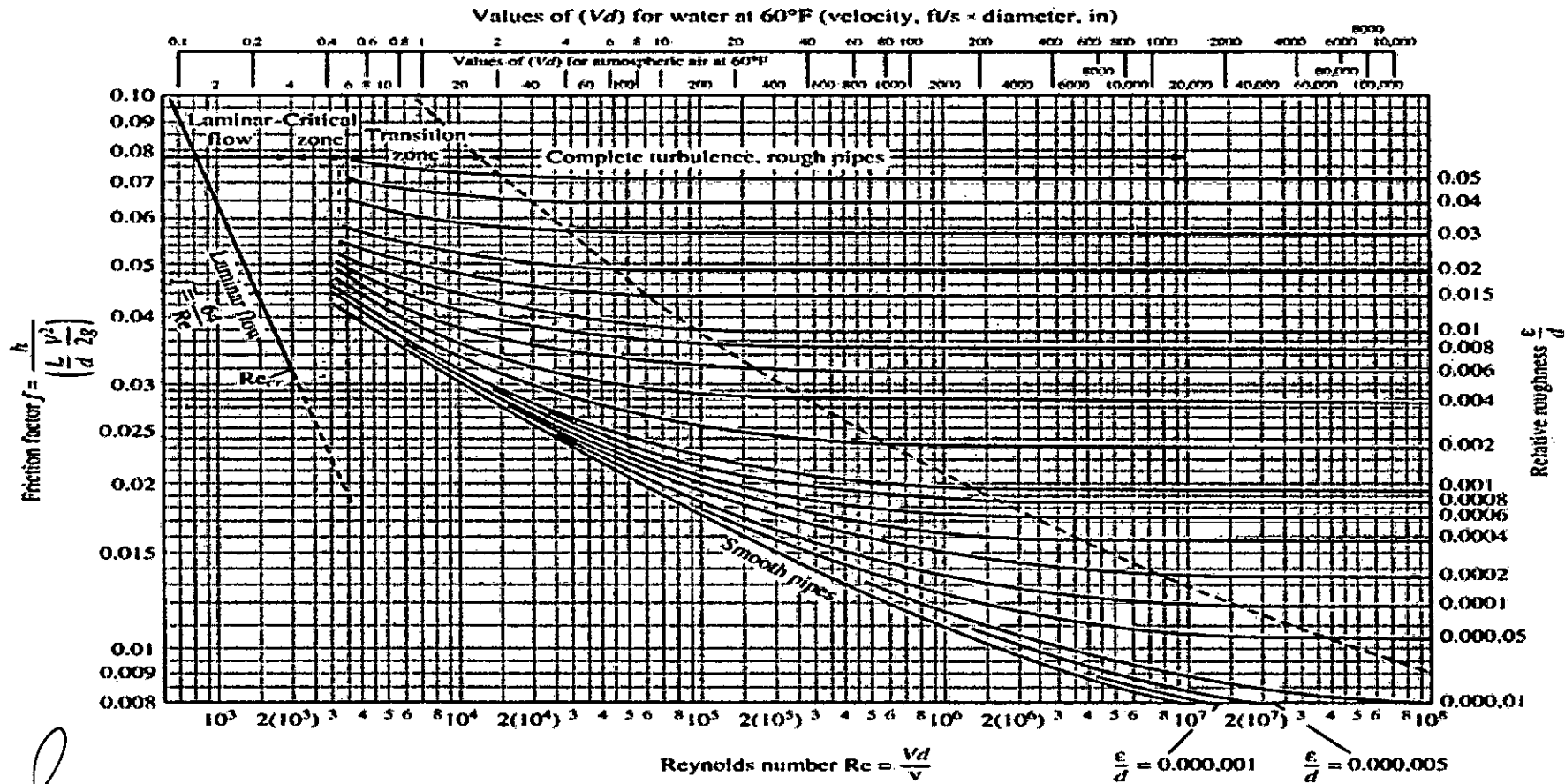


| | | | | |
|--|---|--|---|---|
| <p>ESPECÍFICOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ¿Cómo determinar el cálculo hidráulico en la red de distribución que permita cuantificar la rapidez del gasto volumétrico y caída de presión para posterior selección de la bomba? - ¿En qué medida el cálculo mecánico del banco hidráulico permitirá dar las dimensiones de los tanques de aforo y de alimentación del agua? | <p>ESPECÍFICOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Determinar el cálculo hidráulico en la red de distribución que permita cuantificar la rapidez del gasto volumétrico y caída de presión para posterior selección de la bomba. - Realizar el cálculo mecánico del banco hidráulico que permita dimensionar los tanques de aforo y de alimentación del agua. | <p>ESPECÍFICOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Si se determina el cálculo hidráulico en la red de distribución sometida a presión se podrá cuantificar la rapidez del gasto volumétrico y la caída de presión para posterior selección de la bomba. - Si se realiza el cálculo mecánico del banco hidráulico se lograra dar las dimensiones de los tanques de aforo y de alimentación del agua. | <p>piezométrica</p> <ul style="list-style-type: none"> - Línea de energía total Selección de la Bomba <p>b) Cálculo mecánico</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dimensiones tanque de alimentación de agua - Dimensiones del tanque de aforo - Diámetro y longitud normalizada de tuberías - Características de los accesorios <p>c) Selección de componentes</p> <ul style="list-style-type: none"> - Motor eléctrico - Banco de tubos piezómetros - Nivel mecánico del agua | <p>Técnica de Investigación</p> <p>• Documental:</p> <ul style="list-style-type: none"> Tesis para la elaboración de los antecedentes de estudio. Catálogos de información técnica <p>• Campo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tuberías, accesorios y Válvulas - Manómetro de Bourdon, Manómetro Diferencial y Termómetro |
|--|---|--|---|---|

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| <p>- ¿En qué medida la caída de presión que se registran en las tuberías y accesorios permitirán seleccionar adecuadamente los tubos piezométricos y selección del nivel mecánico de agua?</p> | <p>- Evaluar la caída de presión que se registran en las tuberías y accesorios para seleccionar posteriormente los tubos piezométricos y selección del nivel mecánico de agua.</p> | <p>- Si se evalúa experimentalmente la caída de presión que se registran en las tuberías y accesorios se lograra seleccionar adecuadamente los tubos piezométricos y selección del nivel mecánico de agua.</p> | <p>Variable Dependiente</p> <p>Pérdidas de Carga en Redes de Distribución Hidráulica</p> <p>a) Perdidas por Resistencia</p> <ul style="list-style-type: none"> - Caída de presión - Características de la tubería - Gasto Volumétrico <p>b) Perdidas por Forma</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tipo de singularidad - Caída de presión | <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 |
|--|--|--|--|--|

Fuente: Elaboración propia

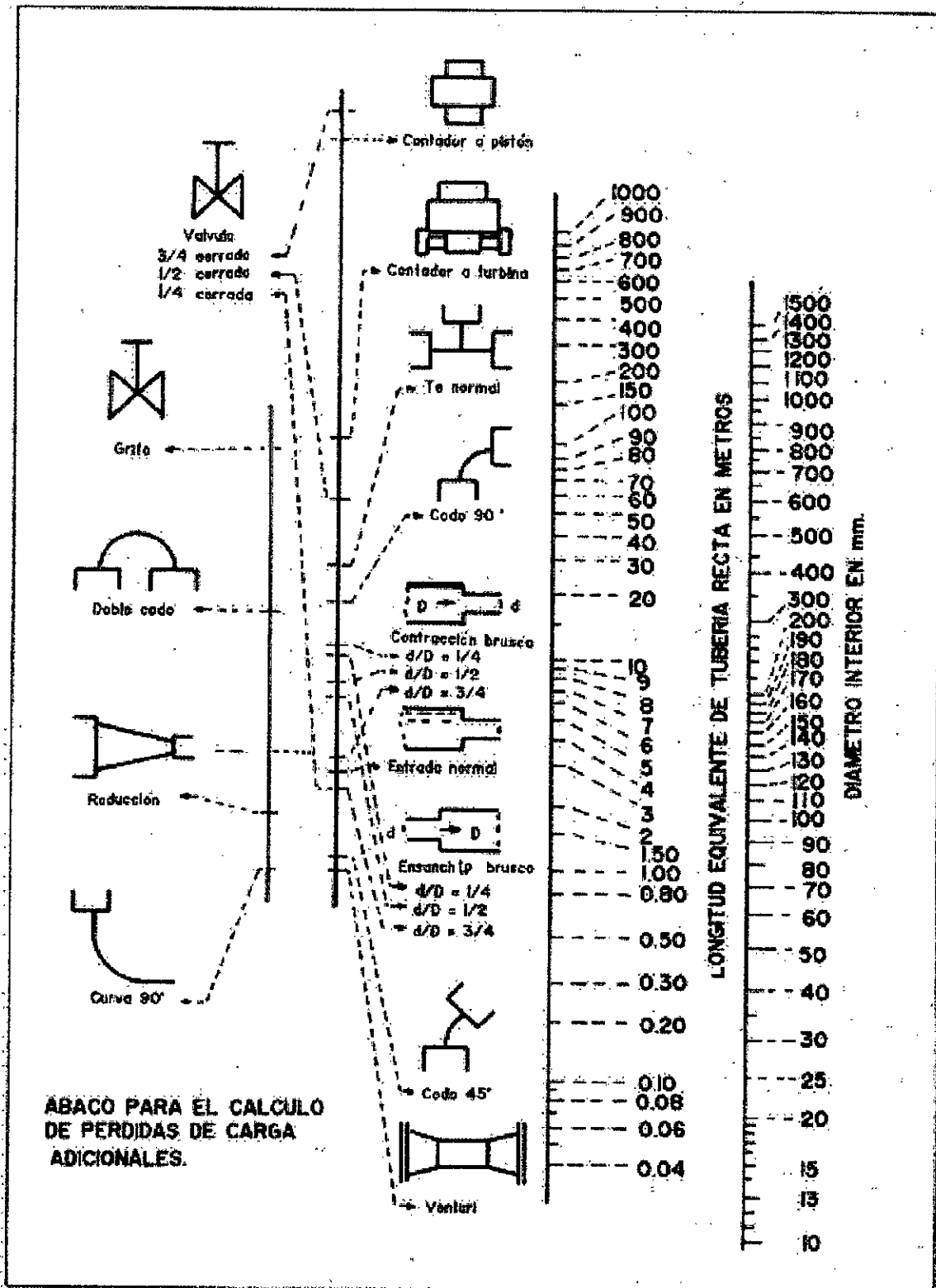
ANEXO N° 2 DIAGRAMA DE MOODY



Fuente: White Frank. Mecánica de Fluidos.

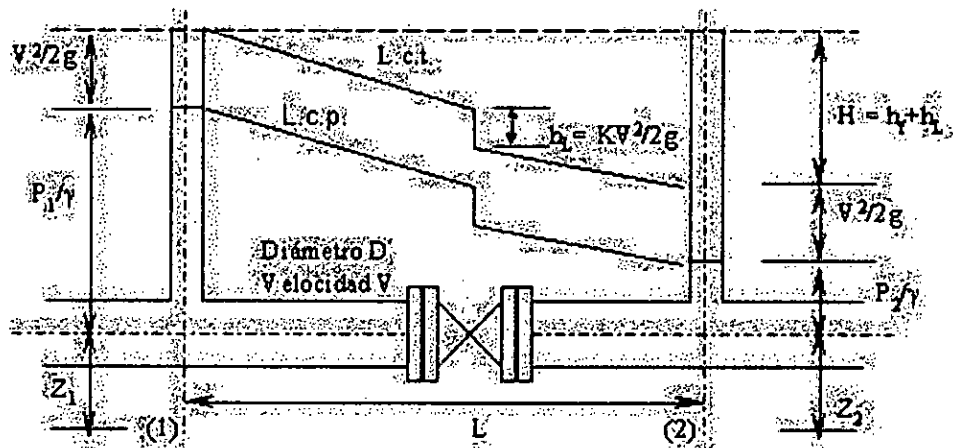
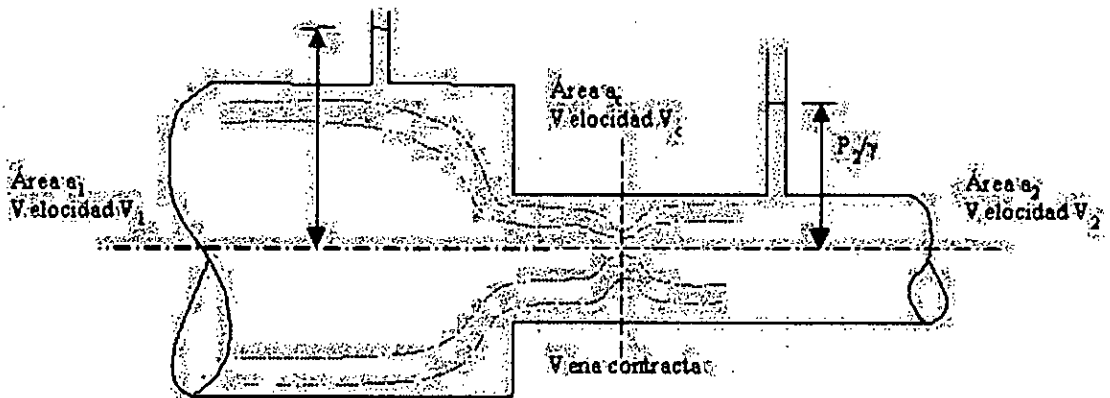
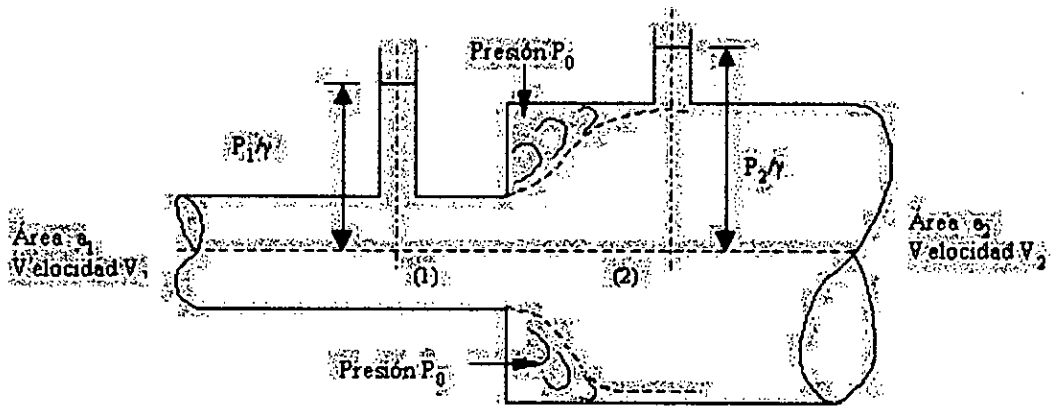
ANEXO N° 3

MONOGRAMA PARA PERDIDAS DE CARGA LOCALIZADAS



Fuente: Claudio Mataix. Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas.

ANEXO N° 4
PERDIDAS SECUNDARIAS



Fuente: Gerhart, Philip. Mecánica de Fluidos.