







**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE BANCO PARA DETERMINACION DE PERDIDAS  
POR FRICCION EN TUBERIAS Y PERDIDAS MENORES EN ACCESORIOS**

**GIOVANNY ANDRES CALDERON MONCAYO  
MARIO ANDRES CORDOBA ARTURO**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL  
SAN JUAN DE PASTO  
2003**

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE BANCO PARA DETERMINACION DE PERDIDAS  
POR FRICCION EN TUBERIAS Y PERDIDAS MENORES EN ACCESORIOS**

**GIOVANNY ANDRES CALDERON MONCAYO  
MARIO ANDRES CORDOBA ARTURO**

**Trabajo de Grado para optar el titulo de  
Ingeniero Civil**

**Director**

**Ingeniero Civil Ms.C. ROBERTO SALAZAR CANO**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL  
SAN JUAN DE PASTO  
2003**

Nota de aceptación

---

---

---

---

Ricardo Andrés Arturo Insuasty  
Jurado

---

Iván Andrés Sánchez Ortiz  
Jurado

San Juan de Pasto, Agosto de 2003

## DEDICATORIA

*Dedico este trabajo a DIOS, por haberme dado todo.*

*A mis PADRES Hilda y José por su sacrificio, sus desvelos y por haberme enseñado a afrontar la vida como una serie de retos que hay que superar para convertirse en una persona mejor.*

*A mis hermanos Maritza y Wilson por su apoyo incondicional*

*A mis Abuelos, Tíos y primos a quienes quiero mucho.*

***Giovanny Andrés Calderón Moncayo***

## DEDICATORIA

*A DIOS.*

*A mis PADRES por haberme dado el mejor regalo que una persona puede recibir:*

*MI CARRERA COMO PROFESIONAL.*

*A mis HERMANOS Juan Carlos y Maria Fernanda por toda su amor y apoyo.*

*A mi esposa Carola y a mi amado hijo Santiago por ser el motivo de inspiración para alcanzar todas mis metas.*

*A mi Abuelita, y a toda mi familia, a quienes quiero mucho.*

**Mario Andrés Córdoba Arturo**

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Al Ingeniero ROBERTO SALAZAR CANO, director de este proyecto, por su gran colaboración y amistad.

Al Ingeniero JAIME CASTILLO GONZÁLEZ (Q.E.P.D), por su maravillosa idea de realizar este proyecto.

A ROBERTO GARCÍA, director del laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería, por su desinteresada colaboración, sin la cual no hubiese sido posible la realización de este proyecto.

Al JURADO CALIFICADOR, que con sus conocimientos, experiencia y valiosa información colaboraron a mejorar nuestro trabajo.

Al ingeniero Edward Ruiz Sub gerente de ventas Casa andina por su valiosa colaboración.

A todas aquellas personas que de una u otra forma han creído en nosotros y nos han colaborado en cada una de las etapas de nuestra carrera.

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	24
1. MARCO TEORICO	25
1.1 FLUIDO	25
1.1.1 Capilaridad	25
1.1.2 Presión	26
1.1.3 Densidad y peso específico	27
1.1.4 Viscosidad	27
1.1.5 Fluido Ideal	28
1.1.6 Fluido Real	28
1.2 CLASIFICACION DE LOS MOVIMIENTOS DE LOS FLUIDOS	29
1.3 NUMERO DE REYNOLDS	31
1.4 CAPA LIMITE	32
1.5 RESISTENCIA DE SUPERFICIE	35
1.6 RESISTENCIA DE FORMA	35
1.7 RUGOSIDAD ABSOLUTA Y RUGOSIDAD RELATIVA	36
1.8 TUBOS LISOS Y TUBOS RUGOSOS	36
1.9 ECUACION DE LA CONTINUIDAD	37
1.10 TEOREMA DE BERNOULLI	38
1.10.1 Líneas de corriente	38
1.10.2 Tubos de corriente	38

1.10.3 Teorema de Bernoulli para flujos ideales	39
1.10.4 Aplicación del teorema de Bernoulli	41
1.10.5 Línea de energía o de alturas totales	42
1.10.6 Línea de alturas piezométricas	42
1.11 PRESION ATMOSFERICA, MANOMETRICA Y ABSOLUTA	43
1.12 DESCRIPCION DE DISPOSITIVOS MAS COMUNES DE MEDICION	44
1.12.1 Unidades de medición de la presión	46
1.13 PERDIDAS DE CARGA	46
1.13.1 Pérdidas primarias	47
1.13.2 Pérdidas locales o secundarias en tuberías	59
2. DISEÑO Y DESPIECE DEL BANCO	62
2.1 DISEÑO GENERAL DEL BANCO	62
2.2 DISEÑO DE LAS TUBERIAS Y DE LOS PUNTOS DE MEDICION	72
2.3 DESPIECE	73
2.4 ELEMENTOS A EVALUAR	76
2.4.1 Tubería	76
2.4.2 Válvulas	76
2.4.3 Copa de reducción gradual y tees	77
3. CONSTRUCCION DEL BANCO DE PERDIDAS POR FRICCION	78
3.1 TUBERIAS Y ACCESORIOS	78
3.2 FLAUTAS MANOMETRICAS	88
4. INSTALACION EN EL LABORATORIO	90
5. OPERACION Y MANTENIMIENTO	93
5.1 OPERACION DEL BANCO	93
5.2 MANTENIMIENTO	98

6. REALIZACION DE LABORATORIOS DE PRUEBA	99
6.1 FORMA DE CALCULO	100
6.2 CALCULO EXPERIMENTAL DEL COEFICIENTE DE RESISTENCIA	104
6.3 ENSAYOS	104
6.3.1 Ensayos ruta 1	105
6.3.2 Ensayos ruta 2	113
6.3.3 Ensayos ruta 3	122
6.3.4 Válvulas especiales	129
7. GUIA DE LABORATORIO	138
7.1 OBJETIVO	138
7.2 ELEMENTOS A UTILIZAR	138
7.3 PROCEDIMIENTO	138
7.4 TOMA Y PROCESO DE DATOS	140
7.4.1 Procesamiento de datos	141
7.4.2 Definiciones	142
7.4.3 Cálculos	145
8. CONCLUSIONES	158
9. RECOMENDACIONES	160
BIBLIOGRAFIA	161
ANEXOS	163

## LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Tabla de viscosidad cinemática del agua	28
Cuadro 2. Rugosidad absoluta de algunos materiales	58
Cuadro 3. Coeficientes para pérdidas en accesorios y codos	61
Cuadro 4. Elementos del Banco de Perdidas por Fricción	74
Cuadro 5. Ruta 1. Válvula de compuerta completamente abierta	105
Cuadro 6. Ruta 1. Tubería PVC RDE 21	106
Cuadro 7. Ruta 1. Codo de 90° radio corto	107
Cuadro 8. Ruta 1. Válvula de bola 1"	108
Cuadro 9. Ruta 1. Tubería hierro galvanizado	109
Cuadro 10. Ruta 1. Copa reductora	111
Cuadro 11. Ruta 1. Válvula de bola ½	112
Cuadro 12. Ruta 2. Válvula de compuerta completamente abierta	113
Cuadro 13. Ruta 2. Tubería PVC RDE 21	114
Cuadro 14. Ruta 2. Codo 90° Radio corto	115
Cuadro 15. Ruta 2. Tee de paso directo	116
Cuadro 16. Ruta 2. Válvula de compuerta ¾ completamente abierta	117
Cuadro 17. Ruta 2. Tee de paso directo de ¾ HG	119
Cuadro 18. Ruta 2. Tubería en acero inoxidable	120
Cuadro 19. Ruta 2. Válvula de acero inox ¾	121
Cuadro 20. Ruta 3. Válvula de compuerta 1 ¼ completamente abierta	122
Cuadro 21. Ruta 3. Tubería PVC RDE 21	123
Cuadro 22. Ruta 3. Codo de 90° Radio corto	124

Cuadro 23. Ruta 3. Tee de salida lateral de $\frac{3}{4}$ HG	125
Cuadro 24. Ruta 3. Válvula de bola $\frac{3}{4}$ HG	126
Cuadro 25. Ruta 3. Codo de 90° $\frac{3}{4}$ HG	127
Cuadro 26. Ruta 3. Tubería en acero inoxidable	128
Cuadro 27. Válvulas especiales ruta1. Válvula de compuerta a $\frac{3}{4}$ de apertura	129
Cuadro 28. Válvulas especiales ruta1. Válvula de compuerta a $\frac{1}{2}$ apertura	130
Cuadro 29. Válvulas especiales ruta1. Válvula de compuerta $\frac{1}{4}$ de apertura	131
Cuadro 30. Cálculo $K_m$ ruta1. Válvula de bola a $\frac{1}{2}$ apertura	132
Cuadro 31. Cálculo $K_m$ ruta1. Válvula de bola a $\frac{1}{2}$ apertura	133
Cuadro 32. Válvulas especiales ruta2. Válvula de compuerta a $\frac{3}{4}$ de apertura	134
Cuadro 33. Válvulas especiales ruta2. Válvula de compuerta a $\frac{1}{2}$ apertura	135
Cuadro 34. Válvulas especiales ruta2. Válvula de compuerta a $\frac{1}{4}$ de apertura	136
Cuadro 35. Cálculo $K_m$ ruta3. Válvula de bola a $\frac{1}{2}$ apertura	137
Cuadro 36. Datos básicos	140
Cuadro 37. Ensayo ruta 1	141
Cuadro 38. Tabla d viscosidad cinemática del agua	145
Cuadro 39. Datos básicos	149
Cuadro 40. Datos ruta 1	150
Cuadro 41. Datos ruta 2	151
Cuadro 42. Datos ruta 3	152
Cuadro 43. Cálculos de accesorios	153
Cuadro 44. Cálculo de tuberías	154
Cuadro 45. Cálculo de accesorios con diferencia de cotas	155
Cuadro 46. Cálculo copa reductora	156
Cuadro 47. Cálculo Tee de paso directo	157

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Capa límite	32
Figura 2. Desarrollo de una capa límite turbulenta mostrando la subcapa laminar que se genera cerca de la superficie	33
Figura 3. Flujos hidráulicamente lisos e hidráulicamente rugosos	34
Figura 4. Tubo de corriente	40
Figura 5. Flujo de un fluido real a través de una tubería horizontal	47
Figura 6. Diagrama de Nikuradse	53
Figura 7. Factor de fricción para flujo altamente turbulento	55
Figura 8. Pérdida de carga en un accesorio	59
Figura 9. Ruta 1	62
Figura 10. Ruta 2	63
Figura 11. Ruta 3	64
Figura 12. Tanque principal	65
Figura 13. Manguera elástica de presión	66
Figura 14. Tanque aforador	66
Figura 15. Control de salida	67
Figura 16. Tuberías	68
Figura 17. Accesorios	68
Figura 18. Flauta manométrica	70
Figura 19. Manómetro	70

Figura 20. Banco para determinación de pérdidas por fricción en tuberías y pérdidas menores en accesorios	71
Figura 21. Despiece del banco	75
Figura 21 <sup>a</sup> . Ensamblaje de los elementos soldados y roscados de la primera línea	79
Figura 22. Unión de la primera y segunda línea	80
Figura 23. Ensamblaje de elementos roscados (segunda línea)	81
Figura 24. Ensamblaje provisional	81
Figura 25. Unión de segunda y tercera línea	82
Figura 26. Guías para soldar los elementos correctamente	83
Figura 27. Limpiador y soldadura PAVCO.	83
Figura 28. Cinta de teflón	84
Figura 29. Silicona	84
Figura 30. Recubrimiento en las paredes de los conductos (doble pared)	85
Figura 31. Elaboración de roscas en las paredes de las tuberías	85
Figura 32. Nivelación de las líneas que conforman el banco	86
Figura 33. Elaboración de orificios en el tablero	87
Figura 34. Salida de los racores por el reverso del tablero	87
Figura 35. Elaboración de las flautas manométricas	88
Figura 36. Grifos soldados en la flauta manométrica.	89
Figura 37. Elementos que conforman las flautas manométricas	89
Figura 38. Fuente alimentadora	90
Figura 39. Acometida del sistema	91
Figura 40. Regreso al tanque principal	91
Figura 41. Banco para determinación de pérdidas por fricción en tuberías y pérdidas menores en accesorios (montaje definitivo)	92

Figura 42. Motobomba	93
Figura 43. Válvulas de control	94
Figura 44. Control de caudal	94
Figura 45. Aforo del caudal	95
Figura 46. Toma de temperatura	95
Figura 47. Válvula de salida	96
Figura 48. Válvula de purga	96
Figura 49. Grifos en flautas manométricas	97
Figura 50. Cálculo de pérdida en tuberías	101
Figura 51. Cálculo de pérdida en accesorios	101
Figura 52. Alturas a las que se encuentran los puntos de medición respecto al eje de referencia	103

## ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Resumen de datos ruta 1	164
Anexo B. Resumen de datos ruta 2	165
Anexo C. Resumen de datos ruta 3	166
Anexo D. Resumen de datos válvulas especiales	167

## GLOSARIO

**ACCESORIO:** elemento auxiliar que sirve para posibilitar el empleo de otro, en hidráulica sirve para facilitar la instalación de varias tuberías.

**AFORAR:** medir la cantidad de agua que lleva una corriente en una unidad de tiempo.

**ALTURA HIDROSTATICA:** se refiere a la cota relativa de la superficie o espejo de agua con respecto a un nivel de referencia.

**BUJE:** pieza cilíndrica que tiene como fin disminuir el diámetro de un accesorio.

**CINTA TEFLON:** material plástico fluorado resistente a la corrosión, se usa en instalaciones hidráulicas para hacer selle hermético en uniones roscadas.

**MOTOBOMBA:** mecanismo empleado para impulsar agua, con la Energía suministrada por un motor eléctrico o de explosión.

**NIPLE:** tramo de tubería recta lisa o roscada que sirve para unir dos accesorios.

**PIEZOMETRO:** instrumento que permite medir la presión o altura hidrostática de los fluidos.

**MANOMETRO:** instrumento que sirve para indicar la presión de los fluidos.

**PVC:** cloruro de Polivinilo, material plástico utilizado para la fabricación de tuberías.

**RDE:** es la relación existente entre el diámetro de una tubería y el espesor de sus paredes.

**REDUCCION:** aditamento en hierro galvanizado que sirve para efectuar la unión de dos Accesorios roscados de diámetros diferentes.

**VALVULA:** dispositivo de cierre que regula el paso de un fluido por un conducto o tubería.

**VISCOSIDAD:** propiedad que tiene un fluido de resistir a un movimiento interno.

## RESUMEN

El banco para determinación de pérdidas por fricción en tuberías y en accesorios, es un instrumento cuya principal función es, medir experimentalmente y calcular teóricamente las pérdidas de carga hidráulicas ocasionadas por las tuberías y accesorios instalados en el sistema al paso de un fluido.

La energía que se pierde bajo este concepto se debe a manifestaciones físicas bastante complejas, por lo tanto el aporte científico para el cálculo teórico de este efecto se deriva de fundamentos netamente experimentales; además con los datos directamente obtenidos de este sistema se puede obtener coeficientes de importancia como son el de fricción para tuberías y el de resistencia para accesorios.

El banco se lo diseñó y construyó con el fin de que los estudiantes de las materias de Mecánica de fluidos, Hidráulica, sanitaria, Instalaciones hidráulicas y afines comprueben bajo observación directa este tipo de fenómenos y sea de gran utilidad en el complemento de sus actividades académicas.

## ABSTRACT

Losses caused by friction in pipings and accessories are determined by a bench made for purpose, whose main function is theoretically in an experimentally way to measure and to calculate, the loss of hydraulic head made by the tubing and installed accessories in the system when the fluid passes.

The energy that is lost under this concept is because of physical demonstration quite complex to that the scientific contribution for the theoretical calculus that from this effect is derived comes from experimental foundations, and also with the data from this system, it is possible to get important coefficients such as the piping friction and the loss for accessories one.

The bench was designed and made with the aim of that students of mechanics of fluids, hydraulic, sanitary, and hydraulics installations and the ones related, get under direct observation of these type phenomena and also be of important utility in the complement of their academic activities.

## INTRODUCCION

La realización de los laboratorios es la parte del curso de Hidráulica y Mecánica de fluidos, que sirve para confirmar los conceptos teóricos desarrollados en clase con el comportamiento real de los fenómenos físicos; para luego aplicar con confianza los conceptos teóricos en el estudio, diseño y construcción de sistemas hidráulicos y de manejo de fluidos en diferentes campos de la Ingeniería.

El estudio de las pérdidas de carga a través de tuberías y accesorios es un tema que merece gran importancia en el estudio de la hidráulica, este fenómeno los investigadores se lo atribuyen principalmente a la fricción ya que relacionan la energía perdida en el proceso de movimiento del flujo por la interacción del mismo con las paredes del conducto, además se tiene en cuenta que los cambios de dirección, tamaño, y materiales (accesorios) de las tuberías influyen de alguna manera con este fenómeno.

Las pérdidas de carga no se pueden pasar desapercibidas, ya que podrían cometerse errores muy graves al diseñar acueductos, instalaciones hidráulicas, sistemas de bombeo entre otras.

El propósito de este proyecto es diseñar y construir un equipo que permita la determinación experimental de la pérdida de carga hidráulica debida a la fricción con las tuberías y a los accesorios de un sistema además de realizar unas memorias para su posterior utilización.

## 1. MARCO TEORICO

### 1.1 FLUIDO

Sustancia que cede inmediatamente a cualquier fuerza tendente a alterar su forma, con lo que fluye y se adapta a la forma del recipiente. Los fluidos pueden ser líquidos o gases. Las partículas que componen un líquido no están rígidamente adheridas entre sí, pero están más unidas que las de un gas. El volumen de un líquido contenido en un recipiente hermético permanece constante, y el líquido tiene una superficie límite definida. En contraste, un gas no tiene límite natural, y se expande y difunde en el aire disminuyendo su densidad<sup>1</sup>.

**1.1.1 Capilaridad.** Esta se origina por la acción combinada de la tensión superficial y el valor relativo de las fuerzas de adhesión entre el líquido y el sólido y las fuerzas de cohesión en el líquido<sup>2</sup>.

✿ **Tensión superficial:** es el fenómeno por el cual en la superficie de un líquido en contacto con el aire, se tiene la formación de una película elástica; es porque la atracción en las moléculas del líquido es mayor que la ejercida en el aire y las moléculas

---

<sup>1</sup>MICROSOFT CORPORATION. Enciclopedia® Microsoft® Encarta 2001: © 1993-2000.

<sup>2</sup> STREETER, Víctor L. et al. Mecánica de Fluidos. México: Mc Graw Hill, 1983. p.18.

superficiales atraídas hacia el interior del líquido tienden a volver el área de la superficie un mínimo.

🐜 **Adhesión:** se refiere a la fuerza de atracción que existe entre las moléculas líquidas y cualquier sustancia sólida con la que se ponga en contacto<sup>3</sup>.

🐜 **Cohesión:** atracción intermolecular por la cual se mantienen juntas las partículas que estén separadas o divididas, esto permite a las partículas fluidas resistir a pequeños esfuerzos de tensión<sup>4</sup>.

Si las fuerzas de adhesión del líquido al sólido (mojado) superan a las fuerzas de cohesión dentro del líquido (tensión superficial), la superficie del líquido será cóncava y el líquido subirá por el tubo, es decir, ascenderá por encima del nivel hidrostático. Este efecto ocurre por ejemplo con agua en tubos de vidrio limpios. Si las fuerzas de cohesión superan a las fuerzas de adhesión, la superficie del líquido será convexa y el líquido caerá por debajo del nivel hidrostático. Así sucede por ejemplo con agua en tubos de vidrio grasientos (donde la adhesión es pequeña) o con mercurio en tubos de vidrio limpios (donde la cohesión es grande). La absorción de agua por una esponja y la ascensión de la cera fundida por el pábilo de una vela son ejemplos familiares de ascensión capilar<sup>5</sup>.

**1.1.2 Presión.** La presión medida en un fluido es la fuerza normal que actúa sobre una superficie plana dividida en el área de una superficie. La presión en un punto se define como el cociente de la fuerza perpendicular entre el área, conforme esta última se

---

<sup>3</sup> RUSSELL, George E. Hidráulica. México: Continental, 1979. p16.

<sup>4</sup> STREETER. Op cit; 25

aproxima a un área pequeña que circunscriba al punto. Esta tiene unidades de fuerza entre área.

La presión también se puede expresar como una altura de columna equivalente de algún fluido; una presión expresada de esta manera se refiere a la fuerza por unidad de área que actúa sobre la base de la columna.

**1.1.3 Densidad y peso específico.** Según Sotelo, la densidad  $\rho$  representa la masa del fluido contenida en la unidad de volumen; en los sistemas absoluto y gravitacional sus dimensiones son de  $(M / L^3)$  Y  $(FT^2 / L^4)$  respectivamente.

Desde un punto de vista matemático la densidad en un punto queda definida como:

$$\rho = \lim_{\Delta v \rightarrow 0} \frac{\Delta M}{\Delta v} \quad (1)$$

Donde  $\Delta M$  es la masa del fluido contenida en el elemento de volumen  $\Delta v$  que rodea al punto.

Estrechamente asociado con la densidad está el peso específico  $\gamma$  que representa el peso del fluido por la unidad de volumen son sus dimensiones  $(F / L^3)$ . Para denotar el peso específico,  $\gamma = w / V$ , donde  $V$  es el volumen de una sustancia que tiene el peso  $w$ .

El peso específico del agua para las temperaturas más comunes es de  $1\,000 \text{ kg} / \text{m}^3$ .

---

<sup>5</sup> MICROSOFT CORPORATION. Op cit; 25

**1.1.4 Viscosidad:** Los líquidos se caracterizan por una resistencia al flujo llamada viscosidad. La viscosidad de un líquido disminuye al aumentar la temperatura y aumenta al crecer la presión. La viscosidad también está relacionada con la complejidad de las moléculas que constituyen el líquido. A continuación se presenta un listado con el valor de la viscosidad cinemática de acuerdo a su temperatura.

**Cuadro 1. Tabla de viscosidad cinemática del agua.**

TEMPERATURA ( °C )	VISCOSIDAD CINEMATICA ( m <sup>2</sup> /s)
15	1.15E-06
16	1.117E-06
17	1.089E-06
18	1.061E-06
19	1.036E-06
20	1.010E-06

Para calcular la viscosidad cinemática en función de la temperatura, También se puede emplear la expresión:

$$\mathbf{u} = \frac{0.0178}{1 + (0.0337 \times T) + (0.000221 \times T^2)} \text{ N} \cdot \text{s} / \text{m}^2 \quad (2)$$

**1.1.3 Fluido Ideal.** Se denomina flujo ideal al caracterizado por su incompresibilidad y porque sus partículas pueden desplazarse unas sobre otras sin consumir energía, es decir, que el fluido carece de viscosidad y efectos de rozamiento<sup>6</sup>.

**1.1.4 Fluido Real.** Es aquel cuyo comportamiento es similar al que se presenta en la práctica, por lo tanto, será viscoso y gastará cierta cantidad de energía para vencer la resistencia que se opone al desplazamiento, o sea, la resistencia de rozamiento interno.

## **1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS DE LOS FLUIDOS**

Existen diferentes criterios para los movimientos de los fluidos. Entre estos tenemos a los más importantes clasificados por la ingeniería:

✎ **Flujo uniforme:** en este las características del flujo (presión y velocidad) permanecen constantes en el espacio y el tiempo, por lo tanto es el tipo de flujo más fácil de analizar. Como la velocidad no está cambiando, el fluido no está siendo acelerado. Si no hay aceleración según la segunda Ley de Newton para el movimiento la sumatoria de las fuerzas que actúan sobre un volumen de control deben ser cero, es decir, existe un equilibrio de fuerzas.

✎ **Flujo no uniforme:** es aquel en que el vector velocidad varía de un lugar a otro para un instante dado. Los cambios de este vector pueden ser en dirección del mismo o en direcciones transversales. Este tipo siempre se encuentra cerca de las fronteras sólidas

---

<sup>6</sup> STREETER. Op cit; pág 25

por efecto de la viscosidad, sin embargo, en hidráulica suele aceptarse la uniformidad o no uniformidad de un flujo cuando se refiere a la variación de la velocidad medida en la dirección general del escurrimiento.

✎ **Flujo permanente:** aquel en el cual las características de velocidad, densidad, presión y temperatura en un punto del escurrimiento permanecen constantes para cualquier instante aunque varían de un punto a otro.

✎ **Flujo no permanente:** es aquel que en sus características, velocidad, presión, densidad y temperatura, en un punto determinado cambian con el tiempo.

✎ **Flujos tridimensional, bidimensional y unidimensional.** Tridimensional cuando sus características varían en el espacio, o sea que los gradientes del fluido existen en las 3 direcciones; este es el caso más general del flujo.

Bidimensional, cuando sus características son idénticas sobre una familia de planos paralelos, no habiendo componentes en dirección perpendicular a dichos planos, o bien, ellas permanecen constantes, es decir, que el fluido tiene gradiente de velocidad o de presión (o ambos) en dos direcciones exclusivamente.

Unidimensional, cuando sus características varían como funciones del tiempo y de una coordenada curvilínea en el espacio, usualmente la distancia medida a lo largo del eje de la conducción. El flujo de un fluido real no puede ser plenamente unidimensional debido al efecto de la viscosidad, sin embargo, bajo la consideración de valores medios de las características en cada sección se puede considerar unidimensional.

✎ **Flujo laminar:** se caracteriza porque las partículas se mueven a lo largo de trayectorias bastante regulares dando la impresión de que se trata de láminas o capas más o menos paralelas entre sí deslizándose suavemente unas sobre otras.

✎ **Flujo turbulento:** caracterizado por partículas de movimientos de trayectorias muy irregulares ocasionando la transferencia de cantidad de movimiento de una porción de fluido a otra. La turbulencia origina un mezclado intenso de las partículas que consumen parte de la energía de movimiento por efecto de la fricción interna y que también, en cierto modo es el resultado de los efectos viscosos del fluido. En cuanto a las tuberías este se presenta por la presencia de esfuerzos cortantes en las fronteras fluidos – sólidos y entre las diferentes capas del fluido afecta la distribución de velocidades que en principio debería ser uniforme. La presencia de la subcapa laminar viscosa modifica aún más dicha distribución.

✎ **Flujo rotacional e irrotacional:** se dice que es rotacional si las partículas de fluido dentro de una región de interés poseen rotación respecto a un eje cualquiera. Si no existe rotación se dice que el fluido es irrotacional.

✎ **Flujo incompresible y compresible:** incompresible, si los cambios de densidad de un punto a otro son despreciables; en caso contrario el flujo es compresible.

### 1.3 NUMERO DE REYNOLDS

Permite caracterizar la naturaleza del escurrimiento, es decir, si se trata de un fluido laminar o de un turbulento, mediante el parámetro adimensional. El número de Reynolds se calcula para cada conducción recorrida por un determinado fluido y es el producto de la velocidad, la densidad del fluido y el diámetro de la tubería dividido entre la viscosidad cinemática del fluido. Para un mismo valor de este número el flujo posee idénticas características cualquiera que sea la tubería o el fluido que circule por ella.

$$\text{Re} = \frac{Vd}{\nu} \quad (3)$$

donde:

Re = Número de Reynolds

$V = \textit{Velocidad del fluido}$

$\nu = \textit{Viscosidad cinemática del fluido}$

Cuando Re es menor a 2.200 la corriente el flujo es laminar, entre 2.200 y 4.500 el flujo se localiza en una zona de transición y para valores mayores a 4.500 pasa a ser turbulento<sup>7</sup>.

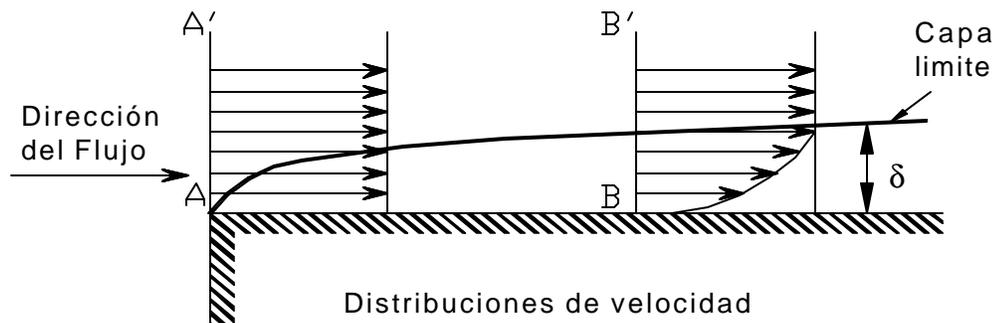
#### **1.4 CAPA LIMITE**

Siempre que un fluido en movimiento interactúa con una pared sólida, el esfuerzo cortante que se genera afecta principalmente una zona de dicho flujo, esta zona recibe el nombre de capa límite, la cual puede ser laminar o turbulenta. ( Figura 1 )

---

<sup>7</sup> SALDARRIAGA V. Juan G. Hidráulica de tuberías. Bogotá: Mc Graw Hill, 1998. p 64.

## Figura 1. Capa límite

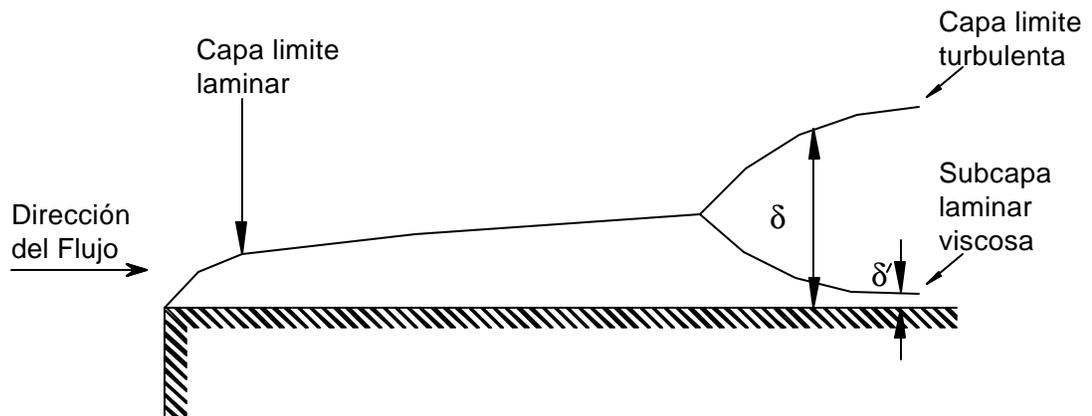


Fuente: SALDARRIAGA V. Juan G. Hidráulica de tuberías. Bogotá. Mc Graw Hill. 1998. 564p.

La presencia de pared sólida afecta la distribución de velocidades del flujo. La velocidad es cero en la superficie sólida y crece a medida que el flujo se aleja de esta. Fuera de esta capa límite, se pueden despreciar los efectos de la viscosidad, y pueden emplearse las ecuaciones matemáticas más sencillas para flujos no viscosos.

En el caso de flujo turbulento la superficie sólida impide que cerca de ella ocurran cambios del fluido en forma libre, generándose así una zona de flujo laminar. Esta se conoce con el nombre de subcapa laminar viscosa ( figura 2 ) y siempre se presenta en flujo turbulento. se denomina viscosa porque en ella priman la fuerza viscosa sobre las fuerzas inerciales.

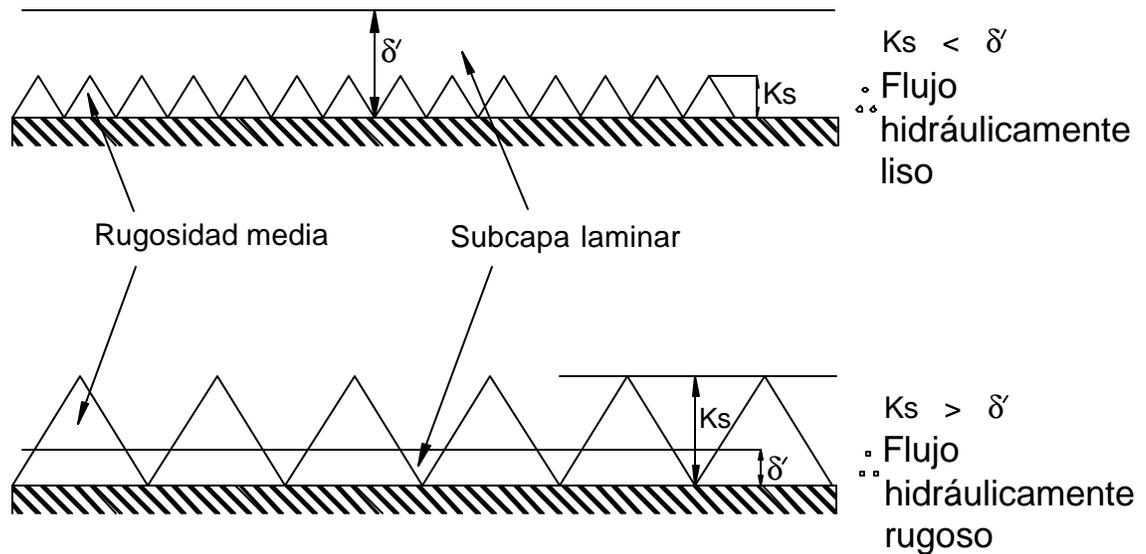
**Figura 2. Desarrollo de una capa límite turbulenta mostrando la subcapa laminar que se genera cerca de la superficie.**



Fuente: SALDARRIAGA V. Juan G. Hidráulica de tuberías. Bogotá. Mc Graw Hill. 1998. 564p.

El espesor de la subcapa laminar es mucho menor que el de la capa límite ( $\delta' \ll \delta$ ) la relación existente entre  $\delta'$  y el tamaño medio de la rugosidad de las paredes establece la diferencia entre los flujos hidráulicamente lisos y los hidráulicamente rugosos. ( ver figura 3).

**Figura 3. Flujos hidráulicamente lisos e hidráulicamente rugosos.**



Fuente: SALDARRIAGA V. Juan G. Hidráulica de tuberías. Bogotá. Mc Graw Hill. 1998. 564p.

El tipo de flujo depende del tamaño relativo entre el espesor de la subcapa laminar viscosa  $\delta'$  y el tamaño de la rugosidad media  $k_s$ <sup>8</sup>.

### 1.5 RESISTENCIA DE SUPERFICIE

Según Mataix<sup>9</sup>, en la capa límite los efectos de viscosidad y rozamiento se hace sentir intensamente, porque el gradiente de velocidad es grande.

<sup>8</sup> Ibid.

La resistencia a la deformación debida a la viscosidad tiene lugar en todo el seno del fluido real; pero si la viscosidad es pequeña, solo tiene importancia en la capa límite y se llama rozamiento pelicular o simplemente rozamiento.

## **1.6 RESISTENCIA DE FORMA**

Cuando un flujo tiene lugar en un conducto divergente, la presión aumenta en la dirección de la corriente y el gradiente de presiones se opone al movimiento y tiende a retrazar el flujo, con lo que se suma este efecto con el efecto decelerado producido por el esfuerzo cortante. Entonces la capa límite se separa del contorno. Este fenómeno se conoce con el nombre de desprendimiento de la capa límite o simplemente desprendimiento.

La resistencia de forma es producido por un gradiente de presiones adverso que se origina al desprenderse la capa límite y que depende en gran manera de la forma del contorno.<sup>10</sup>

## **1.7 RUGOSIDAD ABSOLUTA Y RUGOSIDAD RELATIVA**

Si la superficie de la pared de un conducto se amplifica, se observa que está formado por irregularidades o asperezas de diferentes alturas y con distribución irregular. Dicha característica es difícil de definir científicamente, pues depende de factores como la altura

---

<sup>9</sup> MATAIX, Claudio. Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas. 2ª edición. México. Harla. 1982. p.187-189

<sup>10</sup> Ibid.

medida de las irregularidades de la superficie, la variación de la altura efectiva respecto a la altura media, la forma y distribución geométrica, la distancia entre dos irregularidades vecinas, etcétera. Puesto que prácticamente es imposible tomar en cuenta todos estos factores, se admite que la rugosidad puede expresarse por la altura media de las asperezas (rugosidad absoluta), como un promedio obtenido del resultado del cálculo con las características de flujo, mas no propiamente por el obtenido como la medida de las alturas determinadas físicamente de la pared, en cada tubo. Es más importante la relación que la rugosidad absoluta guarda con el diámetro del tubo, esto es, la relación  $\varepsilon/D$ , que se conoce como rugosidad relativa.<sup>11</sup>

## 1.8 TUBOS LISOS Y TUBOS RUGOSOS

Si la rugosidad absoluta es menor que una cierta fracción del espesor de la subcapa laminar, adherida a la pared del conducto, las irregularidades de la superficie son tan pequeñas que quedan cubiertas por la subcapa laminar. En esas condiciones la rugosidad no tiene efecto sobre la zona exterior y se dice que la superficie de la pared se comporta como hidráulicamente lisa o simplemente lisa.

Si las rugosidades son muy grandes, extiende su efecto mas allá de la subcapa laminar y se producen disturbios en el flujo; entonces se dice que la superficie es hidráulicamente rugosa o simplemente rugosa, dando como resultado una pérdida más elevada para el flujo.<sup>12</sup>

---

<sup>11</sup> SOTELO AVILA, Gilberto. Hidráulica general. Mexico: Limus, 1982. p. 61

<sup>12</sup> Ibid.

## 1.9 ECUACION DE LA CONTINUIDAD

La ecuación de la continuidad es una consecuencia del principio de la conservación de la masa, el cual establece que la masa permanece constante con el tiempo, es decir,  $dm/dt = 0$ .

Para un flujo permanente, la masa de fluido que atraviesa cualquier sección de una corriente de fluido, por unidad de tiempo, es constante. Esta se puede calcular como sigue a continuación:

$${}_1A_1V_1 = {}_2A_2V_2 = \text{CONSTANTE} = Q$$

$${}_1A_1V_1 = {}_2A_2V_2$$

Para fluidos incompresibles y para todos los casos prácticos en que  $\gamma_1 = \gamma_2$ , la ecuación se transforma en:

$$Q = A_1V_1 = A_2V_2 = \text{CONSTANTE}$$

Donde:  $A_1$  y  $V_1$  son, respectivamente el área de la sección recta y la velocidad media de la corriente en la sección 1, con significado análogo en la sección 2. <sup>13</sup>

## 1.10 TEOREMA DE BERNOULLI

Principio físico que implica la disminución de la presión de un fluido (líquido o gas) en movimiento cuando aumenta su velocidad. Fue formulado en 1738 por el matemático y físico suizo Daniel Bernoulli, y anteriormente por Leonhard Euler. El teorema afirma que la energía total de un sistema de fluidos con flujo uniforme permanece constante a lo largo

de la trayectoria de flujo. Puede demostrarse que, como consecuencia de ello, el aumento de velocidad del fluido debe verse compensado por una disminución de su presión.<sup>14</sup>

**1.10.1 Líneas de corriente.** Las líneas de corriente son curvas imaginarias dibujadas a través de un fluido en movimiento y que indican la dirección de este en los diferentes puntos del flujo. La tangente en un punto de la curva representa la dirección instantánea de la velocidad de las partículas fluidas en dicho punto. Las tangentes a las líneas de corriente pueden representar de esta forma la dirección media de la velocidad. Como la componente de la velocidad normal a la línea de corriente es nula, queda claro que no existe en ninguno de sus puntos flujo perpendicular a la línea de corriente.

**1.10.2 Tubos de corriente.** Un tubo de corriente está constituido por una región parcial de fluido delimitada por una familia de líneas de corriente, que lo confinan. Si la sección recta del tubo de corriente es suficientemente pequeña, la velocidad en el punto medio de una sección cualquiera puede considerarse como la velocidad media en dicha sección.

**1.10.3 Teorema de Bernoulli para flujos ideales.** En la deducción del teorema de Bernoulli se formularon las siguientes hipótesis:

- El desplazamiento del fluido se realiza sin fricción; no se considera la influencia de la viscosidad.
- El movimiento es permanente.
- El fluido es incompresible.

---

<sup>13</sup> GILES, Ronald V. Mecánica de los fluidos e hidráulica. México: Mac Graw Hill, 1983. p. 73

<sup>14</sup> MICROSOFT CORPORATION. Op cit; 25

- El flujo se produce a lo largo de un tubo de corriente.

En la figura 4 se muestra parte del tubo de corriente en el cual circula un fluido de peso específico  $\gamma$  en las dos secciones indicadas, de áreas  $A_1$  y  $A_2$ , actúan presiones  $p_1$  y  $p_2$  y las velocidades son, respectivamente,  $V_1$  y  $V_2$ .

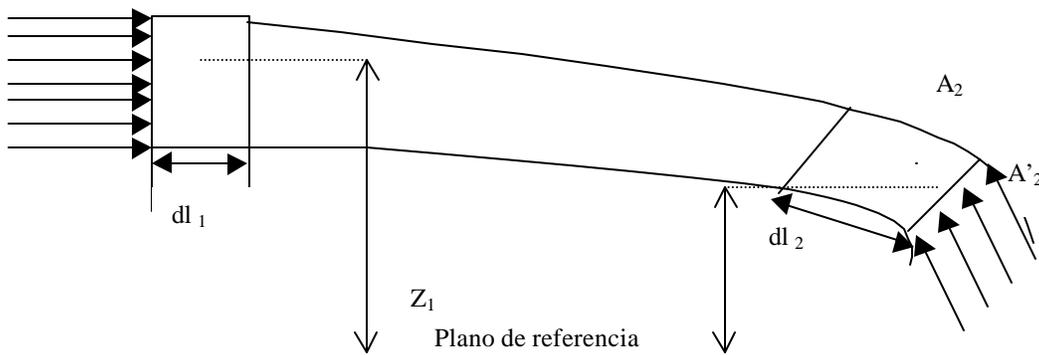
Las partículas inicialmente, en  $A_1$ , en un pequeño intervalo de tiempo, pasan a  $A'_1$  mientras que las de  $A_2$  se mueven hasta  $A'_2$ . Todo ocurre como si en ese intervalo de tiempo el fluido pasase de  $A_1 A'_1$  hasta  $A_2 A'_2$ .

De acuerdo con el teorema de las fuerzas vivas, que establece que la variación de la fuerza viva en el sistema es igual, al trabajo total de todas las fuerzas que actúan sobre el sistema.

Así, considerándose la variación de la energía cinética ( $\frac{1}{2}mv^2$ )

$$\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}mv^2 \quad (a)$$

**Figura 4. Tubo de corriente**



Fuente: AZEVEDO NETTO, J.M. y ACOSTA, A. Manual de Hidráulica. México. Harla. 1983. 578 p.

Siendo el flujo incompresible:

$$\gamma A_1 dl_1 = \gamma A_2 dl_2 = \gamma \text{ vol} \quad (\text{b})$$

la suma de los trabajos de las fuerzas externas ( empuje y gravedad ) será:

$$p_1 A_1 dl_1 = p_2 A_2 dl_2 + \text{ vol } (z_1 - z_2)$$

$$(p_1 - p_2) \text{ vol} + \text{ vol } (z_1 - z_2) \quad (\text{c})$$

Remplazando la ecuación c en la ecuación a, se tiene:

$$\frac{1g}{2g} \cdot \text{Vol} \times V_1^2 - \frac{1g}{2g} \cdot \text{Vol} \times V_2^2 = (P_1 - P_2) \cdot \text{Vol} + g \cdot \text{Vol} (Z_1 - Z_2)$$

Simplificando

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{g} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{g} + Z_1 = \text{Constante} \quad (4)$$

Esta ecuación representa el teorema de Bernoulli, que se anuncia así: a lo largo de cualquier línea de corriente la suma de las alturas cinética ( $V^2/2g$ ), piezométrica ( $p/\gamma$ ) y potencial ( $z$ ) es constante.

Este teorema no es otra cosa que el principio de conservación de la energía y cada término de la anterior ecuación representa una forma de energía.

$V^2/2g$  = energía cinética o de velocidad.

$p/\gamma$  = energía de presión o piezométrica.

$Z$  = energía de posición o potencial.

Cada uno de estos términos puede expresarse en unidades de longitud, constituyendo lo que se denomina carga.

**1.10.4 Aplicación del teorema de Bernoulli.** La viscosidad y la fricción hacen que los fluidos reales se aparten del modelo ideal. A consecuencia de las fuerzas de fricción, el flujo se mueve con una pérdida de energía: pérdida de carga (donde la energía se disipa bajo la forma de calor).

Por eso se introduce en la ecuación de Bernoulli un término correctivo  $H$  ( pérdida de energía o pérdida de carga );

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\mathbf{g}} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\mathbf{g}} + Z_2 + H \quad (5)$$

Además se hace necesario otra corrección, ya que la deducción fue formulada para un tubo de corriente considerándose determinada velocidad para cada sección. En la practica, sin embargo, lo que se verifica es una variación de velocidad de punto a punto en una misma sección. En estas condiciones se tiene una distribución de velocidades. De ahí una corrección para el termino  $V^2/2g$ .

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

A esta ecuación se le conoce como ecuación de la energía.  $\alpha$  es el coeficiente de Coriolis. Para flujo laminar a través de un tubo es igual a 2, y para flujo turbulento varía entre 1,01 y 1,10 y generalmente no se considera, excepto en casos muy precisos.

**1.10.5 Línea de energía o de alturas totales.** Es la línea que une puntos de altura igual a  $z + p/\gamma + v^2/2g$ , y su pendiente se denomina gradiente de energía.

La línea de alturas totales es la representación gráfica de la energía en cada sección. Para cada sección de interés puede representarse, respecto a un plano de referencia, la energía total (como valor lineal en metros de fluido) y la línea obtenida de esta forma es de gran ayuda en muchos problemas de flujo, excepto en las secciones donde se añade energía mediante dispositivos mecánicos.

**1.10.6 Línea de alturas piezométricas.**

🐞 **Gradiente de energía:** Cuando la tubería es horizontal corresponde a la pendiente de la línea de cargas totales; en caso contrario, está dado por:

$$I = \frac{d\left(z + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g}\right)}{dl} = \frac{\left[\left(z_1 + \frac{P_1}{\gamma}\right) - \left(z_2 + \frac{P_2}{\gamma}\right)\right]}{L} \quad (6)$$

La línea que une puntos de altura igual a  $z + p/\gamma$ , se denomina línea de alturas piezométricas y su pendiente se denomina gradiente hidráulico. Está situada por debajo de la línea de alturas totales en una cantidad igual a la carga de velocidad en la sección correspondiente. Las dos líneas son paralelas por todos los tramos en que las secciones rectas tienen la misma área.

La ordenada entre el eje de la corriente y la línea de alturas piezométricas es igual a la altura de presión en la sección en cuestión.

🐿 **Gradiente hidráulico:** cuando la tubería es horizontal, es la pendiente de la línea de cargas piezométricas; en caso contrario está definido por:

$$GH = \frac{d\left(Z + \frac{P}{g}\right)}{dl} = \frac{\left[\left(Z_1 + \frac{P_1}{g}\right) - \left(Z_2 + \frac{P_2}{g}\right)\right]}{L} \quad (7)$$

### 1.11 PRESION ATMOSFERICA, MANOMETRICA Y ABSOLUTA

Cuando se realizan cálculos que implican la presión de un fluido, se debe hacer la medición en relación con alguna presión de referencia. Normalmente, la presión de referencia es la atmosférica, y la presión resultante que se mide se conoce como presión manométrica. La presión que se mide en relación con el vacío perfecto se conoce como presión absoluta.<sup>15</sup>

### 1.12 Descripción de dispositivos más comunes de medición

🐿 **Manómetros:** la mayoría de los medidores de presión, o manómetros, miden la diferencia entre la presión de un fluido y la presión atmosférica local. Para pequeñas

---

<sup>15</sup> MOTT, Robert L. Mecánica de fluidos aplicada. Universidad de Dayton. Prentice-Hall, 1996. 85 p.

diferencias de presión se emplea un manómetro que consiste en un tubo en forma de U con un extremo conectado al recipiente que contiene el fluido y el otro extremo abierto a la atmósfera. El tubo contiene un líquido, como agua, aceite o mercurio, y la diferencia entre los niveles del líquido en ambas ramas indica la diferencia entre la presión del recipiente y la presión atmosférica local.

Como la mayoría de los manómetros miden la diferencia entre la presión del fluido y la presión atmosférica local, hay que sumar ésta última al valor indicado por el manómetro para hallar la presión absoluta. Una lectura negativa del manómetro corresponde a un vacío parcial.<sup>16</sup>

El manómetro diferencial es aquel que utiliza dos puntos de referencia uno a cada lado del tramo de tubería o aditamento al que se desea averiguar la diferencia de presión, estos puntos van dirigidos hacia dos válvulas de vidrio en el manómetro, la diferencia de presión se verá reflejada a medida que el fluido manométrico en nuestro caso mercurio sea desplazado de su posición normal.

 **Barómetro:** Instrumento para medir la presión atmosférica, es decir la fuerza por unidad de superficie ejercida por el peso de la atmósfera. Como en cualquier fluido esta fuerza se transmite por igual en todas las direcciones. La forma más fácil de medir la presión atmosférica es observar la altura de una columna de líquido cuyo peso compense exactamente el peso de la atmósfera.

---

<sup>16</sup> MICROSOFT CORPORATION. Op cit.; 25

Un barómetro de mercurio es un sistema preciso y relativamente sencillo para medir los cambios de la presión atmosférica. Al nivel del mar, y en condiciones atmosféricas normales, el peso de la atmósfera hace subir al mercurio 760 mm por un tubo de vidrio calibrado. A mayor altitud, el mercurio sube menos porque la columna de aire situada sobre el barómetro es menor.<sup>17</sup>

 **Tubo de Bourdon** : Dispositivo ampliamente empleado para medir presión. La presión que se va a medir se aplica a la parte interior de un tubo aplanado que, normalmente, tiene la forma de un círculo o de una espiral. La presión aumentada en el interior del tubo es transmitido a una ligadura que a su vez, hace que un indicador gire. La escala del medidor normalmente indica cero cuando el medidor está abierto a la presión atmosférica y por arriba de cero está calibrado en PSI, bares, pascales o en otras unidades de presión. Por consiguiente este tipo de medidor indica presión atmosférica de manera directa. Algunos medidores son capaces de medir presiones por debajo de la atmosférica.<sup>18</sup>

**1.12.1 Unidades de medición de la presión.** La presión se define como la cantidad de fuerza ejercida sobre un área unitaria de una sustancia. Esto se puede establecer con la ecuación:

$$P = F / A, \text{ por lo tanto sus unidades son } ( M / L^2 ) .$$

---

<sup>17</sup> Ibid.

<sup>18</sup> MOTT. Op cit.; pag. 44

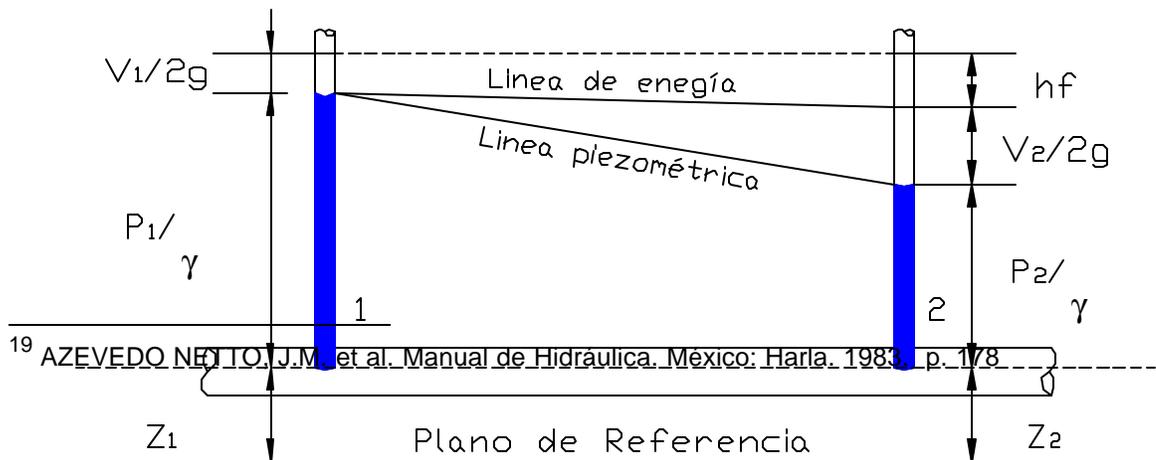
Los manómetros Tubo de Bourdon generalmente se encuentran calibrados en PSI (libras/pulgada<sup>2</sup>), pero para visualizar adecuadamente la pérdida de carga se recomienda pasar estas lecturas a metros de columna de agua teniendo en cuenta que todas las unidades sean compatibles, a continuación se observa en el ejemplo para 5PSI:

$$\frac{\text{Presión}}{\mathbf{g}} = \frac{5\text{Lb}/\text{Pul}^2}{1000\text{Kg}/\text{m}^3} \times 0.07 = \frac{0.35\text{Kg}/\text{cm}^2}{1000\text{Kg}/\text{m}^3} \times 10000 = \frac{3500\text{Kg}/\text{m}^2}{1000\text{Kg}/\text{m}^3} = 3.5\text{MCA}$$

### 1.13 PERDIDAS DE CARGA

Cuando un fluido real circula de uno a dos, en la tubería indicada en la figura 5, parte de la energía inicial se disipa bajo la forma de calor; la suma de las tres cargas en dos (ecuación de la energía) no iguala la carga total en uno. La diferencia, que se denomina pérdida de carga, es de gran importancia en los problemas de ingeniería, por eso ha sido objeto de estudios e investigaciones.<sup>19</sup>

**Figura 5. Flujo de un fluido real a través de una tubería horizontal.**



Las pérdidas de carga en tuberías son de dos clases: pérdidas por fricción o primarias y pérdidas locales o secundarias.

### 1.13.1 Pérdidas primarias

Las pérdidas primarias son las pérdidas de superficie en el contacto del fluido con la tubería (capa límite), rozamiento de unas capas de fluido con otras (régimen laminar) o de las partículas de fluido entre sí (régimen turbulento). Tiene lugar en flujo uniforme, por lo tanto principalmente en los tramos de sección constante.<sup>20</sup>

Esta pérdida es uniforme en cualquier tramo de tubería de dimensiones constantes, independientemente de la posición de la tubería.

Aplicando la ecuación de la energía, entre los puntos uno y dos se tiene:

$$\frac{V_1}{2g} + \frac{P_1}{\mathbf{g}} + Z_1 = \frac{V_2}{2g} + \frac{P_2}{\mathbf{g}} + Z_2 + hf \quad (8)$$

En este caso particular,  $z_1 = z_2$  (tubería horizontal) y  $v_1 = v_2$  (sección transversal constante), luego :

---

<sup>20</sup> MATRAIX, Claudio. Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas. México: Harla. 1982. p. 660

$$\frac{P_1 - P_2}{g} = hf, \text{ donde } hf \text{ es la pérdida primaria entre 1 y 2 ( figura 5 ).}$$

🦋 **Ecuación general de las pérdidas primarias ( ecuación de Darcy – Weisbach)<sup>21</sup>:**

Henry Darcy , Weisbach y otros investigadores después de realizar muchos experimentos con tubos de sección circular de diámetro constante demostraron que la resistencia al flujo es directamente proporcional a la extensión de la tubería, varía aproximadamente con el inverso del diámetro, varía con la naturaleza de las paredes de los tubos, es independiente a la posición del tubo, es independiente de la presión interna bajo la cual el líquido fluye y depende de las propiedades densidad y viscosidad. Para una tubería la pérdida de carga puede ser expresada :

$$hf = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ecuación de Darcy-Weisbach.} \quad (10)$$

Donde hf es la pérdida en unidades de longitud, f es el coeficiente de pérdida de carga primaria o factor de fricción, L es la longitud de la tubería en unidades de longitud, V es la velocidad media del fluido en m/s, g es la aceleración de la gravedad en m/s<sup>2</sup> , D es el diámetro de la tubería.

El factor f depende de la velocidad v, del diámetro d de la tubería, de la densidad ρ, de la viscosidad μ, de la rugosidad ε. De lo dicho se deduce:

$$f = f(v, d, \rho, \mu, \epsilon)$$

---

<sup>21</sup> Ibid.

Siendo  $f$  adimensional deberá ser una función de variables adimensionales. Esto es:

$$f = f\left(\frac{vd\rho}{\mu}\right)\left(\frac{\epsilon}{d}\right)$$

Donde  $vd\rho/\mu$  es el número de Reynolds y  $\epsilon/d$  es la rugosidad relativa.

 **Cálculo del factor de fricción.** Se presentan los siguientes casos:

- Régimen laminar con tuberías lisas ( $\epsilon/d = 0$ ) y con tuberías rugosas.
- Régimen turbulento con tuberías lisas y con tuberías rugosas.

Relación entre el factor de fricción y el esfuerzo cortante: el factor de fricción de Darcy debe estar relacionado con el esfuerzo cortante ya que este último es el responsable de las pérdidas de energía por fricción.

$$f = \frac{8t_0}{\rho v^2} \quad (11)$$

En cuanto al coeficiente de fricción  $f$  debe disminuir a medida que la velocidad aumenta, es decir cuando el número de Reynolds ( $Re$ ) se hace mayor, lo cual no implica que el esfuerzo cortante sea menor. Se debe entender que a medida que la velocidad aumenta las pérdidas de cabeza disminuyen es decir, es más eficiente mover un fluido, por unidad de peso con  $Re$  altos que  $Re$  bajos en una tubería dada.<sup>22</sup>

- Cálculo del factor de fricción en régimen laminar (ecuación de Hagen-poiseuille): una vez establecida la ecuación general para las pérdidas por fricción en las tuberías

---

<sup>22</sup> SALDARRIAGA . Op cit.; p. 32

Weisbach pudo determinar el factor de fricción para el caso de régimen laminar. Para hacer esto utilizó la ecuación de Hagen Poiseuille.

Ecuación de Hagen-Poiseuille

$$hf = \frac{128mLV}{4d^2 r:g} \quad (12)$$

igualando la ecuación de Darcy a la de Hagen-Poiseuille se obtiene el factor de fricción  $f$  para el flujo laminar:

$$f.LV^2 = \frac{128}{d2g} \frac{mLV}{4d^2 r:g} \quad (13)$$

$$f = \frac{64}{Re} \quad (14)$$

Esta última ecuación indica que para flujo laminar en tuberías el factor de fricción únicamente es función del número de Reynolds. En este caso, la rugosidad relativa del ducto no influye en las pérdidas por fricción.<sup>23</sup>

- Cálculo del factor de fricción en régimen turbulento ( ecuación de Blasius ) : en base a trabajos teóricos y empíricos desarrollados Blasius llegó a la conclusión de que existen dos tipos de fricción para el flujo turbulento en tubos. El primero está asociado con tubos lisos donde los efectos de viscosidad predominan y el factor de fricción depende únicamente del número de Reynolds. El segundo tipo se refiere a tubos rugosos donde la viscosidad y los efectos de rugosidad influyen en el flujo, además de que el factor de fricción depende del número de Reynolds y de la rugosidad relativa.

Blasius encontró empíricamente que para números de Reynolds entre 5.000 y 100.000, el factor de fricción se podía calcular de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$f = \frac{0.3164}{\text{Re}^{1/4}} \quad (15)$$

- Cálculo del factor de fricción en régimen turbulento y tuberías lisa: (ecuación de Kármán-Prandtl): Kármán y Prandtl dedujeron que para  $100\,000 < \text{Re} < 3\,400\,000$  la siguiente ecuación que lleva sus nombres:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \left( \frac{\sqrt{f} \text{Re}}{2.51} \right) \quad \text{ó} \quad \frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log(\text{Re} \sqrt{f}) - 0.8 \quad (16)$$

- Cálculo del factor de fricción en tuberías comerciales o de rugosidad natural (fórmula de Colebrook-White y fórmula de Nikuradse) : en la zona de transición en que  $f = f(\text{Re}, \varepsilon/d)$  se cumple la ecuación de Colebrook-White :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{2.51}{\sqrt{f} \text{Re}} + \frac{\varepsilon/D}{3.71} \right) \quad (17)$$

Para flujo declarado turbulento en que  $f = f(\varepsilon/d)$  y tuberías rugosas se cumple la ecuación de Nikuradse:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{d}{2\varepsilon} + \frac{1.74}{\sqrt{f}} \quad \text{ó} \quad \frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \left( \frac{3.71 \cdot d}{\varepsilon} \right) \quad (18)$$

<sup>23</sup> Ibid.

- Diagrama de Nikuradse: Con el fin de estudiar la naturaleza del factor de fricción  $f$ , el ingeniero alemán Johann Nikuradse, en 1933, hizo una serie de experimentos en los cuales utilizó tubos de diferentes diámetros en cuyo interior pegó arenas de granulometría uniforme, de tal manera que hubo varias relaciones  $k_s/d$  (rugosidad relativa) perfectamente determinada. En cada uno de los tubos varió el caudal, de modo que cubrió un amplio rango de números de Reynolds, con flujos que cubrían el intervalo desde laminar hasta turbulento hidráulicamente rugoso. Sus resultados se esquematizan en la figura 6 y se pueden resumir de la siguiente manera:

Cuando  $Re$  es menor a 2 000 (flujo laminar), el factor de fricción  $f$  varía en forma con respecto a  $Re$ : es una función inversa de  $Re$ , independiente de la rugosidad relativa  $k_s/d$ .

Cuando el flujo es turbulento, el comportamiento de  $f$  se vuelve complejo, mostrando las siguientes características:

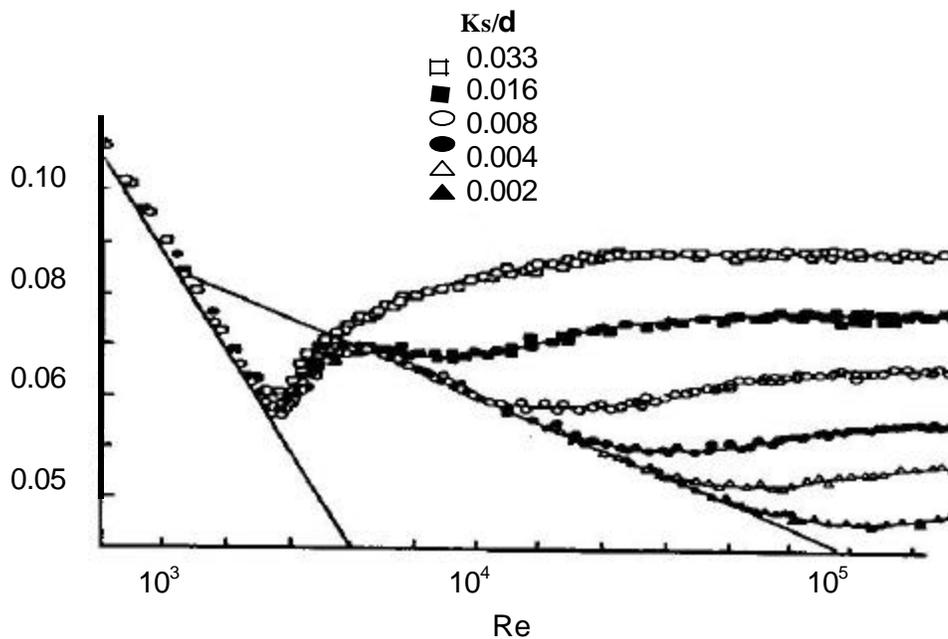
Cerca del  $Re$  crítico (2 200) todas las curvas coinciden. Existe una curva límite desde la cual se separan poco a poco las curvas correspondientes a diferentes valores de  $k_s/d$ .

Los tubos con mayor rugosidad relativa se separan más rápidamente de la curva lisa, puesto que a medida que aumenta  $Re$ , disminuye el espesor de la subcapa laminar viscosa, pasando así los flujos en forma gradual de hidráulicamente lisos a rugosos; esto ocurre más rápido en los tubos de mayor rugosidad relativa  $k_s/d$ .

Una vez que el flujo se separa de la curva lisa el factor de fricción  $f$  empieza a ser una función compleja de  $Re$  y de  $k_s/d$ . En esta zona, el flujo se conoce como flujo transicional.

A medida que el  $Re$  sigue aumentando, las curvas individuales correspondientes a cada  $k_s/d$  se vuelven horizontales, lo cual implica que el factor  $f$  deja de ser una función de  $Re$  y pasa a ser sólo función de  $k_s/d$ .

**Figura 6. Diagrama de Nikuradse.**



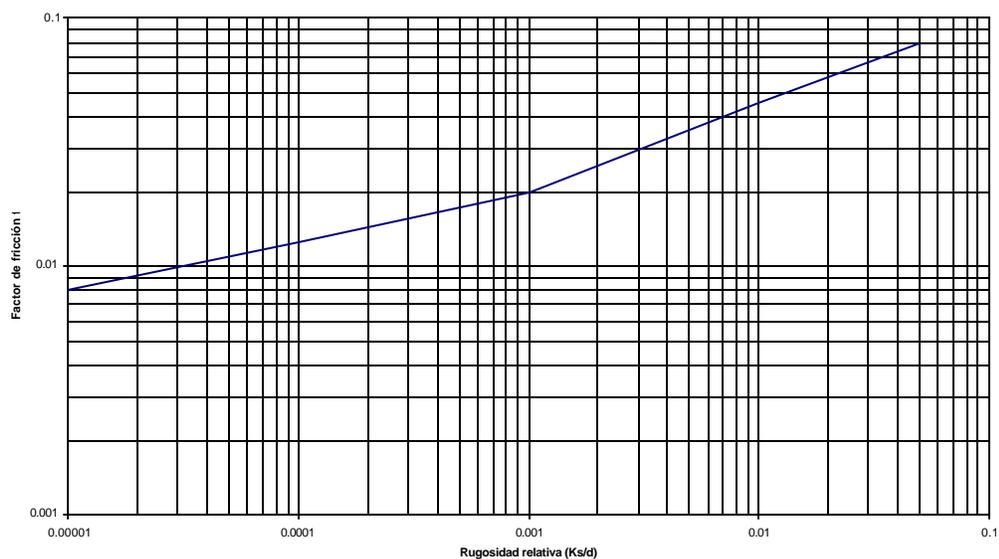
Fuente: SALDARRIAGA V. Juan G. Hidráulica de tuberías. Bogotá. Mc Graw Hill. 1998. 564p.

- Diagrama de Moody: Tal vez el trabajo experimental más importante fue desarrollado por el ingeniero norteamericano Lewis F Moody a principios de la década de 1940. Basado en los resultados de las investigaciones de Nikuradse y de Colebrook con el fin de determinar las pérdidas por fricción en tuberías con rugosidades reales y no artificiales. Su trabajo se puede resumir así:

En primer lugar Moody observó que en el diagrama de Nikuradse el factor de fricción  $f$  solo era función de la rugosidad relativa ( $k_s/d$ ) para flujos hidráulicamente rugosos. Esto correspondía a la parte horizontal de las curvas correspondientes a cada una de dichas rugosidades. Al tomar los puntos ( $k_s/d, f$ ), del extremo derecho del diagrama de Nikuradse, no pudo producir la curva del factor de fricción para flujo hidráulicamente rugoso que aparece en la figura 7 .

Una vez establecida la curva anterior, tomó tuberías comerciales de diferentes materiales y diámetros, las cuales llevó al laboratorio a fin de medir las pérdidas por fricción y calcular su factor de fricción para flujos hidráulicamente rugosos. Con el factor de fricción calculó la rugosidad relativa utilizando la figura 7. finalmente con esta rugosidad y con el diámetro de la tubería pudo calcular la rugosidad absoluta  $k_s$ .

**Figura 7. Factor de fricción para flujo altamente turbulento.**



Fuente: SALDARRIAGA V. Juan G. Hidráulica de tuberías. Bogotá. Mc Graw Hill. 1998.

Moody encontró que a pesar de que la rugosidad real de las tuberías comerciales era muy diferente a la rugosidad artificial obtenida pegando arena en el perímetro interno de la tubería, se podía obtener rugosidad equivalente a la rugosidad de arena de cada material es decir encontró que independientemente del diámetro, cada material se comportaba siempre como una arena ( en cuanto a la rugosidad ) de diámetro constante.

Por consiguiente, cada material tenía una rugosidad equivalente que establecía su comportamiento hidráulico. Por ejemplo, estableció que el acero comercial se comportaba hidráulicamente como un tubo con arena de 0,045 mm de diámetro y que el hierro dulce equivalía a una arena de 0,26 mm de diámetro. Es importante aclarar que hasta este punto los resultados de Moody solo eran aplicables al caso de flujo hidráulicamente rugoso.

Utilizando sus resultados y la ecuación de Colebrook-White, Moody pudo producir una nueva gráfica en la cual incluía todo el rango de flujo, desde laminar hasta turbulento hidráulicamente rugoso, con el fin de estudiar el comportamiento del factor de fricción  $f$  para tuberías comerciales.

En el anexo 1, diagrama de Moody se conoce como el diagrama de Moody. Durante mucho tiempo fue usada como única herramienta para el cálculo de factor de fricción  $f$  para utilizarse en la ecuación de Darcy-Weisbach ya que la utilización de otros métodos matemáticos resultaban engorrosos y poco prácticos.

Actualmente la ecuación de Colebrook-White es muy utilizada en sistemas de iteraciones y en programas computarizados para encontrar el factor de fricción.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left( \frac{2,51}{\sqrt{f} \text{Re}} + \frac{K_s}{3,71d} \right) \quad (19)$$

Para la determinación del factor de fricción en este caso particular se utilizó un programa iterativo en el lenguaje Basic, el cual arrojó valores muy confiables. A continuación se describe las líneas que lo conforman:

```
1 INPUT "Q(M3/S)";Q
2 INPUT "Dint(m)";D
3 A=PI*D^2/4
4 V=Q/A
5 INPUT "Visc(m2/s)";Y
```

```

6 R=V*D/Y
7 PRINT "V(M/S)=";V
10 PRINT "Re=";R
20 INPUT "Ks(m)";K
50 F=0.01
60 f=(-2*LOG(2.51/R/SQRF+K/3.71/D))(-2)
70 IF ABS (F-f)<1E-10THEN90
80 F=f:GOTO60
90 PRINT "f=";f

```

Como se puede observar el factor de fricción es un coeficiente netamente experimental, que involucra algunos elementos físicos sobre todo de las paredes del conducto. En el caso más particular la rugosidad absoluta (ks), la cual se encuentra estandarizada por los fabricantes de tuberías.

Cuando una tubería se encuentra interrumpida por una válvula o accesorio, y posterior a este el conducto cambia de material, cada tramo debe trabajarse independientemente ya que cada uno presenta sus propias características. A continuación se presenta la rugosidad absoluta de los materiales más comunes.

**Cuadro 2. Rugosidad absoluta de algunos materiales**

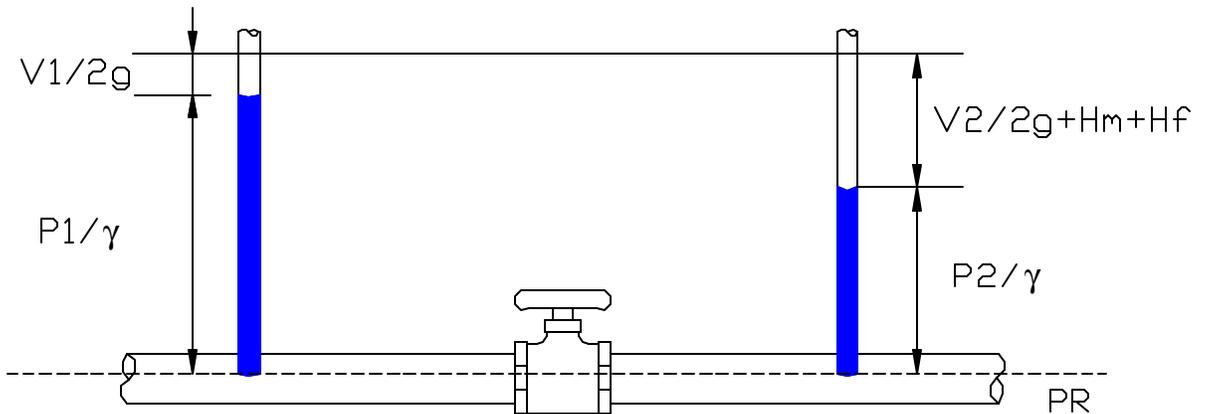
<b>Material</b>	<b>Ks (mm)</b>
Vidrio	0,0003
PVC, CPVC	0,0015
Asbesto cemento	0,03
GRP	0,03
Acero	0,04
Hierro forjado	0,06
CCP	0,12
Hierro fundido asfaltado	0,12
Hierro galvanizado	0,15
Arcilla vitrificada	0,15
Hierro fundido	0,15
Hierro dúctil	0,25
Madera cepillada	0,18-0,90
Concreto	0,30-3,00
Acero bridado	0,90-9
Acero comercial	0,45
Acero galvanizado	0,15

Fuente: SALDARRIAGA V. Juan G. Hidráulica de tuberías. Bogotá. Mc Graw Hill. 1998.

564p.

### 1.13.2 Pérdidas locales o secundarias.

Figura 8. Pérdida de carga en un accesorio.



Las pérdidas de carga secundarias son las pérdidas de forma que tienen lugar en los cambios de sección y dirección de la corriente, en las contracciones, ensanchamientos, codos, diafragmas, válvulas de diferentes tipos, entre otros. En general en todos los accesorios de tuberías, estos elementos producen perturbación de la corriente que originan remolinos y desprendimientos, que intensifican las pérdidas. A consecuencia de la inercia y de los torbellinos parte de la energía mecánica disponible se convierte en calor y se disipa bajo esta forma.

En la práctica las tuberías no son construidas exclusivamente por tubos rectilíneos y del mismo diámetro, usualmente se incluyen piezas especiales y conexiones para ajustarse a diferentes cambios topográficos o cambios en la geometría de la sección y de los

diferentes dispositivos para el control de las descargas, provocando fricciones y choques entre partículas dando origen a pérdidas de carga. Estas pérdidas son nominadas secundarias o localizadas por el hecho de resultar específicamente de puntos o partes ya determinadas en una tubería.

Estas pérdidas a pesar de llamarse secundarias pueden ser más importantes que las primarias en conducciones relativamente cortas con piezas especiales.

Si la conducción es larga las pérdidas secundarias tienen poca importancia pudiendo a veces despreciarse, o bien se tiene en cuenta al final sumando un 5 al 10% de las pérdidas principales locales halladas, pero si hay distancias relativamente cortas entre accesorios consecutivos puede incurrir en graves errores de diseño.

La ecuación para el cálculo de pérdidas menores de energía causada por los accesorios en una tubería es de la siguiente forma:

$$H_m = K_m \frac{V^2}{2g} \quad (20)$$

donde:

- $H_m$  = energía por unidad de peso en el accesorio
- $K_m$  = coeficiente de pérdidas menores en el accesorio
- $V$  = velocidad media del flujo en la tubería
- $g$  = aceleración de la gravedad

Por lo general, el coeficiente de las pérdidas menores  $k_m$  es un valor empírico, adimensional pues representa una constante de proporcionalidad entre la pérdida de

energía y la cabeza de velocidad, deducido de pruebas de laboratorio. Este depende del tipo de accesorio, número de Reynolds, de la rugosidad y hasta de la configuración de la corriente antes del accesorio.

En cuanto  $v$  es la velocidad media en la tubería cuando se trata de accesorios que no involucren cambios de sección, y si es así se tiene en cuenta la velocidad del ducto con el menor diámetro.

**Cuadro 3. Coeficientes para pérdidas en accesorios y codos**

Accesorios	Km
Válvula de globo, completamente abierta	10
Válvula en ángulo completamente abierta	5
Válvula de cheque completamente abierta	2,5
Válvula de compuerta completamente abierta	0,2
Válvula de compuerta con $\frac{3}{4}$ de apertura	1,00 – 1,15
Válvula de compuerta con $\frac{1}{2}$ de apertura	5,6
Válvula de compuerta con $\frac{1}{4}$ de apertura	24
Codo de radio corto ( $r/d$ ) = $\pm 1$	0,9
Codo de radio mediano	0,75 – 0,80
Codo de gran radio ( $r/d$ ) = $\pm 1,5$	0,6
Codo de 45	0,40 – 0,42
Retorno (curva en U)	2,2
Válvula de bola totalmente abierta	0,9
Reducción gradual de 1" a $\frac{1}{2}$ ángulo 30°	1,8
Tee en sentido recto	0,3
Tee a través de la salida lateral	1,8
Unión	0,3
Ye de 45° en sentido recto	0,3
Ye de 45° salida lateral	0,8
Entrada recta tope	0,5
Entrada con boca acampanada	0,1
Entrada con tubo reentrante	0,9
Salida	1,0
Ampliación gradual	0,3

La magnitud del coeficiente de resistencia depende de la geometría del dispositivo que ocasiona la pérdida y algunas otras de la velocidad de flujo.

## 2. DISEÑO Y DESPIECE DEL BANCO

### 2.1 DISEÑO GENERAL DEL BANCO

El diseño del banco se realizó de tal manera que permita al flujo circular por tres rutas en serie diferentes incluyendo un by pass, desde su aducción hasta su salida.

Figura 9. Ruta 1.

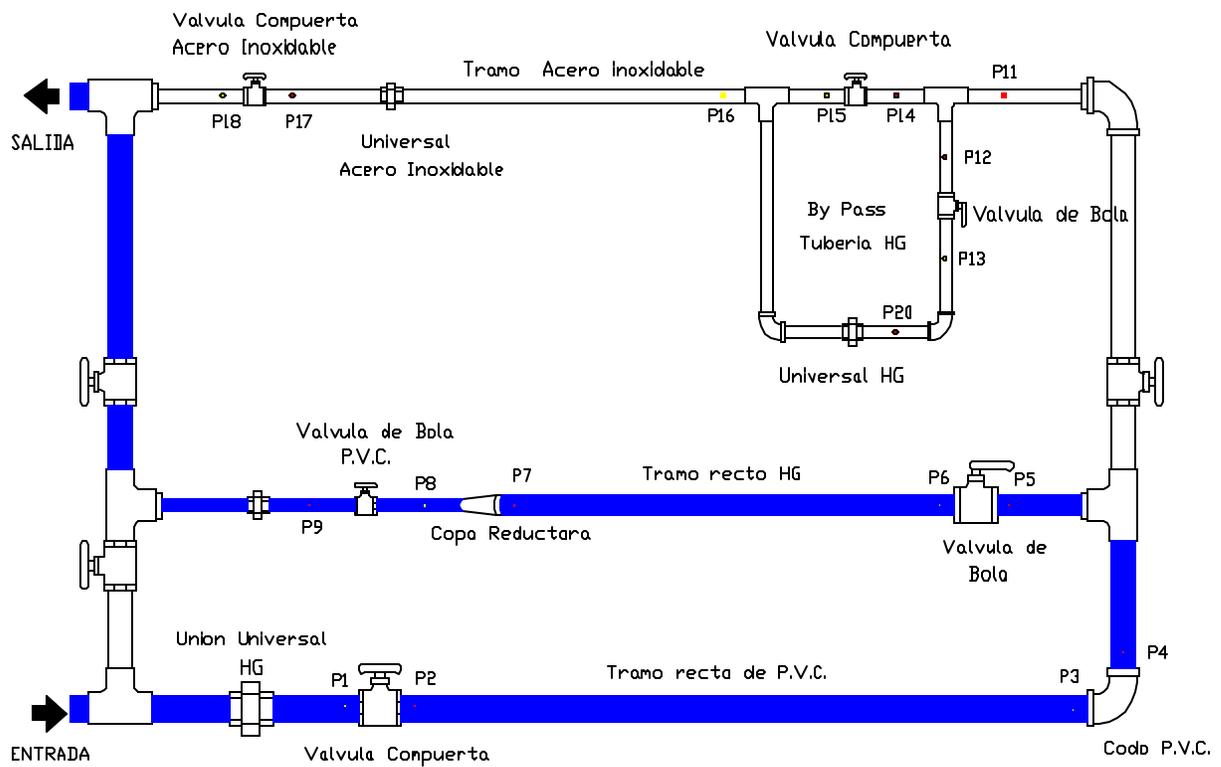


Figura 10. Ruta 2.

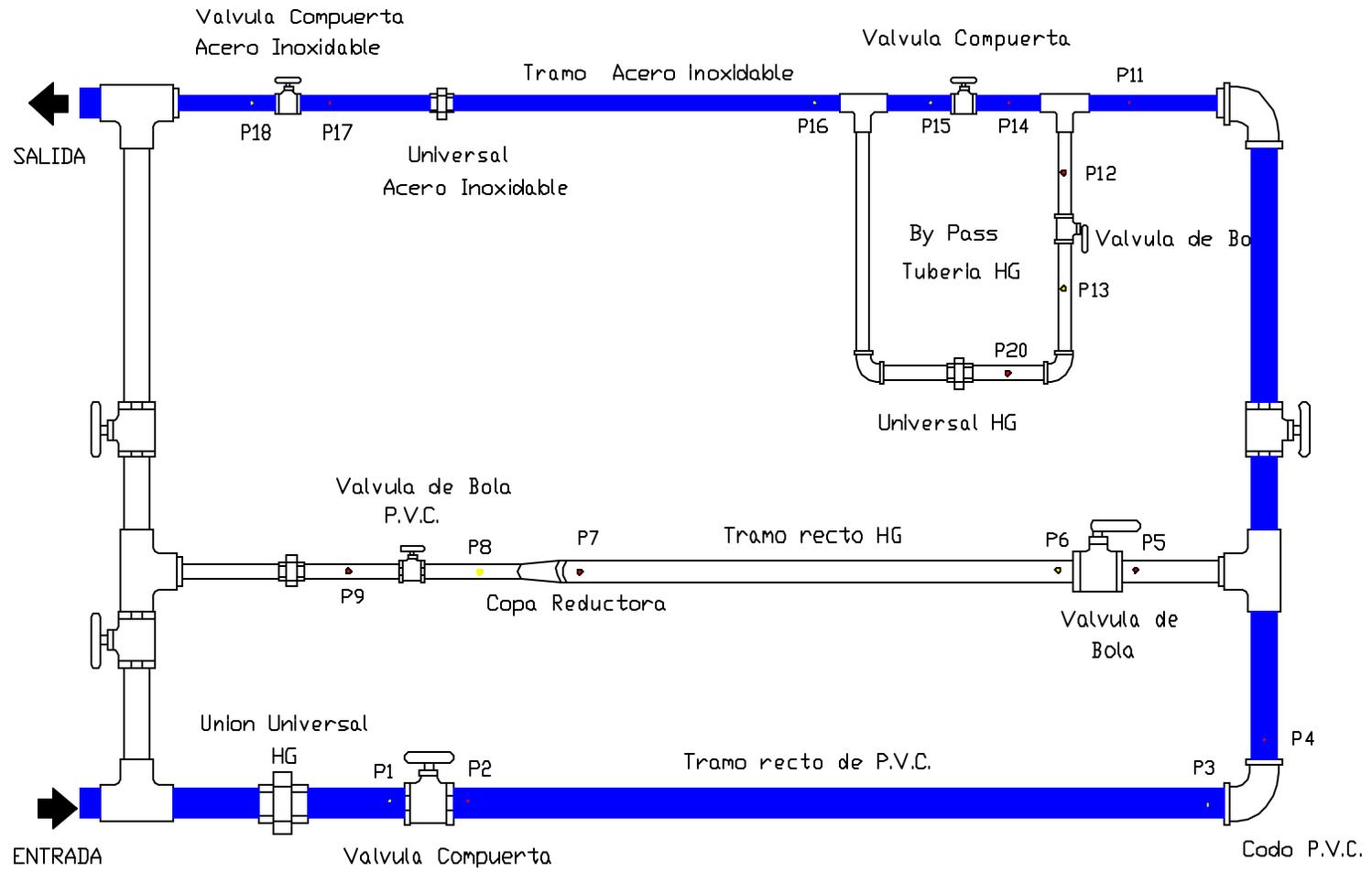
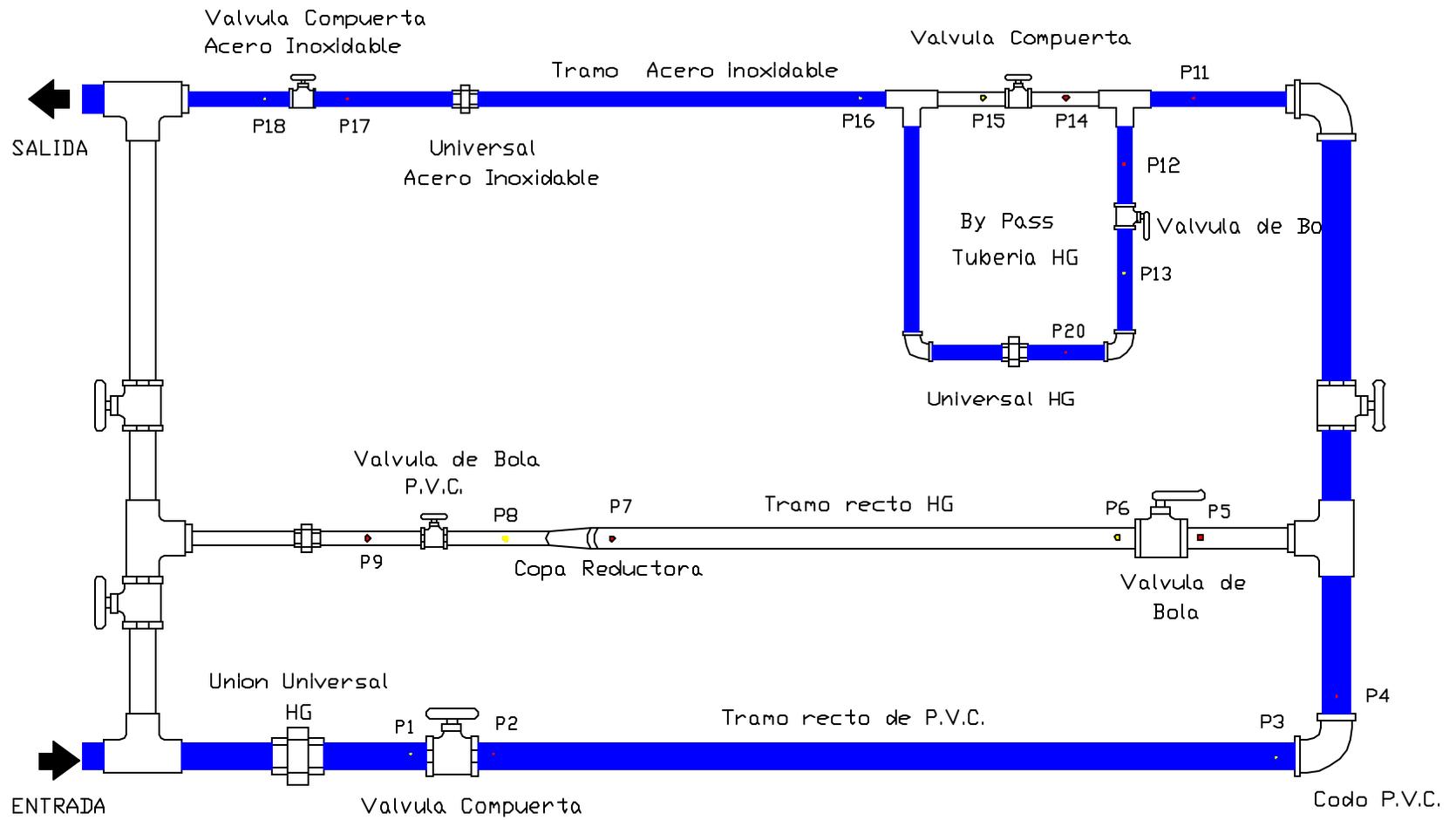
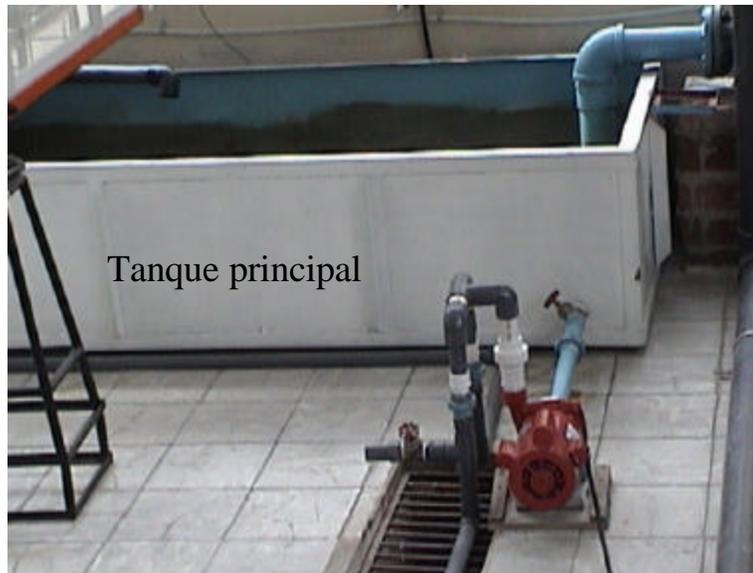


Figura 11. Ruta 3.



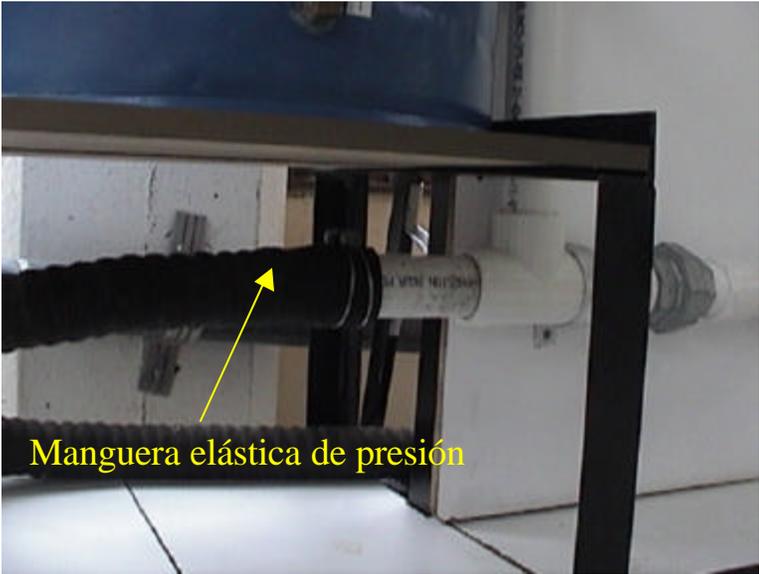
El fluido llega al banco impulsado por una motobomba SIEMENS de 2.0 HP de 115/230 voltios que es alimentada por un tanque principal de 2 m<sup>3</sup> el cual se encuentra ubicado en el laboratorio de hidráulica.

**Figura 12. Tanque principal**



El flujo es regulado a su ingreso por una válvula de compuerta la cual permite probar el instrumento con diferentes caudales. El fluido antes de ingresar al banco experimental pasa por una manguera de presión elástica la cual evita que el fluido entre con sobre presiones o turbulencias a la serie de tuberías y aditamentos a los cuales se evaluará la pérdida de carga . A la salida el fluido es recibido por un tanque acondicionado para realizar el aforo al caudal con que se está trabajando, este posee un diámetro de 37 cm y una altura de 50 cm; el operador puede elegir una altura predeterminada para facilitar la obtención del caudal.

**Figura 12. Manguera elástica de presión.**



**Figura 14. Tanque aforador.**



Finalmente una vez se haya tomado el tiempo para la determinación del caudal debe abrirse la válvula de salida del tanque de aforo con el fin que el agua retorne nuevamente al tanque principal.

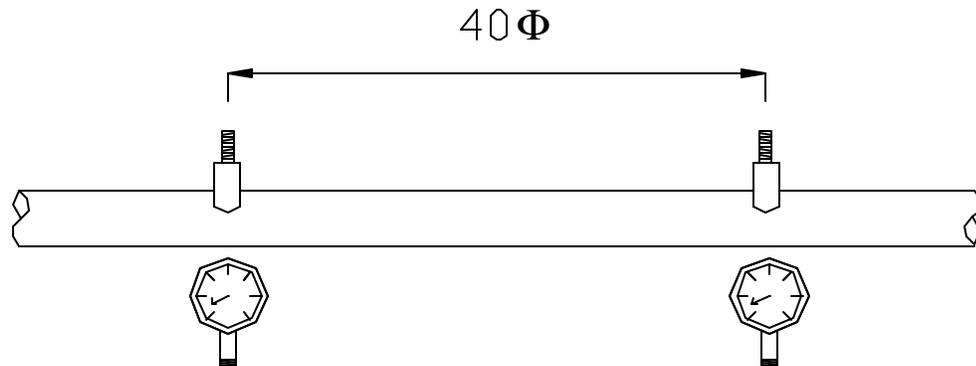
**Figura 15. Control de salida**



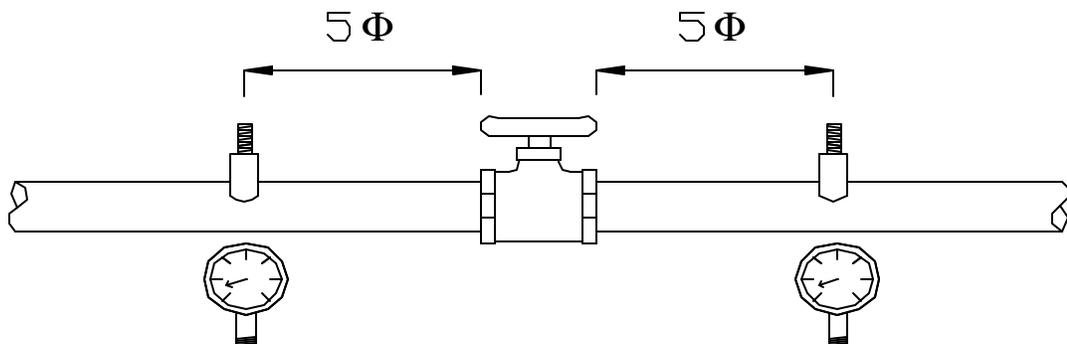
Los materiales a evaluar elegidos son los mas comúnmente utilizados en redes hidráulicas como el PVC, el Hierro Galvanizado y el Acero Inoxidable, al igual que los aditamentos, válvulas de bola y compuerta, codos, tees y reducciones.

El banco permite medir las diferencias de presión en cada accesorio (válvulas y reducciones), en los cambios de dirección (codos), y en las tuberías, esto se logra tomando una lectura antes y después de cada uno de ellos mediante dos manómetros dispuestos a lado y lado del elemento a estudiar.

**Figura 16. Tuberías**



**Figura 17. Accesorios**



Este proceso lleva recomendaciones de algunos autores que afirman que dichas lecturas antes y después de cada accesorio deben tener una distancia prudente de 4 a 5 veces el diámetro del aditamento y para las tuberías la distancia entre lectura y lectura no debe ser menor a 40 veces su diámetro, ya que el fluido al pasar por un aditamento pierde su estabilidad generándose una cierta turbulencia que debe evitar ser medida ya que

arrojaría datos erróneos, y en las tuberías esa distancia es prudente para que el flujo se desarrolle y se pueda realizar una lectura diferencial correcta.

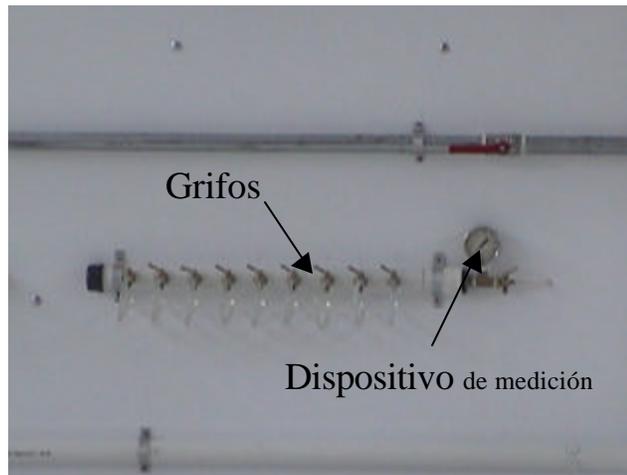
Lo anterior nos da una idea clara de la tubería con el diámetro más grande con el fin de hacer un banco práctico, evitando longitudes exageradas, por esto se escogió la tubería de 1 ¼" en PVC cuyo diámetro interno real es de 3,68 cm, y al permitir el desarrollo del flujo se tendrá una longitud de 1,47 m. También se eligió tuberías típicas de ½ en PVC; de 1" y ¾ en hierro galvanizado y de ¾ en acero inoxidable.

Por lo dicho anteriormente cada elemento a estudiar posee un punto de toma anterior y otro posterior. Con el fin de darle un orden a las lecturas al punto anterior se le asignó un número impar y al posterior un número par, de ahí el diseño de las flautas manométricas las cuales una de ellas recibe todos los conductos impares y la otra todos los conductos pares.

La flauta manométrica es un elemento que consta de un tubo de 1 ¼" con una longitud de 60 cm tapado en uno de sus extremos y con salida al otro no sin antes pasar por un dispositivo de medición de presión (manómetro).

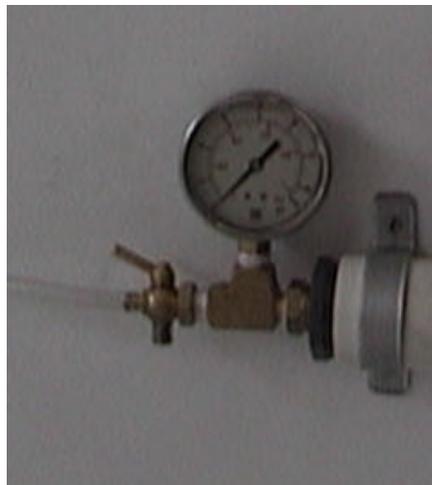
La entrada del fluido a las flautas está regulado por unos grifos distribuidos uniformemente y acoplados a ella los cuales van a permitir el ingreso del fluido solamente del punto que se desea saber su presión.

**Figura 18. Flauta manométrica**



La presión es medida por un manómetro de Bourdon, el cual tiene una sensibilidad de (0,2 PSI), el cual facilita realizar las lecturas una tras otra, después de liberar la presión interna, este recupera rápidamente su marcación en cero, a diferencia de los manómetros de mercurio que al realizar este tipo de ensayos se desestabilizan constantemente.

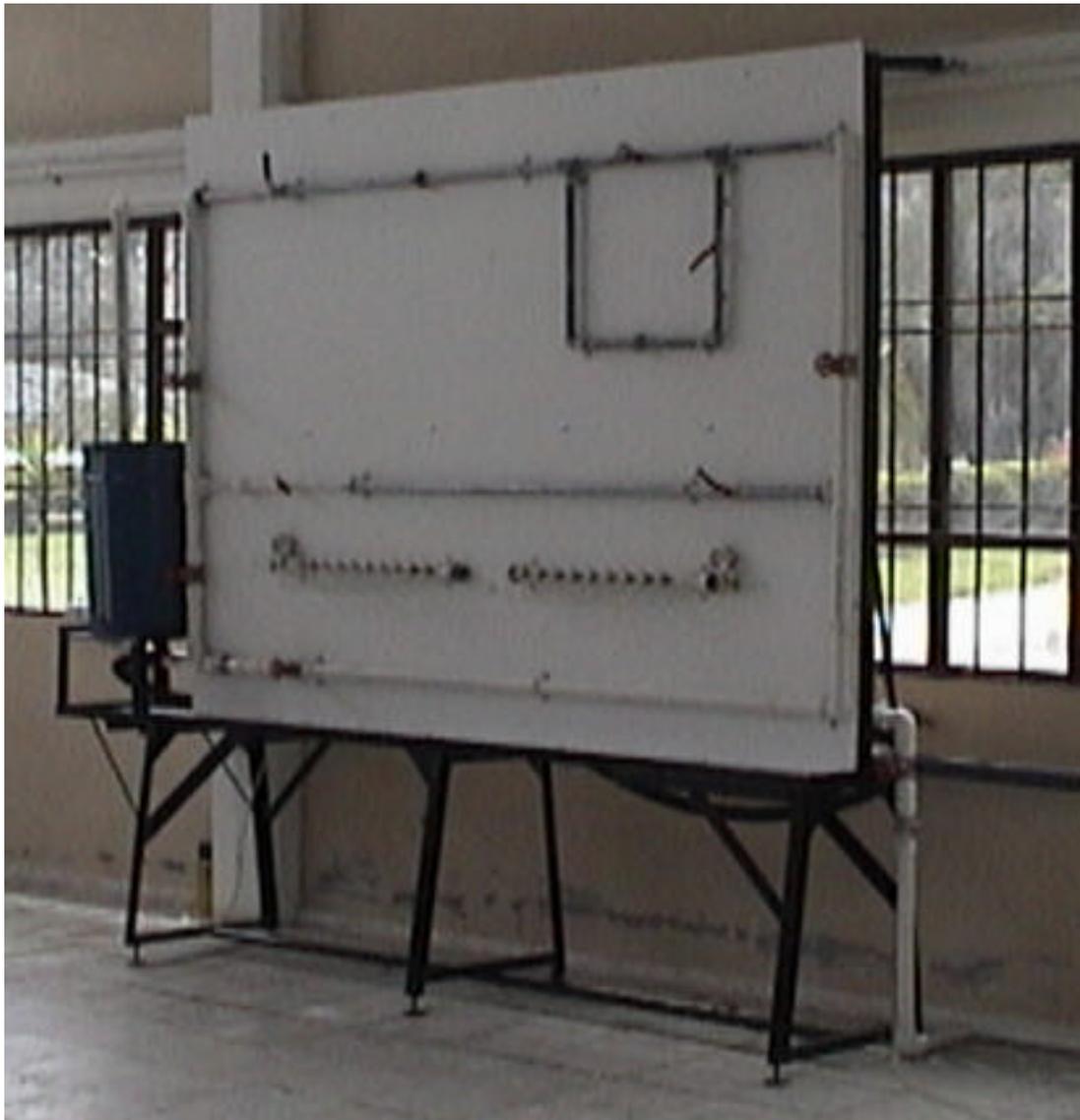
**Figura 19. Manómetro**



Cada tubería horizontal en el banco esta acoplada a una unión universal que permitirá desmontar el equipo cuando sea necesario.

Todos los elementos del banco van amarrados a un tablero y este apoyado en una estructura metálica que dará firmeza al banco, el tablero además de dar apoyo al aparato servirá para colocar datos de interés al usuario.

**Figura 20. Banco para determinación de pérdidas por fricción en tuberías y pérdidas menores en accesorios**



## 2.2 DISEÑO DE LAS TUBERIAS Y DE LOS PUNTOS DE MEDICION.

En el diseño del banco lo fundamental es determinar las longitudes mínimas a las cuales se desarrollan los flujos tanto en tuberías como en accesorios para poder realizaran las lecturas de presión permitiendo que los valores aducidos sean confiables

Como se había dicho anteriormente el elemento en el banco con el diámetro más grande es de 1 ¼" en PVC, su diámetro interno real es de 3,68 cm por lo tanto para los accesorios con este diámetro la distancia mínima aguas abajo es de 14,72 cm, pero se optó por dar un margen de seguridad y se ubicó sus lecturas a una distancia mayor a 16 cm. En cuanto al desarrollo del flujo en esta tubería se dejó una distancia prudente de 40 diámetros, por lo tanto entre punto y punto hay una longitud de 147 cm.

Para la tubería en Hierro Galvanizado de 1" su diámetro interno real es de 2,72 cm, por lo tanto para la válvula con esta dimensión su lectura de presión se realizó a 12 cm, y la longitud de desarrollo en el niple es de 108 cm.

Para el PVC de ½ su diámetro interno es de 1,76 cm, por lo tanto las lecturas para el aditamento con esta dimensión es de 8 cm.

Para la tubería de hierro galvanizado de ¾ con 2,1 cm de diámetro interno, 9,5 cm antes y después del accesorio será suficiente para estabilizar el fluido y hacer una buena lectura.

Para la tubería y el accesorio de acero inoxidable poseen un diámetro interno de 2,07 cm, realizando la medición a los 83,5 y 9,5 cm respectivamente.

Finalmente para la salida del tanque aforador se adoptó una válvula tipo bola de 2" ya que de esta manera el agua retorna rápidamente al tanque principal.

Cabe aclarar que la unión universal es un elemento que no genera ningún tipo de pérdida significativo a bajos caudales y en el sistema solo sirve preventivamente en caso de alguna reparación.

### **2.3 DESPIECE.**

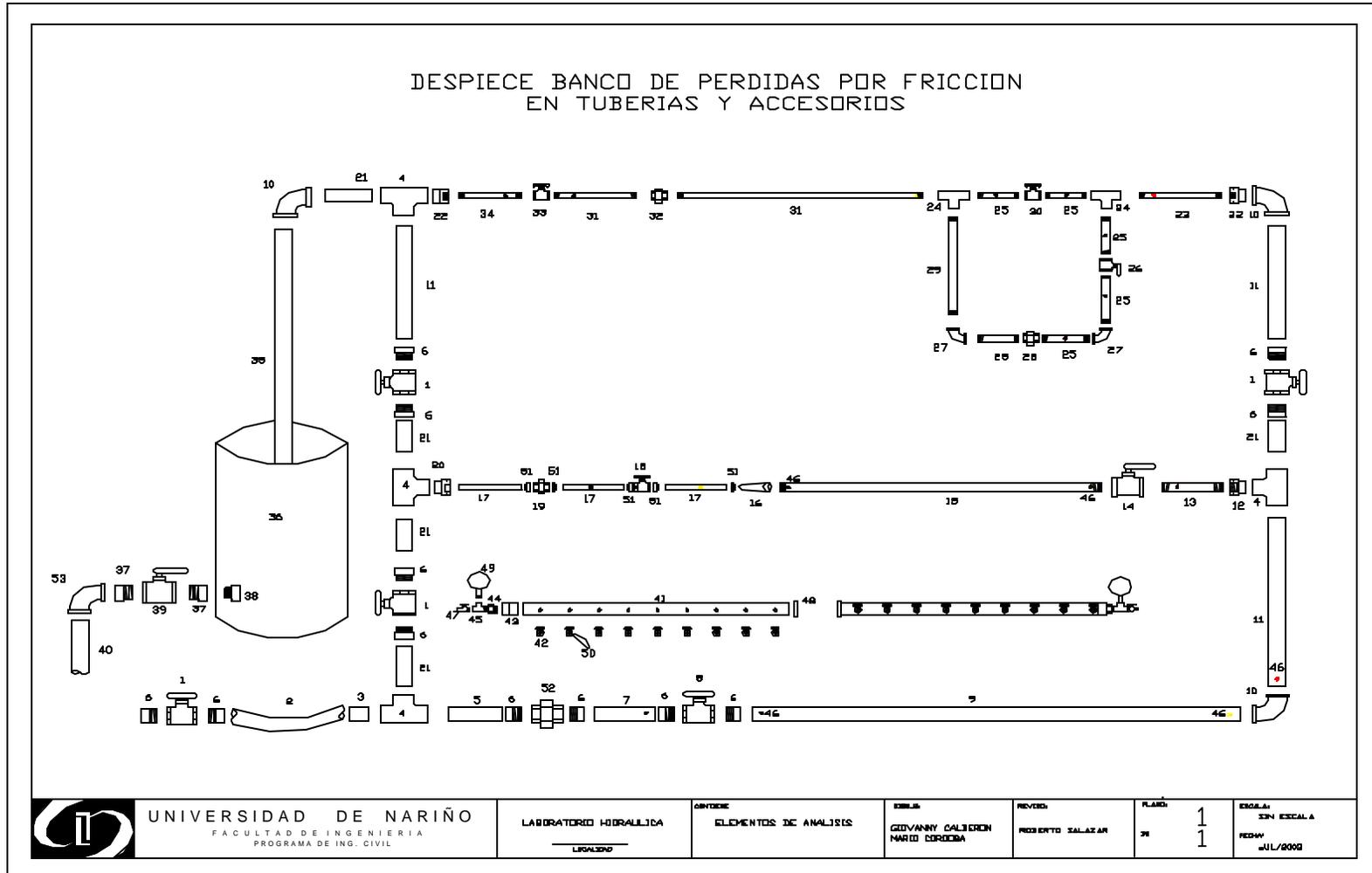
A continuación se presentan los planos del despiece general con cada una de las partes que compone el banco con sus respectivas dimensiones.

**Cuadro 4. Elementos del Banco de Pérdidas por Fricción.**

No.	NOMBRE	DIMENSIÓN
1	4 Válvulas de Control	1 ¼"
2	Manguera alta presión	1 ¼"
3	Tubo entrada PVC	1 ¼"
4	4 Tees PVC	1 ¼"
5	Niple PVC	1 ¼"
6	12 Adaptadores Macho	1 ¼"
7	Niple PVC	1 ¼" x 16cm
8	Válvula de Compuerta	1 ¼"
9	Tubería PVC	1 ¼" x 180cm
10	3 Codos PVC	1 ¼"
11	3 Niples PVC	1 ¼" x 50cm
12	Buje Roscado PVC	1 ¼" x 1"
13	Niple HG	1" x 30cm
14	Válvula de Bola HG	1"
15	Niple HG	1" x 135cm
16	Copa Reductora Gradual	1" x ½"
17	3 Niples PVC	½" x 16cm
18	Válvula de Bola	½"
19	Unión universal PVC	½"
20	Buje Soldado	1 ¼" x ½"
21	5 Niples PVC	1 ¼" x 16cm
22	2 Bujes Roscado	1 ¼" x ¾"
23	Niple HG	¾" x 30cm
24	2 tees HG	¾"
25	6 Niples HG	¾" x 19cm
26	Válvula de Bola HG	¾"
27	2 Codos HG	¾"

No.	NOMBRE	DIMENSIÓN
28	Union universal HG	¾"
29	Niple HG	¾" x 45cm
30	Válvula de Compuerta	¾"
31	2 Niples Acero Inox	¾" x 50cm
32	Unión universal	¾"
33	Válvula de bola Inox	¾"
34	Niple Acero Inox	¾" x 30cm
35	Niple PVC	1 ¼" x 150cm
36	Recipiente de Aforo	Φ37cm H=50cm
37	3 Adaptadores Macho	2"
38	Adaptador Hembra	2"
39	Válvula de Bola	2"
40	Tubería desagüe PVC	2" x 6mt
41	2 tubos Flauta	1 ¼" x 50cm
42	18 llaves para lectura	Bronce
43	2 uniones PVC	1 ¼"
44	2 Bujes Roscados	1 ¼" x ½"
45	2 Racores Tee	½" x ¼"
46	18 racores	¼"
47	2 llaves Purga	Bronce
48	2 Tapones PVC	1 ¼"
49	2 Manómetros bourdon	
50	mangueras	¼"
51	5 Adaptadores Macho	½"
52	Unión universal	1 ¼"
53	Codo PVC	2"

Figura 21. Despiece del Banco



## **2.4 ELEMENTOS A EVALUAR.**

**2.4.1 Tubería :** En el diseño del banco se utilizó los tipos de tubería más comunes en el transporte de fluidos como son el PVC, hierro galvanizado y acero inoxidable.

El fluido durante su transporte sufre un contacto físico con las paredes del conducto además del choque de sus propias partículas, provocando una pérdida de carga uniforme en cualquier tramo de tubería siempre y cuando tenga la misma dirección y dimensión e independientemente de la posición de la tubería. Dicha pérdida varía con el material del ducto, debido a que sus paredes internas poseen rugosidades diferentes.

**2.4.2 Válvulas :** La válvula como tal es un dispositivo mecánico para controlar, retener, regular o dar paso a cualquier fluido entubado. Para este caso se tendrán en cuenta la válvula de compuerta y la válvula de bola.

La válvula de compuerta es utilizada para el flujo de fluidos limpios y sin interrupción, este tipo de válvula no es recomendable para estrangulamiento ya que posee un disco que se alterna en el cuerpo lo que causaría una erosión arruinando su funcionamiento.

En las válvulas de compuerta el área máxima del fluido es el área del círculo formado por el diámetro nominal de la válvula, debido a esto es que se recomienda el uso en posiciones extremas, o sea, completamente abierta o completamente cerrada, ya que de ser así ofrecen la mínima resistencia al paso del fluido y así su caída de presión es muy baja.

La válvula de bola como su nombre lo indica posee un macho esférico que controla la circulación del líquido. Estas válvulas son válvulas de macho modificadas, y su uso estaba limitado debido al asentamiento de metal, el que no permitía el debido cierre.

Consisten en un cuerpo con orificio de venturi y anillos de asientos, una bola para producir cierre y una jaula con vástago para desplazar la bola en relación con el orificio.

Son rápidas para operarlas, de mantenimiento fácil y su caída de presión es función del tamaño del orificio (posición de la bola).

**2.4.3 Copa de reducción gradual, codos y tees:** La mayoría de las veces las conducciones no siguen una misma línea recta estas presentan cambios de dirección, derivaciones y cambios de sección , estos elementos que buscan amoldar los conductos a las condiciones de un lugar provocan la perturbación de la corriente e intensifican las pérdidas. A consecuencia de este roce e interferencias parte de la energía mecánica disponible se convierte en calor y se disipa bajo esta forma. La caída de presión varía de acuerdo a cada accesorio dependiendo de la dificultad a la que se vea el fluido para seguir la trayectoria del mismo.

### 3. CONSTRUCCION DEL BANCO DE PERDIDAS POR FRICCION

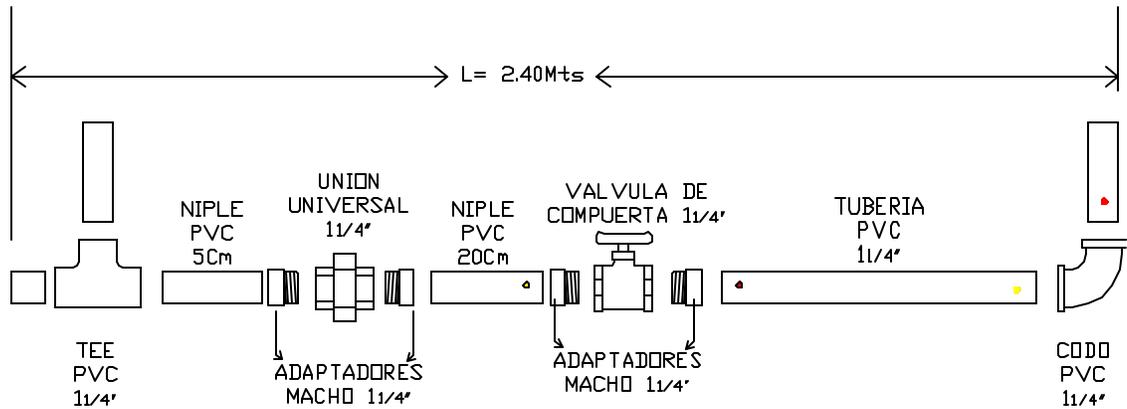
#### 3.1 TUBERIAS Y ACCESORIOS

Teniendo en cuenta que los accesorios y las tuberías son elementos modificadores del flujo se asumió un promedio de 4,5 y 40 veces el diámetro respectivamente, para permitir que el fluido recupere su estabilidad y poder realizar en estos puntos lecturas confiables; de esta base se parte para asumir las dimensiones definitivas del banco de prueba. A continuación se describe su construcción.

Se inicia trabajando en la primera línea con la tubería de PVC de 1 ¼" la cual se encarga de ingresar el fluido al banco y se evaluarán los elementos con este diámetro. Después de la tee de 1 ¼" ubicada a la entrada se une a ella un niple de 5 cm que es soldado a un adaptador macho que permite el ensamblaje a la unión universal. Posterior a esto se antepone a la válvula de compuerta de 1 ¼" un niple de 20 cm conectado a un adaptador macho que permite el acople a esta, este tubo permite además que 12 cm antes de la válvula de compuerta se señale el punto donde va a ir el racor toma de presión. Posterior a la válvula de compuerta sale un tubo de esta misma dimensión de 182 cm libres el cual será espacio suficiente para analizar el punto dos de la válvula anterior, completamente la tubería en mención e indicar el punto uno de toma del codo de 90° que limita la primera línea del conjunto. Hay que tener en cuenta que a las anteriores distancias hay que agregarle de 2,5 a 3 cm para el traslapo en cada elemento a soldar.

Se monta provisionalmente todos los elementos anteriormente mencionados desde la tee hasta el codo para saber la longitud total del banco que en este caso es de 2,4 metros.

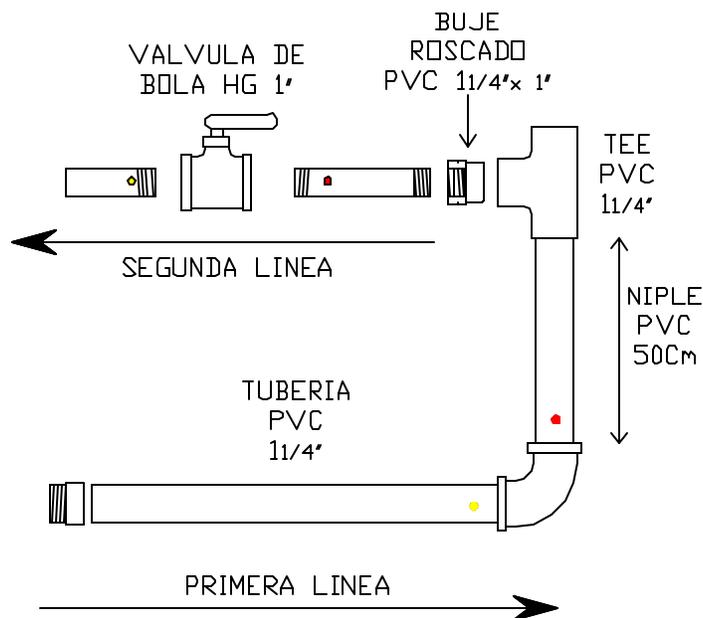
**Figura 21. Ensamblaje de los elementos soldados y roscados de la primera línea.**



Las longitudes para las otras dos líneas deben ser iguales a 2,4m para que el banco quede bien armado.

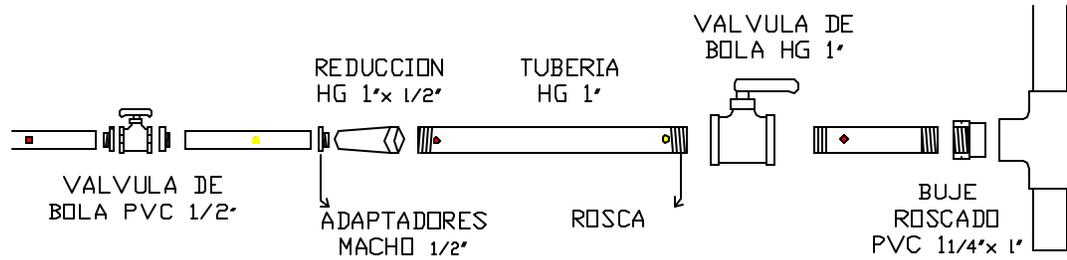
Luego se corta un niple PVC  $1\frac{1}{4}'$  de 50cm de longitud incluyendo la distancia de toma de lectura del codo de  $1\frac{1}{4}'$ , con el fin de dar la altura a la segunda línea del banco, se une temporalmente a la tee  $\phi 1\frac{1}{4}'$  que llevará un buje roscado PVC de  $1\frac{1}{4}' \times 1''$ . Al otro extremo de igual manera se instaló un tubo de igual altura pero incluye una válvula de compuerta que sirve como válvula de control.

**Figura 22. Unión de la primera y segunda línea**



Para las tuberías de hierro galvanizado de 1" y PVC de  $\frac{1}{2}$ " Se procede de la misma forma que para la primera línea. Para el caso del hierro galvanizado se corta un tubo de 30cm y otro de 135cm; dichos tubos se mecanizan en un torno para que les hicieran las roscas y le eliminaran la rebaba para que no influyera en la toma de las lecturas, el más corto sale del buje roscado y se une a la válvula de bola de su misma dimensión, esta además de ser evaluada servirá como una de las válvulas de control, en este tramo se marcó 12 cm antes de la válvula de bola el punto donde se instalaría el punto uno de toma de presión para esta válvula. El niple de 135 cm sale de la válvula antes mencionada a unirse con la reducción gradual de 1" a  $\frac{1}{2}$ " en esta tubería se analiza el punto toma de presión dos de la válvula de bola, el análisis completo de la tubería y el punto uno de la reducción gradual.

**Figura 23. Ensamblaje de elementos roscados (segunda línea)**



A medida que se avanza en la construcción del proyecto se recomienda que se usen los accesorios y la tubería de una forma provisional para tener una visión clara del banco.

**Figura 24. Ensamblaje provisional**

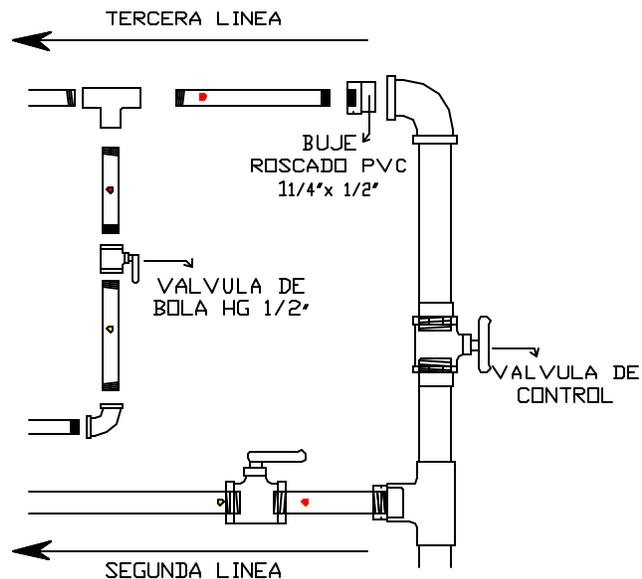


Para el tramo de PVC  $\frac{1}{2}$ " se cortan 3 niples de PVC de  $\frac{1}{2}$ " con una longitud de 16cm, incluyendo la distancia de lectura.

Se procede a unir temporalmente la reducción a la válvula de  $\frac{1}{2}$ " la válvula a la universal y finalmente al buje roscado de 1  $\frac{1}{4}$ " a  $\frac{1}{2}$ " al otro extremo del banco. Todo esto corresponde a la ruta número uno.

Para unir lo anterior a la tercera línea se cortan niples de PVC 1  $\frac{1}{4}$ " para dejar un espacio prudente a la tercera línea de tubería, quedando el banco con una altura de 180cm. En estos niples se instala a cada lado dos válvulas de compuerta que serán válvulas de control.

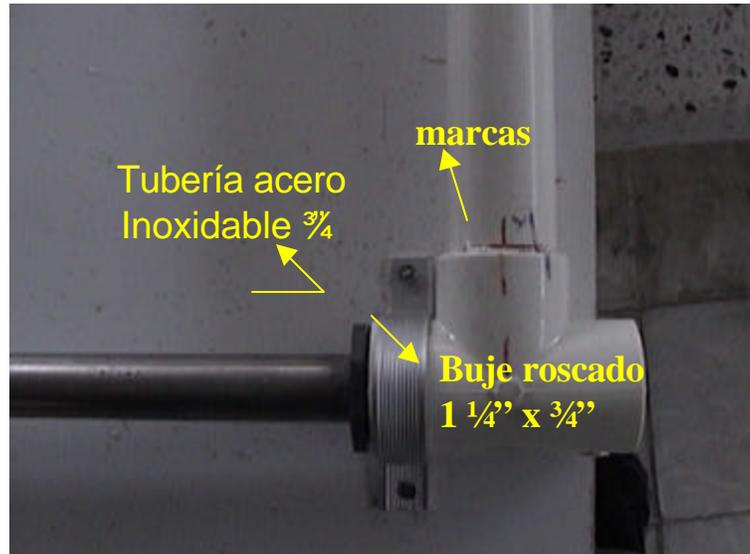
**Figura 25. Unión de segunda y tercera línea.**



La tercera línea incluye un by pass conformándose la ruta dos y tres. Los elementos de estas rutas son en hierro galvanizado y acero inoxidable elementos de similares características por lo tanto se procede de igual manera que el tramo en esta materia en la ruta uno.

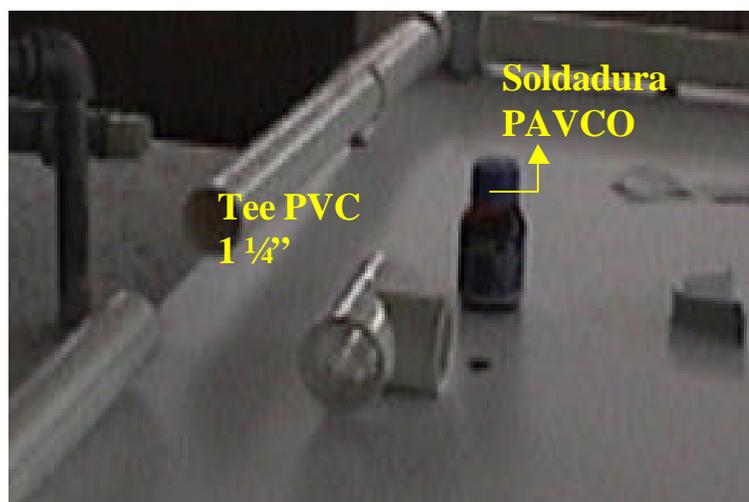
Después de tener todo el banco armado provisionalmente se marcan los accesorios y tuberías; esto con el fin que sirva de guía al pegarlo.

**Figura 26. Guías para soldar los elementos correctamente**



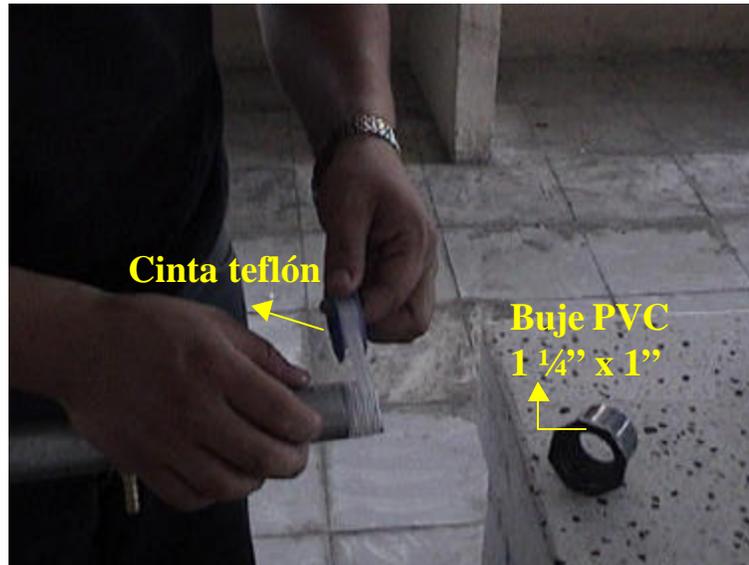
Se limpia la tubería y accesorios de PVC con limpiador, luego se pega con soldadura (Productos PAVCO).

**Figura 27. Limpiador y soldadura PAVCO.**

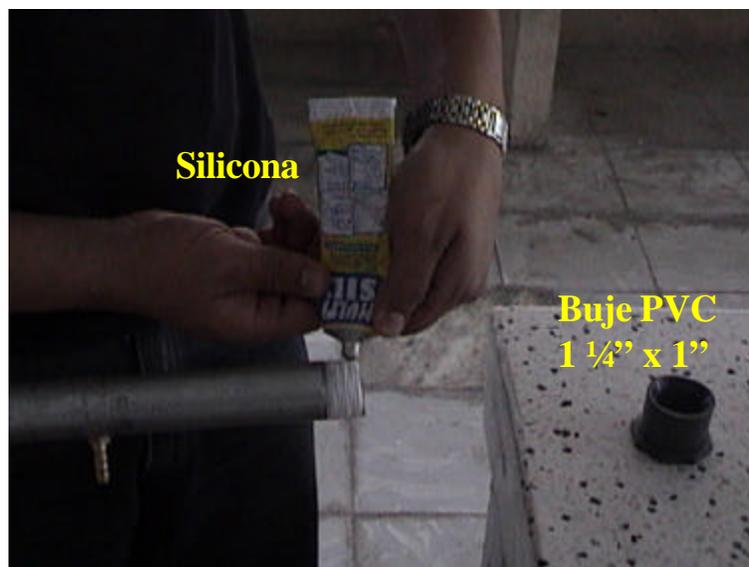


Para los accesorios roscados se usó cinta teflón, la cual se dispuso formando un cono y además se agregó silicona en algunos accesorios para evitar las fugas de agua.

**Figura 28. Cinta de teflón**

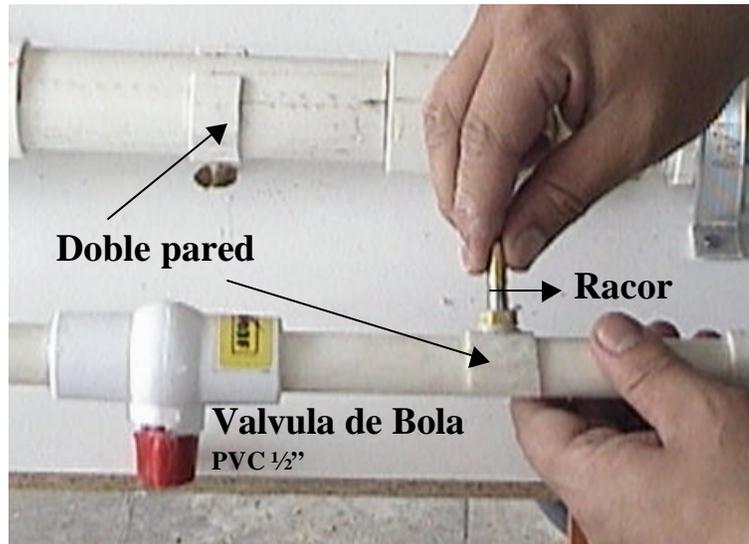


**Figura 29. Silicona**



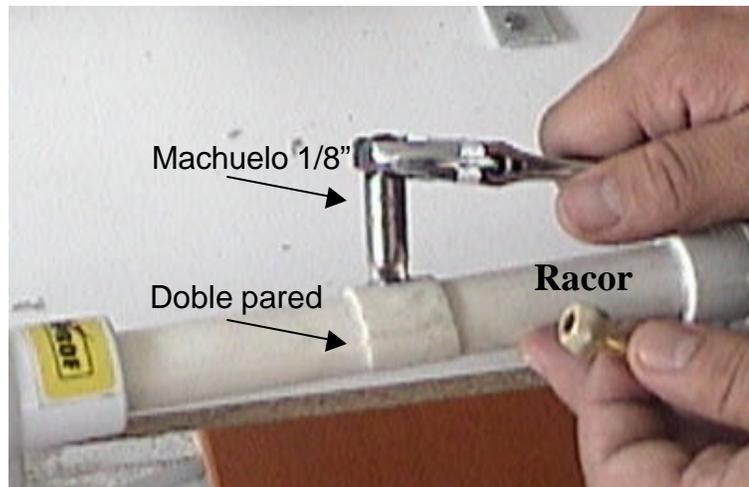
En cada punto de toma se le adicionó un pedazo de tubo de el mismo diámetro (doble pared) para darle una consistencia más firme a la pared de la tubería. Luego se perforó con una broca de 5/16".

**Figura 30. Recubrimiento en las paredes de los conductos (doble pared)**



Con ayuda de un machuelo se la hace una rosca a la pared del tubo para facilitar la colocación del racor.

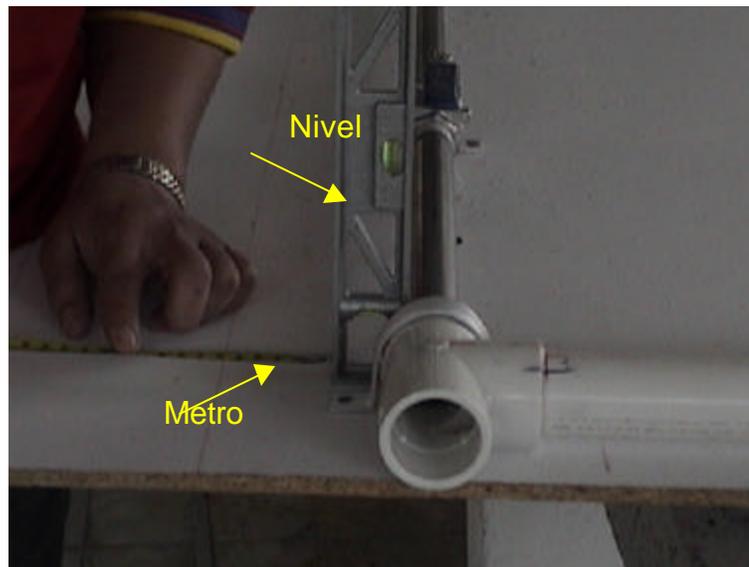
**Figura 31. Elaboración de roscas en las paredes de las tuberías**



Se instaló el banco en el madecor, con ayuda de un nivel, para garantizar que las tuberías quedaran horizontales, esto con el fin que no se obtuvieran lecturas falsas.



**Figura 32. Nivelación de las líneas que conforman el banco**



Una vez armado el banco de pérdidas se lo coloca sobre un madecor de 2,45 x 2,20. y se lo sujeta a este con abrazaderas de aluminio. Al madecor se le abrieron y pulieron 18 orificios por donde pudieran salir los racores conectados a los accesorios a evaluar; igualmente el mismo número de orificios donde fueron instaladas las flautas manométricas para que las mangueras que vienen de los racores atrás del tablero lleguen a ellas.





**Figura 33. Elaboración de orificios en el tablero**



**Figura 34. Salida de los racores por el reverso del tablero**

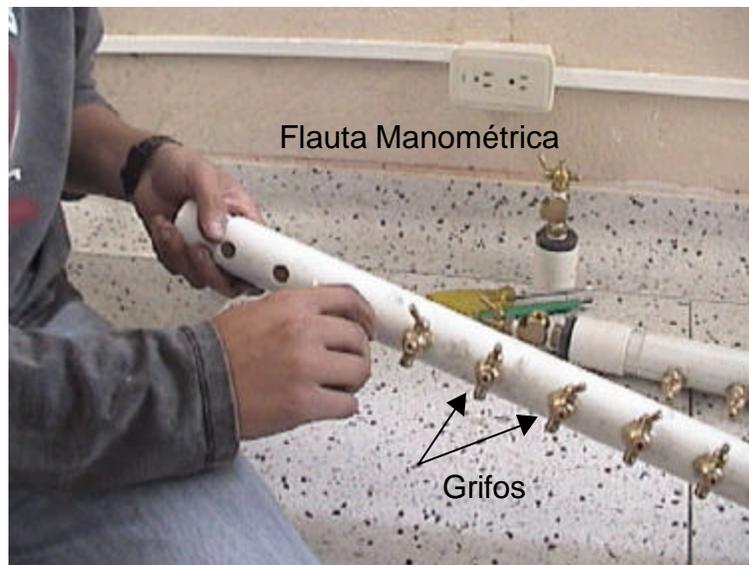


### 3.2 FLAUTAS MANOMETRICAS

Son dos flautas, una lleva números impares y la otra números pares esto con el fin de hacer lectura de presión antes y después de cada accesorio.

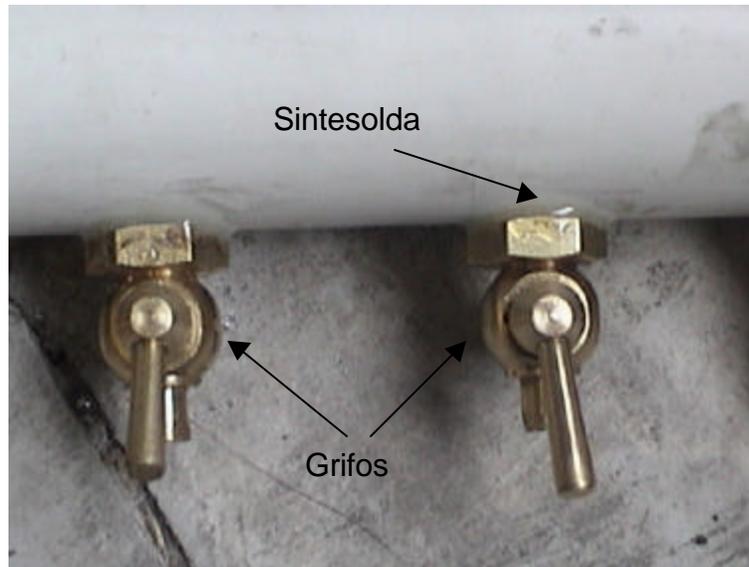
Se cortó un tubo de 60cm, que tiene 9 perforaciones cada una lleva un grifo, para darle mayor firmeza se instaló otro pedazo de tubería del mismo diámetro sobre el tubo (doble cara). Con la ayuda de un machuelo 1/8" se realizó la rosca para ensamblar el grifo.

**Figura 35. Elaboración de las flautas manométricas**



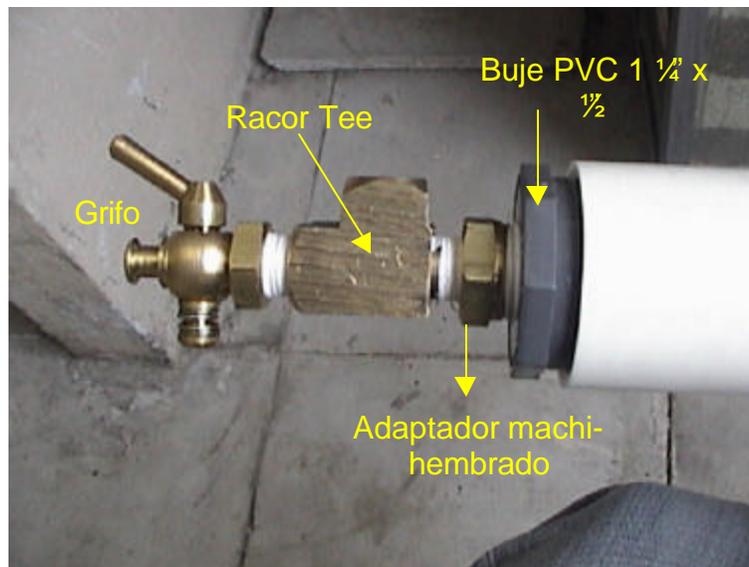
Los grifos se los esmeriló para evitar obtener lecturas falsas y no ocasionar pérdidas adicionales, además se los pegó con sintesolda. Cada grifo lleva una manguera de 1/4" que comunica la flauta con un punto de lectura de presión del banco.

**Figura 36. Grifos soldados en la flauta manométrica.**



Además la flauta lleva una unión PVC 1 ¼" a la cual se le adiciona un buje roscado de 1 ¼" x ½" que se lo une a un racor en forma de tee la cual lleva en uno de sus extremos un Manómetro Bourdon y en el otro un grifo que sirve para aliviar presión.

**Figura 37. Elementos que conforman las flautas manométricas**



#### 4. INSTALACION EN EL LABORATORIO

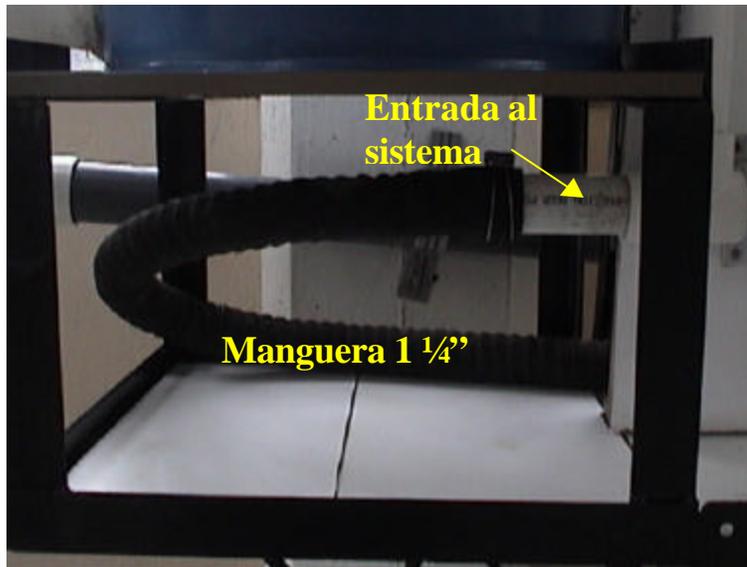
Para la instalación del *BANCO DE PERDIDAS POR FRICCION EN TUBERIAS Y EN ACCESORIOS* en el laboratorio de hidráulica de la facultad de Ingeniería de la Universidad de Nariño fue necesario utilizar una motobomba que alimentaba otros aparatos del laboratorio.

**Figura 38. Fuente alimentadora**



La acometida del equipo inicialmente se hizo con tubería RDE 21  $\phi$  1 1/4 la cual estaba unida a dos codos simultáneos que estaban produciendo una succión en la tubería y como consecuencia arrojaba lecturas falsas; esta acometida fue reemplazada por una manguera de alta presión de  $\phi$  1 1/4 de 4m. de longitud La cual hace que el agua de una curva bastante amplia antes de ingresar al sistema.

**Figura 39. Acometida del sistema**



El fluido al salir del sistema es conducido por un tubo de PVC de 1 1/4" al tanque de aforo que tiene una tubería de desagüe de 2" de diámetro y una longitud de 7,5m. que esta conectada a un tanque de 2,20 x 1,8 x 0,70m. Dicho tanque servirá para que el agua retorne al sistema.

**Figura 40. Regreso al tanque principal**



El equipo se lo montó sobre una estructura en ángulo  $1 \frac{1}{2}$  la cual fue pintada con anticorrosivo y luego pintura negra para darle un acabado acorde a los demás equipos del laboratorio, esta estructura fue empotrada a una de las vigas que forman uno de los pórticos del laboratorio de Hidráulica.

**Figura 41. Banco para determinación de pérdidas por fricción en tuberías y pérdidas menores en accesorios (montaje definitivo)**



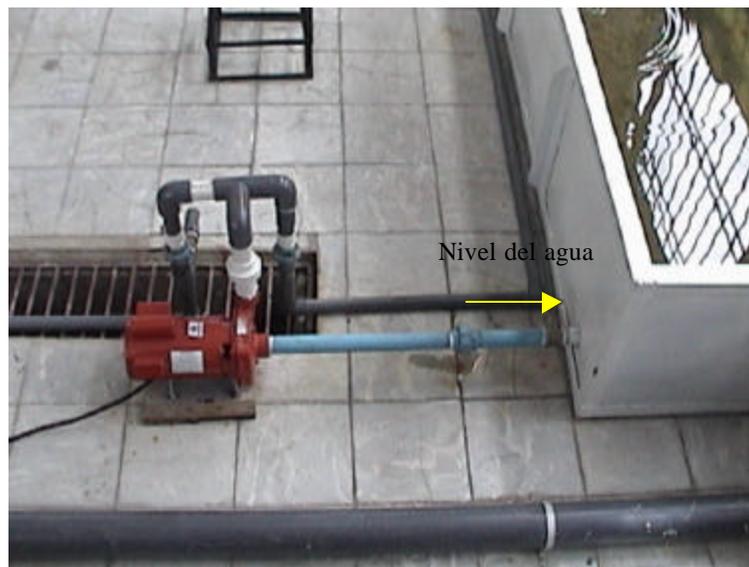
## 5 . OPERACION Y MANTENIMIENTO

### 5.1 OPERACION DEL BANCO PARA DETERMINACION DE PERDIDAS POR FRICCION EN TUBERIAS Y PERDIDAS MENORES EN ACCESORIOS

Las actividades a seguir para la ejecución correcta del sistema son las siguientes:

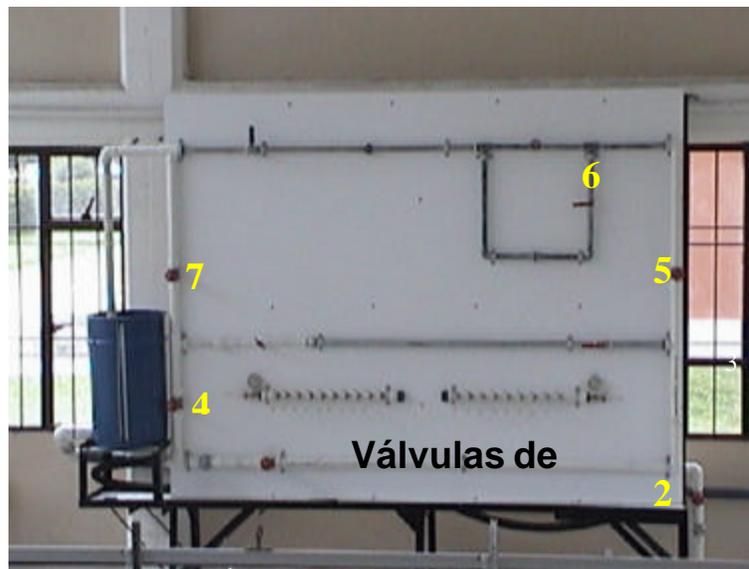
- ☛ Verifique que el tanque principal esté lleno por encima del tubo de salida a la motobomba.

**Figura 42. Motobomba**



- ☛ Elija una de las tres rutas del sistema maniobrando las válvulas de control, y las válvulas a evaluar.

**Figura 43. Válvulas de control**



- ❏ Encienda la motobomba, controlando la presión con la válvula de compuerta dispuesta a la entrada del sistema.

**Figura 44. Control de caudal**



- ❏ Aforar el caudal.

**Figura 45. Aforo del caudal**



☛ Tome la temperatura del agua.

**Figura 46. Toma de temperatura**



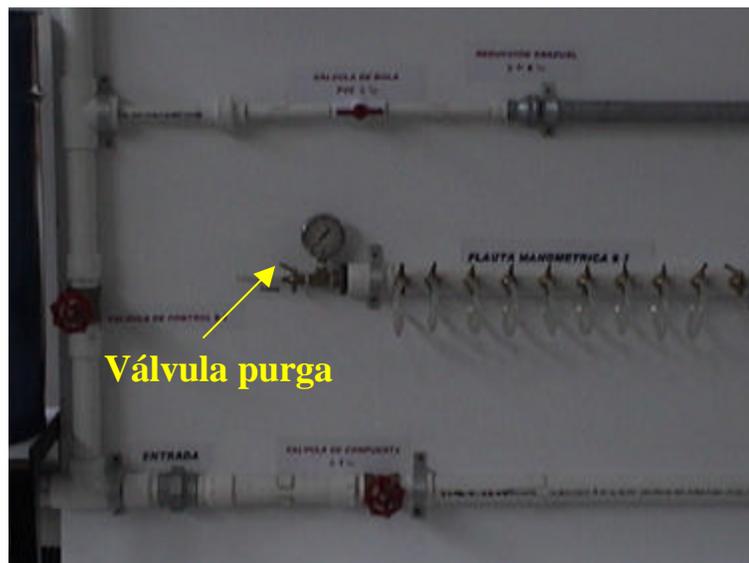
☛ Abra la válvula de salida del tanque aforador

**Figura 46. Válvula de salida**



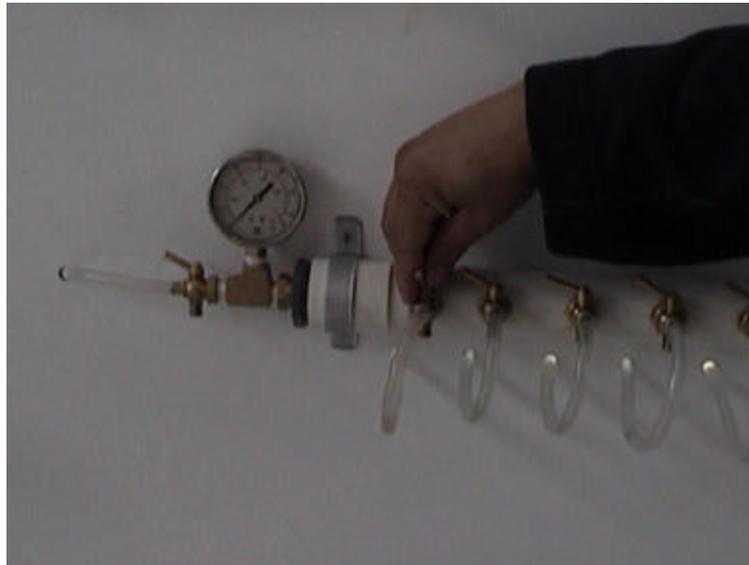
- ☛ Verifique que las flautas manométricas estén vacías, liberando la presión interna de cada una de ellas dejando abiertas las válvulas purgas.

**Figura 47. Válvula de purga**

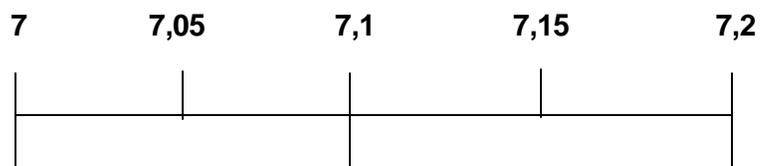


- ☛ Elegir el elemento a evaluar, abriendo los grifos en las flautas manométricas que correspondan al número anterior y posterior del elemento escogido.

**Figura 49. Grifos en flautas manométricas**



- Una vez el agua entre a las flautas se debe permitir que esta expulse el aire que hay en el interior de ellas (por medio de la purga).
- El manómetro tiene una lectura inicial con la válvula de purga abierta, una vez se estabilice la aguja se cierra la válvula de purga de las flautas concentrando en ellas toda la presión de los puntos elegidos. Esta lectura es la real. El manómetro utilizado tiene una sensibilidad de 0,2 PSI, sin embargo para los elementos en los que no se presenta pérdidas significativas este margen es alto ya que significan 14 cm entre las posibles lecturas. Por eso se asumió de la siguiente manera algunas lecturas intermedias: ( ejemplo entre 7 y 7,2 PSI).



- Una vez realizadas las lecturas se libera la presión en las flautas y se cierra los grifos.

- ☞ Deje que los manómetros estabilicen su lectura en cero.
- ☞ Debido a la intermitencia que puede generar una motobomba vuelva a tomar lectura de caudal para verificar que no haya variado
- ☞ Manipule la válvula de entrada al sistema para cambiar de caudal, o apague la motobomba y manipule las válvulas de control para evaluar elementos de otra ruta.

## **5.2 MANTENIMIENTO**

- ☞ Cuando se va a dejar de hacer uso del sistema por un tiempo prolongado debe secarse el tanque de aforo ya que se podría corroer. De igual manera con la estructura metálica.
- ☞ Las flautas manométricas deben limpiarse internamente con alguna regularidad ya que el agua deja residuos adentro de ella pudiendo taponar la entrada del manómetro, la purga o los mismos grifos.
- ☞ Muchas veces la presión que ejerce el agua sobre los racores, o sobre las roscas de los nipples en los accesorios hace que haya filtraciones por lo que se hace necesario aplicar soldadura o silicona.
- ☞ Las mangueras que llegan con el fluido a los grifos de las flautas suelen salirse producto de la presión, por ello se debe ajustar regularmente las abrazaderas que sujetan las mangueras a los grifos.

## **6. REALIZACION DE LABORATORIOS DE PRUEBA**

La realización de los laboratorios es la parte del curso de Hidráulica y Mecánica de fluidos, que sirve para confirmar los conceptos teóricos desarrollados en clase con el comportamiento real de los fenómenos físicos para luego aplicar con confianza los conceptos teóricos en el estudio, diseño y construcción de sistemas hidráulicos y de manejo de fluidos en diferentes campos de la Ingeniería.

Una vez construido el sistema se dió inicio a la realización de ensayos, estos evaluaron todos los elementos del equipo en las tres rutas posibles, se trabajó con el mayor número de caudales posibles (máxima a mínima lectura del manómetro) lográndose realizar 18 ensayos por elemento en cada ruta, además para las válvulas de compuerta se realizó el ensayo a  $\frac{3}{4}$   ~~$\frac{1}{2}$~~   $\frac{1}{4}$  de apertura de la misma.

En el caso de la válvula de bola  $\frac{1}{2}$  PVC no se logró conseguir el coeficiente de retención  $K_m$  para un estado de media apertura, debido a que la presión se eleva considerablemente y podría ocurrir una rotura en la válvula o en la tubería.

Siendo el objetivo primordial de este trabajo de grado diseñar y construir un sistema que permita visualizar el fenómeno de pérdidas de presión en tuberías y accesorios, a continuación se describe el proceso que se llevó a cabo para la obtención de datos, y el procesamiento de los mismos. En los cuadros de cálculo los resultados se proporcionan en centímetros con el fin de que la pérdida de carga sea mejor visualizada.

## 6.1 FORMA DE CALCULO

☛ Cálculo teórico. Para obtener las pérdidas primarias, se aplica la ecuación (10) :

$$h_f = f \frac{L v^2}{D 2g}$$

Donde:

$f$ = factor de fricción.

$L$ = longitud de la tubería a evaluar. (m)

$D$ = diámetro interior del conducto.

$V$ = velocidad del flujo. (m/s)

Para obtener las pérdidas secundarias, se aplica la ecuación (20) :

$$H_m = K_m \frac{V^2}{2g}$$

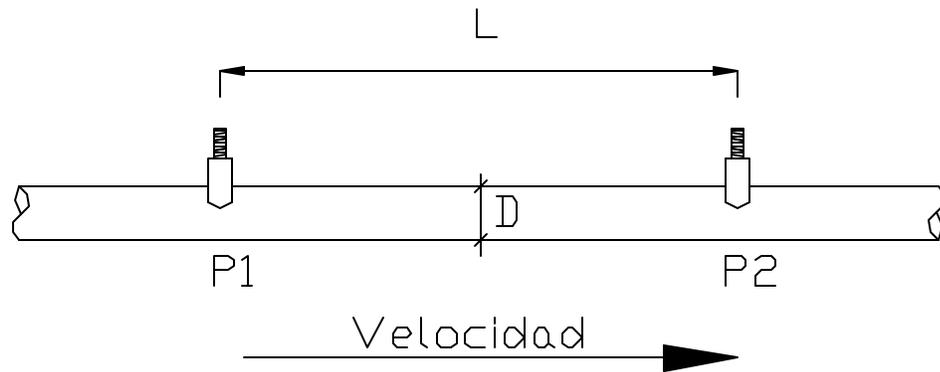
La pérdida de carga total en un conducto que esté interrumpido por un accesorio será la suma de estos dos resultados; estas operaciones son independientes a la posición de los conductos.

$$HT = H_f + H_m \quad (21)$$

Cálculo experimental en tuberías: en el caso de conductos la pérdida simplemente será la diferencia entre la presión inicial y la final, cabe resaltar que en el caso del banco de pruebas este resultado se lo multiplica por 0.7 para obtener este resultado en metros de columna de agua.

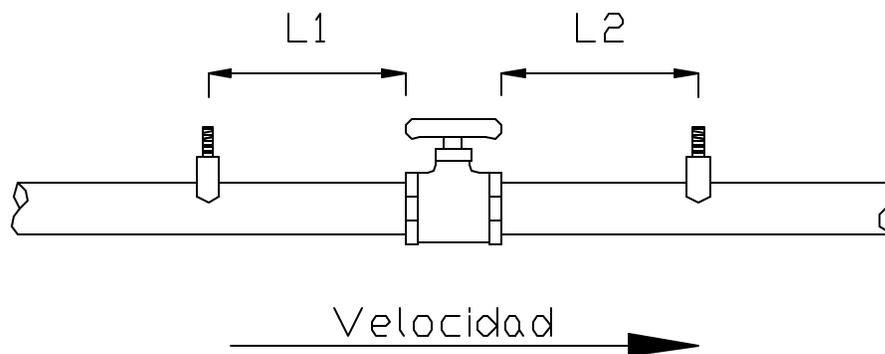
$$HT(\text{exp}) = P_1 - P_2 \quad (22)$$

**Figura 50. Cálculo de pérdida en tuberías**



☛ Cálculo experimental en accesorios:

**Figura 51. Cálculo de pérdida en accesorios**



Para obtener la pérdida experimental en los accesorios del banco se debe analizar que la diferencia entre  $P_1$  y  $P_2$  involucra la pérdida simultánea del accesorio y la tubería por lo que es necesario sustraer la pérdida por fricción; para ello es necesario valerse del resultado obtenido teóricamente ( $H_f$  teórico), de tal manera que a la diferencia de presión

total se resta el  $H_f$  teórico se encuentra el valor de  $H_m$ , a este se denominó valor teórico-experimental.

$$H_m (\text{teorico-experimental}) = H_T (\text{exp}) - H_f (\text{teórico}) \quad (23)$$

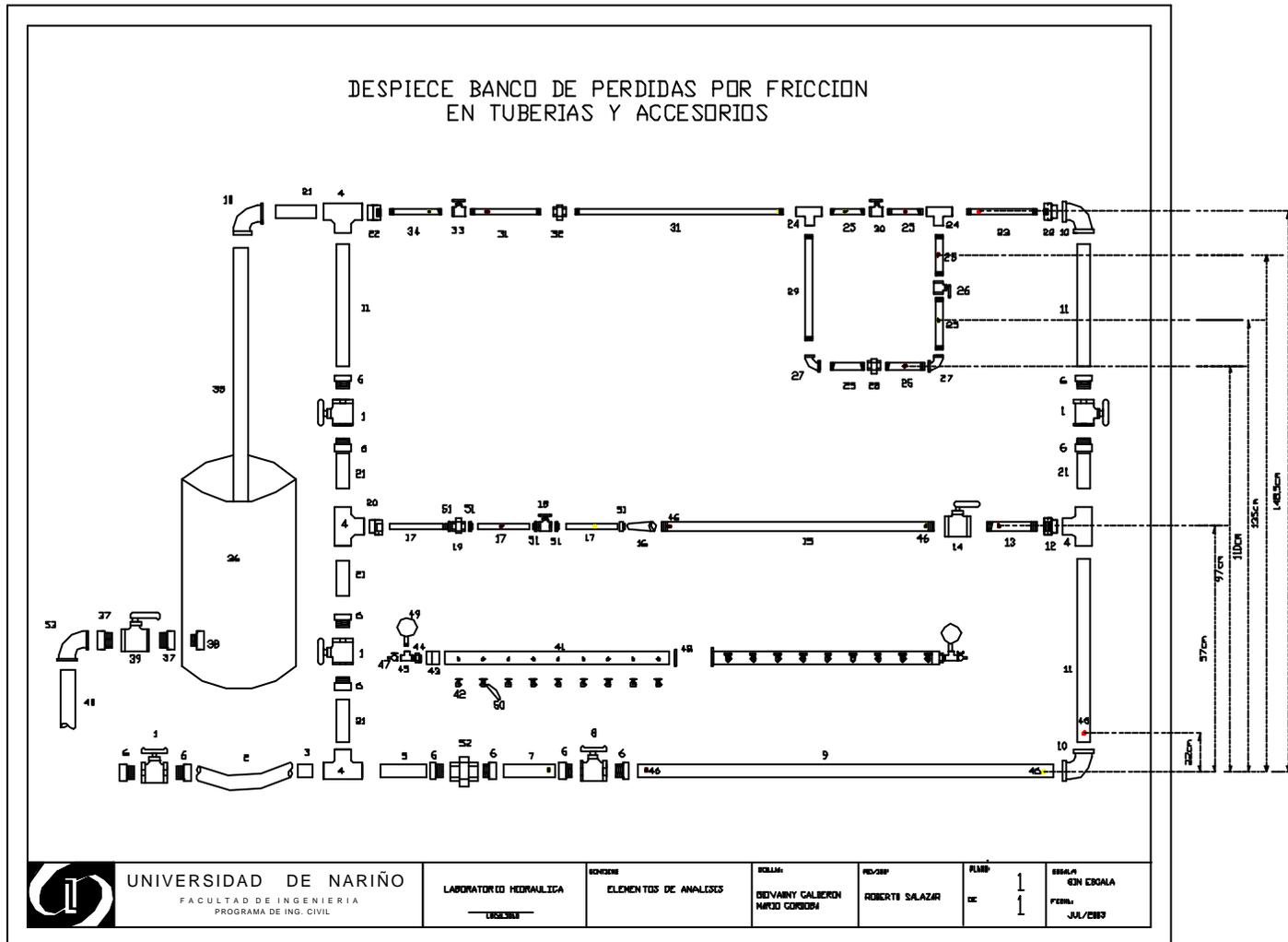
En el momento de encontrar el valor de  $H_f$  teórico el valor de L será la suma de  $L_1 + L_2$  si el material y la sección de los conductos que empatan en el accesorio son iguales, de lo contrario se realizará los cálculos independientemente para cada tipo de tubería.

En el caso que se desee encontrar la pérdida experimental de un elemento a desnivel es decir que entre uno y otro exista alguna diferencia de altura, la pérdida total se calcula siguiendo la ecuación de la energía. Ecuación (8):

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

Donde Z es la altura que se encuentra el punto de toma de presión con respecto a un nivel de referencia.

Figura 52. Alturas a las que se encuentran los puntos de medición respecto al eje de referencia



Para este caso donde las características de los ductos no cambian de sección; despejando el valor de la pérdida, la ecuación queda:

$$(P_1 - P_2) + (Z_1 - Z_2) = H_f(\text{exp}) \quad (24)$$

## 6.2 CALCULO EXPERIMENTAL DE COEFICIENTE DE RESISTENCIA.

En el banco de pruebas también es posible calcular los coeficientes de fricción y resistencia para tuberías y accesorios. Para determinar el coeficiente de resistencia  $K_s$  se debe tener en cuenta la pérdida total experimental y la pérdida por fricción teórica y como ya se explicó anteriormente se encuentra la pérdida teórico-experimental  $H_m$ , como se conoce la velocidad del fluido por el ducto se despeja el valor de  $K_m$  de la ecuación teórica obteniendo el valor experimental de dicho coeficiente.

$$K_m(\text{exp}) = \frac{H_m \cdot 2g}{V^2} \quad (25)$$

Para el caso del factor de fricción  $f$ , se lo encuentra de igual manera que en el caso anterior solo que utilizando el valor de  $H_m$  y el valor de la pérdida experimental total. Cuando se tenga el valor de  $H_f$  teórico-experimental se despeja de la ecuación teórica el factor de fricción.

## 6.3 ENSAYOS

A continuación se presentan el procedimiento y resultados de todos los laboratorios posibles en las tres rutas del sistema.

RUTA 1. VALVULA DE COMPUERTA COMPLETAMENTE ABIERTA

Tramo de 1 a 2

Valores constantes

L1 0,12 m Ks (m) PVC 2E-06  
 L2 0,21 m Km válvula de compuerta abierta 0,2  
 L total 0,33 m Volumen 0,0215 m<sup>3</sup>  
 Diámetro 1 1/4 "(d interno 0,0368 m), area= 0,00106362 m<sup>2</sup>

Ensayo	Tiempo(s)			Tiempo prom (s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	V (m/s)	n (m <sup>2</sup> /s)	Re	P1 (PSI)	P2 (PSI)	rP (mca)	f	Hf teor (cm)	Hm teor (cm)	Ht teor (cm)	rP exp (cm)	Hm teo-exp (cm)	dif Ht (cm)	difer Hm (cm)	Km teo-exp
	T1	T2	T3																	
1	20,6	20,6	20,5	20,57	0,00105	0,983	1,1E-06	34.078	5,9	5,85	0,035	0,023	1,011	0,984	1,995	3,5	2,489	1,505	1,505	0,5059
2	20,6	20,5	20,6	20,55	0,00105	0,984	1,1E-06	33.240	6,3	6,25	0,035	0,023	1,019	0,986	2,005	3,5	2,481	1,495	1,495	0,5031
3	18,0	18,0	17,7	17,91	0,00120	1,129	1,1E-06	39.153	7,75	7,7	0,035	0,022	1,292	1,299	2,591	3,5	2,208	0,909	0,909	0,3399
4	15,0	15,2	15,1	15,12	0,00142	1,337	1,1E-06	44.045	11,05	11	0,035	0,022	1,767	1,822	3,589	3,5	1,733	-0,089	-0,089	0,1902
5	14,7	14,9	14,8	14,77	0,00146	1,368	1,1E-06	46.237	11,55	11,5	0,035	0,021	1,831	1,908	3,740	3,5	1,669	-0,240	-0,240	0,1749
6	14,5	14,6	14,7	14,57	0,00148	1,388	1E-06	49.292	12,15	12,1	0,035	0,021	1,858	1,963	3,821	3,5	1,642	-0,321	-0,321	0,1673
7	14,6	14,4	14,6	14,52	0,00148	1,392	1,1E-06	48.286	11,95	11,9	0,035	0,021	1,878	1,976	3,854	3,5	1,622	-0,354	-0,354	0,1642
8	14,4	14,5	14,7	14,51	0,00148	1,393	1E-06	50.759	11,75	11,7	0,035	0,021	1,860	1,978	3,839	3,5	1,640	-0,339	-0,339	0,1658
9	14,4	14,3	14,4	14,39	0,00149	1,405	1,1E-06	48.733	12,35	12,3	0,035	0,021	1,909	2,012	3,921	3,5	1,591	-0,421	-0,421	0,1581
10	14,5	14,2	14,4	14,36	0,00150	1,408	1,2E-06	45.045	12,15	12,1	0,035	0,022	1,949	2,020	3,969	3,5	1,551	-0,469	-0,469	0,1535
11	14,2	14,1	14,2	14,17	0,00152	1,427	1,1E-06	48.206	12,75	12,7	0,035	0,021	1,972	2,074	4,047	3,5	1,528	-0,547	-0,547	0,1473
12	14,1	14,1	14,2	14,13	0,00152	1,430	1,1E-06	49.607	12,7	12,65	0,035	0,021	1,970	2,085	4,056	3,5	1,530	-0,556	-0,556	0,1467
13	14,0	14,1	14,1	14,05	0,00153	1,438	1,1E-06	47.388	12,75	12,7	0,035	0,021	2,013	2,109	4,122	3,5	1,487	-0,622	-0,622	0,141
14	13,4	13,5	13,7	13,55	0,00159	1,492	1,1E-06	51.742	13,8	13,75	0,035	0,021	2,124	2,269	4,393	3,5	1,376	-0,893	-0,893	0,1213
15	13,4	13,5	13,5	13,46	0,00160	1,502	1,2E-06	48.057	13,75	13,7	0,035	0,021	2,188	2,299	4,487	3,5	1,312	-0,987	-0,987	0,1142
16	13,2	13,4	13,5	13,38	0,00161	1,511	1,1E-06	52.400	14,3	14,25	0,035	0,021	2,172	2,327	4,499	3,5	1,328	-0,999	-0,999	0,1141
17	13,4	13,2	13,2	13,26	0,00162	1,525	1,1E-06	52.887	14,45	14,4	0,035	0,021	2,209	2,370	4,579	3,5	1,291	-1,079	-1,079	0,109
18	13,0	13,0	12,7	12,89	0,00167	1,569	1,1E-06	54.406	14,75	14,7	0,035	0,021	2,323	2,508	4,831	3,5	1,177	-1,331	-1,331	0,0938

RUTA 1. CODO 90° DE RADIO CORTO

Tramo de 3 a 4

Valores constantes

L1	0,155m	Ks (m) PVC	0,0000015	Z1 (m)	0
L2	0,165m	Km codo de radio corto de 90°	0,9	Z2 (m)	0,22
L total	0,32m	Volumen	0,022 m <sup>3</sup>		

Diámetro 1 1/4 "(d interno 0,0368 m), area= 0,00106362 m<sup>2</sup>

Ensayo	Tiempo(s)			Tiempo prom (s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	V (m/s)	n (m <sup>2</sup> /s)	Re	P1 (PSI)	P2 (PSI)	rP (mca)	f	Hf (cm)	Hm (cm)	HT (cm)	rP (cm)	Hm-rP (cm) - Hf (cm)	difer Ht (cm)	difer Hm (cm)	Km teo-exp
	T1	T2	T3																	
	Valores teóricos																			
1	20,6	20,6	20,5	20,6	0,00105	0,983	1,1E-06	34.078	5,8	5,45	0,025	0,023	0,980	4,428	5,409	2,5	1,520	2,909	2,909	0,309
2	20,6	20,5	20,6	20,6	0,00105	0,984	1,1E-06	33.240	6,2	5,8	0,06	0,023	0,988	4,438	5,427	6	5,012	-0,573	-0,573	1,016
3	18,0	18,0	17,7	17,9	0,00120	1,129	1,1E-06	39.153	7,6	7,2	0,06	0,022	1,253	5,845	7,099	6	4,747	1,099	1,099	0,731
4	15,0	15,2	15,1	15,1	0,00142	1,337	1,1E-06	44.045	10,9	10,5	0,06	0,022	1,714	8,199	9,912	6	4,286	3,912	3,912	0,471
5	14,7	14,9	14,8	14,8	0,00146	1,368	1,1E-06	46.237	11,35	10,9	0,095	0,021	1,776	8,588	10,364	9,5	7,724	0,864	0,864	0,809
6	14,5	14,6	14,7	14,6	0,00148	1,388	1E-06	49.292	12	11,5	0,13	0,021	1,801	8,833	10,635	13	11,199	-2,365	-2,365	1,141
7	14,6	14,4	14,6	14,5	0,00148	1,392	1,1E-06	48.286	11,8	11,3	0,13	0,021	1,821	8,890	10,711	13	11,179	-2,289	-2,289	1,132
8	14,4	14,5	14,7	14,5	0,00148	1,393	1E-06	50.759	11,6	11,1	0,13	0,021	1,804	8,903	10,706	13	11,196	-2,294	-2,294	1,132
9	14,4	14,3	14,4	14,4	0,00149	1,405	1,1E-06	48.733	12,2	11,7	0,13	0,021	1,851	9,056	10,907	13	11,149	-2,093	-2,093	1,108
10	14,5	14,2	14,4	14,4	0,00150	1,408	1,2E-06	45.045	12	11,5	0,13	0,022	1,890	9,089	10,980	13	11,110	-2,020	-2,020	1,1
11	14,2	14,1	14,2	14,2	0,00152	1,427	1,1E-06	48.206	12,6	12,1	0,13	0,021	1,913	9,335	11,248	13	11,087	-1,752	-1,752	1,069
12	14,1	14,1	14,2	14,1	0,00152	1,430	1,1E-06	49.607	12,55	12,1	0,095	0,021	1,911	9,383	11,294	9,5	7,589	1,794	1,794	0,728
13	14,0	14,1	14,1	14,1	0,00153	1,438	1,1E-06	47.388	12,6	12,1	0,13	0,021	1,952	9,490	11,443	13	11,048	-1,557	-1,557	1,048
14	13,4	13,5	13,7	13,6	0,00159	1,492	1,1E-06	51.742	12,65	12,2	0,095	0,021	2,060	10,209	12,268	9,5	7,440	2,768	2,768	0,656
15	13,4	13,5	13,5	13,5	0,00160	1,502	1,2E-06	48.057	13,6	13,1	0,13	0,021	2,121	10,346	12,467	13	10,879	-0,533	-0,533	0,946
16	13,2	13,4	13,5	13,4	0,00161	1,511	1,1E-06	52.400	14,1	13,6	0,13	0,021	2,107	10,470	12,576	13	10,893	-0,424	-0,424	0,936
17	13,4	13,2	13,2	13,3	0,00162	1,525	1,1E-06	52.887	14,3	13,8	0,13	0,021	2,142	10,665	12,807	13	10,858	-0,193	-0,193	0,916
18	13,0	13,0	12,7	12,9	0,00167	1,569	1,1E-06	54.406	14,5	14	0,13	0,021	2,253	11,287	13,539	13	10,747	0,539	0,539	0,857

RUTA 1. VALVULA DE BOLA 1"

Tramo de 5 a 6

Valores constantes

L1	0,12 m	Ks (m) Hierro Gavanizado	0,00015	f	0,0331
L2	0,12 m	Km válvula de bola abierta	0,9		
L total	0,24 m	Volumen	0,022 m <sup>3</sup>		
1" d interno=0,0272m area=0,00058107m <sup>2</sup>					

Ensayo	Tiempo(s)			Tiempo prom (s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	V (m/s)	T°	n (m <sup>2</sup> /s)	Re	P1 (PSI)	P2 (PSI)	rP (mca)	Hf (cm)	Hm (cm)	HT (cm)	Ht-rP (cm)	Hm teo exp (cm)	dif Ht (cm)	difer Hm (cm)	Km teo - exp
	T1	T2	T3																	
1	20,58	20,61	20,53	20,57	0,00105	1,798	18	1,1E-06	46.106	5,4	5,1	0,21	4,82	14,837	19,65	21	16,18	1,35	-1,35	0,982
2	20,62	20,48	20,55	20,55	0,00105	1,801	17	1,1E-06	44.972	5,7	5,4	0,21	4,83	14,871	19,70	21	16,17	1,30	-1,30	0,979
3	17,97	18,01	17,74	17,91	0,00120	2,066	18	1,1E-06	52.972	6,9	6,5	0,28	6,36	19,585	25,94	28	21,64	2,06	-2,06	0,995
4	15,00	15,23	15,13	15,12	0,00142	2,447	16	1,1E-06	59.590	10	9,5	0,35	8,91	27,470	36,38	35	26,09	-1,38	1,38	0,855
5	14,65	14,90	14,77	14,77	0,00146	2,505	17	1,1E-06	62.557	10,5	10	0,35	9,34	28,774	38,11	35	25,66	-3,11	3,11	0,803
6	14,47	14,58	14,65	14,57	0,00148	2,540	19	1E-06	66.690	10,8	10,2	0,42	9,60	29,597	39,20	42	32,40	2,80	-2,80	0,985
7	14,56	14,41	14,59	14,52	0,00148	2,548	18	1,1E-06	65.328	10,7	10,1	0,42	9,67	29,787	39,45	42	32,33	2,55	-2,55	0,977
8	14,35	14,52	14,66	14,51	0,00148	2,550	20	1E-06	68.674	10,7	10,1	0,42	9,68	29,828	39,51	42	32,32	2,49	-2,49	0,975
9	14,41	14,31	14,44	14,39	0,00149	2,572	18	1,1E-06	65.933	11,2	10,6	0,42	9,85	30,342	40,19	42	32,15	1,81	-1,81	0,954
10	14,51	14,16	14,41	14,36	0,00150	2,577	15	1,2E-06	60.943	11	10,4	0,42	9,88	30,455	40,34	42	32,12	1,66	-1,66	0,949
11	14,24	14,09	14,18	14,17	0,00152	2,611	17	1,1E-06	65.220	11,5	10,9	0,42	10,15	31,277	41,43	42	31,85	0,57	-0,57	0,916
12	14,08	14,11	14,21	14,13	0,00152	2,618	18	1,1E-06	67.115	11,4	10,8	0,42	10,20	31,439	41,64	42	31,80	0,36	-0,36	0,91
13	14,00	14,10	14,06	14,05	0,00153	2,633	16	1,1E-06	64.113	11,5	10,9	0,42	10,32	31,798	42,12	42	31,68	-0,12	0,12	0,897
14	13,43	13,52	13,70	13,55	0,00159	2,731	18	1,1E-06	70.004	12	11,4	0,42	11,10	34,205	45,30	42	30,90	-3,30	3,30	0,813
15	13,35	13,51	13,52	13,46	0,00160	2,749	15	1,2E-06	65.018	12,4	11,8	0,42	11,25	34,664	45,91	42	30,75	-3,91	3,91	0,798
16	13,20	13,42	13,52	13,38	0,00161	2,765	18	1,1E-06	70.894	12,8	12,1	0,49	11,38	35,079	46,46	49	37,62	2,54	-2,54	0,965
17	13,39	13,20	13,18	13,26	0,00162	2,791	18	1,1E-06	71.553	13	12,3	0,49	11,60	35,735	47,33	49	37,40	1,67	-1,67	0,942
18	12,99	12,97	12,70	12,89	0,00167	2,871	18	1,1E-06	73.608	13,1	12,4	0,49	12,27	37,817	50,09	49	36,73	-1,09	1,09	0,874

RUTA 1. TUBERIA HIERRO GALVANIZADO

Tramo de 6 a 7

Valores constantes

Longitud 1,09m Ks (m) HG 0,00015

Volumen 0,022m<sup>3</sup>

Diámetro 1" (d interno 0,0272) area=0,00058107m<sup>2</sup>

Ensayo	Tiempo(s)			Tiempo prom (s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	V n (m <sup>2</sup> /s)		Re	P1 (PSI)	P2 (PSI)	rP (mca)	f	Pérdida por fricción		dif Ht (cm)
	T1	T2	T3			Ht teor (cm)	rP exper (cm)								
1	20,6	20,6	20,5	20,6	0,00105	1,798	1,061E-06	46.106	5,1	4,8	0,21	0,033	21,868	21	0,8682
2	20,6	20,5	20,6	20,6	0,00105	1,801	1,089E-06	44.972	5,4	5,15	0,175	0,033	21,947	17,5	4,4466
3	18,0	18,0	17,7	17,9	0,00120	2,066	1,061E-06	52.972	6,5	6,15	0,245	0,033	28,672	24,5	4,1716
4	15,0	15,2	15,1	15,1	0,00142	2,447	1,117E-06	59.590	9,5	8,9	0,42	0,033	40,007	42	-1,9928
5	14,7	14,9	14,8	14,8	0,00146	2,505	1,089E-06	62.557	10	9,45	0,385	0,033	41,824	38,5	3,3238
6	14,5	14,6	14,7	14,6	0,00148	2,540	1,036E-06	66.690	10,2	9,6	0,42	0,033	42,912	42	0,9121
7	14,6	14,4	14,6	14,5	0,00148	2,548	1,061E-06	65.328	10,1	9,5	0,42	0,033	43,222	42	1,2224
8	14,4	14,5	14,7	14,5	0,00148	2,550	0,00000101	68.674	10,1	9,5	0,42	0,033	43,201	42	1,2006
9	14,4	14,3	14,4	14,4	0,00149	2,572	1,061E-06	65.933	10,6	9,9	0,49	0,033	44,012	49	-4,9883
10	14,5	14,2	14,4	14,4	0,00150	2,577	0,00000115	60.943	10,4	9,7	0,49	0,033	44,313	49	-4,687
11	14,2	14,1	14,2	14,2	0,00152	2,611	1,089E-06	65.220	10,9	10,3	0,42	0,033	45,387	42	3,3868
12	14,1	14,1	14,2	14,1	0,00152	2,618	1,061E-06	67.115	10,8	10,1	0,49	0,033	45,573	49	-3,4271
13	14,0	14,1	14,1	14,1	0,00153	2,633	1,117E-06	64.113	10,9	10,2	0,49	0,033	46,174	49	-2,8257
14	13,4	13,5	13,7	13,6	0,00159	2,731	1,061E-06	70.004	11,4	10,75	0,455	0,033	49,504	45,5	4,004
15	13,4	13,5	13,5	13,5	0,00160	2,749	0,00000115	65.018	11,8	11,1	0,49	0,033	50,307	49	1,3074
16	13,2	13,4	13,5	13,4	0,00161	2,765	1,061E-06	70.894	12,1	11,4	0,49	0,032	50,747	49	1,7468
17	13,4	13,2	13,2	13,3	0,00162	2,791	1,061E-06	71.553	12,3	11,6	0,49	0,032	51,678	49	2,6784
18	13,0	13,0	12,7	12,9	0,00167	2,871	1,061E-06	73.608	12,4	11,65	0,525	0,032	54,634	52,5	2,1341



## 7. GUIA DE LABORATORIO

### 7.1 OBJETIVO:

Determinar en el banco experimental las pérdidas de carga hidráulica debidas a la fricción y a los accesorios, además determinar los coeficientes  $K_m$  y  $f$  con la ayuda de los resultados experimentales, teóricos y teórico-experimentales.

### 7.2 ELEMENTOS A UTILIZAR

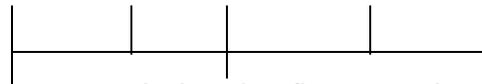
- Banco para determinación de pérdidas por fricción en tuberías y pérdidas menores en accesorios.
- Cronómetro de precisión.
- Termómetro.
- Cinta métrica.
- Formatos de las secciones a evaluar.

### 7.3 PROCEDIMIENTO

- Cuando el sistema esté apagado, elija una de las tres rutas, maniobrando las válvulas de control del aparato.
- Encienda la motobomba y deje fluir el agua para sacar el aire de las tuberías.
- Controle el caudal con la válvula de compuerta ubicada a la entrada del sistema.
- En el tanque aforador y con la ayuda del cronómetro tome el caudal que ingresa al aparato. El área del tanque es de  $0.1075 \text{ m}^2$  y la altura se la elige libremente.
- En el tanque aforador tome la temperatura.
- Desaloje el agua del tanque aforador.
- Elija el elemento a evaluar.
- Abra la válvula purga de las flautas manométricas y cerciórese que la aguja de los manómetros se encuentre en cero.
- Abra los grifos en las flautas pertenecientes al número que le corresponde a los puntos a evaluar y permita que el fluido saque el aire de las mismas.

- Cierre las válvulas purgas de las flautas y lea la presión en el manómetro. La lectura se realizará de la siguiente manera, ejemplo:

**7      7.05      7.1      7.15      7.2**



- Abra las válvulas purga de las dos flautas y cierre los grifos de los puntos ya evaluados.
- Verifique que el caudal no haya variado durante el ensayo, cerciórese tomando nuevamente una lectura de tiempo.
- Elija otro elemento. Si desea evaluar otra ruta apague la motobomba y manibre las respectivas válvulas de control.

#### **7.4 TOMA Y PROCESO DE DATOS.**

En el cuadro 36. Se ingresan los datos básicos como el volumen del tanque determinado por el usuario, los tres tiempos cronometrados, el tiempo promedio y la temperatura del fluido en ese instante, todos en las unidades indicadas. Este cuadro es general para cualquier ruta. Ejemplo.

**Cuadro 36. Datos Básicos.**

Ensayo	Volumen (m <sup>3</sup> )	Tiempo (s)			Tiempo promedio (s)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	T (°C)
		T1	T2	T3			
1	0.0215	14.20	14.18	14.21	14.19	0.00151	15
2	0.0215	17.03	17	17.05	17.02	0.00126	16

El cuadro 37. corresponde al formato de las prácticas en la ruta 1, en el cual están identificados todos los elementos que corresponden a esta sección del aparato, los números anterior y posterior de los mismos, y el espacio donde se ingresan las lecturas. A continuación se muestra un ejemplo de la manera de ingresar los datos:

**Cuadro 37. Ensayos Ruta 1.**

Tipo de accesorio	Lectura. Presión n°	Q <sub>1</sub> P/γ
Válvula de compuerta φ 1 ¼	1	15
	2	13,5
Tubería PVC φ 1 ¼	2	13,5
	3	12
Codo PVC φ 1 ¼	3	12
	4	10,9
Válvula de bola φ 1"	5	9
	6	7,5

Tubería HG $\phi$ 1"	6	7,5
	7	4
Copa reductora $\phi$ 1" a $\frac{1}{2}$ "	7	4
	8	3
Válvula de bola PVC $\phi$ $\frac{1}{2}$ "	8	3
	9	1,5

Para las rutas 2 y 3 se realiza el mismo ejercicio en su respectivo formato.

#### 7.4.1 Procesamiento de datos:

A continuación se presenta los formatos de cálculo para todos los ejercicios posibles que se pueden realizar en el banco como son: el cálculo de pérdidas en accesorios, tuberías, de accesorios con diferencia de cota, cálculos especiales como en la copa reductora (puntos 7 y 8) y tee de paso directo (puntos 15 y 16), y el cálculo del coeficiente de retención  $K_m$  para accesorios; todos antecedidos por sus respectivas definiciones y manera de realizar su cálculo.

#### 7.4.2 Definiciones:

*Ruta*: uno de los tres trayectos por donde el fluido va a realizar su recorrido en el interior del sistema.

*Tramo*: Parte de una ruta que involucra un accesorio o una tubería.

$L_1$ : longitud en metros desde el punto de toma de presión aguas arriba del accesorio hasta donde inicia dicho elemento.

$L_2$ : longitud en metros desde donde termina el accesorio hasta el punto toma de presión ubicado aguas debajo de este elemento.

*Longitud (m)*: Longitud entre dos puntos de toma de presión ubicados en una tubería.

$Z_1 (m)$ : Distancia vertical entre el punto de referencia y el punto toma de presión uno.

$Z_2 (m)$ : Distancia vertical entre el punto de referencia y el punto toma de presión dos.

$Vol (m^3)$ : Volumen predeterminado del tanque de aforo.

*Diámetro  $f (m)$* : Diámetro comercial del accesorio o de la tubería.

*Diámetro interno (m)*: Diámetro real medido entre la paredes internas del tubo.

*Área ( $m^2$ )*: Area real al interior del conducto.

$K_s (m)$ : Rugosidad absoluta de un conducto.

$K_m$ : Factor de retención de un accesorio.

$T_p$  : es el valor medio de tres tiempos cronometrados durante el cual el fluido cubre el volumen predeterminado del tanque de aforo.

$Q$  ( $m^3/s$ ): caudal que está ingresando al sistema.

$V$  ( $m/s$ ): velocidad media en la tubería.

$\nu$  ( $m^2/s$ ): viscosidad cinemática.

$Re$ : Número de Reynolds.

$P_1$  ( $psi$ ): Presión aguas arriba leída por el manómetro.

$P_2$  ( $psi$ ): Presión aguas abajo leída por el manómetro .

$DP$  ( $mca$ ): Diferencia de presión entre los puntos uno y dos en metros de columna de agua.

$f$ : factor de fricción del conducto analizado.

$DP_{experimental}$  ( $cm$ ): Diferencia de presión resultado de las lecturas medida por el manómetro en los puntos toma de presión uno y dos.

$H_f$  teórico ( $cm$ ): Pérdida de presión debido a la fricción, calculada por formula teórica de Darcy weisbach.

$H_m$  teórico (cm): Pérdida de presión debido a un accesorio, calculada por fórmula teórica de Darcy Weisbach.

$H_t$  teórico (cm): Sumatoria de la pérdida por fricción y la pérdida por el accesorio calculadas teóricamente.

$H_m$  teórico-experimental (cm): Pérdida de presión en un accesorio apoyado en el resultado teórico de la pérdida por fricción en la tubería.

Diferencia de  $H_t$  (cm): diferencia de la pérdida de presión por fricción entre la teórica y la experimental.

Diferencia de  $H_m$  (cm): diferencia de la pérdida de presión debida al accesorio entre la teórica y la experimental.

$K_m$  teórico-experimental: Coeficiente de retención calculado valiéndose del resultado del  $H_m$  teórico-experimental y la ecuación de Darcy para calcular pérdidas menores.

$F$  teórico-experimental: Factor de fricción calculado valiéndose del resultado del  $H_t$  experimental y la ecuación de Darcy.

### **7.4.3 Cálculos:**

$$Q = \text{Vol} / T_p$$

$$V \text{ (m/s): } Q \text{ (m}^3\text{/s) / A (m}^2\text{)}$$

$$v \text{ (m}^2\text{/s):}$$

$$\text{Por fórmula: } \mathbf{u} = \frac{0.0178}{1 + (0.0337 \times T) + (0.000221 \times T^2)} \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

A continuación se presenta un listado con el valor de la viscosidad cinemática de acuerdo a su temperatura.

### **Cuadro 38. Tabla de viscosidad cinemática del agua.**

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Viscosidad Cinematica (m<sup>2</sup>/s)</b>
15	1.15E-06
16	1.117E-06
17	1.089E-06
18	1.061E-06
19	1.036E-06
20	1.010E-06

$$\text{Re} = \frac{Vf}{v}$$

P<sub>1</sub> (psi): Lectura del manómetro uno en Lb/plg<sup>2</sup>

$P_2$  (psi): Lectura del manómetro dos en  $\text{Lb/plg}^2$

Vol ( $\text{m}^3$ ): Area del tanque ( $\text{m}^2$ ) \* altura predeterminada (m)

$f$ : factor de fricción: Se calcula iterativamente con la ecuación (19).

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left( \frac{2,51}{\sqrt{f} \text{Re}} + \frac{K_s}{3,71d} \right)$$

$\Delta P$  experimental (mca).  $[ P_1(\text{Lb/plg}^2) - P_2(\text{Lb/plg}^2) ] * 0.7 = H_f$  (exp).

$\Delta P$  experimental con diferencia de cota.  $( P_1 - P_2 ) + ( Z_1 - Z_2 ) = H_f$  (exp)

$P_1$  = Lectura del manómetro en el punto uno en metros de columna de agua.

$P_2$  = Lectura del manómetro en el punto dos en metros de columna de agua.

$Z_1$  = longitud vertical del punto de referencia al punto toma de presión uno.

$Z_2$  = longitud vertical del punto de referencia al punto toma de presión dos.

$H_f$  teórico (cm). Pérdida de presión debido a la fricción, calculada por fórmula teórica de Darcy weisbach. Ecuación (10).

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g}$$

Donde:

$f$  = factor de fricción.

$L$  = longitud de la tubería a evaluar. (m)

$D$  = diámetro interior del conducto.

$V$  = velocidad del flujo. (m/s)

$H_m$  teórico(cm). Pérdida de presión debido a un accesorio, calculada por fórmula teórica de Darcy weisbach. Ecuación (20)

$$H_m = K_m \frac{V^2}{2g}$$

donde:

$H_m$  = energía por unidad de peso en el accesorio

$K_m$  = coeficiente de pérdidas menores en el accesorio

$V$  = velocidad media del flujo en la tubería

$g$  = aceleración de la gravedad

$H_t$  teórico(cm). Sumatoria de la pérdida por fricción y la pérdida por el accesorio teóricamente calculada. Ecuación (21).

$$HT = H_f + H_m$$

$H_m$  teórico-experimental(cm). Pérdida de presión en un accesorio apoyado en el resultado de la pérdida por fricción en la tubería. Ecuación (23)

$$H_m (\text{teórico-experimental}) = H_t (\text{exp}) - H_t (\text{teórico})$$

Diferencia de  $H_f$  (cm). diferencia de la pérdida de presión por fricción entre la teórica y la experimental.

$$\text{Dif } H_f = H_f \text{ exp} - H_f \text{ teór} \quad (26)$$

Diferencia de  $H_m$  (cm). diferencia de la pérdida de presión debida al accesorio entre la teórica y la experimental.

$$\text{Dif } H_m = H_m \text{ exp} - H_m \text{ teór-exp} \quad (27)$$

$K_m$  teórico-experimental. Coeficiente de retención calculado valiéndose del resultado del  $H_m$  teórico-experimental y la ecuación de Darcy para calcular pérdidas menores. Ecuación (25).

$$K_m(\text{exp}) = \frac{H_m \cdot 2g}{V^2}$$

Factor de fricción teórico-experimental. Este valor es calculado valiéndose del resultado diferencial de la lectura de los manómetros y la ecuación de Darcy.

$$f = \frac{2.H_f .D.g}{L.V^2}$$

## CALCULO DE ACCESORIOS

Ruta \_\_\_\_\_. Nombre del accesorio \_\_\_\_\_

Tramo de \_\_\_\_ a \_\_\_\_

### Valores constantes

L1 \_\_\_\_\_ m

Ks \_\_\_\_\_

L2 \_\_\_\_\_ m

Km accesorio \_\_\_\_\_

L total \_\_\_\_\_ m

Volumen \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>

Diámetro \_\_\_\_\_ (d interno \_\_\_\_\_ m), area= \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>

Ensayo	Tiempo(s)			Tiempo prom (s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	V (m/s)	v (m <sup>2</sup> /s)	Re	P1 (PSI)	P2 (PSI)	rP (mca)	f	Hf teor (cm)	Hm teor (cm)	Ht teor (cm)	rP exp (cm)	Hm teo-exp (cm)	dif Ht (cm)	difer Hm (cm)	Km teo-exp	
	T1	T2	T3																		
1																					
2																					
3																					
4																					
5																					
6																					
7																					
8																					
9																					
10																					
11																					
12																					
13																					
14																					
15																					
16																					



RUTA 1. CALCULO COPA REDUCTORA

Tramo de 7 a 8

Valores constantes

L1 0,13m Ks (m) HG 0,0002 Ks (m) PVC 2E-06  
 L2 0,11m Km copa reductora 1,8  
 L total 0,24m Volumen 0,0215 m<sup>3</sup>

1" a 1/2" en hierro galvanizado (tramo 1 HG (d interno= 0,0272m, area= 0,00058107m<sup>2</sup>) tramo 2 PVC (d interno=0,0176m area= 0,00024328 m<sup>2</sup>) (ángulo interno 30°)

Ensayo	Tiempo(s)			Tiempo prom(s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	V I (m/s) tubería HG	Re HG	f tubería HG	Re PVC	V II (m/s) tubería PVC	f tubería PVC	n (m <sup>2</sup> /s)	P1 (PSI)	P2 (PSI)	rP (mca)
	T1	T2	T3												
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															

**RUTA 1. COPA  
REDUCTORA**

Tramo de 7 a 8

**Valores constantes**

L1	0,125m	Ks (m) HG	0,00015
L2	0,11m	Km copa reductora	1,8
L total	0,235m	Volumen	0,0215 m3

1" a 1/2" en hierro galvanizado (tramo 1 HG (d interno= 0,0272m, area= 0,00058107m<sup>2</sup>) tramo 2 PVC (d interno=0,0176m area= 0,00024328 m<sup>2</sup>) (ángulo interno 30°)

Ensayo	Hf 1 tubería HG (cm)	Hf 2 tubería PVC (cm)	Hm Copa reductora (cm)	Hft = Hf 1 + Hf 2 (cm)	Ht= Hf1 + Hf2 + Hm (cm)	rP (cm)	Hm-rP - Hf total (cm)	Difer Ht (cm)	Difer Hm (cm)
<b>Valores teóricos</b>						<b>Vr experimental</b>			

RUTA 2. TEE DE PASO DIRECTO DE 3/4" HG

Tramo de 15 a 16

Valores constantes

L1	0,1m	Ks (m) Hierro galvanizado	0,00015
L2	0,1m	Km tee de paso	0,3
L total	0,2m	Volumen	0,022m <sup>3</sup>

3/4" en hierro galvanizado (tramo 1 HG (d interno= 0,021m, area= 0,00034636m<sup>2</sup> )

a 3/4 en acero inoxidable (d interno=0,0207m, area= 0,000336535m<sup>2</sup> )

Ensayo	Tiempo(s)			Tiempo prom(s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	V I (m/s) tubería HG	Re HG	f tubería HG	V II (m/s) tubería acero inoxidable	Re acero inoxidable	f tubería acero inoxidable	v (m <sup>2</sup> /s)	P1 (PSI)
	T1	T2	T3										
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													

RUTA 2. TEE DE PASO DIRECTO DE 3/4" HG

Tramo de 15 a 16

Valores constantes

L1	0,095m	Ks (m) Hierro galvanizado	0,00015
L2	0,1m	Km tee de paso	0,3
L total	0,195m	Volumen	0,022m <sup>3</sup>

3/4" en hierro galvanizado (tramo 1 HG (d interno= 0,021m, area= 0,00034636m<sup>2</sup> )

a 3/4 en acero inoxidable (d interno=0,0207m, area= 0,000336535m<sup>2</sup> )

Ensayo	P2 (PSI)	rP (mca)	Hf 1 tubería	Hf 2 tubería	Hf total Hf 1 +	Hm Tee paso	Ht= Hf1 + Hf2 +	rP (cm)	Hm=rP - Hf	Difer HT	Difer	Km
			HG (cm)	acero inox(cm)	Hf 2 (cm)	directo (cm)	Hm (cm)		total (cm)			
Valores teóricos								Valor experimental				



## CONCLUSIONES

- ✦ En sistemas donde las longitudes de los conductos son cortas las pérdidas en los accesorios que teóricamente son denominadas menores resultan ser de mayor relevancia.
- ✦ Las pérdidas en los accesorios están directamente relacionadas con la geometría del mismo, ya que las pérdidas se aumentan cuando el líquido experimenta mayor resistencia para fluir.
- ✦ Los valores de los coeficientes de resistencia  $K_m$  en accesorios son estandarizados para cada cual independiente de su diámetro y del material del que están elaborados, como se puede observar en el cálculo teórico experimental de este valor para las válvulas tipo bola a media apertura, para los diámetros 1" y  $\frac{3}{4}$ ". Para la válvula de bola de una pulgada el valor del  $K_m$  teórico experimental promedio fue de 30 y para la de  $\frac{3}{4}$ " fue de 35 que son resultados relativamente similares para ser un valor experimental. Además se logró demostrar que este valor teórico en todos los accesorios de las diferentes rutas y el calculado experimentalmente son aproximados.
- ✦ En las tuberías la rugosidad absoluta influye notoriamente en la modificación del flujo siendo el PVC el material en que menos pérdidas se presentan.
- ✦ Las pérdidas de carga que se presentan a través de las rutas dos y tres son tan significativas que incluso el segundo punto toma de presión de la tubería de acero

inoxidable no registra ninguna lectura para algunos caudales, ya que el manómetro no alcanzó a registrarla.

- ✦ Para la válvula de bola de acero inoxidable no se realizó ningún análisis ya que ni siquiera con el caudal más grande que se le pudo imprimir al aparato (2 Lt/sg) se recibió respuesta por parte del manómetro.
- ✦ De acuerdo con el anexo A, en la ruta número 1 el elemento que presenta mayor porcentaje de error entre los valores teórico y experimental es el codo de 1 ¼" en PVC con un máximo error del 65% bajo un caudal de 1,05 l/s y el mínimo es de 1,77% para un caudal de 1,67 l/s. Mientras que en la copa reductora se presentó los menores porcentajes de error con un 0,74% bajo un caudal de 1,48 l/s.
- ✦ En la ruta 2 la válvula de compuerta de 1 ¼" presentó un porcentaje de error máximo del 57,5% bajo un caudal de 1,68 l/s. El elemento con mayor eficiencia fue la tubería de PVC de 1 ¼" con una pérdida teórica de 7,01 cm y una experimental de 7 cm a un caudal de 1,34 l/s.
- ✦ En la ruta número 3 nuevamente el mayor porcentaje de error se presenta en la válvula de compuerta de 1 ¼" mientras que en la tee de paso lateral se presentó el mayor porcentaje de confiabilidad.
- ✦ Para las válvulas de cálculo especial la válvula de compuerta de 1 ¼" y la de ¾" de apertura presentaron los mejores resultados al momento de comparar los valores teóricos y experimentales.

- ☛ El sistema presenta una mayor eficiencia a mayores caudales.
  
- ☛ El mínimo caudal con el que es posible calcular las pérdidas en el sistema es de 1,05 l/s y el máximo es de 1,9 l/s debido a que el manómetro realiza la lectura en estos intervalos; excepto para las válvulas especiales donde el caudal se reduce hasta 0,4 l/s y es posible obtener respuesta de lectura por parte del manómetro.
  
- ☛ Las discrepancias entre los valores teóricos y experimentales se deben a diversas razones, una de ellas es a la inestabilidad de la motobomba ya que es sensible a los cambios de la energía eléctrica, por otra parte como el aparato es construido artesanalmente las uniones entre los elementos no presentan condiciones ideales, el sistema usado para la toma de presiones no brinda valores de alta exactitud y finalmente, al momento de aforar los caudales pueden presentarse ciertos errores.
  
- ☛ De acuerdo a las pruebas realizadas el banco se comporta de manera muy eficiente dentro del rango normal para instrumentos construidos sin ninguna ayuda de carácter tecnológico.

## RECOMENDACIONES

- ✦ A pesar que el manómetro bourdon utilizado en el sistema es uno de los más sensibles de su clase, para los elementos que experimentan pérdidas de carga muy pequeñas este no es muy preciso. Por lo que se puede adaptar posteriormente en su reemplazo algún tipo de manómetro de mayor exactitud como son los de sistema digital.
- ✦ Debido a que el banco es alimentado por un sistema de bombeo este es sensible a los cambios repentinos de energía eléctrica, por lo tanto es necesario realizar una lectura de caudal adicional cuando se haya terminado de evaluar la ruta elegida para corroborar la lectura en un principio hecha.
- ✦ Cuando se esté evaluando una ruta cualquiera que sea y se desee evaluar inmediatamente otra, se debe desconectar la motobomba y maniobrar las válvulas de control, pues no es recomendable hacerlo ingresando agua al sistema.
- ✦ Efectuar un mantenimiento mensual al equipo, para prevenir su deterioro.
- ✦ Promover la realización de este tipo de proyectos para despertar el interés investigativo de los estudiantes y que a la vez permiten dotar de elementos para la realización de prácticas en el laboratorio.

## BIBLIOGRAFÍA

AZEVEDO NETTO, J.M. et al. Manual de Hidráulica. México: Harla. 1983. 578 p.

GILES, Ronald V. Mecánica de los fluidos e hidráulica. México: Mac Graw Hill, 1983.  
273 p.

MATRAIX, Claudio. Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas. México: Harla. 1982.  
660 p.

MICROSOFT CORPORATION. Enciclopedia® Microsoft® Encarta 2001: © 1993-2000.

MOTT, Robert L. Mecánica de fluidos aplicada. Universidad de Dayton. Barcelona 1996.  
584 p.

RUSSELL, George E. Hidráulica. México: Continental, 1979. 554 p.

SALDARRIAGA V. Juan G. Hidráulica de tuberías. Bogotá: Mc Graw Hill, 1998. 547 p.

SOTELO AVILA, Gilberto. Hidráulica general. Mexico: Limus, 1982. 561 p.

STREETER, Víctor L. et al. Mecánica de Fluidos. México: Mc Graw Hill, 1983. 630 p.

## ANEXOS



UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
 DEPARTAMENTO DE DISEÑO Y CONSTRUCCION  
 PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE HIDRAULICA

Anexo A. Resumen de datos ruta 1

Tipo Accesorio	Caudal (LPS)	Hm(teo) (cm)	Hm(exp) (cm)	e (min) (%)	e (max) (%)	Km(teo)	Km(exp)
Válvula de Compuerta φ 1 1/4	1,46	1,91	1,67	12,56		0,20	0,20
	1,05	0,98	2,49		60,00		
Tuberia PVC φ 1 1/4	1,61	9,74	10,50	7,21		-	-
	1,60	9,81	7,00		28,65		
Codo PVC φ 1 1/4	1,62	10,67	10,86	1,77		0,90	0,89
	1,05	4,43	1,53		65,00		
Válvula de Bola HG φ 1	1,53	31,79	31,68	0,36		0,90	0,92
	1,60	34,66	30,75		11,28		
Tuberia HG φ 1	1,48	42,91	42,00	2,12		-	-
	1,05	21,94	17,50		20,00		
Copa Reductora HG φ 1 * 1/2	1,48	339,86	337,33	0,74		1,80	1,03
	1,05	169,67	174,87		2,97		
Válvula de Bola PVC φ 1/2	1,61	200,12	201,41	0,64		0,90	0,89
	1,05	84,64	90,62		6,59		





Anexo B. Resumen de datos ruta 2

Tipo Accesorio	Caudal (LPS)	Hm(teo) (cm)	Hm(exp) (cm)	e (min) (%)	e (max) (%)	Km(teo)	Km(exp)
Valvula de Compuerta φ 1 1/4	1,43	1,84	1,82	1,22		0,20	0,22
	1,68	2,55	1,08		57,50		
Tuberia PVC φ 1 1/4	1,34	7,01	7,00	0,11		-	-
	1,31	6,93	10,50		34,01		
Codo PVC φ 1 1/4	1,68	11,49	10,66	7,20		0,90	0,82
	1,43	8,28	4,31		47,92		
Tee paso directo HG φ 3/4	1,82	42,10	40,70	3,33		0,30	0,31
	1,50	28,66	23,98		16,33		
Valvula de Compuerta φ 3/4	1,82	28,05	29,09	3,56		0,20	0,22
	1,29	14,17	19,63		27,82		
Tee paso directo HG φ 3/4	1,80	43,58	44,25	1,51		0,30	0,31
	1,34	24,14	19,83		17,84		
Tuberia Acero Inox φ 3/4	1,80	152,90	150,50	1,57		-	-
	1,50	109,66	115,50		5,05		
Valvula de Bola Inox φ 3/4	-	-	-	-	-	-	-



UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
 DEPARTAMENTO DE NARIÑO  
 INSTITUTO DE DISEÑO Y CONSTRUCCION  
 PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE HIDRAULICA

Anexo C. Resumen de datos ruta 3

Tipo Accesorio	Caudal (LPS)	Hm(teo) (cm)	Hm(exp) (cm)	e (min) (%)	e (max) (%)	Km(teo)	Km(exp)
Valvula de Compuerta φ 1 1/4	1,42	1,81	1,79	1,14		0,20	0,27
	1,04	0,97	2,50		60,97		
Tuberia PVC φ 1 1/4	1,34	6,84	7,00	2,34		-	-
	1,26	5,92	3,50		40,90		
Codo PVC φ 1 1/4	1,42	8,14	7,84	3,69		0,90	0,86
	1,34	7,28	4,52		37,93		
Tee paso lateral HG φ 3/4	1,25	119,49	119,67	0,15		1,80	1,78
	1,07	87,04	84,26		3,19		
Valvula de bola HG φ 3/4	1,34	68,70	68,52	0,26		0,90	0,88
	1,13	48,77	43,34		11,14		
Codo HG φ 3/4	1,48	83,64	82,41	1,47		0,90	0,89
	1,13	48,77	44,84		8,07		
Tuberia Acero Inox φ 3/4	1,49	103,28	102,69	0,57		-	-
	1,07	53,92	44,38		17,70		
Valvula de Bola Inox φ 3/4	-	-	-	-	-	-	-



Anexo D. Resumen de datos válvulas especiales

<b>Tipo Accesorio</b>	<b>Apertura</b>	<b>Caudal (LPS)</b>	<b>Hm(teo) (cm)</b>	<b>Hm(exp) (cm)</b>	<b>e (min) (%)</b>	<b>e (max) (%)</b>
Valvula de Compuerta φ 1 1/4"	3/4	1,60	12,03	11,93	0,78	
		1,40	9,07	12,38		26,76
Valvula de Compuerta φ 1 1/4"	1/2	1,00	27,55	27,00	2,01	
		0,53	7,34	10,19		27,92
Valvula de Compuerta φ 1 1/4"	1/4	0,88	82,97	83,28	0,37	
		0,43	20,22	17,29		14,45
Valvula de Compuerta φ 3/4"	3/4	1,90	169,41	171,31	1,10	
		0,82	30,85	32,91		6,26
Valvula de Compuerta φ 3/4"	1/2	0,90	206,52	205,32	0,58	
		0,70	114,02	119,55		4,62
Valvula de Compuerta φ 3/4"	1/4	0,73	549,16	545,75	0,61	
		0,40	193,46	200,37		3,45

