

INTRODUCCIÓN

Para el proceso de enseñanza de diferentes áreas de la ciencia, la fundamentación teórica debe ser complementada con la actividad experimental con el fin de afianzar los conocimientos adquiridos en el aula de clase. En el campo de la formación de ingenieros es de primordial importancia que las entidades de educación superior cuenten con equipos modelo, en escala natural o reducida, para que los alumnos puedan vencer ciertas barreras en el entendimiento de procesos científicos de difícil comprensión.

Por lo general, en el área de la Ingeniería Hidráulica, los equipos utilizados en laboratorios son a escala reducida, aunque, con un manejo adecuado de éstos, pueden ejemplificarse los diferentes principios de manera efectiva.

Por tal motivo, con el fin de aumentar la comprensión de los fenómenos hidráulicos que los estudiantes de Ingeniería Civil, Ambiental, Agronómica y de postgrado aprenden en sus aulas de clase, la Universidad del Magdalena cuenta con el Laboratorio Integrado de Ingeniería Civil (LIIC). El LIIC posee cuatro (4) equipos hidráulicos para la realización de las diferentes actividades experimentales de la materia de Mecánica de Fluidos (figura 1).

Para una operación adecuada de estos y la correcta elaboración de las actividades experimentales, fue realizada esta guía de laboratorio, la cual es un documento de consulta, tanto para docentes como para estudiantes. Esta contiene las especificaciones de las diferentes prácticas de laboratorio que pueden ser realizadas en los cuatro equipos mencionados.

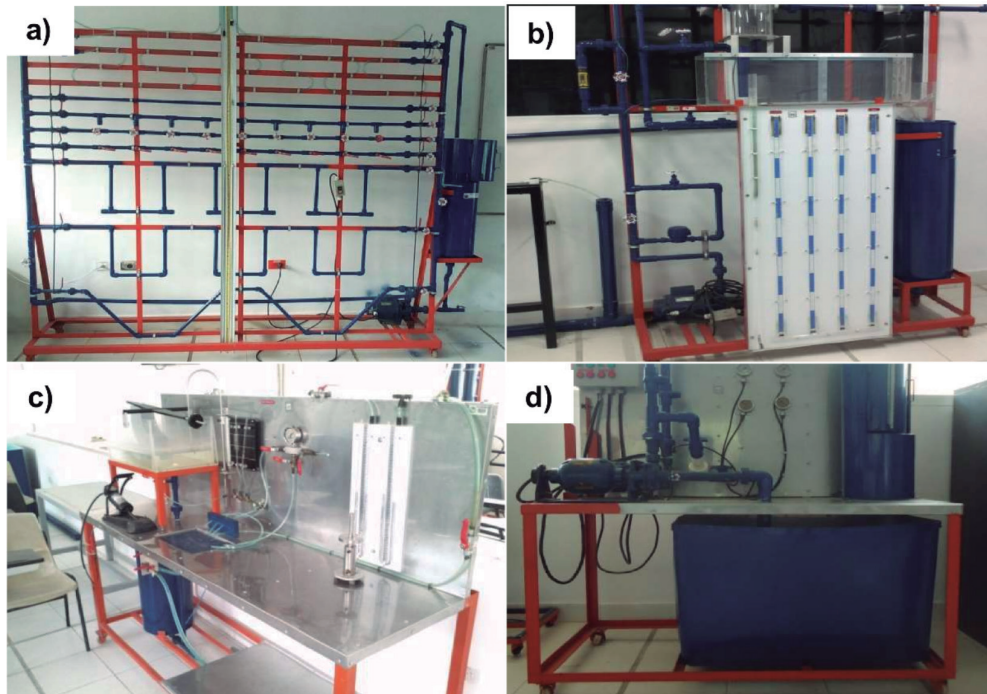


Figura 1. Equipos hidráulicos existentes en el LIIC. a) Red de medición de pérdidas, por fricción y locales, en tuberías comerciales PVC y plástico. b) Sistemas de medidores de flujo. c) Banco hidrostático. d) Sistema de bombas en serie y en paralelo. Fuente: Elaboración propia.

Por consiguiente, es indispensable que antes de la realización de cualquier práctica, el estudiante lea atentamente cada uno de los pasos para el desarrollo de la misma, teniendo en cuenta los datos a coleccionar en cada experiencia. Esta guía se divide en tres partes fundamentales:

- **Descripción y operación de los equipos:** en esta sección del documento se realiza un manual de trabajo de cada uno de los equipos; exponiendo la descripción, operación y funcionamiento de los mismos, con ayuda de planos y fotografías que orientan al lector sobre su utilización. Así mismo, se mencionan las prácticas de laboratorio que pueden desarrollarse con cada equipo.
- **Prácticas de laboratorio:** en este apartado se describen cada una de las prácticas a través de la siguiente estructura:

- **Objetivos, objetivo general y objetivos específicos:** los objetivos aclaran el fin o resultado de la práctica que se realiza. El objetivo general constituye el logro que se quiere alcanzar especificando el proceso a realizar y el efecto final que se espera alcanzar con la práctica de laboratorio. Por otra parte, los objetivos específicos describen los aspectos que son necesarios para dar una respuesta global a la práctica de laboratorio.
- **Fundamentación teórica:** en ella se desarrolla el aspecto conceptual de la práctica. Se especifican los conceptos y fundamentos necesarios, así como la formulación matemática para resolver el ejercicio utilizando las citas bibliográficas correspondientes. En cuanto a la formulación matemática se definen cada una de las variables, así como la unidad de medición de ellas. Esta sección orienta la organización y la colección de datos para la realización de la práctica.
- **Materiales y equipos:** se listan los equipos y materiales a utilizar a lo largo de la práctica, por medio de viñetas.
- **Procedimiento:** en esta parte de la práctica se especifican los pasos a seguir detallando los parámetros a conseguir durante la realización de la práctica.
- **Resultados:** en esta sección el lector anota los datos de manera lógica, a través de tablas y figuras vacías, con el fin de poder ser usados para aplicar las diferentes ecuaciones concernientes a cada práctica.
- **Análisis de incerteza y su propagación:** en algunas prácticas de laboratorio, para los datos colectados en los cuales se requiera repetición en las mediciones, debe ser realizado un análisis de incerteza, para que estas puedan ser propagadas en la aplicación de las diferentes ecuaciones^a.
- **Conclusiones:** esta sección será de escritura libre para que el lector exprese todas sus opiniones sobre la descripción de los fenómenos que se hallaron durante la práctica y los cálculos realizados, recalcando la importancia que tienen y especificando si los objetivos propuestos durante la práctica fueron alcanzados.

a Si el docente del área lo desea, este análisis puede ser obviado para los estudiantes de pregrado.

- **Bibliografía:** La bibliografía utilizada en la guía de las prácticas de laboratorio es referenciada, para que el alumno profundice sobre los procedimientos aplicados y pueda realizar de manera adecuada el informe final.
- **Anexos:** En esta sección el estudiante y el docente contará materiales de apoyo, como discusiones estadísticas, gráficos, entre otros, que son necesarios para complementar la información suministrada en cada práctica.

1. DESCRIPCIÓN Y OPERACIÓN DE LOS EQUIPOS

A continuación, será presentada la descripción y operación de cada uno de los equipos disponibles en el Laboratorio Integrado del programa de Ingeniería Civil (LIIC) para las prácticas de mecánicas de fluidos e hidráulica. Antes de realizar alguna practica experimental, es indispensable que sean leídas las diferentes directrices del funcionamiento de los equipos que se describen en este ítem, para que el alumno pueda realizar una manipulación de éstos con las debidas precauciones.

Cabe resaltar que, los equipos correspondientes a los ítems 1.1, 1.2, 1.3 y 1.4 fueron fabricados por la empresa HIDROCONSULTORES LTDA (HIDROCONSULTORES, 2007) y con base en el manual de usuario proporcionado por ésta, fueron realizadas sus respectivas descripciones e instrucciones para su operación.

1.1. RED DE MEDICIÓN DE PÉRDIDAS, POR FRICCIÓN Y LOCALES, EN TUBERÍAS COMERCIALES PVC Y PLÁSTICO.

1.1.1. PRÁCTICAS CORRESPONDIENTES AL EQUIPO

- Determinación del coeficiente de fricción longitudinal (ítem 2.1).
- Determinación del coeficiente de pérdidas locales y longitud equivalente (ítem 2.2).
- Tuberías en serie (ítem 2.3).
- Tuberías en paralelo (ítem 2.4).

1.1.2. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

Con base en la figura 2, son descritos a continuación cada uno de los elementos de dicho equipo, a los que se les asignaron números y letras:

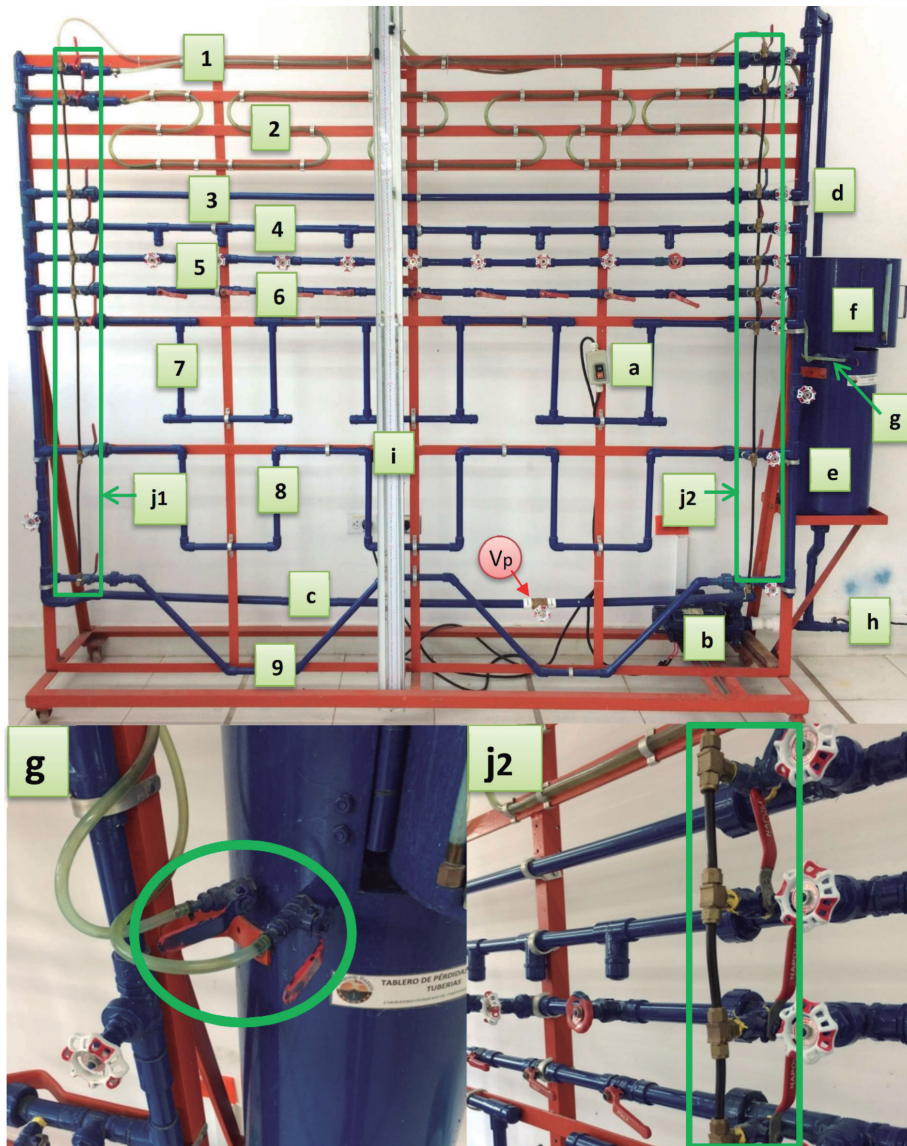


Figura 2. Identificación de los diferentes componentes del equipo de Red de medición de pérdidas, por fricción y locales, en tuberías comerciales PVC y plástico. En las subfiguras g y j2 se detallan las válvulas de purga de aire y las tomas piezométricas (del lado derecho), respectivamente. Fuente: Elaboración propia.

- **Válvula (vp):** Válvula principal que regula la entrada del agua a todo el sistema.
- **Elemento (a):** interruptor ON/OFF para encender y apagar la bomba centrífuga.
- **Elemento (b):** bomba centrífuga con motor de 1/4 hp y diámetros de succión y de descarga 3/4"×3/4".
- **Tubería (c):** es la tubería de suministro de agua que conecta a la bomba centrífuga con el sistema. Posee un diámetro nominal de de pulgada y el material es de PVC.
- **Tubería (d):** es la tubería que retorna el agua de la red de medición al tanque de suministro o la descarga al tanque de aforo.
- **Elemento (e):** tanque de suministro del cual la bomba succiona el agua utilizada en el sistema.
- **Elemento (f):** tanque de aforo, con el cual se pueden realizar las mediciones de caudales para las diferentes prácticas.
- **Elemento (g):** válvulas de purga de aire. Usadas para la expulsión de aire de la columna manométrica.
- **Elemento (h):** válvula de limpieza del sistema. Usada para procesos de mantenimiento y cambio del agua del tanque de suministro.
- **Elemento (i):** columna manométrica con mercurio
- **Elementos (j1) y (j2):** toma piezométrica izquierda y derecha, respectivamente. Colocadas en la entrada y la salida de las tuberías horizontales (desde la 1 hasta la 9) que, a través de tuberías de nylon ($D = 5/16$ de pulgadas), permiten la conexión de estas con la columna manométrica y así poder medir las diferencias de presión en la tubería que sería utilizada. Las tomas piezométricas son reguladas a través de válvulas de bola.

Cabe resaltar que al final de cada tramo de las tuberías horizontales de la 1 a la 9, se encuentran instaladas válvulas de compuerta con el fin de permitir, o no, el flujo en cualquiera de éstas. Además, en los extremos derecho e izquierdo del sistema se encuentran dos tuberías verticales ($D = 3/4$ de PVC y de pulgadas), que distribuyen el agua a los ramales horizontales. La tubería vertical izquierda posee una válvula de compuerta que regula el suministro de agua a las (1) hasta la (8). La vertical derecha posee otra válvula de compuerta que regula la salida de agua a las tuberías 8 y 9.

Tabla 1. Descripción de las tuberías 1 hasta la 9 de la figura 2

Tubería	Material	Diámetro nominal (in)	Longitud (m)	Forma	Accesorios en medio de la tubería
1	Plástico transparente	3/8	1,96	Recta	No posee
2	Plástico transparente	3/8	6 (recta)	Serpentín	No posee
3	PVC	1/2	1,96	Recta	No posee
4	PVC	1/2	1,96	Recta	9 tees de paso directo
5	PVC	1/2	1,96	Recta	9 válvulas de compuerta
6	PVC	1/2	1,96	Recta	9 válvulas de bola
7	PVC	1/2	3,76 (recta)	Giros de 90°	12 tees con derivación a 90°
8	PVC	1/2	3,76 (recta)	Giros de 90°	12 codos de 90°
9	PVC	1/2	2,20 (recta)	Giros de 45°	8 codos de 45°

Fuente: Elaboración propia.

1.1.3. OPERACIÓN EN EL EQUIPO PREVIA A LA ELABORACIÓN DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Para una correcta operación del equipo en la elaboración de las cuatro prácticas que le corresponden, el tanque de succión debe estar lleno de agua, las tomas piezométricas [elementos (j1) y (j2)] deben estar cerradas (apuntando hacia arriba). La apertura y el cierre de las válvulas y tomas piezométricas debe realizarse de forma lenta, para evitar altas presiones por efecto del Golpe de Ariete (Rodríguez Díaz, 2005). Por tal motivo, también es indispensable que de manera previa se extraigan las burbujas de aire en el sistema acompañando los siguientes pasos en el orden descrito:

- Abrir todas las válvulas de las tuberías, excepto la principal Vp.
- Encender la bomba centrífuga a través del interruptor ON/OFF [elemento (a)].
- Abrir hasta la mitad la válvula de principal Vp.
- Abrir las válvulas de purga de aire que se encuentran en el tanque de succión [elemento (e)].
- Abrir las tomas piezométricas [elementos (j1) y (j2)] desde la tubería 9 hasta la 1, de izquierda a derecha.
- Verificar la salida de las burbujas de aire, observando las tuberías plásticas 1 y 2.
- Cerrar las tomas piezométricas [elementos (j1) y (j2)] desde la tubería 9 hasta la 1, de izquierda a derecha.
- Cerrar las válvulas de purga de aire que se encuentran en el tanque de succión [elemento (e)].
- Cerrar todas las válvulas que se encuentran al final de las tuberías horizontales desde la 9 hasta la 1.
- Cerrar la válvula que se encuentra en la tubería vertical izquierda.
- Apagar la bomba centrífuga a través del interruptor ON/OFF.

Después de haberse realizado la extracción de las burbujas de aire en el sistema, puede procederse a la realización de las cuatro prácticas que corresponden a este equipo.

1.1.4. FORMA CORRECTA DE APAGAR EL EQUIPO DESPUÉS DE REALIZAR ALGUNA PRÁCTICA DE LABORATORIO.

Para poder apagar de forma correcta el equipo, se debe disipar la presión ejercida por el agua en el manómetro. Por tal motivo, es indispensable seguir los siguientes pasos:

- Verificar que, al menos, una tubería se encuentre en funcionamiento, es decir, que esté fluyendo agua en ella.
- Abrir las tomas piezométricas de alguna tubería que no se encuentre en funcionamiento o que su válvula de compuerta esté cerrada.
- Cerrar las tomas piezométricas de la(s) tubería(s) que se encuentra(n) funcionando y esperar que las columnas de mercurio se estabilicen a una misma altura.
- Cerrar las tomas piezométricas de la tubería en donde no está fluyendo agua.
- Cerrar la(s) válvula(s) de compuerta de la(s) tubería(s) que se encuentra(n) en funcionamiento.
- Apagar la bomba centrífuga a través del interruptor ON/OFF.

1.2. SISTEMA DE MEDIDORES DE FLUJO

1.2.1. PRÁCTICAS CORRESPONDIENTES AL EQUIPO

- Calibración de medidores en conductos cerrados (ítem 2.5).

1.2.2. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

Con base en la figura 3, son descritos a continuación cada uno de los elementos de dicho equipo, a los que se les asignaron números y letras:

- **Bomba:** Bomba centrífuga con motor de 1/4 *hp* y diámetros de succión y de descarga 3/4" x 3/4".
- **Elemento (a):** Interruptor ON/OFF para encender y apagar la bomba centrífuga.
- **Elemento (b):** Rotámetro.
- **Elemento (c):** Medidor de tobera.
- **Elemento (d):** Medidor de diafragma.
- **Elemento (e):** Medidor de Venturi.
- **Elemento (f):** Canal transparente en acrílico.