

---

# **HIDRÁULICA Y RIEGOS:**

## **PRÁCTICAS DE LABORATORIO Y DE CAMPO**

---



**JOSÉ L. CALLEJÓN BAENA**  
**ANTONIO ZAPATA SIERRA**  
**JOSÉ G. LÓPEZ SEGURA**  
**JUAN RECA CARDEÑA**  
**JUAN MARTÍNEZ LÓPEZ**  
**ALBERTO LOSADA VILLASANTE**

**Universidad de Almería**  
**Servicio de Publicaciones**

---

**Hidráulica y Riegos. Practicas de Laboratorio y de Campo**

© del texto: José L. Callejón Baena  
Antonio Zapata Sierra  
José G. López Segura  
Juan Reca Cardeña  
Juan Martínez López  
Alberto Losada Villasante

© de la edición: Universidad de Almería, Servicio de Publicaciones

Imprime: CENTRO DE GESTIÓN INFORMÁTICA S.A.

Almería, 1999

ISBN: 84-8240-201-3

Depósito Legal: AL-47-1999



**UNIVERSIDAD DE ALMERÍA**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA RURAL**

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA RURAL  
UNIVERSIDAD DE ALMERÍA



**UNIDAD DE HIDRÁULICA Y RIEGOS:**  
**PROTOCOLOS DE PRÁCTICAS**

**PARA LAS TITULACIONES DE**  
**INGENIERÍA TÉCNICA AGRÍCOLA E INGENIERO AGRÓNOMO**

Almería, junio de 1996

**Profesores:**

José L. Callejón Baena  
Antonio Zapata Sierra  
José G. López Segura  
Juan Reca Cardeña  
Juan Martínez López

**Coordinación:**

Alberto Losada Villasante

UNIDAD DE HIDRÁULICA Y RIEGOS: PROGRAMAS DE LAS ASIGNATURAS Y  
PROTOCOLOS DE PRÁCTICAS

<b>PRÁCTICA L-1: DEMOSTRACIÓN DE BERNOULLI .....</b>	<b>1</b>
<b>PRÁCTICA L-2: GASTO EN GOTEROS.....</b>	<b>6</b>
<b>PRÁCTICA L-3: PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS .....</b>	<b>10</b>
<b>PRÁCTICA L-4: PÉRDIDAS DE CARGA EN SINGULARIDADES .....</b>	<b>14</b>
<b>PRÁCTICA L-5: REDES DE TUBERÍAS EN SERIE Y PARALELO .....</b>	<b>18</b>
<b>PRÁCTICA L-6: AFORO EN TUBERÍAS .....</b>	<b>22</b>
<b>PRÁCTICA L-7: AFORO EN ACEQUIAS.....</b>	<b>26</b>
<b>PRÁCTICA L-8: CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UNA BOMBA .....</b>	<b>30</b>
<b>PRÁCTICA L-9: SISTEMA DE BOMBEO COMPLEJO: CONEXIÓN DE BOMBAS EN SERIE Y EN PARALELO.....</b>	<b>34</b>
<b>PRÁCTICA L-10: FLUJO PERMANENTE EN SUELOS SATURADOS, HOMOGÉNEOS Y ESTRATIFICADOS.....</b>	<b>39</b>
<b>PRÁCTICA L-11: DISTRIBUCIONES DE EQUILIBRIO DE LA PRESIÓN DEL AGUA DENTRO DE SUELOS HOMOGÉNEOS Y ESTRATIFICADOS.....</b>	<b>43</b>
<b>PRÁCTICA L-12: INFILTRACIÓN VERTICAL Y HORIZONTAL EN COLUMNAS DE SUELO HOMOGÉNEAS.....</b>	<b>45</b>
<b>PRÁCTICA L-13: MOVIMIENTO DE VAPOR A TRAVÉS DEL SUELO.....</b>	<b>47</b>
<b>PRÁCTICA L-14: EVAPORACIÓN DESDE EL SUELO, EN FUNCIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE LA CAPA FREÁTICA.....</b>	<b>49</b>
<b>PRÁCTICA C-1: RAMAL CON EMISORES REGULARMENTE DISTRIBUIDOS: GOTEO .....</b>	<b>51</b>
<b>PRÁCTICA C-2: EVALUACIÓN DE UNIDADES DE RIEGO POR GOTEO.....</b>	<b>54</b>
<b>PRÁCTICA C-3: INFILTRACIÓN EN CILINDRO.....</b>	<b>61</b>
<b>PRÁCTICA C-4: RIEGO POR ESCURRIMIENTO EN SURCOS .....</b>	<b>67</b>
<b>PRÁCTICA C-5: RIEGO POR ASPERSIÓN.....</b>	<b>76</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA SOBRE ENSAYOS Y PRÁCTICAS:.....</b>	<b>85</b>

## PRÁCTICA L-1: DEMOSTRACIÓN DE BERNOULLI

Las relaciones de energía en el agua condicionan su comportamiento. No vamos a entrar en detalles analíticos para fundamentar la relación funcional entre las variables que intervienen. Solo expondremos unas ideas básicas relativas a corrientes de agua y aplicables al diseño de equipos para la aplicación de agua de riego.

Es usual el empleo del concepto de *energía específica*: hablar de energía por unidad de peso equivale a hablar de carga o altura, y para el ingeniero hidráulico resulta familiar referirse a la *carga* como energía mecánica disponible expresándola en mca (metros de columna de agua) que resultan de la suma:

$$\frac{p}{\gamma} + z + \frac{u^2}{2g} = H$$

La capacidad de uso de **H** queda definida por su *desnivel entre puntos dentro de una masa de agua continua*, más que por los valores absolutos correspondientes: la variación entre el nivel en origen y el nivel final es el condicionante fundamental para la corriente que se produce entre uno y otro extremos.

La energía mecánica total del agua en movimiento consta de tres sumandos: energía de presión, energía potencial y energía cinética. Referida a energía por unidad de peso, ya ha sido expresada en la ecuación anterior, donde la energía específica **H**, con la dimensión de una longitud, se llama carga total y representa la altura que resulta al tomar sobre la posición de la partícula fluida (cota **z**) una longitud equivalente a la altura de presión [**p/γ**] y añadir otra longitud igual a la altura de velocidad [**u<sup>2</sup>/2g**].

La aplicación del teorema de BERNOULLI al estudio de corrientes líquidas establece, en el caso del movimiento del agua en régimen permanente y considerando a la misma como fluido perfecto (viscosidad nula) e incompresible, que la energía mecánica total por unidad de peso se conserva a lo largo de un filamento de corriente:

$$H = \frac{p}{\gamma} + z + \frac{u^2}{2g} = \text{cte}$$

Este teorema constituye una simplificación del proceso, por

cuanto el agua no puede considerarse como fluido perfecto. En realidad, a lo largo de un filamento fluido, **H** no es constante sino que sufre una variación representada por un sumando, debido a la viscosidad, que significa un intercambio energético con los filamentos vecinos y una disipación de energía en calor. Aunque esta energía no es utilizable en el sistema hidráulico, no por ello desaparece, y la ecuación de la conservación de la energía a lo largo de un filamento de corriente podría expresarse como [**H + h<sub>f</sub> = cte**], donde **h<sub>f</sub>** representa el trabajo consumido por la unidad de peso fluido contra las fuerzas de rozamiento, y se denomina *pérdida de carga* o pérdida por rozamiento.

Si sobre cada uno de los puntos de un filamento de corriente levantamos una vertical y tomamos un segmento equivalente a la altura de presión de la partícula fluida correspondiente, el lugar de los puntos que obtendremos se llama *línea piezométrica* (ver figura 1). A cada partícula fluida corresponde un nivel piezométrico [**h = p/γ + z**]

sobre el plano de comparación. Si sobre cada punto de la línea piezométrica levantamos ahora un segmento equivalente a la altura de velocidad de la partícula fluida a que corresponde, obtendremos la *línea de energía* (lugar geométrico de la carga total **H**).

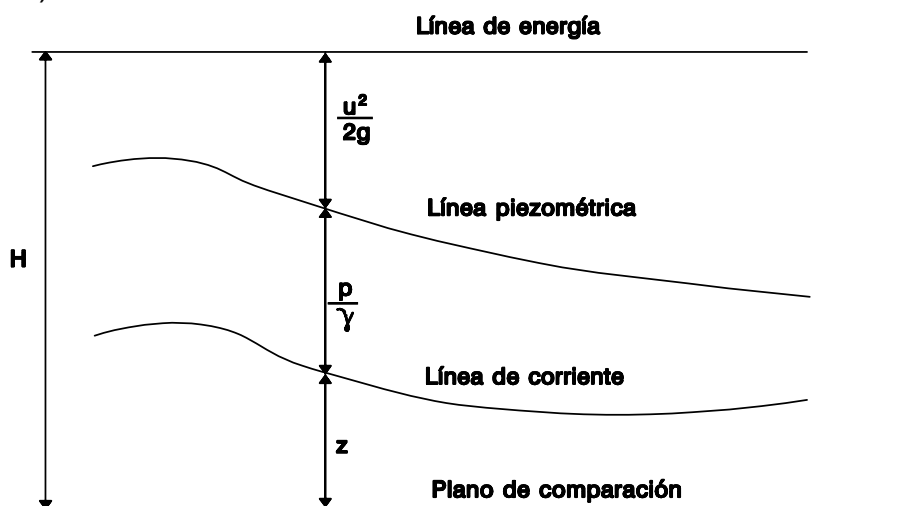


FIG. 1: Líneas de posición, piezométrica y de energía

El objetivo de esta prueba es ilustrar las circunstancias en las cuales el teorema de BERNOULLI puede ser aplicado. Asimismo, familiarizar al alumno con los procesos de intercambio energético entre los diferentes sumandos que componen la energía total de un fluido en movimiento.

Cada ensayo consiste en una serie de operaciones destinadas a obtener las líneas piezométricas y de energía a lo largo de un tramo de tubería uniforme en el que se interpone un estrechamiento a modo de venturi invertido. Su ejecución será encomendada a un grupo de trabajo compuesto por (5) miembros<sup>(1)</sup>.

<sup>1</sup> Los datos entre paréntesis son orientativos y deberán ser ajustados a las condiciones específicas de cada ensayo.

### A. Equipo e instalaciones.

El dispositivo experimental se compone de los siguientes elementos (ver figura 2):

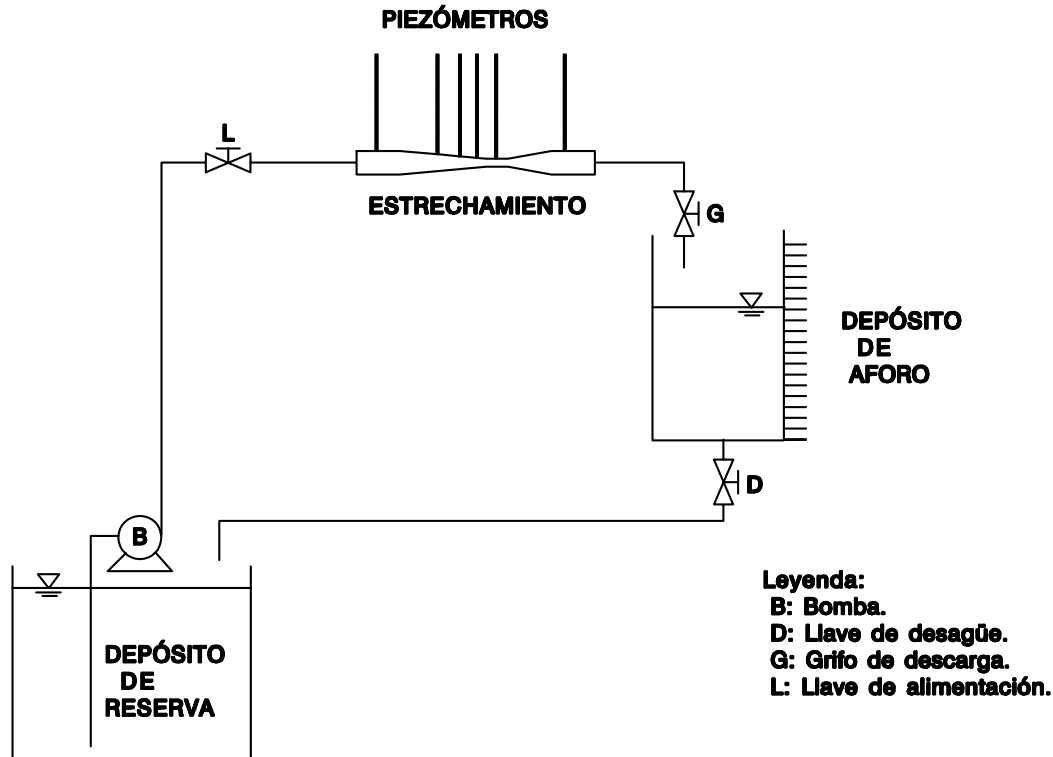


FIG. 2: Esquema de la instalación.

- Depósito reserva para alimentación y recirculación, con 160 L de capacidad.
- Bomba centrífuga de 0,36 kW.
- Llave L, de alimentación.
- Tubería uniforme y estrechamiento con tomas de presión (ver figura 3).
- Batería con 8 piezómetros.
- Grifo G, de descarga.
- Dos depósitos de aforo, de 6 y 40 L.
- Cronómetro.
- Hoja de campo para el registro de datos.
- Varios: tuberías, conexiones, etc.

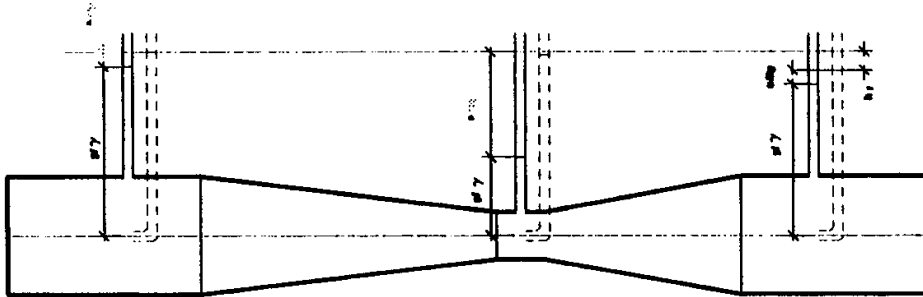


FIG 3: Cambios de energía total y piezométrica en un estrechamiento

### **B. Procedimiento.**

Desarrollo de la prueba:

1. Poner en marcha la bomba y maniobrar las llaves de alimentación y descarga hasta conseguir el régimen deseado.
2. Controlar el tiempo de descarga necesario para llenar un volumen prefijado en el depósito de aforo.
3. Anotar las alturas de columna de agua observadas en los piezómetros con toma situada a lo largo del conducto.
4. Anotar las lecturas de energía total medidas en el filamento central de la corriente mediante el desplazamiento longitudinal del microtubo metálico (tubo de pitot).
5. Establecer un nuevo régimen de funcionamiento modificando la posición de las llaves de alimentación y descarga, y repetir los pasos 2 a 4.

### **C. Informe.**

1. Representar la curva piezométrica y la línea de energía a lo largo del venturí y para cada punto de funcionamiento.
2. Comentar los resultados obtenidos con la prueba.

### DEMOSTRACIÓN DEL TEOREMA DE BERNOULLI

Fecha:

**Datos de laboratorio:**

Volumen de aforo (L):                      Tiempo (s):

	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	Toma 6	Toma 7
h (mm)							
H (mm)							

Volumen de aforo (L):                      Tiempo (s):

	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	Toma 6	Toma 7
h (mm)							
H (mm)							

Volumen de aforo (L):                      Tiempo (s):

	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	Toma 6	Toma 7
h (mm)							
H (mm)							

## PRÁCTICA L-2: GASTO EN GOTEROS

El objetivo de esta prueba es el estudio experimental del funcionamiento hidráulico de un modelo de gotero.

Cada ensayo consiste en una serie de operaciones destinadas a obtener datos con los que determinar los parámetros característicos de gasto del gotero, el coeficiente de variación y la desviación del gasto medio respecto al nominal. Su ejecución será encomendada a un grupo de trabajo compuesto por entre 5 y 8 miembros.

### A. Equipo e instalaciones.

El sistema experimental se compone de los elementos que se enuncian a continuación (ver figura 4):

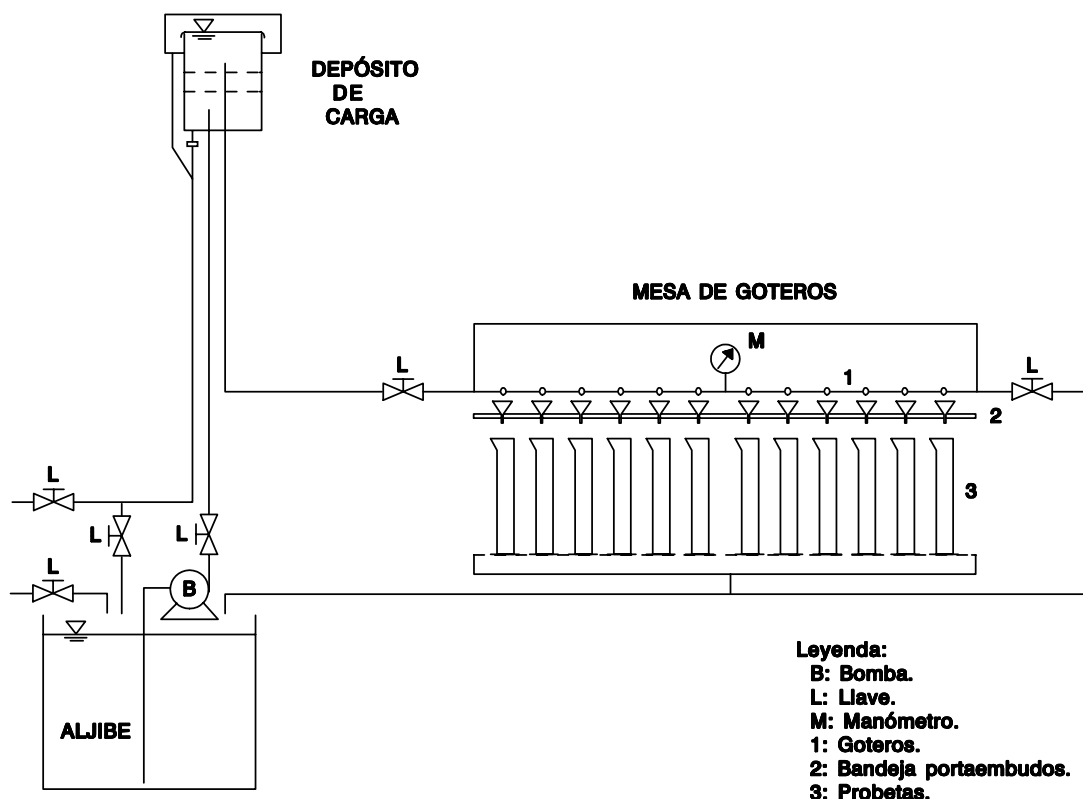


FIG 4: Esquema de mesa de goteros.

- Depósito de carga constante, en sistema con recirculación.
- Mesa de ensayo de goteros, con llaves reguladoras de presión.
- Manómetro de precisión.

- Muestra aleatoria y representativa de unos 25 goteros.
- Cronómetro.
- Veinticinco probetas de un litro de capacidad.
- Termómetro.
- Hoja de campo para el registro de datos.
- Varios: sacabocados, navaja, cinta métrica, etc.

## **B. Procedimiento.**

0. Fase previa:
  - 0.1. Seleccionar la muestra de goteros a estudiar.
  - 0.2. Instalar los goteros en la mesa de ensayo, de forma que toda el agua que suministra cada gotero caiga en el embudo que le corresponda.
  - 0.3. Comprobar que las llaves de conexión a los manómetros están cerradas.
1. Desarrollo del ensayo:
  - 1.1. Poner en marcha la bomba y abrir las llaves de servicio al depósito y a la mesa.
  - 1.2. Purgar los manómetros y situarlos en la posición de trabajo.
  - 1.3. Maniobrar lentamente la llave de acometida de la mesa hasta alcanzar la presión deseada.
  - 1.4. Afinar el ajuste a la presión deseada con ayuda de las llaves de descarga.
  - 1.5. Vaciar las probetas y colocarlas próximas a la descarga, pero sin que el agua caiga en su interior.
  - 1.6. Al tiempo de desplazar la bandeja portaembudos, para iniciar simultáneamente la descarga en todas las probetas, poner en marcha el cronómetro.
  - 1.7. Con un movimiento inverso de la bandeja portaembudos, interrumpir la descarga en las probetas, antes de que alguna llegue a desbordar.
  - 1.8. Medir y registrar la presión de trabajo, la aportación de los goteros y el tiempo de descarga.
  - 1.9. Repetir las operaciones anteriores (1.3 a 1.8), con varias presiones de funcionamiento, a intervalos que abarquen la presión propia del gasto nominal (en general, 100 kPa).

**C. Informe.**

1. Representar la curva de gasto del gotero y calcular sus parámetros característicos.
2. Determinar el coeficiente de variación a la presión nominal.
3. Calcular la desviación del caudal medio respecto del caudal nominal.
4. Discutir la calidad del gotero estudiado.

**ENSAYO DE GASTO EN GOTEROS**

Fecha:

Modelo de gotero:

Tipo:

**Datos de laboratorio:**

Temperatura del agua: °C

Gotero	p(kPa): t(min):	p(kPa): t(min):	p(kPa): t(min):	p(kPa): t(min):	p(kPa): t(min):	p(kPa): t(min):	p(kPa): t(min):	p(kPa): t(min):
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								

## PRÁCTICA L-3: PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS

El objetivo de esta práctica es estudiar experimentalmente las pérdidas de energía que se producen en una corriente de agua cuando atraviesa un tramo de tubería de sección circular y uniforme. Por la tubería, de dimensiones conocidas, se hacen circular secuencialmente diversos caudales, que son determinados volumétricamente. Asimismo, se miden las diferencias de energía entre los extremos. Con estos datos es posible verificar la ecuación de pérdidas de carga por rozamiento e investigar los efectos de los regímenes laminar y turbulento.

### **A. Equipo e instalaciones (ver figura 5).**

El dispositivo experimental se compone de los siguientes elementos:

- Depósito de reserva para alimentación y recirculación, con 160 L de capacidad.
- Bomba centrífuga de 0,36 kW.
- Llave L, de alimentación.
- Depósito de carga constante de 1 L de capacidad.
- Tubería de 3 mm de diámetro interior y 560 mm de longitud, con una distancia entre tomas de presión de 510 mm.
- Tomas de presión con conexiones a piezómetros.
- Manómetro diferencial de agua para medir pequeñas diferencias de presión.
- Manómetro diferencial de mercurio para medir grandes diferencias de presión.
- Grifo G, de descarga.
- Dos depósitos de aforo, uno de 6 y el otro de 40 L.
- Probeta graduada de 1 L de capacidad.
- Cronómetro.
- Termómetro.
- Hoja para el registro de datos.
- Varios: navaja, tuberías, conexiones rápidas, etc.

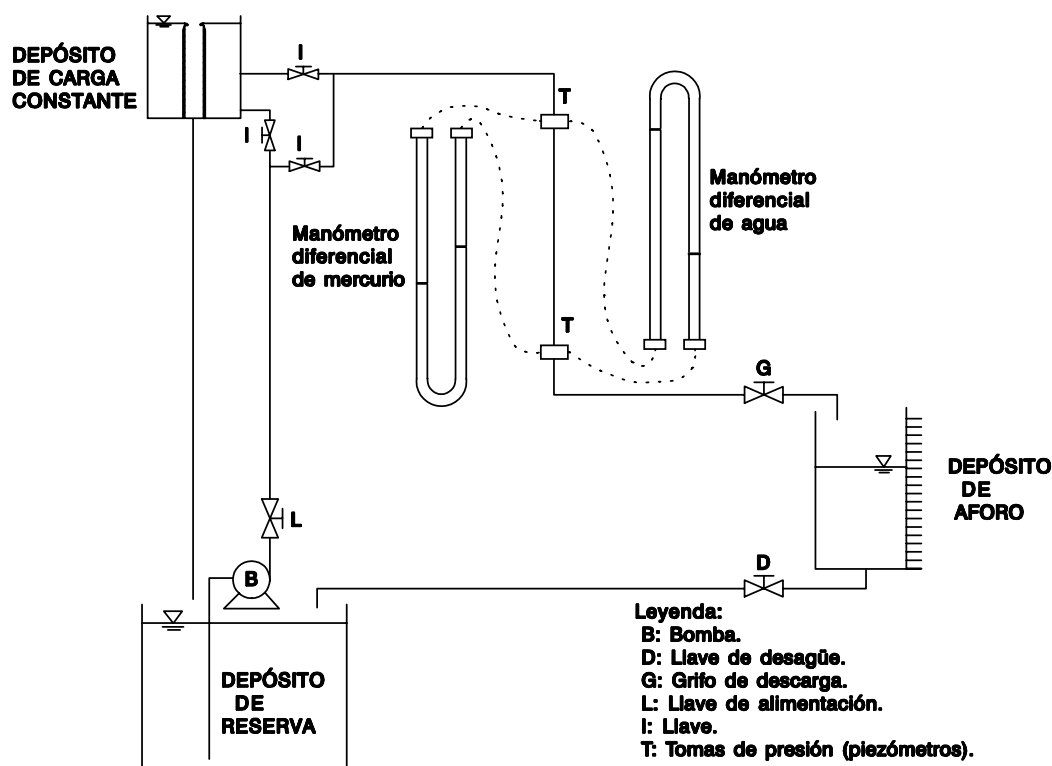


FIG. 5: Esquema de la instalación.

## B. Procedimiento.

Desarrollo de la prueba:

1. Colocar las conexiones necesarias para alimentar a la tubería del depósito de carga constante.
2. Comprobar que la llave de alimentación está cerrada y poner en marcha la bomba.
3. Abrir lentamente la llave de alimentación
4. Maniobrar el grifo de descarga hasta establecer el régimen de funcionamiento deseado.
5. Controlar el tiempo de descarga necesario para llenar de agua un volumen prefijado en el depósito de aforo.
6. Anotar en la hoja correspondiente las lecturas de los piezómetros, volumen aforado, tiempo de llene y temperatura del agua.
7. Establecer progresivamente diversos regímenes de funcionamiento modificando la posición del grifo de descarga, y repetir en cada caso los pasos 4 a 6.

8. Cerrar el grifo de descarga, parar la bomba y cambiar las conexiones para alimentar la tubería directamente de la bomba. Repetir los pasos 2 a 7. Cuando la pérdida de energía no se pueda medir con el manómetro diferencial de agua, utilizar el de mercurio.

### **C. Informe.**

1. Determinar el caudal, la velocidad, número de REYNOLDS y el factor de rozamiento en cada caso.
2. Representar sobre el diagrama de MOODY la relación experimental entre el factor de rozamiento y el número de REYNOLDS. Determinar la aspereza de la tubería.
3. Comparar los valores experimentales de las pérdidas de energía con los obtenidos por la aplicación de las ecuaciones de BLASIUS y de HAZEN-WILLIAMS ( $C = 150$ ).
4. Discutir los resultados obtenidos.

### **D. Ecuaciones a utilizar:**

\* DARCY-WEISBACH: 
$$h_f = f \left( \frac{k}{D}, - \right) \frac{L}{D} \frac{U^2}{2g} \quad (1)$$

\*BLASIUS: 
$$h_f = 7,78 \times 10^{-4} Q^{1,75} D^{-4,75} L \quad (2)$$

\*HAZEN-WILLIAMS: 
$$h_f = \left( \frac{U}{0,85 C R^{0,63}} \right)^{1,852} L \quad (3)$$

**PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS**

Fecha:

**Datos de laboratorio:**

Longitud (m):

Diámetro interior (mm):

Temperatura del agua (°C):

Puntos	Volumen (L)	Tiempo (s)	AGUA		MERCURIO	
			h <sub>1</sub> (mm)	h <sub>2</sub> (mm)	h <sub>1</sub> (mm)	h <sub>2</sub> (mm)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						

## PRÁCTICA L-4: PÉRDIDAS DE CARGA EN SINGULARIDADES

El objetivo de esta práctica es estudiar experimentalmente las pérdidas de energía que se producen en una corriente de agua cuando atraviesa diversas singularidades. La instalación utiliza un sistema con diferentes tipos de curvas, cambios de sección y una llave de compuerta. Todas estas piezas están dispuestas en serie, en un recorrido único por el que se hacen circular secuencialmente diversos gastos, que son determinados volumétricamente. Asimismo, se miden las pérdidas de presión motivadas por cada pieza. Con los datos obtenidos, se calculan los coeficientes experimentales correspondientes a cada velocidad en cada uno de los diferentes dispositivos estudiados, y se comparan las pérdidas ocasionadas por éstos.

### **A. Equipo e instalaciones.**

El equipo se compone de los siguientes elementos (ver figura 6):

- Depósito de reserva para alimentación y recirculación, con 160 L de capacidad.
- Bomba centrífuga de 0,36 kW.
- Llave L, de alimentación.
- Tubería de 19,48 mm de diámetro interior.
- Singularidades: Curva larga, ensanchamiento brusco a una tubería de 26,2 mm, estrechamiento brusco de nuevo a una tubería de 19,48 mm, curva corta, codo de 90°, llave de compuerta e inglete.
- Tomas de presión con conexiones a piezómetros.
- Batería con 12 piezómetros de 0 a 440 mm.
- Grifo G, de descarga.
- Manómetro analógico diferencial.
- Dos depósitos de aforo de 6 y 40 L, respectivamente
- Cronómetro.
- Termómetro.
- Hoja para el registro de datos.
- Varios: navaja, tuberías, conexiones rápidas, etc.

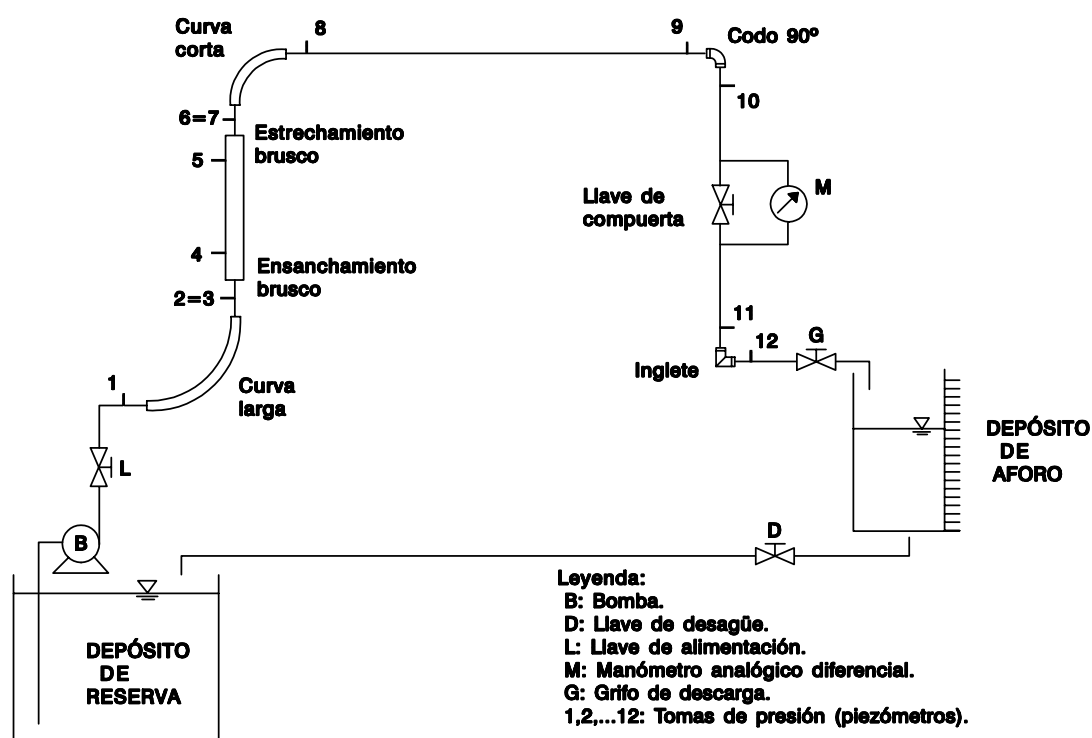


FIG 6: Esquema de la instalación.

## B. Procedimiento.

Desarrollo de la prueba:

1. Comprobar que la llave de alimentación L está cerrada, y poner en marcha la bomba.
2. Abrir totalmente la llave de compuerta.
3. Maniobrar la llave de alimentación y el grifo G de descarga, hasta establecer el régimen de funcionamiento deseado, obligando a que el nivel del agua en los piezómetros quede dentro del intervalo de medida.
4. Controlar el tiempo de descarga necesario para llenar de agua un volumen prefijado en el depósito de aforo.
5. Anotar en la hoja correspondiente las lecturas de los piezómetros, lectura del manómetro analógico diferencial, volumen aforado, tiempo de llene y temperatura del agua.
6. Repetir los paso 3 a 5 con varios regímenes de trabajo.
7. Abrir totalmente la llave de alimentación y el grifo de descarga.
8. Repetir el punto 4 para varias posiciones de la llave de compuerta, y anotar en cada caso el volumen aforado, tiempo de llene y lectura del manómetro

analógico diferencial.

**C. Informe.**

1. Determinar el gasto y los coeficiente de pérdidas de los elementos singulares para todos y cada uno de los regímenes ensayados.
2. Representar los valores del coeficiente de pérdidas en función del número de REYNOLDS, para cada singularidad.
3. Calcular la longitud equivalente de cada singularidad.
4. Discutir los resultados obtenidos.

**D. Ecuaciones a utilizar:**

\* Pérdidas en singularidades: 
$$h_f = K \frac{U^2}{2g} \quad (4)$$

\* Longitud equivalente: 
$$L_e = \frac{K}{f} D \quad (5)$$

**PÉRDIDAS DE CARGA EN SINGULARIDADES**

Datos de laboratorio:

Temperatura del agua (°C):

Fecha:

SINGULARIDAD	LECTURA PIEZ. (mm)	PUNTO				
		1	2	3	4	5
Ensanchamiento brusco	h3					
	h4					
Estrechamiento brusco	h5					
	h6					
Curva larga	h1					
	h2					
Curva corta	h7					
	h8					
Codo 90°	h9					
	h10					
Inglete	h11					
	h12					
Llave	h <sub>f</sub> (bar)					
AFORO VOLUMÉTRICO	V (L)					
	t (s)					

Posición de la llave de compuerta (N = totalmente abierta)						
	N/2	N/4	N/5	N/6	N/7	N/8
h <sub>f</sub> (bar)						
V (L)						
t (s)						

## PRÁCTICA L-5: REDES DE TUBERÍAS EN SERIE Y PARALELO

En instalaciones para transportar fluidos, son frecuentes los sistemas complejos formados por tuberías interconectadas en forma ramificada o mallada, comúnmente conocidos como *redes de tubería*. Ello justifica el estudio experimental de su funcionamiento, el cual es el objetivo de esta práctica. Se van a estudiar aquí las dos configuraciones de redes de tuberías a diferenciar: en serie y en paralelo. Particularmente, interesa contrastar las distribuciones de caudales y presiones esperadas, por aplicación de fórmulas convencionales de pérdidas de carga, con las medidas experimentalmente.

### **A. Equipo e instalaciones.**

El dispositivo experimental se compone de los siguientes elementos (ver figura 7):

- Depósito de reserva para alimentación y recirculación, con 160 L de capacidad.
- Bomba centrífuga de 0,55 kW.
- Elementos para construir redes: armazón metálico para sujeción de un sistema con entrada múltiple, tubería de 22,5 mm de diámetro interior y 0,7 m de longitud, dos tuberías de 17,5 mm de diámetro interior y 0,7 m de longitud, dos tuberías de 13 mm de diámetro interior y 0,7 m de longitud y diferentes piezas de conexión.
- Llaves de alimentación,  $L_i$ .
- Tomas de presión con conexiones a manómetros.
- Dos manómetros diferenciales de 1 m de longitud, uno de agua a presión, para medir diferencias de presión pequeñas, y otro de mercurio, para medir diferencias de presión elevadas.
- Grifo G de descarga.
- Dos depósitos de aforo de 6 y 40 L, respectivamente.
- Cronómetro.
- Hoja para el registro de datos.
- Varios: navaja, teflón, etc.

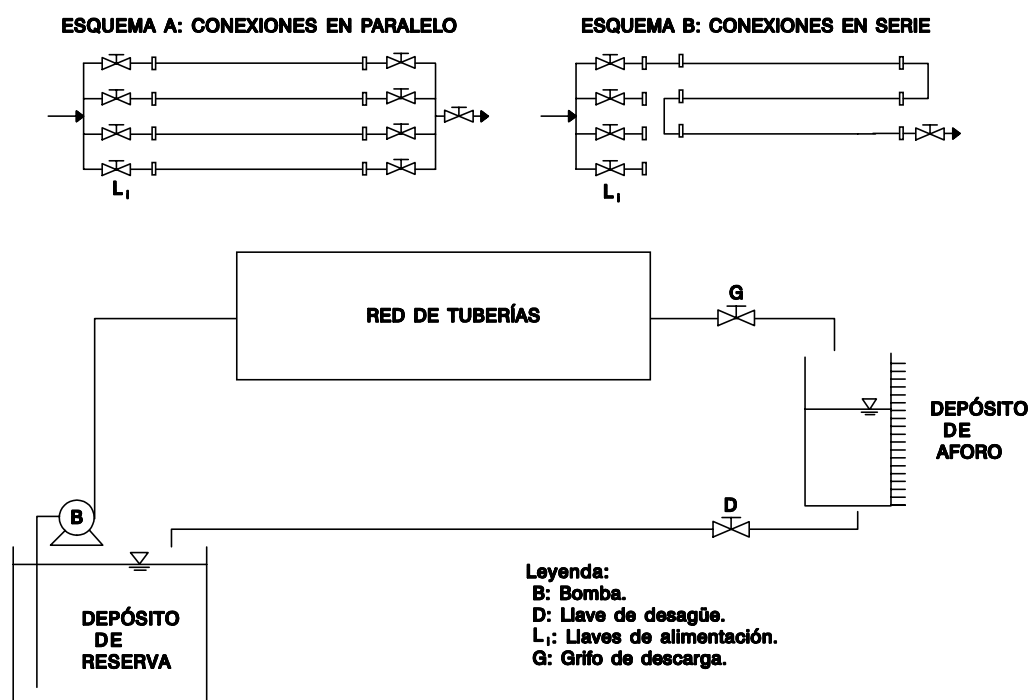


FIG. 7 : Esquema de la instalación.

## B. Procedimiento.

Desarrollo de la prueba:

1. Montar un sistema de tuberías. Por ejemplo, el representado en el esquema **A** de la figura 7.
2. Cerrar las llaves de acometida, y poner en marcha la bomba
3. Abrir totalmente las llaves de acometida, y purgar el sistema.
4. Maniobrar el grifo de descarga, hasta establecer el régimen de funcionamiento deseado.
5. Controlar el tiempo de descarga necesario para aportar un volumen prefijado al depósito de aforo.
6. Anotar en la hoja correspondiente las lecturas del manómetro diferencial, el volumen aforado y el tiempo de llene.
7. Repetir los paso 4 a 6 con varios regímenes de trabajo.
8. Cerrar las llaves de alimentación y parar la bomba.
9. Montar un sistema alternativo. Por ejemplo, el representado en el esquema **B** de la figura 7.
10. Repetir los pasos 2 a 8 para el nuevo sistema de tuberías.

**C. Informe.**

1. Con la configuración en serie, y para cada régimen de gasto, estimar las pérdidas de carga totales en el sistema, aplicando las expresiones de BLASIUS y HAZEN-WILLIAMS, y compararlas con las medidas en el manómetro diferencial.
2. Con la configuración en paralelo, y para cada régimen de pérdidas de presión observadas, aplicar las expresiones de BLASIUS y HAZEN-WILLIAMS para estimar los caudales en cada tramo de tubería, y contrastar los resultados con los correspondientes a cada medida volumétrica.
3. Discutir los resultados obtenidos.

**D. Ecuaciones a utilizar:**

\* BLASIUS: 
$$h_f = 7,78 \times 10^{-4} Q^{1,75} D^{-4,75} L \quad (6)$$

\* HAZEN-WILLIAMS: 
$$h_f = \left( \frac{U}{0,85 C R^{0,63}} \right)^{1,852} L \quad (7)$$

**REDES DE TUBERÍAS EN SERIE Y PARALELO**

Fecha:

**Datos de laboratorio:**

**A. CONEXIÓN DE TUBERÍAS EN SERIE**

			AGUA		MERCURIO	
Puntos	Volumen (L)	Tiempo (s)	$h_1$ (mm)	$h_2$ (mm)	$h_1$ (mm)	$h_2$ (mm)
1						
2						
3						
4						
5						

**B. CONEXIÓN DE TUBERÍAS EN PARALELO**

			AGUA		MERCURIO	
Puntos	Volumen (L)	Tiempo (s)	$h_1$ (mm)	$h_2$ (mm)	$h_1$ (mm)	$h_2$ (mm)
1						
2						
3						
4						
5						

## PRÁCTICA L-6: AFORO EN TUBERÍAS

El objetivo general de esta práctica es mostrar tres tipos diferentes de medidores de flujo en conducciones forzadas: venturi, rotámetro y diafragma. La disposición en serie de éstos elementos, a lo largo de un conducto, permite comparar sus medidas. Además, será posible calibrar los tres medidores de flujo mediante la medida volumétrica del caudal en depósito de aforo. Particularmente, interesa comparar la fiabilidad de los dispositivos de medida y las pérdidas de presión ocasionadas por su colocación en la tubería.

### A. Equipo e instalaciones.

El dispositivo experimental se compone de los siguientes elementos (ver figura 8):

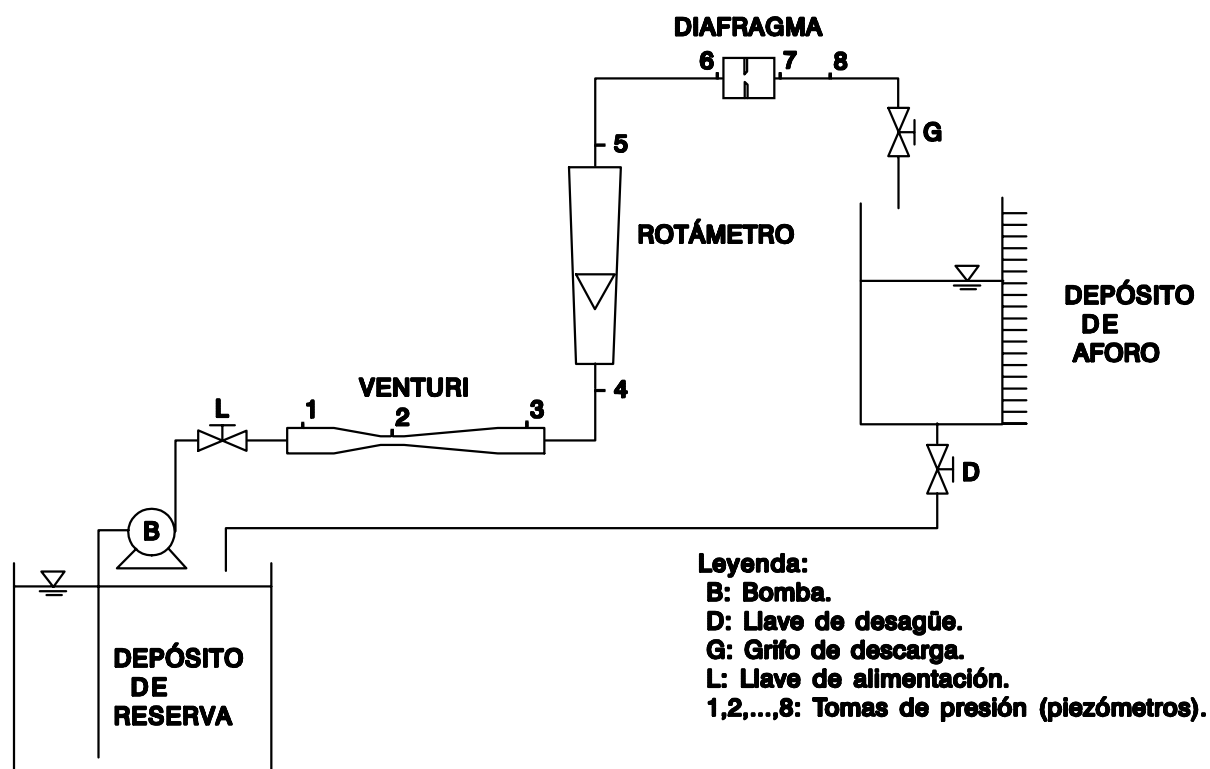


FIG 8 : Esquema de la instalación.

- Depósito reserva para alimentación y recirculación, con 160 L de capacidad.
- Bomba centrífuga de 0,36 kW.
- Llave L, de alimentación.

- Venturi con diámetro en el estrechamiento de 15 mm, diámetro del conducto aguas arriba de 31,75 mm, ángulo de convergencia en la contracción de 21° y ángulo de divergencia en la expansión de 14°.
- Rotámetro (o medidor de área variable) de 2 a 20 L/min.
- Diafragma (o placa con orificio) con un diámetro en el estrechamiento de 20 mm, instalado en una tubería uniforme de diámetro interior 31,75 mm.
- Tomas de presión en los dispositivos de medida.
- Batería con 8 piezómetros.
- Grifo G, de descarga.
- Dos depósitos de aforo, uno de 6 L y el otro de 40.
- Cronómetro.
- Hoja para el registro de datos.
- Varios: tuberías, codos, conexiones, etc.

### **B. Procedimiento.**

Desarrollo de la prueba:

1. Comprobar que la llave de alimentación está cerrada y poner en marcha la bomba.
2. Abrir lentamente la llave de alimentación
3. Maniobrar el grifo de descarga y la llave de alimentación hasta establecer el régimen de funcionamiento deseado, procurando que en ningún piezómetro el agua supere su cota máxima.
4. Controlar el tiempo de descarga necesario para llenar de agua un volumen prefijado en el depósito de aforo.
5. Anotar en la hoja correspondiente las lecturas de los diferentes piezómetros y el caudal en rotámetro.
6. Establecer un nuevo régimen de funcionamiento modificando la posición del grifo de descarga, y repetir los pasos 3 a 5.

### **C. Informe.**

1. Con el supuesto de fluidez perfecta, calcular el caudal que atraviesa los dispositivos de aforo observados a partir de las diferencias de presión entre los puntos 1-2 y 6-7 y suponiendo en el diafragma un  $C_c = 0,623$ .
2. Calibrar cada medidor de flujo usando la medida volumétrica del caudal.
3. Comparar las pérdidas de presión motivadas por los dispositivos de medida.
4. Comentar los resultados obtenidos con la prueba.

**D. Ecuaciones a utilizar:**

\* Venturi:

- Fluido perfecto: 
$$Q = \omega_c \frac{\sqrt{2 g h}}{\sqrt{1 - \left(\frac{\omega_c}{\omega_o}\right)^2}} \quad (8)$$

- Fluido real: 
$$Q = C_d \left[ \frac{D_c}{D_o}, - \right] \omega_c \sqrt{2 g h} \quad (9)$$

\* Diafragma:

- Fluido perfecto: 
$$Q = C_c \omega_e \frac{\sqrt{2 g h}}{\sqrt{1 - \left(C_c \frac{\omega_e}{\omega_o}\right)^2}} \quad (10)$$

- Fluido real: 
$$Q = C_d \left[ \frac{D_e}{D_o}, - \right] \omega_e \sqrt{2 g h} \quad (11)$$

**AFORO EN TUBERÍAS**

Fecha:

Datos de laboratorio:

		PUNTOS				
		1	2	3	4	5
<b>VENTURI</b>	<b>h1</b> (mm)					
	<b>h2</b> (mm)					
	<b>h3</b> (mm)					
<b>ROTÁMETRO</b>	<b>h4</b> (mm)					
	<b>h5</b> (mm)					
	<b>Q</b> (L/min)					
<b>DIAFRAGMA</b>	<b>h6</b> (mm)					
	<b>h7</b> (mm)					
	<b>h8</b> (mm)					
<b>AFORO VOLUMÉTRICO</b>	<b>V</b> (L)					
	<b>t</b> (s)					

## PRÁCTICA L-7: AFORO EN ACEQUIAS

El objetivo de este experimento es mostrar el funcionamiento de dos dispositivos de medida de caudal en corrientes libres: vertedero rectangular y vertedero en V (triangular). El planteamiento teórico es análogo, ya que son dos formas de vertedero en pared delgada. Se llevarán a cabo las operaciones necesarias para determinar los coeficientes de descarga en los dos elementos de media.

### A. Equipo e instalaciones.

El dispositivo experimental se compone de los siguientes elementos (ver figura 9):

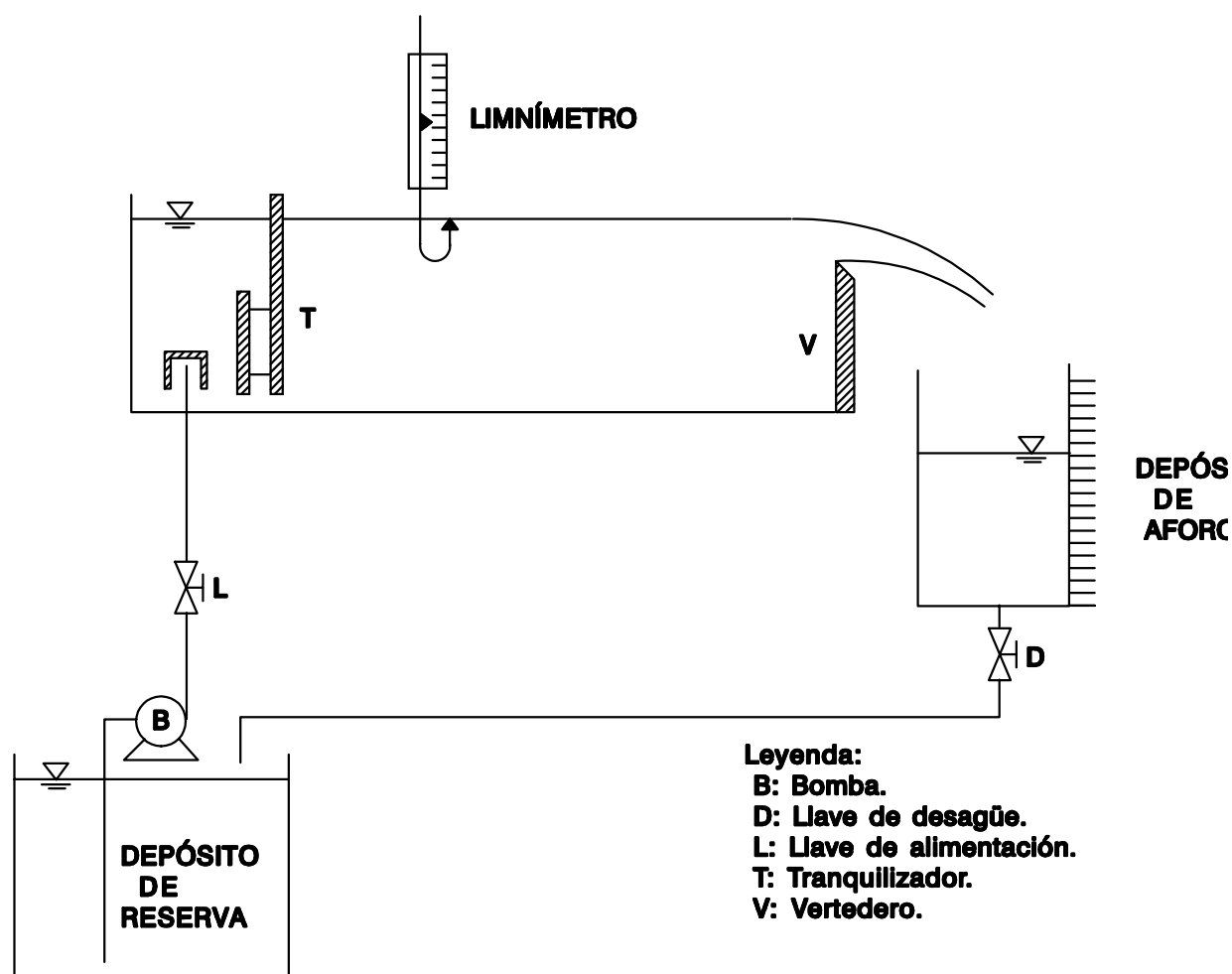


FIG. 9 : Esquema de la instalación.

- Depósito reserva para alimentación y recirculación, con 160 L de capacidad.
- Bomba centrífuga de 0,36 kW.
- Llave L, de alimentación.
- Canal rectangular de 230 mm de ancho y 160 mm de alto.
- Tranquilizador del flujo en el canal.
- Un vertedero con escotadura rectangular de 82 mm de alto y 30 mm de ancho.
- Un vertedero con escotadura en ángulo de 90° y altura de 40 mm.
- Regla limnimétrica de 150 mm de longitud.
- Dos depósitos de aforo de 6 y 40 L, con rebosadero y desagüe de fondo.
- Cronómetro.
- Hoja para el registro de datos.
- Varios: cinta métrica, calculadora, etc.

### **B. Procedimiento.**

Desarrollo de la prueba:

1. Comprobar que la llave de alimentación está cerrada y poner en marcha la bomba.
2. Abrir lentamente la llave de alimentación hasta establecer el régimen deseado.
3. Controlar el tiempo de descarga necesario para llenar de agua un volumen prefijado en el depósito de aforo.
4. Con ayuda del limnímetro y de la regla limnimétrica medir la altura de vertido.
5. Anotar en la hoja correspondiente las medidas realizadas.
6. Establecer un nuevo régimen de funcionamiento, modificando la posición de la llave de alimentación, y repetir los pasos 2 a 5.
7. Cambiar el vertedero y repetir los pasos anteriores con el nuevo vertedero.

### **C. Informe.**

1. Calcular el caudal que circula en las diferentes pruebas por el canal, suponiendo que el fluido es perfecto y considerando un coeficiente de contracción  $C_c = 0,623$ .
2. Calcular los coeficientes de descarga de los vertederos en cada caso, a partir de las medidas volumétricas de caudal y de alturas de vertido.
3. Representar los puntos de caudal medidos con el vertedero en  $V$  en función de  $h^{5/2}$  y en el caso del vertedero rectangular en función de  $h^{3/2}$ , siendo  $h$  la altura de vertido.

4. Representar gráficamente, en ambos casos, el coeficiente de descarga frente al parámetro adimensional  $h/(h+p)$ , siendo  $p$  la distancia entre la solera del canal y la arista de vertido.
5. Comentar los resultados obtenidos con la prueba.

**D. Ecuaciones a utilizar:**

\* Vertedero rectangular:

- Fluido perfecto: 
$$Q = \frac{2}{3} C_c \sqrt{2g} b h^{\frac{3}{2}} \quad (12)$$

- Fluido real: 
$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} b h^{\frac{3}{2}} \quad (13)$$

\* Vertedero en V:

- Fluido perfecto: 
$$Q = \frac{8}{15} C_c \sqrt{2g} \tan\frac{\theta}{2} h^{\frac{5}{2}} \quad (14)$$

- Fluido real: 
$$Q = \frac{8}{15} C_d \sqrt{2g} \tan\frac{\theta}{2} h^{\frac{5}{2}} \quad (15)$$

**AFORO EN ACEQUIAS**

Fecha:

Datos de laboratorio:

		PUNTOS				
		1	2	3	4	5
<b>VERTEDERO RECTANGULAR</b>	<b>h (mm)</b>					
	<b>V (L)</b>					
	<b>t (s)</b>					
<b>VERTEDERO TRIANGULAR</b>	<b>h (mm)</b>					
	<b>V (L)</b>					
	<b>t (s)</b>					

## PRÁCTICA L-8: CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UNA BOMBA

Se trata de caracterizar el proceso de transferencia de energía en una máquina hidráulica motora. En este caso, de una bomba centrífuga horizontal.

El régimen de trabajo de la bomba depende de su velocidad de rotación, impuesta por el motor que la anima. Para cada velocidad de rotación, el funcionamiento de la máquina se describe mediante las curvas características  $H(Q)$ ,  $P(Q)$ , y  $\eta(Q)$ , que indican la relación que existe entre los diferentes factores que intervienen en la variable *potencia* y el rendimiento  $\eta$  con que es transformada la energía en esas condiciones.

Con el fin de generalizar el estudio para otras velocidades de rotación, se determinarán los coeficientes adimensionales utilizados para la representación de las curvas  $C_P(C_Q)$ ,  $C_H(C_Q)$  y  $\eta(C_Q)$ .

### **A. Equipo e instalaciones.**

Se dispone del material y equipo a que hace referencia el esquema de la figura 10, de acuerdo con la relación siguiente:

- Bomba centrífuga horizontal con diámetro de rodete  $D = 120$  mm (1).
- Vacuómetro analógico situado a 0,65 m por encima del eje de la bomba (2).
- Manómetro analógico situado a 0,65 m por encima del eje de la bomba (3).
- Motor universal de potencia 0,75 kW a 3000 rpm (4).
- Mando regulador de la velocidad de rotación del motor y tacómetro digital (5) y (6).
- Sensor para medida del par motor e indicador digital (7) y (8).
- Llave de control en aspiración (9).
- Llave de control en impulsión (10).
- Grifo de descarga (11).
- Rotámetro para medidas de caudal (12).
- Depósito (13).

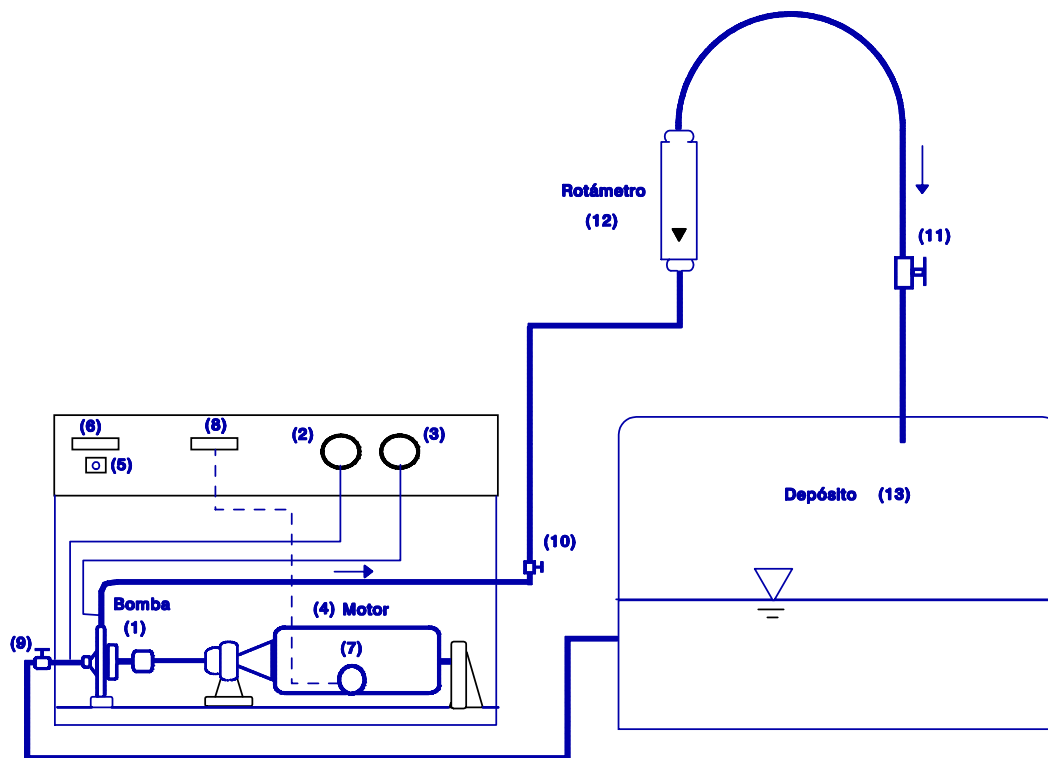


FIG. 10: Disposición de elementos en sistema de bombeo.

### B. Procedimiento.

1. Abrir completamente la llave de aspiración.
2. Comprobar que hay agua en el depósito.
3. Abrir completamente la llave de impulsión.
4. Poner al mínimo el mando de velocidad del motor.
5. Conectar el motor.
6. Girar lentamente el mando de velocidad hasta alcanzar el valor deseado.
7. Cerrar lentamente el grifo de descarga hasta que quede interrumpido el paso del agua.
8. Anotar lecturas de par motor, presiones y caudal.
9. Abrir un poco el grifo de descarga y realizar nuevas lecturas.
10. Repetir el paso 9 cuantas veces sea necesario hasta llegar a abrir completamente el grifo de descarga.
11. Repetir el procedimiento anterior con una velocidad de rotación del motor diferente.
12. Antes de desconectar, dejar circular el agua al menos 1 minuto y bajar

suavemente la velocidad.

**C. Informe.**

1. Dibujar las curvas características **H(Q), P(Q), y η(Q)**, indicando el número de revoluciones del motor.
2. Dibujar las curvas adimensionales  $C_P(C_Q)$ ,  $C_H(C_Q)$  y  $\eta(C_Q)$ .
3. Comparar los resultados medidos a diferente velocidad con los previstos a partir de las curvas adimensionales.
4. Comentar los resultados.

**D. Ecuaciones a utilizar:**

\* Potencia hidráulica: 
$$P_h = \gamma Q H \quad (16)$$

\* Potencia al eje: 
$$P = M N \frac{2\pi}{60} \quad (17)$$

\* Rendimiento de la bomba: 
$$\eta = \frac{P_h}{P} \quad (18)$$

\* Coef. adimensionales: 
$$C_Q = \frac{Q}{N D^3}; C_H = \frac{gH}{N^2 D^2}; C_P = \frac{P}{\rho N^3 D^5} \quad (19)$$

**CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UNA BOMBA**

Fecha:

**Datos de laboratorio:**

Primer ensayo N =            rpm.

PUNTO	N (rpm)	M (Nm)	P <sub>asp</sub> (bar)	P <sub>imp</sub> (bar)	Q (L/h)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					

Segundo ensayo N =            rpm.

PUNTO	N (rpm)	M (Nm)	P <sub>asp</sub> (bar)	P <sub>imp</sub> (bar)	Q (L/h)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					

## **PRÁCTICA L-9: SISTEMA DE BOMBEO COMPLEJO: CONEXIÓN DE BOMBAS EN SERIE Y EN PARALELO.**

Se trata de caracterizar el funcionamiento de un conjunto de bombas, en este caso dos unidades conectadas en serie o en paralelo. En primer lugar, se procederá a la determinación de la curva característica de una bomba aislada, como se realizó en la práctica L-8. En segundo lugar, se colocarán las conexiones de modo que se obtenga un sistema de dos bombas centrífugas iguales en serie, determinando la curva característica **H-Q** del conjunto. En tercer lugar, se efectuará la conexión de las mismas bombas en paralelo, determinándose igualmente la curva **H-Q**.

### **A. Equipo e instalaciones.**

Se dispone del siguiente material y equipo, instalado con la disposición indicada en la figura 11:

- 2 bombas centrífugas horizontales, (1) y (2).
- Vacuómetro analógico situado a 0,25 m por encima del eje de la bomba, (3).
- Manómetro analógico situado a 0,75 m por encima del eje de la bomba, (4).
- 2 motores universales, (5) y (6).
- Llaves de control en aspiración, (V2) y (V6).
- Llaves de control en impulsión, (V1) y (V5).
- Llave reguladora de caudal, (V4).
- Llave de tres vías, (V3).
- Válvulas de retención, (Vn).
- Llave auxiliar para equipos externos, (Vx).
- Rotámetro para medidas de caudal, (7).
- Depósito, (8).
- Interruptor general.
- Interruptor de la bomba 1.
- Interruptor de la bomba 2.

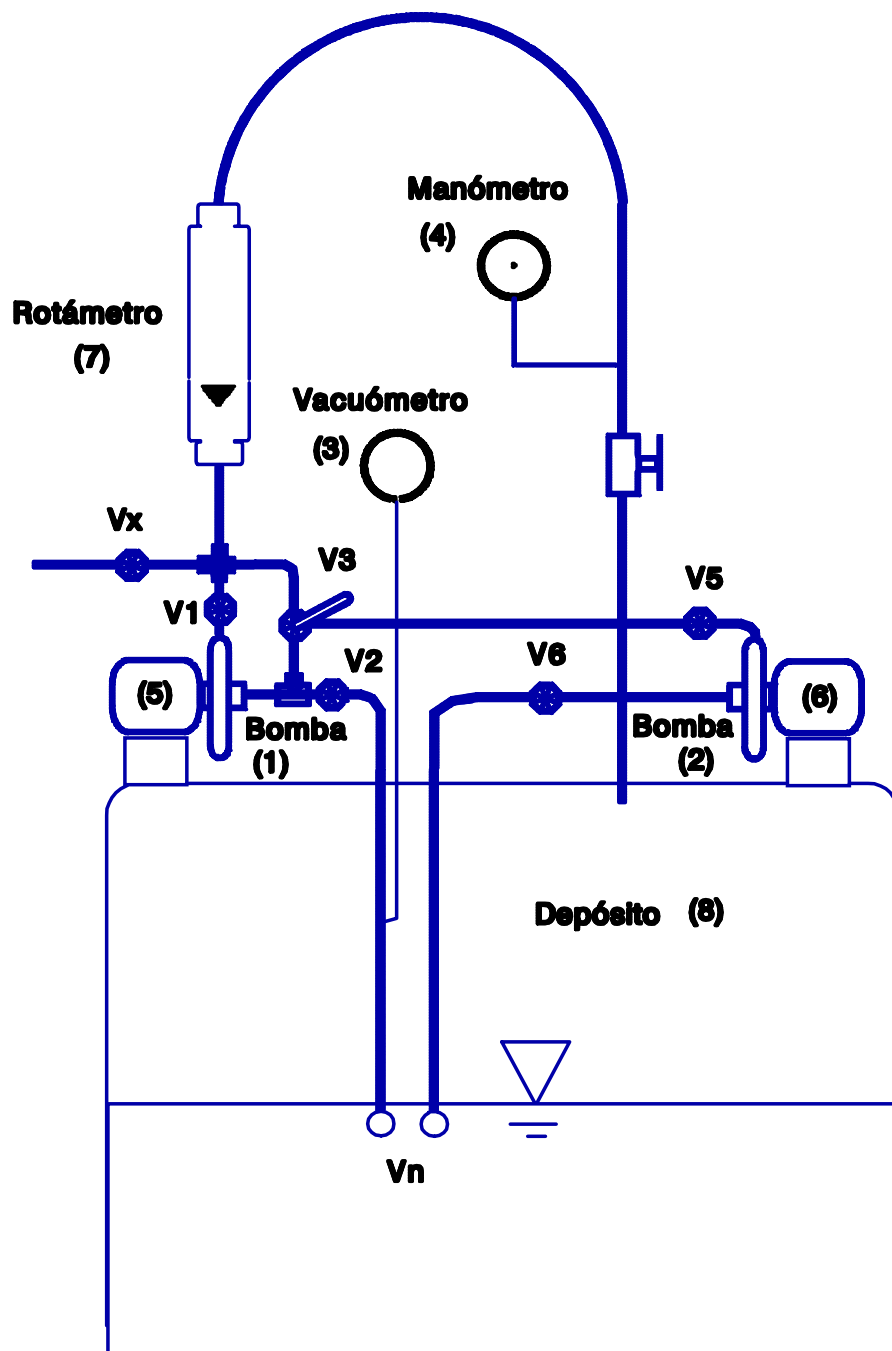


FIG. 11: Disposición de bombas para conexión en serie o en paralelo.

**B. Procedimiento:**

B1. Para la determinación de la curva característica de una sola bomba:

1. Abrir completamente las llaves V1, V2 y V4.
2. Cerrar la llaves Vx, V5 y V6 y colocar la V3 hacia la derecha.
3. Conectar la bomba (1).
4. Se selecciona un caudal no superior a 3000 L/h accionando la llave V1.
5. Realizar lecturas del vacuómetro (3), manómetro (4) y caudalímetro (7), para diferentes posiciones de la llave V4.

B2. Para la determinación de la curva característica de dos bombas en serie:

1. Con la bomba (1) desconectada, conectar la bomba (2) abriendo antes las llaves V4, V5 y V6 y colocando la llave V3 hacia arriba.
2. Seleccionar el mismo caudal que para la bomba (1) mediante la llave V5.
3. Cerrar la llave V2, mover la llave V3 en el sentido de las agujas del reloj hasta abrirla totalmente y conectar la bomba (1).
4. Medir el caudal y presiones proporcionados por el conjunto.
5. Repetir el paso 4 para diferentes caudales, cerrando en cada caso un poco la llave V4.

B3. Para la determinación de la curva característica de dos bombas en paralelo:

1. Abrir completamente la llave V4.
2. Con la bombas dispuestas en la posición en serie, abrir la llave V2 y girar la llave V3 en sentido contrario a las agujas del reloj hasta su posición vertical.
3. Medir el caudal y presiones proporcionados por el conjunto.
4. Repetir el paso 3 para diferentes caudales, cerrando en cada caso un poco la llave V4.

**C. Informe.**

1. Dibujar la curva característica **H(Q)** para una sola bomba.
2. Dibujar la curva característica medida y la estimada para la configuración de máquinas conectadas en serie.
3. Dibujar la curva característica medida y la estimada para la configuración de máquinas conectadas en paralelo.
4. Comentar los resultados.

**CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA DE BOMBEO COMPLEJO**

Fecha:

**Datos de laboratorio:**

Bomba aislada:

Punto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Caudal (L/h)										
P <sub>asp.</sub> (bar)										
P <sub>imp.</sub> (bar)										

Sistema en serie:

Punto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Caudal (L/h)										
P <sub>asp.</sub> (bar)										
P <sub>imp.</sub> (bar)										

Sistema en paralelo:

Punto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Caudal (L/h)										
P <sub>asp.</sub> (bar)										
P <sub>imp.</sub> (bar)										

## **PRÁCTICA L-10: FLUJO PERMANENTE EN SUELOS SATURADOS, HOMOGÉNEOS Y ESTRATIFICADOS.**

Son objetivos de este experimento los que siguen:

1. Observar las distribuciones de presión en una columna vertical de perfil uniforme de suelo homogéneo saturado.
2. Observar la distribución de la presión cuando (1) una capa de suelo menos permeable se encuentra sobre una más permeable, y (2) cuando una más permeable se encuentra sobre una menos permeable.
3. Calcular la conductividad hidráulica para cada capa de suelo, por aplicación de la fórmula de DARCY, así como un valor representativo para la conductividad hidráulica de toda la longitud de suelo.

### ***A. Equipo e instalaciones.***

El dispositivo experimental se compone de los siguientes elementos (ver figura 12).

(4) recipientes verticales, de metacrilato o plástico transparente, con perforaciones adecuadas para recibir, cada uno, (cinco) tensiómetros tubulares. Llevan chapa perforada o malla sobre su fondo, que dispone de un desagüe.

Tubos de PVC cristal, para conectar tensiómetros a tubos piezométricos de vidrio, más uno para conectar a desagüe, todos con pinzas para estrangulamiento .

Depósito, o botella, de (10) L, para alimentar el sistema.

Un panel para lecturas en (cinco) piezómetros.

Una probeta graduada, de (1) L.

Cronómetro.

Hoja para el registro de datos.

Varios: lámina plástica, regla limnimétrica, calculadora, etc.

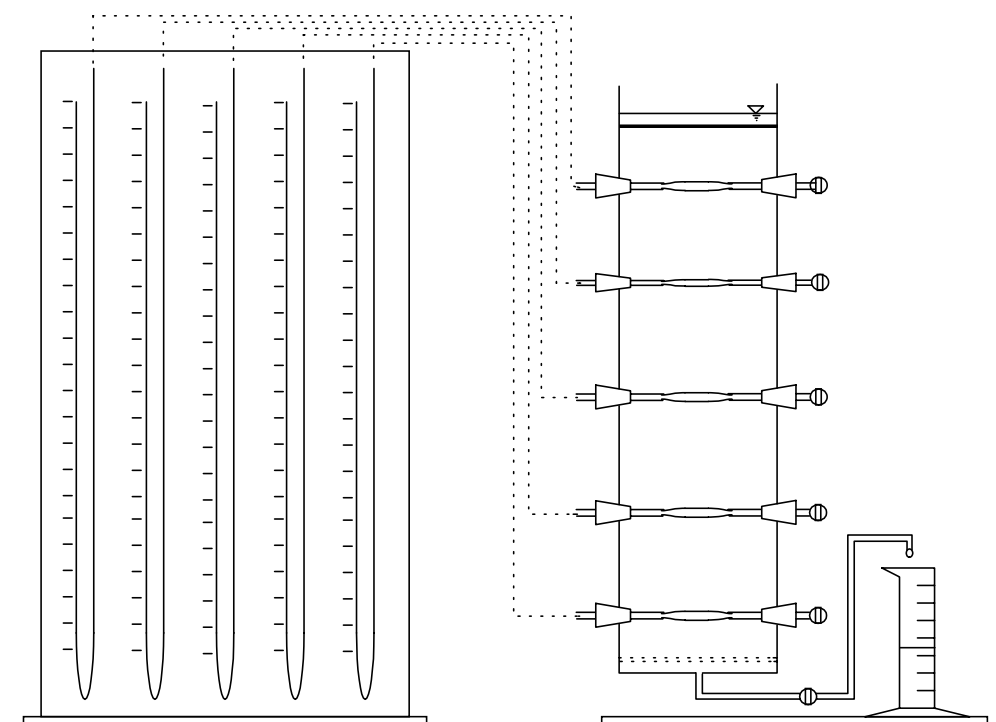


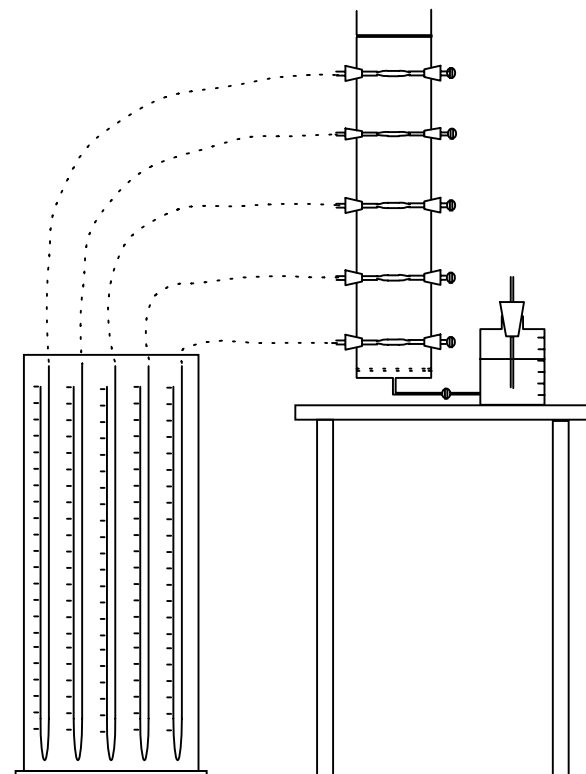
FIG. 12: Instalación para estudio experimental de flujo en suelos.

### B. Procedimiento.

La prueba se desarrollará conforme a los pasos que siguen:

1. Depositar cuidadosamente suelo tamizado secado al aire en (4) recipientes de plástico, dispuestos verticalmente (ver figura 12). Se debe poner cada tensiómetro tubular en la columna justo antes de que el suelo cubra su posición respectiva. La profundidad de cada columna de suelo debe ser (100) cm. Se seleccionarán (4) perfiles de suelo con una o dos capas homogéneas: uniforme fina, uniforme gruesa, fina sobre gruesa y gruesa sobre fina.
2. Después de saturar cada columna de suelo, desde el fondo, usando sendos depósitos de botella, llenar los tensiómetros, de forma que no quede aire en su interior.
3. Con el desagüe de fondo cerrado y (1) cm de agua cubriendo la superficie de cada columna de suelo, y sin que tenga lugar ningún flujo, registrar las presiones en cada tensiómetro.
4. Establecer flujo en régimen permanente manteniendo (1) cm de agua sobre el suelo con el desagüe del fondo abierto. Medir volumétricamente el desagüe, o el gasto de entrada, y la presión en cada tensiómetro.

5. Modificar la cota del nivel freático y, para cada régimen de flujo permanente diferente así establecido, registrar lecturas en tensiómetros.
6. Establecer capa freática en el fondo de la columna, cubrir la superficie del suelo con plástico, para evitar evaporación, y observar cambios de presión con tiempo, hasta que la redistribución sea completa.
7. Pinzar los tubos de conexión a los piezómetros y bajar el panel al suelo, manteniendo el recipiente sobre la mesa, (1) m sobre el suelo (ver disposición en figura 13). Rellenar los tubos piezométricos, hasta que su nivel libre quede a la cota anterior, para prevenir tensiones mayores que los vacíos.



*FIG. 13: Disposición de panel de piezómetros, para estudiar equilibrio con capa freática.*

8. Retirar cubierta de plástico de la superficie del suelo, para que pueda tener lugar una evaporación, y observar cambios de presión con tiempo.

### **C. Informe.**

Los resultados serán preparados como sigue:

1. Graficar, para cada perfil de suelo vertical, la distribución de la presión con la profundidad del suelo, para la condición de agua anegando la superficie del suelo, y sin flujo. También, para dos intensidades de flujo diferentes, hacer una gráfica similar.
2. Dibujar una gráfica de la carga hidráulica en función de la profundidad del suelo, tomando como nivel referencia para el campo gravitatorio la superficie del suelo.

Como ejercicio, se explicará por qué ocurre una caída de presión más grande para las capa menos permeables, en las condiciones de este experimento. Asimismo, se explicará la distribución de la presión con la profundidad del suelo, durante la fase en que la evaporación también tiene lugar.

## **PRÁCTICA L-11: DISTRIBUCIONES DE EQUILIBRIO DE LA PRESIÓN DEL AGUA DENTRO DE SUELOS HOMOGÉNEOS Y ESTRATIFICADOS.**

Son objetivos de este experimento los que siguen:

1. Determinar la distribución de la presión del agua del suelo en columnas verticales de suelo que ofrecen una fuerza igual y contraria a la debida a la gravedad.
2. Comprobar si la textura o el grado de estratificación dentro del perfil de suelo influye o no en la distribución de la presión arriba obtenida.
3. Determinar los valores de contenido de agua, una vez establecido el equilibrio a que se refieren los objetivos 1 y 2.

### **A. Equipo e instalaciones.**

- El mismo recipiente de la práctica L-10, una vez que se considere finalizado el paso B.7.
- Estufa.
- Balanza de precisión.
- Varios: cápsulas para muestras de suelo, etc.

### **B. Procedimiento.**

1. Quitar la pared del recipiente y tomar muestras gravimétricas del suelo cada (10) cm de profundidad.
2. Determinar contenido de agua del suelo a cada profundidad.
3. Limpiar columna y tensiómetros.
4. Rellenar la columna con suelo, como preparación para un nuevo experimento.

### **C. Informe.**

Los resultados serán preparados como sigue:

1. Graficar, para cada perfil de suelo, la distribución de la presión del agua del suelo versus la profundidad del suelo, tomando el tiempo de desagüe como parámetro.
2. Para cada perfil de suelo, con el nivel freático establecido en la base de la columna del mismo y sin flujo, dibujar la presión del agua en el suelo vs. la profundidad de suelo; la carga gravitatoria vs. la profundidad, y la carga hidráulica total vs. la profundidad.

3. Graficar, para cada suelo, después de cesar el desagüe, la distribución del contenido de agua vs. la profundidad del suelo cuando la capa freática está en la base de la columna.

Como ejercicio, se explicará qué hace posible que presiones inferiores a la atmosférica se desarrollen cuando la capa freática está en la base de la columna. Asimismo, por qué lleva tanto tiempo el que la distribución de presión requerida (que representa una fuerza que es igual y contraria a la fuerza debida a la gravedad, compensándola) se establezca a lo largo de la longitud de columna.

## **PRÁCTICA L-12: INFILTRACIÓN VERTICAL Y HORIZONTAL EN COLUMNAS DE SUELO HOMOGÉNEAS.**

El objetivo de este experimento es comparar y explicar las diferencias en las cadencias de infiltración del agua en un suelo cuando el flujo va hacia abajo, es horizontal o va hacia arriba.

### ***A. Equipo e instalaciones.***

- Cilindro de plástico acrílico, con una placa porosa interpuesta en un extremo cerrado, en el que se abren dos orificios, para conectar tubo de PVC flexible.
- Bureta para carga constante (frasco de MARIOTTE).
- Cronómetro.
- Varios: hoja para registro de datos, calculadora, etc.

### ***B. Procedimiento.***

1. Compactar el suelo tan uniformemente como sea posible, en toda la longitud del cilindro de plástico acrílico.
2. Conectar el frasco de MARIOTTE a la placa de vidrio o cerámica porosa, con el nivel de burbujas (2) cm bajo el borde inferior de la muestra de el suelo (ver figura 14).
3. Llenar con agua la bureta y la tubería flexible, con cuidado de no mojar la placa cerámica.
4. Después de la lectura de la bureta, levantar ésta de repente, para llenar el depósito tras la placa. En cuanto el depósito esté lleno, estrangular otra tubería flexible unida a la placa y recolocar el tubo de burbuja a (2) cm bajo la muestra de el suelo.
5. Registrar el volumen de agua infiltrado y la distancia al frente de humectación, en función del tiempo.

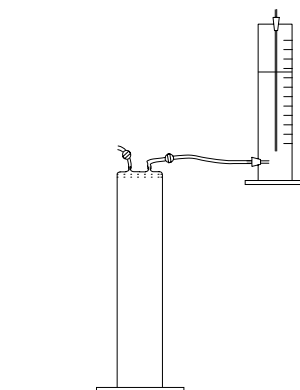


FIG. 14: Montaje para estudio experimental de infiltración vertical hacia abajo.

### C. Informe.

Los resultados serán preparados como sigue:

1. Graficar, para cada una de las tres direcciones de flujo, vertical hacia abajo, horizontalmente y hacia arriba, la cadencia o intensidad de infiltración, en función del tiempo.
2. Graficar la distancia al frente de humectación, en función de la raíz cuadrada del tiempo, para cada caso.

Como ejercicios, se responderá a los aspectos que siguen:

- a. Explicar las diferencias en intensidad de infiltración medida, entre los tres casos considerados.
- b. Al margen de la dirección o sentido del flujo, explicar por qué son las cadencias de infiltración iniciales más grandes que los valores posteriores.
- c. Para columnas de suelo sumamente largas, justificar valores a los que se acercarían las cadencias de infiltración. Explicar, para cada uno de los tres casos.
- d. Estudiar la posibilidad de describir la distancia al frente de humectación, para los tres casos, mediante esta ecuación:  $x = A t^{1/2} + B t$ , donde **A** y **B** son constantes.
- e. Si se añadiera un detergente al agua, discutir su efecto posible en el proceso de infiltración.

## PRÁCTICA L-13: MOVIMIENTO DE VAPOR A TRAVÉS DEL SUELO.

El objetivo de este experimento es valorar la magnitud del transporte de vapor de agua a través de los poros de varios suelos de textura diferente, inicialmente secados al aire y que son sometidos a una presión de vapor de agua de saturación.

### A. Equipo e instalaciones.

- Cilindros de vidrio, con boca para enroscar en sendos frascos (ver figura 15).

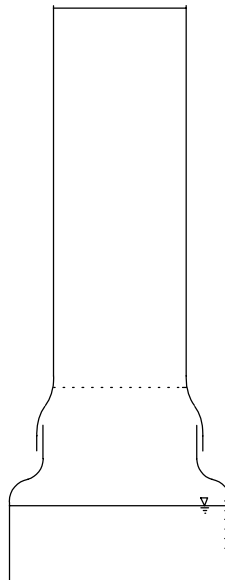


FIG. 15: Estudio experimental del paso de vapor a través de una columna de suelo seco.

- Estufa.
- Balanza de precisión.
- Cápsulas para muestras de suelo.

### B. Procedimiento.

1. Depositar el suelo tan uniformemente como sea posible en los cilindros, hasta llenarlos completamente.
2. Registrar los pesos del cilindro, de tara y llenos de suelo.
3. Llenar parcialmente los frascos, con una cantidad de agua conocida.

4. Roscar el cilindro lleno de suelo sobre los frascos.
5. Observar, a tiempos diferentes, el volumen de agua perdido en el frasco.
6. Después de 3 semanas, se medirán las distribuciones del contenido de agua dentro de cada columna de suelo. A tal efecto, se pesará la columna entera, que se muestreará a diversas profundidades, para determinar la distribución del agua dentro del suelo.

### **C. Informe.**

Los resultados serán preparados como sigue:

1. Para cada columna de suelo, dibujar la relación entre el agua perdida del depósito en función del tiempo.
2. Para cada columna de suelo, dibujar la relación entre el contenido de agua en función de la distancia a lo largo de la columna, con tiempo como parámetro.

Como ejercicios, se responderá a los aspectos que siguen:

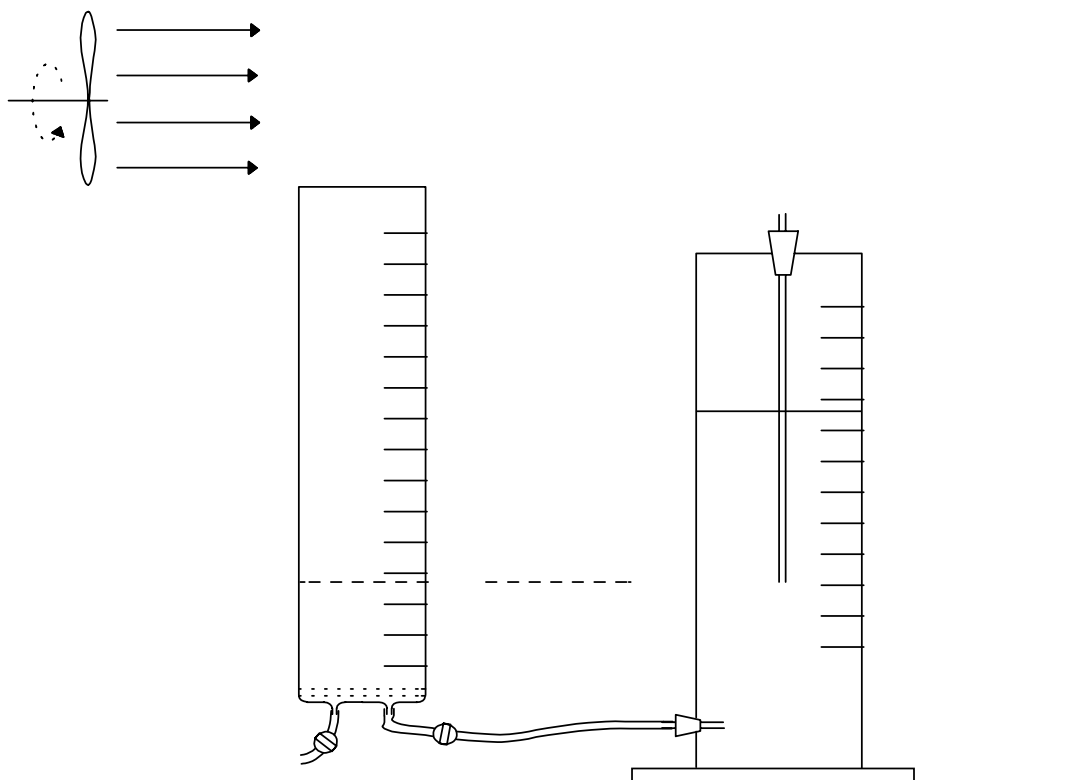
- a. Discutir los mecanismos varios implicados en el transporte de vapor a través del suelo.
- b. ¿Cómo influirían los gradientes de temperatura en la cadencia del transporte de vapor?
- c. ¿De qué importancia será el movimiento de vapor bajo condiciones de campo?

## PRÁCTICA L-14: EVAPORACIÓN DESDE EL SUELO, EN FUNCIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE LA CAPA FREÁTICA.

El objetivo de este experimento es el estudio de la influencia de la profundidad del nivel freático en la evaporación.

### A. Equipo e instalaciones.

- El mismo recipiente y frasco de la práctica L-12 (ver disposición en figura 16).



*FIG. 16: Montaje para estudio experimental de evaporación desde capa freática.*

- Ventilador.
- Estufa.
- Balanza de precisión.
- Varios: cápsulas para muestras de suelo, etc.

**B. Procedimiento.**

1. Depositar el suelo tan uniformemente como sea posible en la columna.
2. Humedecer desde el fondo hacia la superficie.
3. Bajar la capa freática a la profundidad deseada.
4. Cubrir la superficie del suelo hasta que principie el experimento.
5. Someter la superficie del suelo al viento creado por el ventilador.
6. Determinar el flujo de la evaporación en el equilibrio.

**C. Informe.**

Los resultados serán preparados como sigue:

1. Representar la lámina acumulada que se evapora del cilindro, en función del tiempo, para cada profundidad.
2. Discutir los resultados.

## PRÁCTICA C-1: RAMAL CON EMISORES REGULARMENTE DISTRIBUIDOS: GOTEO

El objetivo de esta prueba es el estudio experimental del funcionamiento de un ramal de riego por goteo. Cada ensayo consiste en la serie de operaciones que se enuncia más adelante, destinadas a obtener datos con los que determinar la influencia de la inserción de los goteros en las pérdidas de carga y el coeficiente de variación de gastos a lo largo del ramal. Su ejecución será encomendada a un grupo de trabajo compuesto por un máximo de 20 participantes.

### A. Equipo e instalaciones.

El dispositivo experimental se compone de los elementos siguientes (ver figura 17):

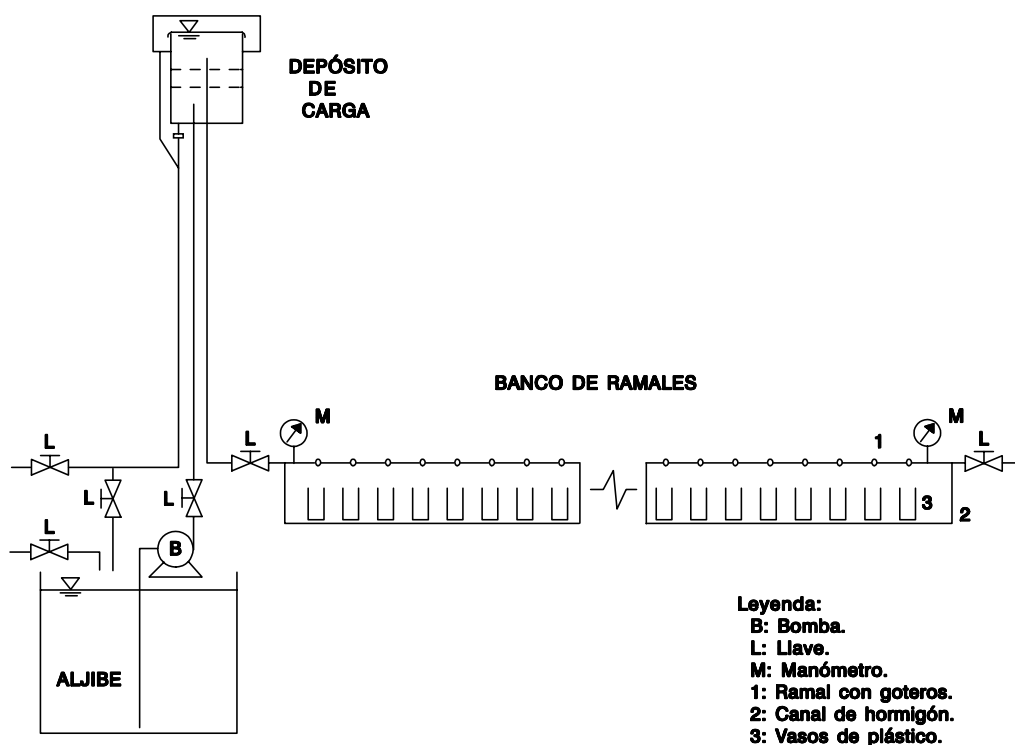


FIG. 17: Esquema de banco de ramales.

- Depósito de carga constante.
- Banco de ensayo de ramales.
- Ramal de riego por goteo.
- Tomas manométricas.
- Manómetro digital.
- Botes de plástico de un litro de capacidad.

- Probetas de un litro y embudo.
- Cronómetro, Termómetro, Hoja de campo para registro de datos.
- Varios: sacabocados, navaja, cinta métrica, etc.

## **B. Procedimiento.**

0. Fase previa
  - 0.1. Tender el ramal sobre el banco de ensayo, en posición perfectamente horizontal.
  - 0.2. Colocar tomas manométricas a lo largo del ramal: una en cabeza, otra en cola y las restantes equidistanciadas.
  - 0.3. Situar los botes de plástico tendidos debajo de cada gotero.
1. Desarrollo del ensayo.
  - 1.1. Abrir la llave de acometida hasta alcanzar en cabeza la presión deseada. Después, esperar unos minutos, permitiendo que salga el aire y que se estabilice el régimen hidráulico del ramal y de los goteros.
  - 1.2. Medir la presión en los puntos con toma manométrica.
  - 1.3. Poner el cronómetro en marcha y, a la vez, colocar progresivamente cada bote debajo de cada gotero.
  - 1.4. Cuando algún bote esté casi lleno, parar el cronómetro y retirar todos los botes de su posición bajo goteo, en el mismo orden y a idéntico ritmo al de su colocación.
  - 1.5. Medir la presión en los puntos con toma manométrica.
  - 1.6. Registrar las variables que describen el funcionamiento del ramal (presión en los puntos con toma manométrica, aportaciones de los goteros y tiempo de descarga) para diferentes alturas de presión en cabeza, a intervalos que abarquen el régimen de trabajo apropiado para el ramal.

## **C. Informe.**

1. Representar gráficamente los datos experimentales de presión y gasto en goteros a lo largo del ramal.
2. A partir de la distribución de gastos observada determinar el valor de la longitud equivalente del gotero que hace coincidir las pérdidas de carga calculadas con las observadas.
3. Determinar el coeficiente de variación de descarga de los goteros y comparar con el obtenido en mesa de goteros.
5. Comentar los resultados obtenidos en los apartados anteriores.

**ENSAYO DE RAMALES PORTAGOTEROS**

Fecha:

Número del ensayo:

Modelo de gotero:

Tipo:

Longitud del ramal L(m):

Diámetro exterior/espesor (mm):

Separación entre goteros (m):

Temperatura del agua (°C):

Tiempo del ensayo (min):

PUNTO:	cabeza	L/5	2L/5	3L/5	4L/5	cola
PRESIÓN 1(kPa):						
PRESIÓN 2(kPa):						

Gotero	V (mL)	Gotero	V (mL)	Gotero	V (mL)	Gotero	V (mL)
1		26		51		76	
2		27		52		77	
3		28		53		78	
4		29		54		79	
5		30		55		80	
6		31		56		81	
7		32		57		82	
8		33		58		83	
9		34		59		84	
10		35		60		85	
11		36		61		86	
12		37		62		87	
13		38		63		88	
14		39		64		89	
15		40		65		90	
16		41		66		91	
17		42		67		92	
18		43		68		93	
19		44		69		94	
20		45		70		95	
21		46		71		96	
22		47		72		97	
23		48		73		98	
24		49		74		99	
25		50		75		100	

## PRÁCTICA C-2: EVALUACIÓN DE UNIDADES DE RIEGO POR GOTEO

El objetivo de este ensayo de campo es el estudio experimental del funcionamiento de unidades de riego por goteo en instalaciones tipo invernadero. La evaluación pretende determinar e interpretar la intensidad de gasto en una serie de puntos de goteo representativos de la unidad, así como la distribución de la presión disponible en el sistema.

La selección de goteros a aforar se puede realizar de forma sistemática (MERRIAM y KELLER<sup>(2)</sup>, 1978) o de forma aleatoria. En el guión de prácticas se adjunta una hoja de campo para cada caso y otra para anotar los datos generales de la unidad. Con los datos obtenidos se representará la distribución de gasto observado y se calcularán, para un volumen requerido por gotero dado, los índices de calidad del riego.

### ***A. Equipo e instalaciones.***

El dispositivo experimental se compone de los elementos siguientes (ver figura 18):

- Unidad de riego por goteo.
- Contador tipo woltman modelo TA4C.
- Tomas manométricas.
- Manómetro digital de precisión con toma de aguja.
- Cronómetro.
- Termómetro.
- Bandejas de unos 2 litros de capacidad.
- Probetas de 1 litro de capacidad.
- Embudos con diámetro aproximado de 0,20 m.
- Hojas de campo para registro y manejo de datos.
- Varios, como sacabocados, navaja, cinta métrica, calculadora etc.

---

<sup>2</sup> **Los goteros seleccionados deberán proporcionar la información capaz de representar el funcionamiento del sector estudiado. Se han generalizado ensayos de evaluación que los sitúan por parejas sobre 4 ramales equidistantes a lo largo de la tubería portarramales y, en cada uno de ellos, sobre sendos emplazamientos al principio, a 1/3, a 2/3 y en cola.**

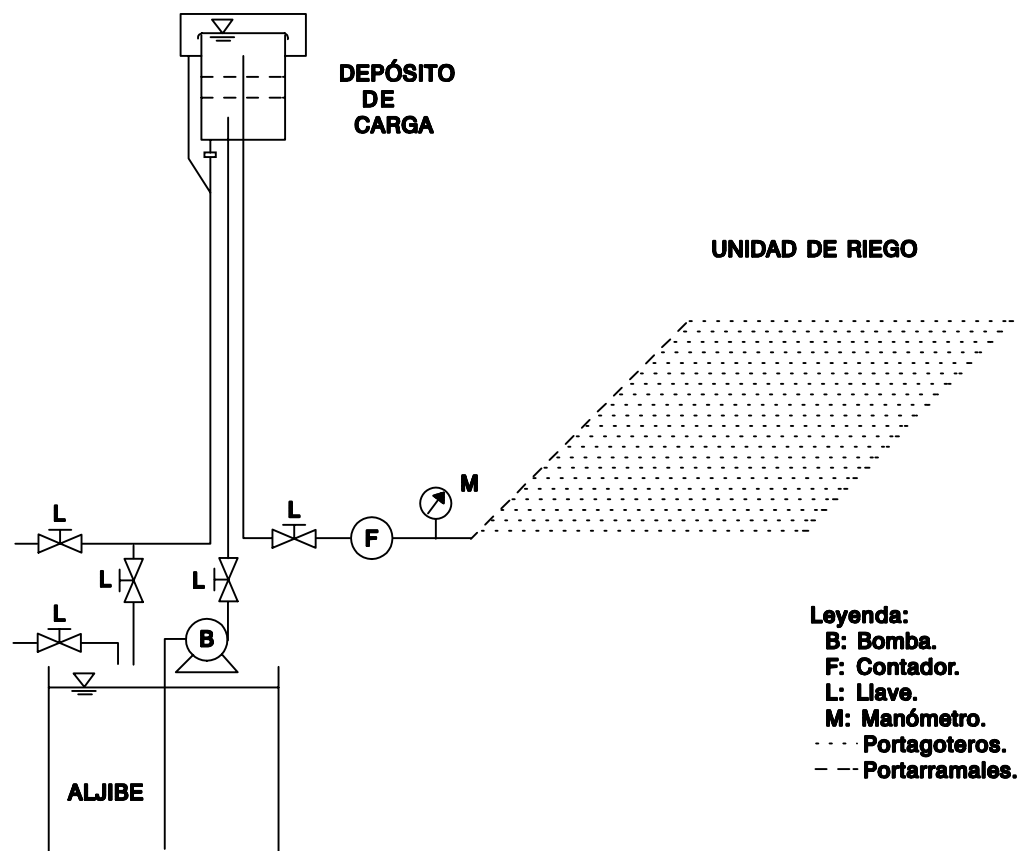


FIG 18: Esquema de unidad de riego

## B. Procedimiento.

0. Fase previa.
  - 0.1. Colocar el contador en cabeza de la unidad.
  - 0.2. Describir las características del sistema de distribución (hoja de campo nº1).
  - 0.3. Determinar los puntos de goteo a aforar atendiendo al método de evaluación elegido.
  - 0.4. Colocar las tomas manométricas en los puntos de medida de presión.
1. Desarrollo de la prueba.
  - 1.1. Abrir la llave de acometida hasta alcanzar en cabeza de la unidad la presión deseada.
  - 1.2. Medir y registrar la presión en los puntos con toma manométrica.
  - 1.3. Colocar las bandejas debajo de los puntos de aforo y al mismo tiempo poner el cronómetro en marcha y tomar la lectura inicial del contador.

- 1.4. Cuando alguna bandeja contenga aproximadamente un litro de agua: retirar las bandejas de los puntos de aforo, parar el cronómetro y tomar la lectura del contador al mismo tiempo.
- 1.5. Medir y registrar nuevamente la presión en los puntos con toma manométrica.
- 1.6. Medir el volumen liberado por cada gotero y anotarlo en la hoja de campo correspondiente junto con la duración del ensayo y las lecturas inicial y final del contador.

**C. Informe.**

1. Estimar y dibujar la distribución del gasto aplicado por el conjunto de goteros muestreados en la unidad.
2. Calcular el coeficiente de variación y el coeficiente de uniformidad de Christiansen.
3. Estimar el rendimiento de aplicación y el coeficiente de déficit correspondientes a un volumen requerido por gotero igual al gasto medio en la unidad de tiempo.
4. Comparar si el gasto estimado a partir de las aportaciones de los goteros aforados coincide con el medido con el contador.
5. Discutir los resultados.

HOJA DE CAMPO N° 1

**DESCRIPCIÓN DE UNIDAD DE RIEGO**

**Goteros**

Modelo:

Tipo:

Presión nominal (kPa):

Gasto nominal (L/h):

Ecuación de gasto:

$$k ((L/h)/(kPa)^x) = \quad x =$$

Separación entre goteros (m):

**Ramales**

Material:

Longitud (m):

Diámetro exterior/interior (mm):

Número:

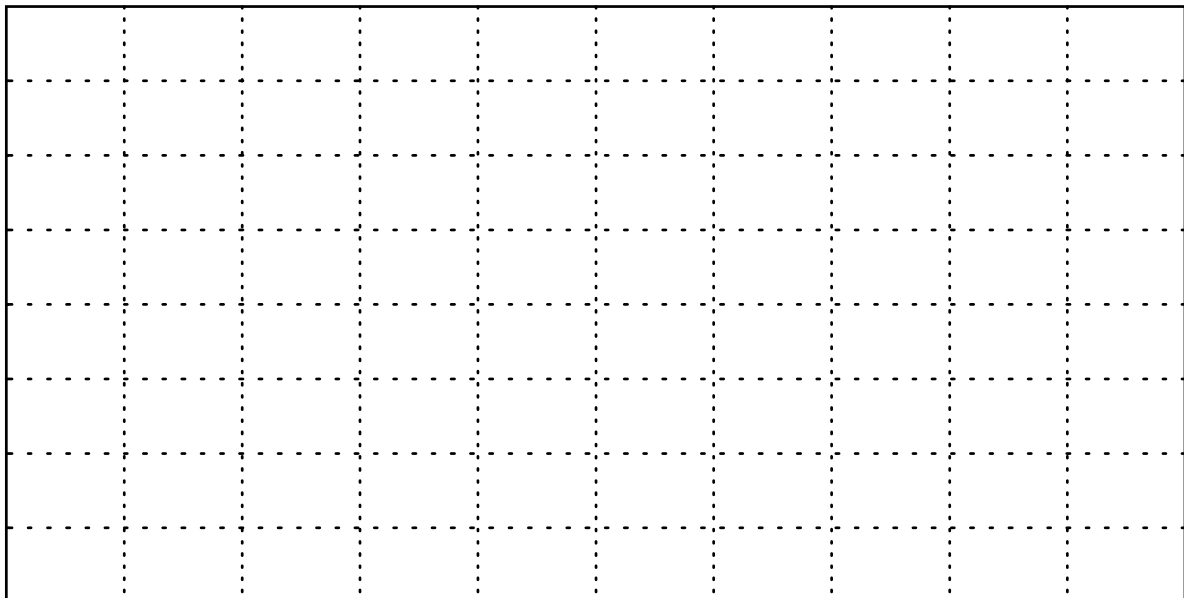
Separación entre ramales (m):

**Tubería portarramales**

Material:

Longitud (m):

Diámetro exterior/interior (mm):



**Croquis de la unidad<sup>1</sup>:**

**HOJA DE CAMPO N° 2**

**EVALUACIÓN SISTEMÁTICA DE UNIDAD DE RIEGO**

Fecha:

Temperatura del agua (°C):

Tiempo del ensayo (min):

Lecturas del contador (L)

Inicial:

Final:

**Aportaciones de goteros (mL):**

GOTEROS		RAMALES			
		Cabeza	L/3	2L/3	Cola
Cabeza	A				
	B				
L/3	A				
	B				
2L/3	A				
	B				
Cola	A				
	B				

**Presiones en puntos de toma (kPa):**

TOMAS		RAMALES			
		Cabeza	L/3	2L/3	Cola
CABEZA	L <sub>i</sub>				
	L <sub>f</sub>				
COLA	L <sub>i</sub>				
	L <sub>f</sub>				

**HOJA DE CAMPO N° 3**

**EVALUACIÓN CON SELECCIÓN ALEATORIA DE GOTEROS**

Fecha:

Temperatura del agua (°C):

Tiempo del ensayo (min):

Lecturas del contador (L)

Inicial:

Final:

**Aportaciones de goteros (mL):**

Número de orden	Posición		V (mL)	Número de orden	Posición		V (mL)
	N° de ramal	N° de gotero			N° de ramal	N° de gotero	
1				26			
2				27			
3				28			
4				29			
5				30			
6				31			
7				32			
8				33			
9				34			
10				35			
11				36			
12				37			
13				38			
14				39			
15				40			
16				41			
17				42			
18				43			
19				44			
20				45			
21				46			
22				47			
23				48			
24				49			
25				50			

**Presiones en puntos de toma (kPa):**

TOMAS		RAMALES			
		Cabeza	L/3	2L/3	Cola
CABEZA	$L_i$				
	$L_f$				
COLA	$L_i$				
	$L_f$				

## PRÁCTICA C-3: INFILTRACIÓN EN CILINDRO

Cada ensayo será encomendado a un grupo de trabajo compuesto por (3) miembros y consiste en las operaciones que siguen:

- Selección de dos puntos representativos del tipo de suelo considerado (véase croquis de posición, con descripción del perfil, en Hoja de campo nº 1).
- Aplicación de una carga de agua entre 0,1 y 0,15 m en el interior de cada uno de los cilindros, colocados en los puntos referenciados.
- Observación y medición de la lámina de agua infiltrada en sucesivos intervalos de tiempo.

Con los datos obtenidos, registrados en la Hoja de campo nº 2, serán representadas las curvas características de infiltración acumulada  $i_a(t)$  e instantánea  $i_i(t)$  del suelo, en la Hoja de gabinete nº 1 y 2, y serán determinados los parámetros de la relación de KOSTIAKOV o de la familia de infiltración  $I_F$  a que pertenece la curva  $i_a(t)$ .

### A. Equipo e instalaciones.

- (2) infiltrómetros cilíndricos de chapa, con diámetro de (0,30) m, espesor (4) mm y altura (0,30) m. La disponibilidad de otros tantos cilindros con diámetro de (0,60) m puede ser conveniente.
- Escala limnimétrica de (0,3) m de longitud.
- Cronómetro., Impresos para registro de datos.
- Varios: tapa y maza para clavar los infiltrómetros, recipientes de agua de (20) L, azada y nivel de albañil.

### B. Procedimiento.

0. Fase previa:
  - 0.1. Clavar verticalmente los infiltrómetros hasta un mínimo de 0,1 m.
  - 0.2. Preparar una poza concéntricamente a cada cilindro, bien clavando los cilindros de mayor diámetro bien, simplemente, con ayuda de la azada.
1. Desarrollo del ensayo:
  - 1.1. Verter agua en cada sistema poza/infiltrómetro hasta lograr una carga de 0,1 a 0,15 m, y registrar el tiempo y la carga correspondientes.
  - 1.2. Registrar el nivel en el infiltrómetro a intervalos apropiados al tipo de suelo, procurando mantener un nivel análogo en la poza.

### C. Informe.

1. Representar en papel logarítmico las curvas de infiltración acumulada.

2. Ajustar la curva experimental resultante para  $i_a(t)$  a una recta de KOSTIAKOV y a la familia  $I_F$  del SCS.
3. Estimar las curvas de infiltración instantánea.
4. Discutir los resultados obtenidos.

Ensayo n° ...

Data .....

**1. Datos generales**

1.1. Croquis:

1.1.1. Sección de infiltrómetro:

1.1.2. Ubicación de puntos de medida:

1.2. Descripción del tipo de suelo:

1.3. Contenido hídrico:

1.4. Cultivo:

1.5. Otras observaciones:



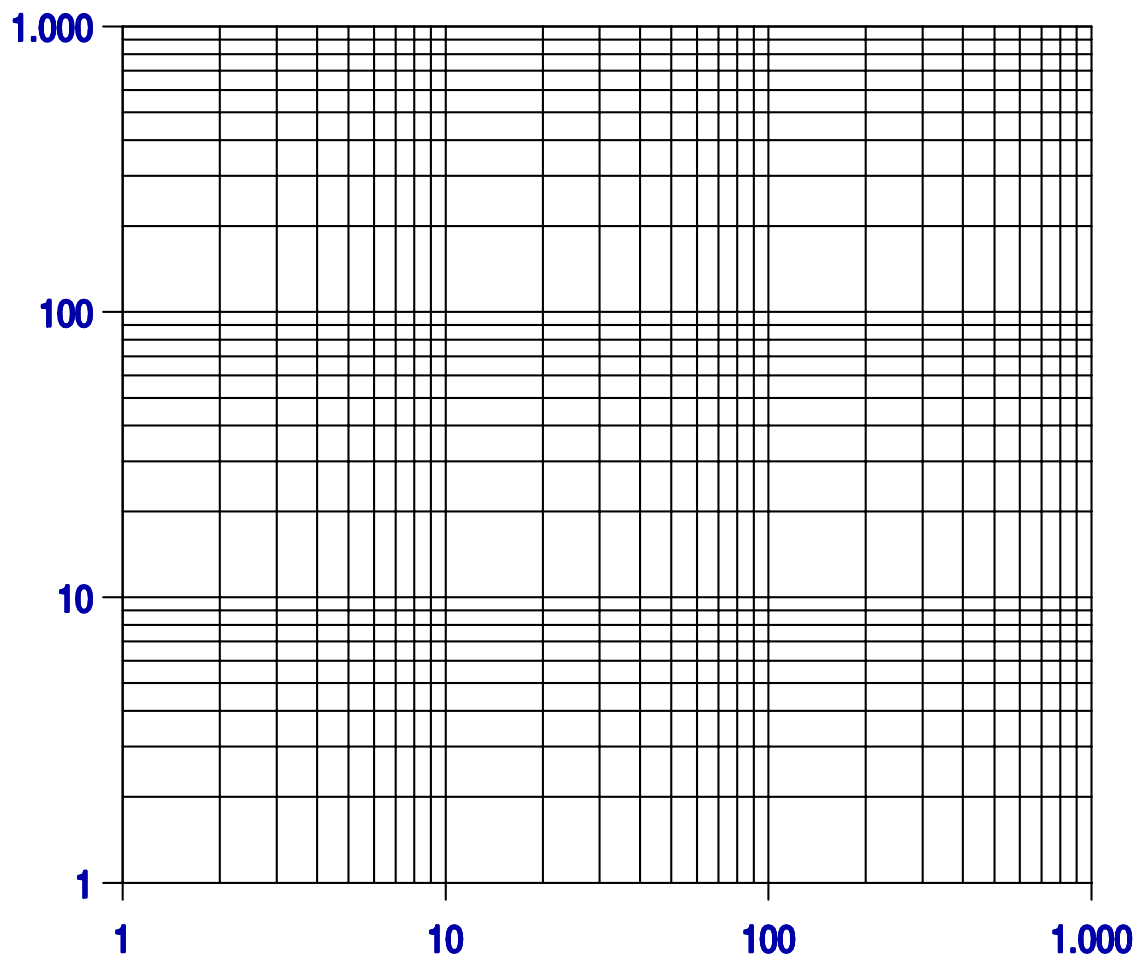
Ensayo n° ...

Data .....

**1. Curvas características**

$i_i$  (mm h<sup>-1</sup>)

$i_a$  (mm)

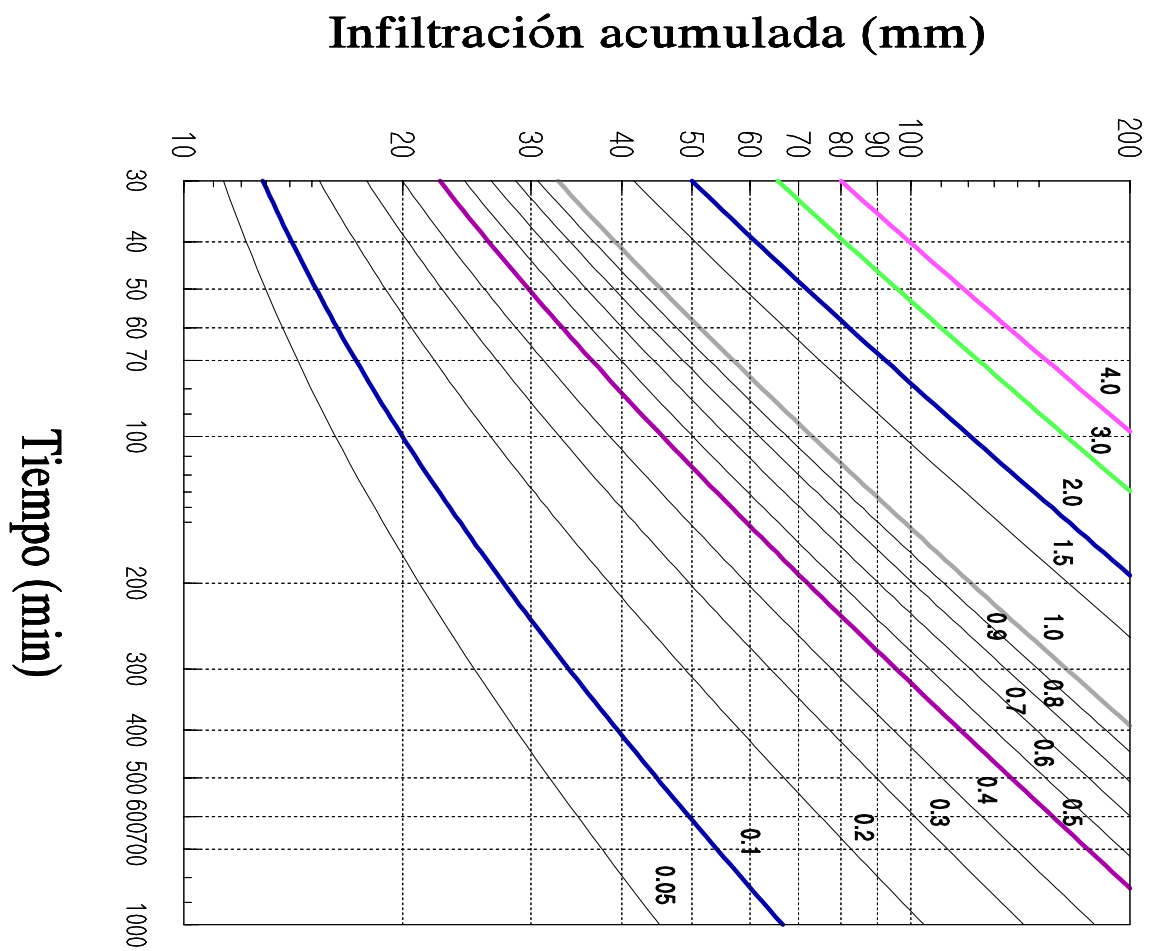


Ensayo n° ....

Familia de infiltración

2.1. Relación de KOSTIAKOV:

2.2. Familia  $I_F$  del SCS:



2.3. Otros ajustes:

3. Observaciones

## PRÁCTICA C-4: RIEGO POR ESCURRIMIENTO EN SURCOS

Con los datos a obtener, serán estimadas las características de infiltración acumulada e instantánea del suelo y serán evaluados los criterios adoptados de proyecto y operación de riego.

Cada ensayo será recomendado a un grupo de trabajo compuesto por (20) miembros y consiste en las operaciones que siguen:

- Preparación de (1) surco con trazado rectilíneo y pendiente y sección sensiblemente uniforme.
- Aplicación, en el extremo superior del surco, de un gasto controlado entre ( $5 \cdot 10^{-4}$  y  $3 \cdot 10^{-3}$ )  $\text{m s}^{-1}$ .
- Observación y medición de las variables que condicionan o describen el desarrollo del riego: pendiente, sección, aspereza, calado, gasto, erosión y tiempos de avance, receso y cubrimiento.

### **A. Equipo e instalaciones.**

- Sistema de riego descrito en el croquis, con una toma con gasto controlable en la cabecera del surco (véase croquis).
- Lámina de plástico para proteger el extremo superior del surco.
- (2) aforadores portátiles de estrechamiento largo, con sendas escalas limnimétricas y curvas de gasto calibradas (ver croquis -tomar de página H.2-2).
- Nivel, cinta métrica y mira, Perfilómetro (a ser posible, de guillotina, según croquis, con hojas de cartulina), Impresos para registro y manejo de datos.
- Varios (nivel de albañil, estaquillas, cronómetro, tablones, azada, barrena, máquina fotográfica, etc.).

### **B. Procedimiento.**

0. Fase previa:
  - 0.1. Clavar estaquillas cada (10) m, para identificar distancias al origen.
  - 0.2. Colocar los aforadores en el surco, a distancias [ $s = 0$ ,  $s = L = 50$ ] m, convenientemente nivelados y con su solera a ras con la rasante del surco (véase croquis)<sup>(5)</sup>.
  - 0.3. Cubrir con plástico el arranque del surco, en el tramo anterior al primer aforador.

---

<sup>5</sup> El aforador en cabeza puede colocarse algo más elevado, para asegurar funcionamiento modular, mientras que, con el mismo objeto, la descarga del aforador en cola podría realizarse con alguna caída libre.

- 0.4. Determinar el perfil longitudinal del surco, por medición del desnivel entre puntos con equidistancia de (10) m, y estimar los valores medios de la pendiente de rasante  $l_0$ .
- 0.5. Determinar las características geométricas de secciones transversales representativas. Estimar relaciones  $\mathbf{B}(y)$ ,  $\omega(y)$ ,  $\mathbf{p}(y)$  y  $\mathbf{n}(k)$ . Prever separación  $\mathbf{S}$  entre surcos.
- 0.6. Comprobar que la bocas de servicio al surco está cerrada.
1. Desarrollo de la prueba:
  - 1.1. Arrancar sistema de suministro y asegurar el funcionamiento regular del servicio.
  - 1.2. Aplicar un gasto próximo al deseado, y retener la aportación antes del primer aforador hasta acumular sobre el plástico un volumen que podrá proporcionar el calado previsible al establecer un régimen permanente.
  - 1.3. Registrar los tiempos de avance  $t_{as}$  en todas las distancias  $s$  marcadas por las estaquillas hasta que el frente alcance la cola del surco.
  - 1.4. Registrar evolución del eje hidráulico a partir de  $[t_{ao} = 0]$  hasta el instante de la interrupción del riego  $t_{ar}$ . Las observaciones correspondientes se realizarán en los tiempos de avance hasta cada estaquilla (ver Hoja de campo nº 3).
  - 1.5. Interrumpir la aplicación de agua de riego cuando, habiendo cubierto el agua todo el surco, se estime que el régimen de la corriente se ha estabilizado; o bien, cuando haya sido completada una operación de riego.
  - 1.6. Registrar los tiempos de receso  $t_{rs}$  hasta la terminación del riego.
  - 1.7. Registrar el calado en cada aforador con intervalos apropiados para precisar el desarrollo de los hidrogramas correspondientes.
  - 1.8. Tras la utilización del surco, determinar las características de sección señaladas en el punto 0.5.
  - 1.9. Observar la humectación resultante en el suelo a lo largo del surco.

### **C. Informe**

En primer lugar, los registros de cálculo sugeridos en las hojas de gabinete serán estructurados en hoja de cálculo, para el tratamiento informático oportuno.

1. Representar los hidrogramas que han resultado para  $[s = 0, s = L = 50]$  m.
2. Representar las curvas de avance y receso.
3. Caracterizar por balance hídrico en el surco la infiltración en el suelo. Comparar el resultado con las curvas obtenidas con infiltrómetro cilíndrico.
4. Evaluar el riego aplicado.

5. Utilizar las variables consideradas de módulo, pendiente, aspereza y familia de infiltración para contrastar los resultados experimentales con las previsiones ofrecidas bien por el método del SCS bien por aplicación del programa de ordenador de un modelo apropiado.
6. Redactar un informe discutiendo la calidad de las observaciones y resultados proporcionados por la prueba.

Ensayo n° ...

Data .....

**1. Datos generales<sup>(6)</sup>**

1.1. Croquis con ubicación del surco y puntos de aforo:

1.2. Tipo de suelo:

1.3. Familia de infiltración (cilindro)<sup>(7)</sup>:

1.4. Cultivo:

1.5. Riego n°:

1.6. Erosión observada:

1.7. Duración de aplicación normal:

1.8. Otras observaciones:

---

<sup>6</sup> Salvo indicación en contra, las medidas se refieren al **SI**.

<sup>7</sup> Ver ensayo con cilindro infiltrométrico.

Ensayo n° ...

**2. Características del surco**

2.1. Perfil longitudinal:

<b>s</b>	Lectura de mira	<b>I<sub>o</sub> 10<sup>3</sup></b>
0		
10		
20		
30		
40		
50		

I<sub>o</sub> (media) =

2.2. Sección transversal:

**s =**

<b>y</b>	<b>B</b>	<b>ω 10<sup>4</sup></b>	<b>p 10<sup>3</sup></b>

**n (ó k):**

Ajuste **y(x):**

Ensayo n° ...

**3. Avance, calados y receso**

**4. Datos de aforo**

Aforador n°: 1 [s = 0]

Tiempo, <b>t</b> (h, min)	Carga, <b>h</b> 10 <sup>2</sup>

Aforador n°: 2 [s = 50]

Tiempo, <b>t</b> (h, min)	Carga, <b>h</b> 10 <sup>2</sup>

Ensayo n° ...

Data .....

### **1. Hidrogramas**

El tiempo  $t$  es el transcurrido desde que el riego comenzó a ser aplicado.

### **2. Curvas de avance y receso**

Los tiempos  $t_{as}$  y  $t_{rs}$  miden, respectivamente, el tiempo transcurrido desde que el riego comenzó a ser aplicado hasta el avance y hasta el receso en  $s$ .

Ensayo n° ...

**3. Balance hídrico**

**4. Estimación de la familia de infiltración**

4.1. Ajuste a familia  $I_F$  del SCS (ver apartado 2.2, página 106):

4.2. Otros ajustes:

Ensayo n° ...

### 5. Evaluación del riego aplicado

5.1. Aportación aplicada:

$$V_0 = q_0 t_{ar} =$$

5.2. Volumen de escorrentía:

$$V_e = q_L t_{cL} =$$

donde  $q_L$  es el gasto residual medio durante el tiempo de escorrentía  $t_{cL}$ , lo que representa un porcentaje de pérdidas de un ..... %.

5.3. Volumen infiltrado:

$$V_i = V_0 - V_e =$$

lo que representa un porcentaje de agua infiltrada de un ..... %.

5.4. Estimaciones sobre la lámina de riego:

a) Lámina media equivalente:

b) Lámina en cabeza, aceptando la validez de la familia  $I_F$  adoptada:

c) Lámina en cola:

5.5. Comparación de la lámina de riego requerida con la distribución obtenida (exceso y déficit):

5.6. Estimaciones sobre uniformidad, rendimiento y déficit:

5.7. Discusión de los criterios de operación aplicados. Comparar los resultados reales con los previsibles aplicando criterios de cálculo del SCS o con los producidos por la aplicación de algún modelo de simulación:

5.8. Otras observaciones:

## PRÁCTICA C-5: RIEGO POR ASPERSIÓN

El objetivo de esta práctica es describir la distribución del agua aplicada por sistemas de riego por aspersión convencionales. Su planteamiento se basa en el estudio experimental de la lluvia aplicada por un aspersor aislado. A este efecto, serán seleccionados tanto el elemento emisor a ensayar como las condiciones de trabajo a que será sometido durante la realización de cada ensayo, las cuales deberán aproximar a las tipificadas para bancos de pruebas (ver normas, en referencias).

Con los datos obtenidos para cada presión de trabajo, se simulará la acción superpuesta de un conjunto de aspersores vecinos, en el supuesto de que cada uno de los mismos aplicara una lluvia con distribución idéntica a la del aspersor ensayado. Se estimará la distribución del agua desde ramales convencionales con disposición de aspersores en marco y al tresbolillo, considerándose diversas disposiciones alternativas. Finalmente, se utilizarán los resultados correspondientes para comparar riegos que, en cada caso, podrían ser aplicados y para elaborar criterios que orienten sobre la utilización conveniente del emisor.

El grupo de trabajo, constituido por (20) miembros, realizará las operaciones que siguen:

- Selección del tipo de aspersor y de boquillas.
- Aplicación de unas condiciones de presión en boquilla del orden de las recomendadas por el fabricante.
- Observación y medición de las variables que describen o condicionan la lluvia aplicada: duración del ensayo, tiempo atmosférico (evaporación y vientos), gasto aplicado, velocidad de rotación, aportación en pluviómetros, etc. Los datos serán presentados en las hojas de campo que se acompañan.
- A partir de los datos obtenidos, estimación de las características de la lluvia que podría ser aplicada al instalar el aspersor ensayado en un sistema de riego determinado.

### **A. Equipo e instalaciones.**

- Aspersor normalizado (ver Hoja de campo nº 1).
- Banco de pruebas. Se trata de una superficie de  $(35 \times 35)$  m<sup>2</sup>, sensiblemente horizontal, suficientemente extensa para recibir toda la lluvia producida por el aspersor, ubicado en su centro. Una llave de paso en la tubería de servicio facilitará el control de la descarga desde el aspersor, con presión entre (0,2 y 0,6) MPa. Un croquis de la instalación se representará en la misma Hoja de campo nº 1.
- (300) vasos, de diámetro (0,11) m y altura (0,12) m, de borde en arista viva. La(s) boquilla(s) del aspersor deberán quedar a (0'20) m sobre la boca de estos vasos de medida.
- (2) manómetros, de hasta (0,7) MPa, a disponer uno en el conducto de servicio y el otro en toma de pitot a aplicar en boquilla.
- (2) cubos aforados de (10) L y (2) mangueras de diámetro (0,020) m y longitud (1) m.
- Cronómetro.
- (5) probetas de (0,25) L y (5) embudos.
- Anemómetro y veleta.
- Varios, como hojas de campo, cintas métricas de (25) y (5) m, plantilla, calculadora, cámara fotográfica, etc.

### **B. Procedimiento.**

0. Fase previa:
  - 0.1. Colocar un vaso vacío en cada una de las (289) mallas de la retícula de (17x17) que estructura el área a cubrir por la lluvia aplicada (ver Hoja de campo nº 2). Su posición será identificada tomando como referencia dos ejes coordenados constituidos por sendas hileras de vasos numerados correlativamente.
  - 0.2. Poner (2) vasos testigo, con altura de agua conocida, fuera del alcance previsible del chorro, con objeto de evaluar la evaporación.
  - 0.3. Regular el régimen de trabajo propio de la prueba maniobrando la llave de control, dirigiendo el chorro de cada boquilla hacia sendos cubos de aforo con ayuda de las mangueras. Anotar la presión en boquilla y el tiempo empleado en el llene de cada cubo de aforo, hasta alcanzar las marcas previamente señaladas. Registrar los datos así tomados en la Hoja de campo nº 3.
  - 0.4. Poner cronómetro a cero y leer anemómetro a la hora de comenzar la prueba.

1. Desarrollo de la prueba:
  - 1.1. Liberar el cronómetro e iniciar la descarga libre desde el aspersor, retirando las mangueras.
  - 1.2. Observar las condiciones durante el tiempo del ensayo. En particular, medir y registrar la velocidad y la dirección del viento, a intervalos de (15) minutos. Asimismo, la velocidad de rotación del aspersor.
  - 1.3. Registrar el tiempo de finalización del ensayo, que habrá debido durar (2 a 3) horas.
  - 1.4. Medir la aportación recibida en cada vaso pluviométrico, así como la disminución de los niveles en cada vaso testigo.

### **C. Informe.**

1. Crear en el ordenador el archivo de datos de intensidad de lluvia horaria  $i_h$ :

$$i_h = \frac{V}{\omega t}$$

donde  $V$  es la aportación durante el tiempo  $t$  en un vaso de superficie  $\omega$ . Anotar el nombre del archivo en que han sido registrados.

2. Estudiar las variables de trabajo del aspersor y, entre éstas, las relativas a funciones de gasto-presión, alcance efectivo, etc. (ver Hoja de gabinete nº 1). Con la ayuda de una hoja de cálculo y el programa CATCH3D, representar diagramas con la lluvia proporcionada por el aspersor a lo largo del diámetro mojado y dibujar curvas de distribución pluviométrica.
3. Analizar la acción superpuesta de un conjunto de aspersores vecinos, en función de diversas alternativas de separación de los mismos ( $s_a$ , en cada ramal, y  $s_r$  entre ramales) y de objetivos de riego. A tal efecto, calcular  $C_u$  y otros coeficientes estadísticos de la lluvia resultante, que será referida a la lluvia media (ver Hoja de gabinete nº 2).
4. Redactar un informe discutiendo los resultados obtenidos, así como los posibles de obtener al aplicar riegos con diversos planteamientos de empleo del aspersor ensayado.

Ensayo n° ...

Data .....

### 1. Especificaciones del aspersor<sup>(8)</sup>

Tipo y material:

Diámetro de boquilla(s):

Primaria: mm ( ")

Secundaria: mm ( ")

Presión en boquilla: kPa Gasto:  $m^3 s^{-1}$  (  $L h^{-1}$  )

Radio de alcance del chorro: m

Coefficiente de uniformidad  $C_u =$  para  $s_a \times s_r =$

Velocidad media de rotación: rpm

Otras:

### 2. Croquis del emplazamiento<sup>(9)</sup>

---

<sup>8</sup> Datos del fabricante.

<sup>9</sup> **Indíquese:**  
**Características del terreno y de la instalación del aspersor.**  
**Norte geográfico.**  
**Instalaciones vecinas que pueden interferir como cortavientos.**  
**Situación de la retícula de vasos pluviométricos.**

Ensayo n° ...

**5. Registro de medidas de lluvia**

	→ X																
↓ Y	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
4	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
5	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
6	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
7	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
8	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
9	+	+	+	+	+	+	+	+	A	+	+	+	+	+	+	+	+
10	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
11	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
12	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
13	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
14	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
15	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
17	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Marcar (A) la malla donde fue ubicado el aspersor.

Indicar (↑) la dirección y sentido del viento.

### 6. Registro de evaporación

Volumen inicial:                       $\text{cm}^3$       Volumen final:                       $\text{cm}^3$

### 7. Otras observaciones

Separación de vasos o nudos en la retícula:                      m

Descripción y altura de los vasos:

Unidad de aportación en los vasos:  $\text{cm}^3$

Ensayo n° ...

**3. Condiciones del ensayo**

Tiempo atmosférico:

Hora	Viento			Temperatura (° C)	Humeda d relativa (%)
	Recorrido (km/h)	Velocidad (m/s)	Dirección		

**Etp:** mm día

Otras:

**4. Datos del ensayo**

Hora de comienzo:

Hora de terminación:

Duración: min

Aspersor:

Altura:

Desnivel entre manómetro y boquilla:

Diámetro interior de manguera a aspersor:

Presión en boquilla: kPa

Presión en base: kPa

Gasto (capacidad cubo/tiempo de llene):

en boquilla primaria: 10 L en s,  $m^3 s^{-1}$

en boquilla secundaria: 10 L en s,  $m^3 s^{-1}$

Velocidad de rotación

Cuadrantes	1	2	3	4
Tiempo de barrido				

Velocidad media: rpm

Ensayo n° ...

**1. Resumen de datos del ensayo**

Presión: kPa,  $\phi$  boquillas mm  
 Gasto del aspersor: L s<sup>-1</sup>  
 Velocidad del viento: m s<sup>-1</sup>, dirección: ° desde el N  
 Número de filas en serie de datos:  
 Id de columnas:  
 Separación de vasos: m  
 Coordenadas x, y de la posición del aspersor en la retícula de los vasos:  
 Duración de la prueba: min

**2. Balance hídrico de la lluvia**

Volumen aplicado en área cubierta por vasos: m<sup>3</sup>  
 Aportación del aspersor: m<sup>3</sup>  
 Rendimiento aplicado: %

**3. Configuración de la lluvia neta aplicada por el aspersor**

Gráfico de isoyetas.  
 Diagrama tridimensional.

Ensayo n° ...

**4. Simulación de la lluvia aplicada por aspersores con disposiciones alternativas**

Disposición de \_\_\_ x \_\_\_ m:

Diagrama tridimensional (con apoyo del programa CATCH3D).

Distribución de la variable adimensional  $H_i^*$ , relación entre la aportación genérica  $H_i$  y la aportación media  $H$  (con hoja de cálculo).

Simulación de la distribución de intensidad de lluvia neta aplicada sobre el suelo (hoja de cálculo).

Parámetros estadísticos:

Intensidad media:	$i_h =$	mm h <sup>-1</sup>
Desviación típica:	$\sigma =$	mm h <sup>-1</sup>
Coeficiente de asimetría:	$m_3 =$	
Apuntamiento (curtosis):	$m_4 =$	
Coeficientes de uniformidad:	$C_u =$	
	<b>UCH =</b>	

**5. Simulación de riego**

Objetivo del riego:

Altura de lámina requerida:  $H_r = (40)$  mmTiempo de aplicación por postura:  $t_{ar} =$  h

Resultados de riego:

Altura de lluvia media bruta:  $H_b = i_h t_{ar} =$  mmAltura mínima:  $H_m =$  mmAltura media del cuartillo inferior:  $H_{ci} =$  mmAltura media de la mitad inferior:  $H_{mi} =$  mmAltura infiltrada neta:  $H_n =$  mmDéficit de riego:  $H_d =$  mmAltura perdida por filtración:  $H_p =$  mm

Parámetros de riego:

Rendimiento de aplicación:  $R_a =$ Coeficiente de déficit:  $C_d =$ Coeficiente de filtración profunda:  $C_p =$ Fracción de área suficientemente regada:  $f =$

## BIBLIOGRAFÍA SOBRE ENSAYOS Y PRÁCTICAS:

- ALLEN, R.G., 1.991. Sprinkler Catchcan Overlap Program, Version 4.41, U.S.U.
- ALLEN, R.G., 1990. REF-ET. Reference Evapotranspiration Calculator, version 2.0. Utah State University.
- ARMONI, S., 1989. Riego por microaspersión. Prensa XXI, Barcelona.
- BRALTS, V.F., 1995. Drip irrigation DESIGNER 2.0 and EVALUATOR 1.0, Purdue University.
- CLEMMENS, A.J., A.R. DEDRICK y R.J. STRAND, 1995. BASIN. A Computer Program for the Design of Level-Basin Irrigation Systems. Version 2.0, WCL Report # 19. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, U. S. Water Conservation Laboratory, Phoenix.
- CRIDDLE, W.D., S. DAVIS, S.N. PAIR y D.S. SCHOCKLEY. 1.956. Methods for evaluating irrigation systems. Agric. Handbook nº82, SCS-USDA, Washington.
- DOMINGUEZ, J., A. LOSADA, J. ROLDAN y M. ALCAIDE. 1.984. Curvas de gasto para aforo modular. Comunicaciones INIA, Serie: General, nº 14.
- DOOREMBOS, J. y W.O. PRUITT, 1979. Las necesidades de agua de los cultivos. Estudios FAO: Riego y Drenaje n 24, Roma.
- DOOREMBOS, J., A.H. KASSAM, y cols., 1980. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Estudios FAO: Riego y drenaje N° 33, Roma.
- FAO, 1989. Outline Irrigation Scheduling Model. Land and Water Development Division, FAO, Roma.
- GOTINVER. 1996. Modelo para simular goteo en invernaderos de Almería.
- HAISE, H.R., W.W. DONNAN, J.T. PHELAN, L.F. LAWHON y D.G. SHOCKLEY. 1.956. The use of cylinder infiltrometers to determine the intake characteristics of irrigated soils. USDA Publ. ARS 41-7.
- HILLEL, D. (Ed.), 1982. Advances in Irrigation. Vols. 1 a 4. Academic Press, New York.
- HOFFMAN, T.A., T.A. HOWELL y K.H. SOLOMON, 1990. Management of farm irrigation systems. ASAE Monograph, St. Joseph, Michigam.
- INT. INST. FOR LAND RECLAMATION AND IMPROVEMENT (ILRI), 1994. Drainage Principles and Applications, Wageningen.
- JENSEN, M.E.; R.D. BURMAN y R.G. ALLEN (Ed.), 1990. Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements. American Society of Civil Engineers, New York.
- JENSEN, M. E., Ed., 1980. Design and Operation of Farm Irrigation Systems. ASAE Monograph N 3. St. Joseph, Michigam.

- JOHNSTON, W.R. y J.B. ROBERTSON, Eds., 1991 Management, Operation and Maintenance of Irrigation and Drainage Systems (2nd. ed.). ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice N 57.
- LOMAX, W.R., A.J. SAUL. 1979. Laboratory work in Hydraulics. Series Editor: W.D.A. Johns.
- LOSADA, A., J. ROLDÁN, M. ALCAIDE, L. JUANA y E. CAMACHO, 1992. Ensayos de hidráulica aplicada al riego. 7/92 Apuntes, Junta de Andalucía.
- LOSADA, A., L. JUANA y J. MARTÍNEZ, 1995. Distribución racional del agua con sistemas de riego por goteo en invernadero. FIAPA, IFA, Almería.
- MERRIAM, J.L. y J. KELLER. 1.978. Farm irrigation system evaluation: A guide for management. Utah St. Univ. Logan.
- MESSERSMITH, C.W., C.F. WARNER y R.A. OLSEN, 1963. Mechanical Engineering Laboratory, Wiley.
- NAKAYAMA, E.S., BUCKS, D.A., Eds., 1986. Trickle Irrigation for Crop Production, Design, Operation and Management, Dev. in Agr.Engg. 9, Elsevier.
- PIZARRO CABELLO, F., 1987. Riegos localizados de alta frecuencia, goteo, microaspersión, exudación, Mundi-Prensa, Madrid.
- PLAYÁN, E., G.P. MERKLEY y W.R. WALKER, 1992. B2D, Two dimensional Basin Irrigation Simulation Model, version 1.0. Department of Biological and Irrigation Engineering, Utah State University.
- SHAYYA, W.H. y V.F. BRALTS, 1994. SCS-Microcomputer Irrigation Scheduling Package. SCS-Scheduler Versiopl 3.00, Soil Conservation Service.
- STEWART, B.A. y NIELSEN, D.R., 1990. Irrigation of Agricultural Crops. Monograph n 30, Series Agronomy, American Society of Agronomy.
- STRELKOFF, T., 1990. SRFR. A Computer program for simulating flow in surface irrigation WCL Report N 17. U.S. Water Conservation Laboratory, ARS-USDA, Phoenix.
- STRELKOFF, T, A.J. CLEMMENS, B.V. SCHMIDT y E.J. SLOSKY, 1996. BORDER. A Design and Management Aid for Sloping Border Irrigation Systems. Version 1.0, WCL Report N 21. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, U. S. Water Conservation Laboratory.
- TANJI, K.K., Ed., 1990. Agricultural Salinity Assessment and Management. American Society of Civil Engineers, New York.
- TECQUIPMENT. A first course in Hydraulics. Engineering Laboratory Equipment Manual. Nottingham.
- Universidad Politécnica de Madrid. Diversos protocolos y normas para ensayos de equipos de hidráulica y de riegos.
- USDA, 1960. Sprinkler Irrigation, Chapter 11, Soil Conservation Service, National Engg. Handbook, Washington.

- USDA, 1974. Border and Furrow Irrigation. Chapters 4 and 5, Section 15 (Irrigation), Soil Conservation Service National Engineering Handbook, Washington.
- Utah State University, 1989. SIRMOD (Surface Irrigation Simulation Software). Department of Agricultural and Irrigation Engineering.
- VERMEIREN, L. JOBLING, G.A., 1986. Riego localizado. Estudios FAO: Riego y drenaje n 36, Roma.
- WALKER, W.R., 1989. Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems. FAO Irrigation and Drainage Paper # 36, Roma.
- WALKER, W.R. y G.V. SKOGERBOE, 1987. Surface Irrigation, Theory and Practice. Prentice-Hall, New Jersey.
- Varias procedencias: Instrucciones de instalación y servicio de equipos para ensayos de laboratorio de hidráulica, normas, catálogos, etc. En especial:
  - ALSTHOM. Techniques de fluides. Équipements de laboratoires d'hydraulique. Grenoble.
  - ARMFIELD HYDRAULIC ENGINEERING Co. Ltd. Instruments for Applied Hydraulics. Technical Education Equipment Division. Ringwood.
  - DELTALAB. Equipos de enseñanza para laboratorios de ingeniería. Voreppe.
  - DISTESA. Instalaciones hidráulicas. Madrid.
  - GILKES. Equipos de enseñanza ara ingeniería. Kendal.
  - ELE International Limited. Agronomics Division. Irrigation and Drainage.
  - Normas UNE (68072-86: Aspersores rotativos; 68073-86: difusores), ISO (ISO/DIS 7749/1: Rotating Sprinklers; ISO/DIS 8026: Difusores) y ASAE (S330.1, S398.1).
  - Normas ISO (proyecto ISO/DIS 9261: Systèmes de tuyaux émetteurs) y UNE (68-075-86: Emisores).
  - PLINTS & PARTNNERS LTD. Wokingham.
  - TELEQUIPMENT. Londres.