

7/92 Apuntes

ENSAYOS DE HIDRAULICA APLICADA AL RIEGO



JUNTA DE ANDALUCIA

Consejería de Agricultura y Pesca

DIRECCION GENERAL DE INVESTIGACION, TECNOLOGIA Y FORMACION AGROALIMENTARIA Y PESQUERA

**ENSAYOS DE HIDRAULICA
APLICADA AL RIEGO**

Edita: JUNTA DE ANDALUCIA. Consejería de Agricultura y Pesca.

Publica: DIRECCION GENERAL DE INVESTIGACION, TECNOLOGIA Y FORMACION
AGROALIMENTARIA Y PESQUERA.
SERVICIO DE PUBLICACIONES Y DIVULGACION.

Colección: APUNTES, N.º 7/1992.

Autores: A. Losada; J. Roldán; M. Alcaide; L. Juana; E. Camacho.

Foto portada: Toma de carga para ensayos de riego por goteo. Estación Experimental de
Las Palmerillas. Almería.

Coordinación y diseño: Heliodoro Fernández López y Rosa M.ª Mateo Fernández

Depósito Legal: CO/1.535-1993

I.S.B.N.: 84-87564-67-4

Imprime: Tipografía Católica, S.C.A.
Polígono Ind. La Torreilla - Córdoba

Se prohíbe la reproducción parcial o íntegra de esta publicación, sin la autorización expresa de autor/es, o editor.

ENSAYOS DE HIDRAULICA APLICADA AL RIEGO

AUTORES:

A. Losada (*)
J. Roldán (**)
M. Alcaide (**)
L. Juana (*)
E. Camacho (**)

(*) Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos.
Universidad Politécnica de Madrid.

(**) Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Ingenieros de Montes.
Universidad de Córdoba.

INDICE

Pág.

PARTE PRIMERA

INSTRUCCIONES PARA LA REALIZACION DE ENSAYOS EN LABORATORIO

	1
Introducción	5
H.1. Medidas de presión	7
H.2. Pérdidas de carga en conducciones forzadas	11
H.3. Distribución de carga y de gasto a lo largo de un ramal	17
H.4. Corrientes libres (I)	23
H.5. Corrientes libres (II)	26
H.6. Corrientes libres (III)	29
H.7. Corrientes libres (IV)	33
H.8. Aforo de corrientes líquidas (I)	39
H.9. Aforo de corrientes líquidas (II)	43
H.10. Bombeo	47

PARTE SEGUNDA

INSTRUCCIONES PARA LA REALIZACION DE ENSAYOS DE RIEGO EN CAMPO

	51
Introducción	53
I. Riegos por superficie	55
S.0. Introducción	57
S.1. Infiltración en cilindro	58
S.2. Riego por escurrimiento en surcos	65
S.3. Riego a manta	84
II. Aspersión convencional y por pivote	95
A.0. Introducción	97
A.1. Ensayo de aspersor aislado	98
A.2. Evaluación de sistema de riego por aspersión convencional	106
A.3. Evaluación de riego aplicado por pivote	113

	<u>Pág.</u>
III. Riegos localizados	121
L.0. Introducción	123
L.1. Evaluación de riego por goteo	124
L.2. Ensayo de microaspersor	130
 APENDICE: Un aforador para evaluar el riego en surcos	 137
 BIBLIOGRAFIA	 147

PARTE PRIMERA

INSTRUCCIONES PARA LA REALIZACION

DE ENSAYOS EN LABORATORIO

INTRODUCCION

Las distribuciones de presión y de gasto constituyen una parte fundamental en el funcionamiento de sistemas de riego.

El estudio experimental de pérdidas de carga en tuberías y acequias proporciona una base apropiada para entender las corrientes de agua. La evaluación de prácticas de riego no se concibe sin la realización de aforos en tuberías y acequias. La aplicación de energía mediante bombeo es también fundamental para el manejo de sistemas hidráulicos. Por todo ello, los tres aspectos enunciados constituyen el objeto de prácticas que pueden fundamentar la formación de técnicos que interpreten correctamente la operación de sistemas de riego.

- H.1. Medidas de presión**
- H.2. Pérdidas de carga en conducciones forzadas**
- H.3. Distribución de carga y gasto a lo largo de un ramal**
- H.4. Corrientes libres (I)**
- H.5. Corrientes libres (II)**
- H.6. Corrientes libres (III)**
- H.7. Corrientes libres (IV)**
- H.8. Aforo de corrientes líquidas (I)**
- H.9. Aforo de corrientes líquidas (II)**
- H.10. Bombeo**

H.1. MEDIDAS DE PRESION

Objetivo

La finalidad de este experimento es lograr una familiaridad con el uso de varios instrumentos de medida de presión, afianzar sus fundamentos teóricos y formar elementos de juicio en su selección.

A) Equipo:

- Vacuómetro y manómetro Bourdon.
- Piezómetros en tubería de impulsión.
- Manómetro diferencial de mercurio.
- Manómetro diferencial digital.
- Tomas de presión en canal.
- Vertedero en pared gruesa.
- Circuito hidráulico compuesto por canal de pendiente variable, tuberías de aspiración e impulsión, bomba centrífuga horizontal y depósito de recuperación y alimentación.

B) Procedimiento:

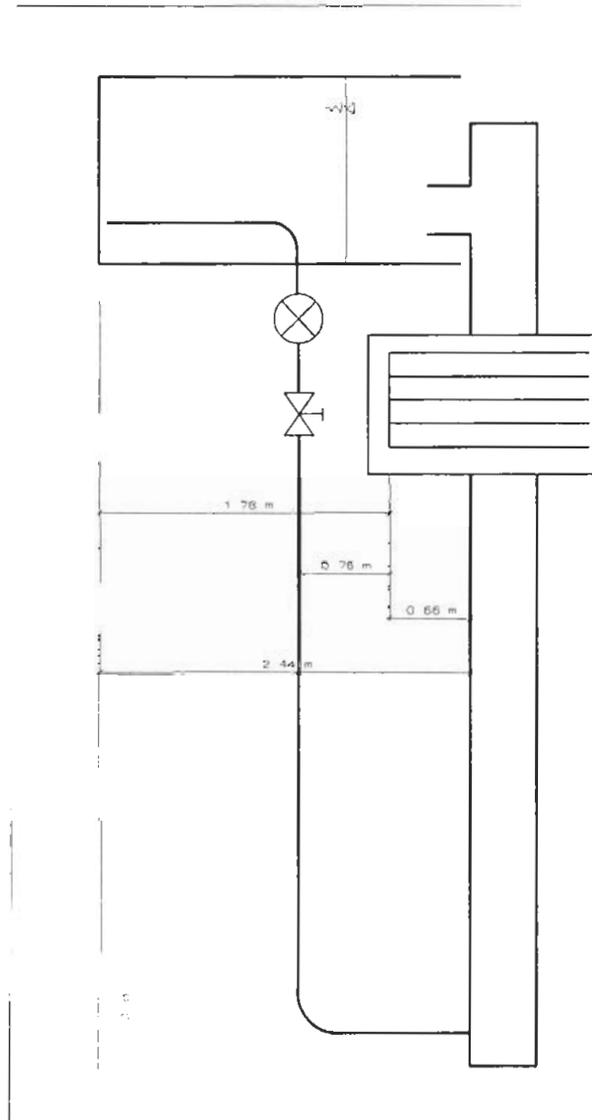
0. Establecer un régimen permanente.
1. Medir presión en aspiración (mediante vacuómetro o por desnivel en aspiración).
2. Medir presión en descarga bomba.
3. Medir presión en tomas piezométricas.
4. Medir diferencia de presión en manómetros diferenciales de mercurio y digital.
5. Medir niveles piezométricos a lo largo del canal, antes y después del vertedero en pared delgada.

C) Informe:

1. Dibujar líneas geométrica y piezométrica sobre un plano de comparación al nivel de la boca de aspiración.
2. Discusión de resultados.
3. Comparar informes de resultados obtenidos para diferentes regímenes de corriente.

		REGIMEN 1	REGIMEN 2	REGIMEN 3	REGIMEN 4	REGIMEN 5
Presión en aspiración						
Manómetro Bourdon (kgf/cm ²)						
Manómetro diferencial (mm de Hg)						
Manómetro diferencial digital (bares)						
Piezómetros tubería impulsión	1					
	2					
	h (m)					
Piezómetro 1 (m)						
Piezómetro 2 (m)						
Piezómetro 3 (m)						
Piezómetro 4 (m)						
Piezómetro 5 (m)						
Piezómetro 6 (m)						

CROQUIS ACOTADO DEL CIRCUITO HIDRAULICO



H.2. PERDIDAS DE CARGA EN CONDUCCIONES FORZADAS

Objetivo

El estudio experimental de una corriente en conducción forzada será fundamentado sobre la medición de cargas diferenciales producidas por un gasto determinado volumétricamente. De esta manera, se puede obtener, por una parte, la relación de dependencia entre el factor de fricción f de la ecuación de Darcy-Weisbach y el número de Reynolds R en tuberías y, por otra, los valores experimentales de los coeficientes de pérdidas de carga en distintas singularidades.

A) Equipo:

- Banco de pérdidas de carga en tuberías y singularidades, con conexión a la red de distribución de agua y desagüe.
- Panel con manómetro diferencial.
- Manómetro diferencial digital.
- Aforador volumétrico.
- Cronómetro.

B) Procedimiento:

1. Medir distancias entre tomas de presión.
2. Establecer sucesivas situaciones de régimen permanente con diversas aberturas de la llave de control.
3. Medir, en cada situación:
 - 3.1. Diferencias de niveles piezométricos entre extremos de tramo uniforme de cada tubería.
 - 3.2. Diferencias de niveles piezométricos causadas por llave de compuerta, codo de 90° y curva de 90° .
 - 3.3. Tiempo necesario para aportar al aforador un volumen determinado.

C) Informe:

1. Determinar Q , U , R y f .
2. Representar gráficamente, en papel logarítmico, la relación experimental $f(R)$, comparando resultados de cada grupo.
3. Comparar los valores experimentales de h_f con los obtenidos por la aplicación de la ecuación de Blasius y de la de Hazen-Williams ($C = 150$).
4. Determinar los valores del coeficiente de pérdidas de carga, K , en las diferentes singularidades.
5. Discutir los resultados obtenidos.

Ecuaciones a utilizar^(*)(^{}):**

- Darcy-Weisbach:
$$h_f = f \left(\frac{k}{D}, R \right) \frac{L}{D} \frac{U^2}{2g}$$

- Blasius:
$$h_f = 778 \cdot 10^{-4} Q^{175} D^{-475} L$$

- Hazen-Williams:
$$h_f = \left(\frac{U}{0'85 C R^{0'63}} \right)^{1'852} L$$

- Pérdidas en singularidades:
$$h_f = K \left(\frac{l}{l'}, \dots, R \right) \frac{U^2}{2g}$$

(^{*}) El sistema de unidades de referencia es el SI.

(^{**}) La viscosidad cinemática del agua se considera: $\nu = 1'1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

Data _____

HOJA DE LABORATORIO N° 1

PERDIDAS EN TUBERIAS

		REGIMEN 1	REGIMEN 2	REGIMEN 3	REGIMEN 4	REGIMEN 5
TUBERIA 1-2 (PVC)	Longitud (L)					
	h_f					
	Volumen de agua (V)					
	Tiempo (t)					
	Caudal (Q)					
	Velocidad (U)					
	R					
	f					
	h_f (Blasius)					
	h_f (H-W)					
TUBERIA 3-4 (Polietileno)	Longitud (L)					
	h_f					
	Volumen de agua (V)					
	Tiempo (t)					
	Caudal (Q)					
	Velocidad (U)					
	R					
	f					
	h_f (Blasius)					
	h_f (H-W)					

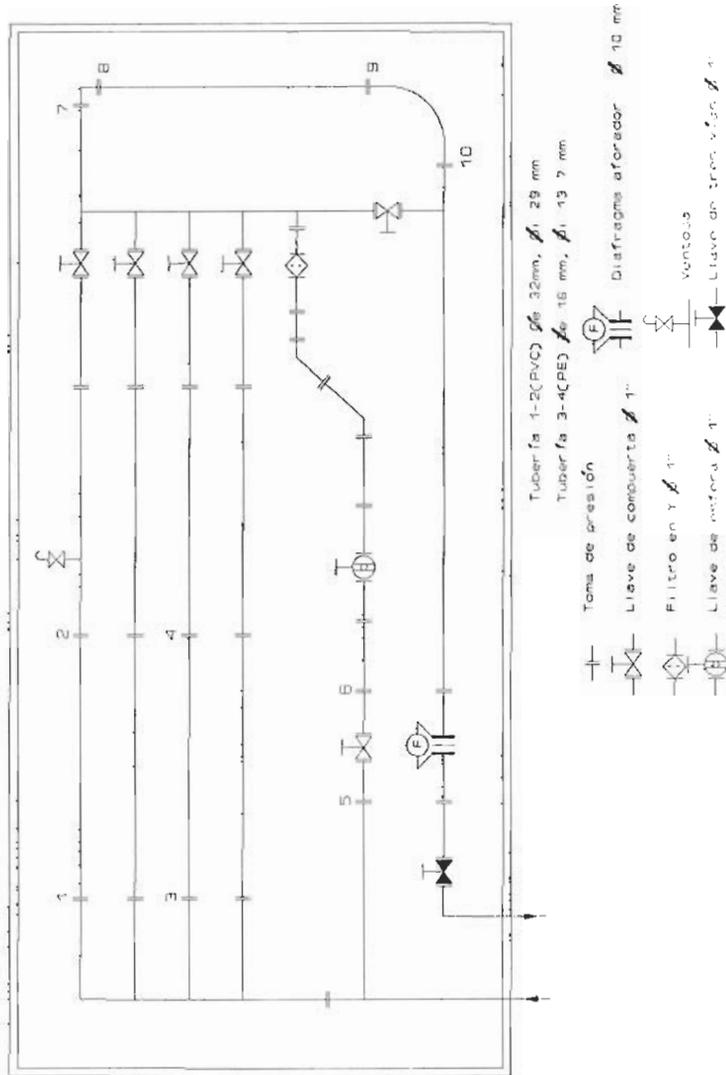
Data _____

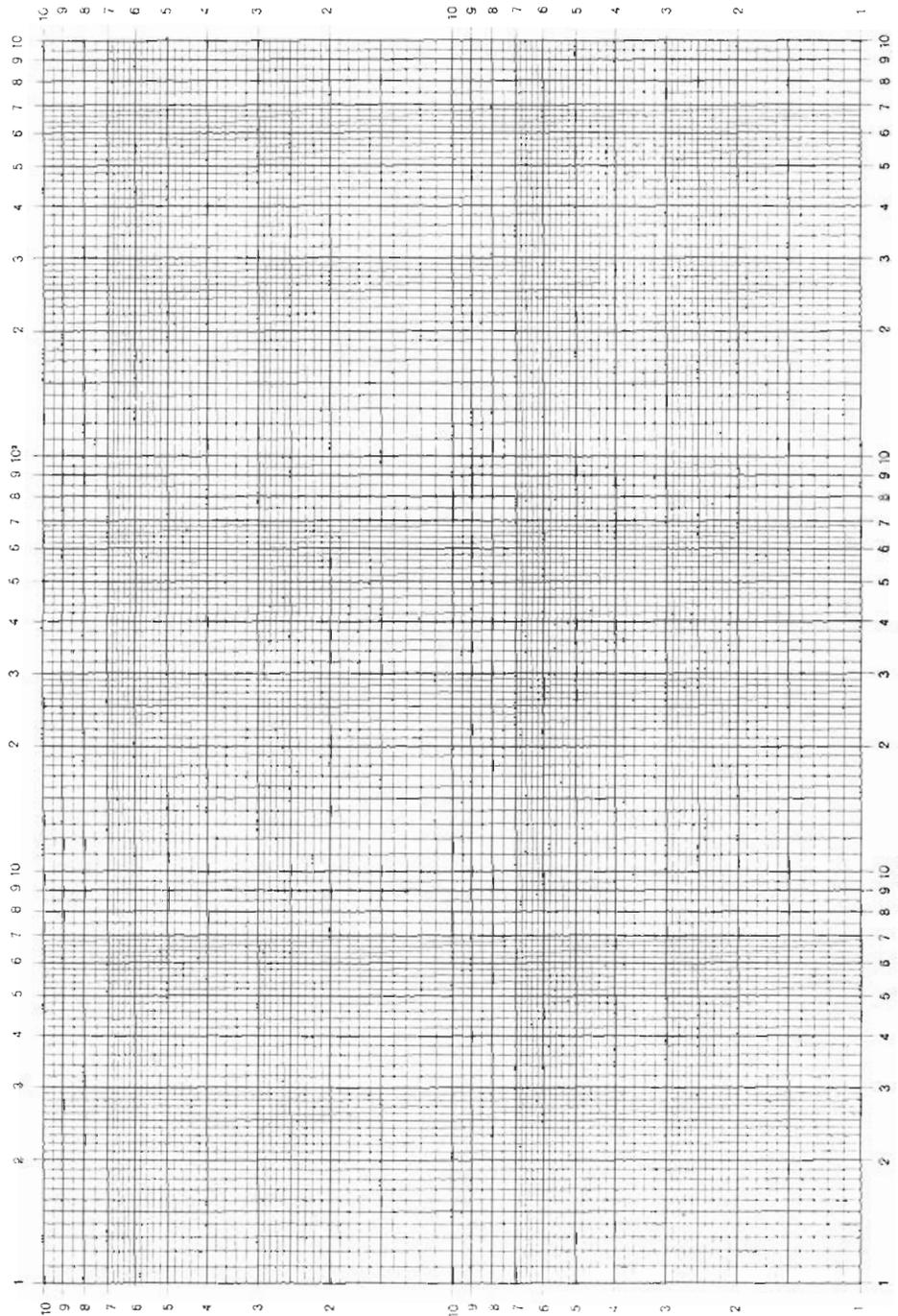
HOJA DE LABORATORIO N° 2

PERDIDAS EN SINGULARIDADES

		REGIMEN 1	REGIMEN 2	REGIMEN 3	REGIMEN 4	REGIMEN 5
LLAVE DE COMPUERTA	h_{15-6}					
	V					
	t					
	Q					
	U					
	K					
CODO DE 90°	h_{17-8}					
	V					
	t					
	Q					
	U					
	J					
CURVA DE 90°	h_{19-10}					
	V					
	t					
	Q					
	U					
	K					

CROQUIS DEL SISTEMA





H.3. DISTRIBUCION DE CARGA Y DE GASTO A LO LARGO DE UN RAMAL

Objetivo

El cálculo hidráulico de los ramales de plástico para riego por goteo se basa normalmente en la fórmula de Blasius. La realidad de campo limita la aplicación esta fórmula debido a que la tubería no esté geoméricamente definida, bien por defectos de manufactura bien por deformaciones fuera de control. Junto a tales irregularidades, pueden considerarse las producidas por los propios goteros en sus puntos de inserción. En cuanto a los parámetros que describen el comportamiento hidráulico de dichos goteros, también pueden no ajustarse, por razones diversas, a los valores previstos en fábrica. En consecuencia, es de interés determinar el comportamiento real de los goteros dispuestos a lo largo de un ramal, tal como trabajan en condiciones de campo.

El objetivo del ensayo aquí planteado es el estudio experimental, en laboratorio, de las pérdidas de carga y de las relaciones de gasto-presión en ramales de goteo.

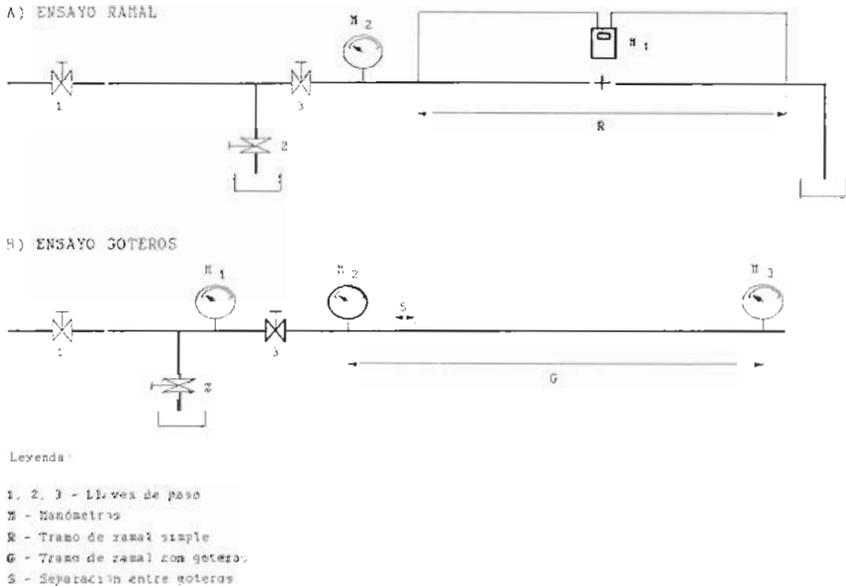
A) Material:

- Sistema indicado en el esquema *B* de la figura, cuya parte básica es un ramal con 100 goteros equidistantes separados a 0'5 m(*). Dispone de un conducto de alimentación con las llaves de control L_2 y de regulación L_3 . La carga se suministra por la bomba **B** o, mejor, por un depósito con nivel constante. El ramal y los goteros serán seleccionados conforme a criterios que aseguren la representatividad del ensayo.
- Manómetros M_1 , M_2 y M_3 , con un rango de 0-0'35 MPa, acoplados en T en los puntos señalados(**).
- Cronómetro.
- Bandejas colectoras, con capacidad de unos dos litros.
- 5 probetas, de 0'25 ó 0'50 litros.
- 5 embudos, de diámetro 0'10 m.
- Cinta métrica de 5 m.

(*) Es aconsejable operar, además, la tubería sin goteros del croquis *A*, cuya precisión complementa la información ofrecida por la práctica *H.2*.

(**) Alternativamente, en sustitución de alguno de los manómetros M_2 y M_3 , podrá instalarse un manómetro diferencial.

- Hojas para registro y manejo de datos.
- Varios, como calibrador, termómetro, esquemas de los materiales empleados en el sistema, calculadora, etc.



B) Procedimiento:

En la realización de cada ensayo, podrán intervenir 20 participantes.

0. Fase previa:

- 0.1. Medir el diámetro del ramal. Instalar el sistema, cuidando la horizontalidad del ramal. Medir la temperatura del agua y del ambiente. Colocar una bandeja al pie de cada gotero.
- 0.2. Preparar el régimen de trabajo deseado. A tal efecto, cerrar la llave L_3 que da paso al ramal. Arrancar la bomba B , o abrir la llave L_1 , y actuar sobre la llave L_2 hasta que la presión en el manómetro M_1 sea 1 m mayor que la deseada en cabeza del ramal.

0.3. Abrir totalmente L_3 y esperar a que las lecturas de los manómetros de cabeza y cola se estabilicen. En tal momento, registrar los valores correspondientes.

1. Desarrollo de la prueba:

Cada participante se hará cargo de 5 goteros.

1.1. Cambiar todas las bandejas, y registrar la lectura en los manómetros M_2 y M_3 en el instante de la operación.

1.2. Finalizar la prueba antes de que ninguna bandeja desborde. A tal efecto, cerrar la llave L_3 (^{*}). Registrar el instante de la operación.

1.3. Medir la aportación recogida en cada bandeja.

C) Informe:

1. Determinar el gasto real de cada gotero y el total entrante al ramal.

2. En el supuesto de que sea constante el coeficiente K (o la longitud equivalente L_e) de pérdida de carga localizada en los puntos de inserción de los goteros, determinar su valor de forma que la estimación de energía disipada en el ramal coincida con la medida experimental. Estimar la consiguiente distribución de carga a lo largo del ramal.

3. Representar el gasto q medido en los goteros, en función de la carga h estimada.

4. Estimar por regresión logarítmica múltiple los parámetros de la fórmula de gasto. Se supondrá que ésta se ajusta a la relación potencial siguiente, entre el gasto q y la carga h :

$$q = k h^x$$

Evidentemente, se tiene la regresión lineal:

$$\log q = \log k + x \log h$$

5. A partir de los valores del coeficiente k y del exponente x obtenidos para un gotero tipo, estimar los valores del gasto que hubieran debido resultar,

(^{*}) En el caso de que el ensayo vaya a ser repetido en las mismas condiciones, es preferible sustituir las bandejas utilizadas por las que se utilizaron durante la fase previa.

a lo largo del ramal, en el supuesto de que el mismo hubiera trabajado a las presiones arriba estimadas.

6. Determinar las desviaciones de los gastos estimados en relación con los observados. Estimar su coeficiente de variación CV_m , que se calculará mediante la expresión:

$$CV_m = \frac{S_q}{\bar{q}}$$

siendo S_q y \bar{q} , respectivamente, la desviación típica y el gasto medio de los goteros.

7. Representar la función de distribución de las aportaciones recogidas. Determinar el volumen medio y el volumen medio del cuarto con menos aportación.
8. Estimar el rendimiento de aplicación y el coeficiente de déficit, bajo el supuesto de que el volumen requerido sea el volumen medio del cuarto con menos aportación. Asimismo, los valores de dichos parámetros que pueden corresponder a un tiempo de riego t_{ar} y a una aportación V_r requerida.
9. Discutir los resultados obtenidos y sus consecuencias. En particular, comparar las condiciones de gasto y presión que han resultado en el sistema con las que le hubieran correspondido de conformidad con la información proporcionada por el fabricante de los goteros.

Ensayo n° _____
Data _____

HOJA DE LABORATORIO N° 1

1. Datos generales

1.1. Características instalación:

1.1.1. Acometida:

1.1.2. Ramal:

Material:

Longitud:

Diámetro:

1.1.3. Gotero:

Fórmula de gasto:

1.1.4. Manómetros:

1.1.5. Llaves:

1.1.6. Otras:

2. Presión

En cabeza: _____ mca; en cola: _____ mca

3. Temperatura

Ambiente: _____ °C; del agua: _____ °C

4. Hora

De comienzo: _____

De terminación: _____

Duración del ensayo: _____ min

5. Otras observaciones

H.4. CORRIENTES LIBRES (I)

Objetivo

El objetivo de esta práctica es la experimentación, bajo diversas condiciones de régimen permanente, en el flujo de un gasto Q a lo largo del sistema de recirculación constituido por un depósito de reserva, bomba, tubería de impulsión y canal de pendiente variable que desagua al depósito de reserva. Se establecerán diversas condiciones de movimiento variado y uniforme y se estudiará el eje hidráulico que les corresponde.

A) Equipo:

- Canal de pendiente variable alimentado, desde el depósito de reserva, por una bomba de la que parte una tubería de impulsión en la que hay instalado un venturímetro que servirá para medir el gasto Q .
- Transición interpuesta en el canal, consistente en un aforador de estrechamiento largo.
- Limnómetro.
- Compuerta en extremo distal del canal.

B) Procedimiento:

1. Establecer una pendiente $I_0 = 0$ en el canal y bajar totalmente la compuerta en el extremo distal del canal.
2. Establecer un régimen permanente en el canal y observar el eje hidráulico correspondiente.
3. Medir h en el venturímetro.
4. Subir lentamente la compuerta del canal hasta producir un resalto hidráulico estacionario. Medir calados conjugados en el resalto.
5. Observar las situaciones permanentes sucesivas al levantar la compuerta hasta producir sumergencia del aforador.
6. Bajar totalmente la compuerta y retirar el aforador.
7. Aumentar la pendiente I_0 hasta el 2%. Medir calado normal medio en esta situación de casi uniformidad.

8. Reducir I_0 hasta cero de forma gradual e ir midiendo el calado normal medio correspondiente a cada situación de casi uniformidad.
9. Invertir I_0 , observar el cambio de régimen producido y el eje hidráulico en contrapendiente.

C) Informe:

1. Calcular Q .
2. Estudiar pérdida de energía producida en el resalto.
3. Calcular y_c y comparar con el calado normal en cada situación.
4. Para los supuestos de flujo uniforme estimar el coeficiente de aspereza del canal.
5. Representar cualitativamente los diversos ejes hidráulicos observados.
6. Discutir los resultados.

AFORO

- Venturímetro:

h =

Q =

$$D = 0'125$$

$$d = 0'0766$$

$$C_d = 1'042$$

RESALTO HIDRAULICO

$$y_1 =$$

$$\Delta H =$$

$$y_2 =$$

RELACION I₀-CALADO

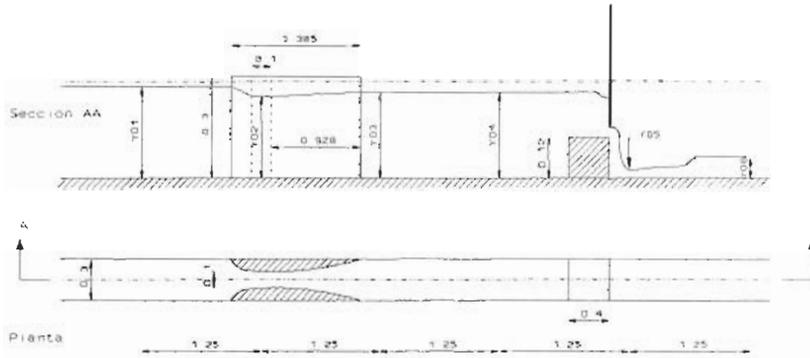
I ₀		
Y ₀		

$$y_c =$$

H.5. CORRIENTES LIBRES (II)

Objetivo

Se pretende estudiar las condiciones de una corriente libre que, según indica el croquis, es obligada a cambiar su sección. Se aplicarán las ecuaciones de continuidad y energía.



Interesa, en particular, ilustrar el trabajo de un venturí. La variación de los sumandos energéticos en el estrechamiento impuesto por su garganta será estudiada a partir de:

$$H_{01} = H_{02} + K \cdot \frac{U_2^2}{2 \cdot g} = \left(H_{03} + \frac{\xi(U_2 - U_3)^2}{2 \cdot g} \right) + K \cdot \frac{U_2^2}{2 \cdot g}$$

a cuyo efecto se harán las oportunas mediciones de calado y niveles piezométricos.

En cuanto a la fricción por la viscosidad del agua, será estudiada comparando los valores alcanzados por **H**.

A) Equipo:

- Venturímetro, en tubería de servicio.
- Venturí, en primer tramo de canal.
- Piezómetros y manómetro diferencial.
- Limnómetro y reglas limnométricas.

B) Procedimiento:

1. Ajustar $I_0 = 0$, bajar compuerta distal hasta el fondo.
2. Medir en panel de piezómetros h e y_{01} a y_{06} .
3. Aumentar el caudal para los distintos grupos, actuando sobre la llave de mariposa en la impulsión.

C) Informe:

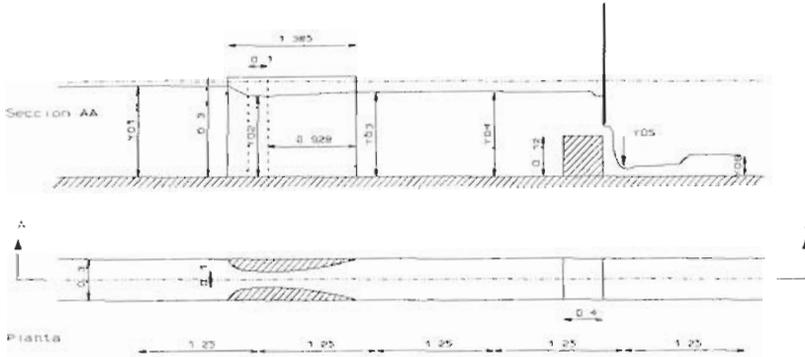
1. Dibujar el eje hidráulico de la corriente.
2. Calcular Q suponiendo en el venturímetro $C_d = 1'042$.
3. Calcular K y ξ en el venturi.
4. Estimar el caudal en el venturi del canal.
5. Discusión, comparando resultados de distintos grupos.

	REGIMEN 1	REGIMEN 2
Abertura llave		
VENTURIMETRO ($C_d = 1.042$)	h, h' _____ Q _____	h, h' _____ Q _____
VENTURI	y_{01} _____ y_{02} _____ Q_{calc} _____ y_{03} _____ U_1 _____ H_{01} _____ U_2 _____ H_{02} _____ ΔH_{12} _____ U_3 _____ H_{03} _____ ΔH_{23} _____ K _____ ξ _____	y_{01} _____ y_{02} _____ Q_{calc} _____ y_{03} _____ U_1 _____ H_{01} _____ U_2 _____ H_{02} _____ ΔH_{12} _____ U_3 _____ H_{03} _____ ΔH_{23} _____ K _____ ξ _____
TRAMO PRISMATICO	y_{04} _____ H_{04} _____ ΔH_{34} _____ y_{05} _____ H_{05} _____ ΔH_{45} _____ y_{06} _____ H_{06} _____ ΔH_{56} _____	y_{04} _____ H_{04} _____ ΔH_{34} _____ y_{05} _____ H_{05} _____ ΔH_{45} _____ y_{06} _____ H_{06} _____ ΔH_{56} _____

H.6. CORRIENTES LIBRES (III)

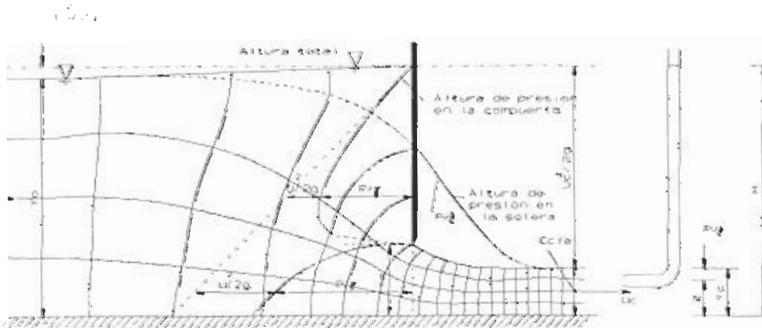
Objetivo

Se pretende estudiar las condiciones de una corriente libre que, según indica el croquis, es obligada a cambiar su sección. Se aplicarán las ecuaciones de continuidad, energía e impulso.



Se estudiará el desagüe bajo una compuerta de fondo con objeto de determinar coeficientes de gasto y pérdidas de carga. La relación que servirá de base para la determinación de C_d es:

$$Q = \frac{C_u \cdot C_c}{\sqrt{1 + C_c \cdot \frac{y_a}{y_0}}} \cdot b \cdot y_a \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot y_0} = C_d \cdot b \cdot y_a \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot y_0}$$



Adicionalmente, se estimará el empuje sufrido por la compuerta. El esfuerzo dinámico será obtenido mediante un diagrama de presiones como el de la figura, así como a partir de la ecuación de Euler:

$$F_d = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot b \cdot y_c^2 \cdot \left(\frac{y_0^2}{y_c^2} - 1 \right) - \rho \cdot \frac{Q^2}{b \cdot y_c} \cdot \left(1 - \frac{y_c}{y_0} \right)$$

y será comparado con el esfuerzo F_e que resultaría con una distribución hidrostática de presiones:

$$F_e = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot b \cdot (y_0 - y_a)^2$$

Finalmente, se estudiará en la compuerta la interdependencia caudal-calado para una altura total de energía aproximadamente constante, o bien, la interdependencia entre calados conjugados para un caudal aproximadamente constante.

A) Equipo:

- Venturímetro, en tubería de servicio.
- Vertedero de cresta ancha y compuerta, en segundo tramo de canal.
- Piezómetros y manómetro diferencial.
- Limnómetro y reglas limnimétricas.

B) Procedimiento:

1. Ajustar $I_0 = 0$, bajar compuerta distal hasta el fondo, situar compuerta de fondo para $y_a = 0'025$ m y establecer mediante llave de control $y_0 = 0'15$ m.
2. Medir y_a , y_0 e y_c sobre el vertedero. Cada grupo considerará una abertura de compuerta propia. Los valores de y_a serán gradualmente crecientes hasta la situación límite en que el caudal establecido en I vierte libremente sobre el vertedero.
3. Repetir con valores de y_a decrecientes, entre 0'06 y 0'03 m, manteniendo, en lo posible, y_0 en el valor establecido en I (utilícese manómetro diferencial para determinar h).
4. Observar evolución de calados y_{01} a y_{06} al establecer en el desagüe una sección de control mediante elevación de la compuerta distal.

C) Informe:

1. Dibujar el eje hidráulico de la corriente en las situaciones límite alcanzadas en 2 y 4.
2. Calcular Q suponiendo en el venturímetro $C_d = 1'042$.
3. Dibujar C_c , C_u y C_d en función de y_a/y_0 para los resultados obtenidos en la compuerta.
4. Calcular la fuerza ejercida sobre la compuerta comparando el resultado obtenido a partir de la ecuación de Euler con los correspondientes al diagrama de presiones adjunto y a la distribución hidrostática.
5. Discusión, comparando resultados de distintos grupos.

REGIMEN ____

	Punto 2			Vertido libre			Punto 3			Control en extremo distal			
Abertura llave													
VENTURIMETRO ($C_d = 1.042$)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	
h, h'	_____			_____			_____			_____			
Q	_____			_____			_____			_____			
VENTURI	y_{01}	_____		_____			_____			_____			
	y_{02}	_____	Q_{calc} _____	_____			_____			_____			
	y_{03}	_____		_____			_____			_____			
	U_1	_____	H_{01} _____	_____			_____			_____			
	U_2	_____	H_{02} _____	ΔH_{12} _____	_____			_____			_____		
	U_3	_____	H_{03} _____	ΔH_{23} _____	_____			_____			_____		
	K	_____			_____			_____			_____		
ξ	_____			_____			_____			_____			
TRAMO PRISMATICO	y_{04}	_____	H_{04} _____	ΔH_{34} _____	_____			_____			_____		
COMPUERTA	y_a	_____		_____			_____			_____			
	y_0	_____	Q_{calc} _____	_____			_____			_____			
	y_c	_____		_____			_____			_____			
	y_a/y_0	_____		_____			_____			_____			
	C_c	_____		_____			_____			_____			
	C_u	_____		_____			_____			_____			
	C_d	_____		_____			_____			_____			
	U_0	_____	H_0 _____	ΔH_{40} _____	_____			_____			_____		
	U_c	_____	H_0 _____	ΔH_{0c} _____	_____			_____			_____		
	F_{d1}	_____		_____			_____			_____			
F_{d2}	_____		_____			_____			_____				
F_e	_____		_____			_____			_____				
SONDA	Δ	_____		_____			_____			_____			

H.7. CORRIENTES LIBRES (IV)

Objetivo

Estudiar condiciones de la corriente en relación con el régimen crítico y aplicación al vertido sobre pared gruesa.

Se estudiarán las respuestas de la corriente a cambios de su energía específica o de su impulsión.

Se utilizará un umbral de fondo como vertedro, de acuerdo con la figura 1 y las siguientes relaciones básicas:

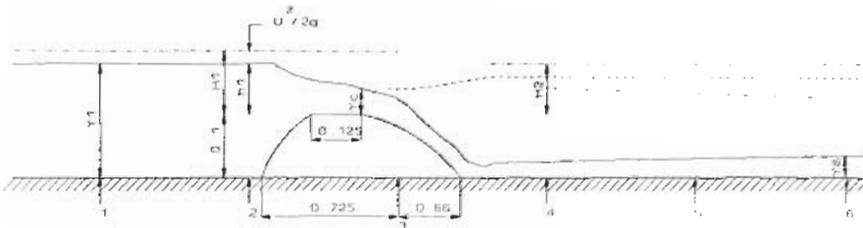


FIGURA 1

$$H_1 = y_c + \frac{U_c^2}{2 \cdot g} = \frac{3}{2} \cdot y_c \rightarrow Q = \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot g \right)^{1/2} \cdot b \cdot H_1^{3/2}$$

que, por corresponder a un fluido perfecto, han de ser adaptadas al agua mediante la introducción de un coeficiente de gasto C_d tal que:

$$Q = C_d \cdot \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot g \right)^{1/2} \cdot b \cdot H_1^{3/2}$$

cuyo valor puede ser estimado mediante la relación experimental adjunta (ver figura 2). Resulta más conveniente el uso de la carga h_1 , medida sobre la cresta de vertido, en lugar de H_1 , a cuyo efecto se introduce un coeficiente de velocidad C_u que tiene en cuenta la velocidad U en la sección de medidas ω_n del tramo de aproximación:

$$Q = C_d \cdot C_u \cdot \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot g \right)^{1/2} \cdot b \cdot h_1^{3/2}$$

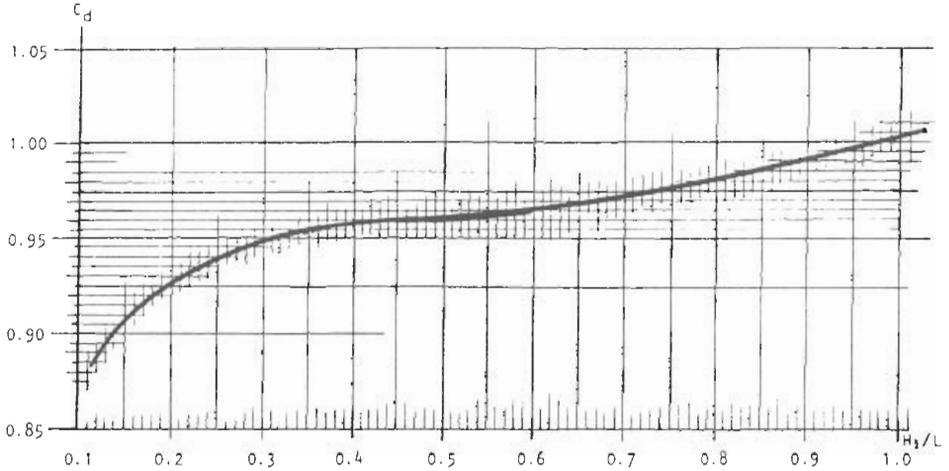


FIGURA 2

Para obtener C_u , se tendrá en cuenta la relación:

$$H_1 = h_1 + \frac{U_1^2}{2 \cdot g} = h_1 + \frac{\left(C_d \cdot C_u \cdot \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot g \right)^{1/2} \cdot b \cdot h_1^{3/2} \right)^2}{2 \cdot g \cdot \omega_a^2}$$

es decir:

$$C_u = \left(\frac{H_1}{h_1} \right)^{3/2} = \left(1 + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot C_d \cdot \frac{b \cdot h_1}{\omega_a} \right)^2 \cdot C_u^2 \right)^{3/2} =$$

$$= \left(1 + \frac{1}{2} \cdot R_a^2 \cdot C_u^2 \right)^{3/2}$$

expresión que está representada en la figura 3 y que permite determinar C_u en función del parámetro:

$$R_a = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot C_d \cdot \frac{b \cdot h_1}{\omega_a}$$

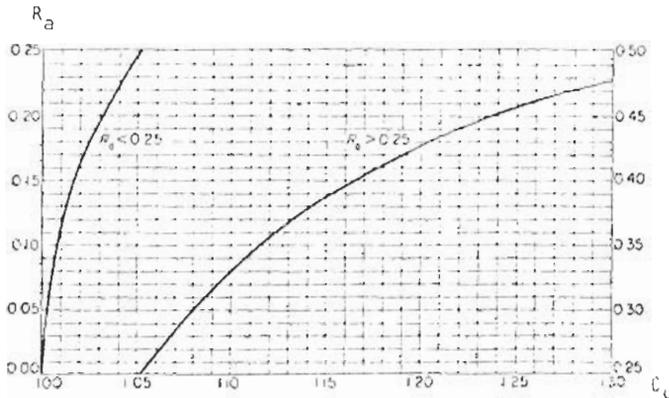


FIGURA 3

A) Equipo:

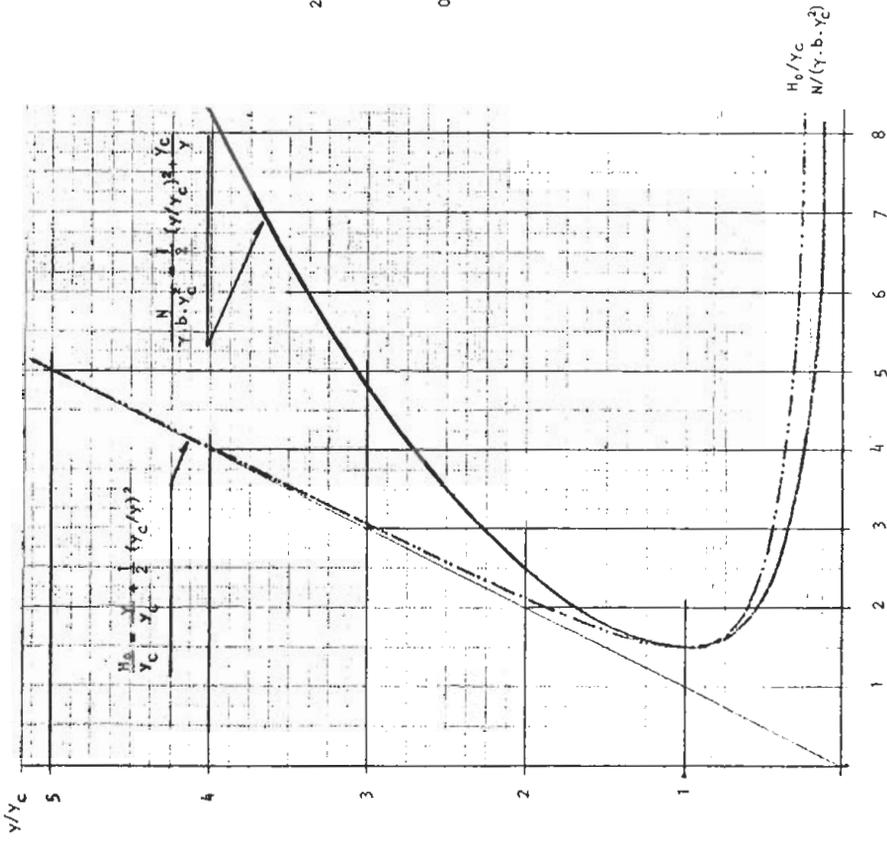
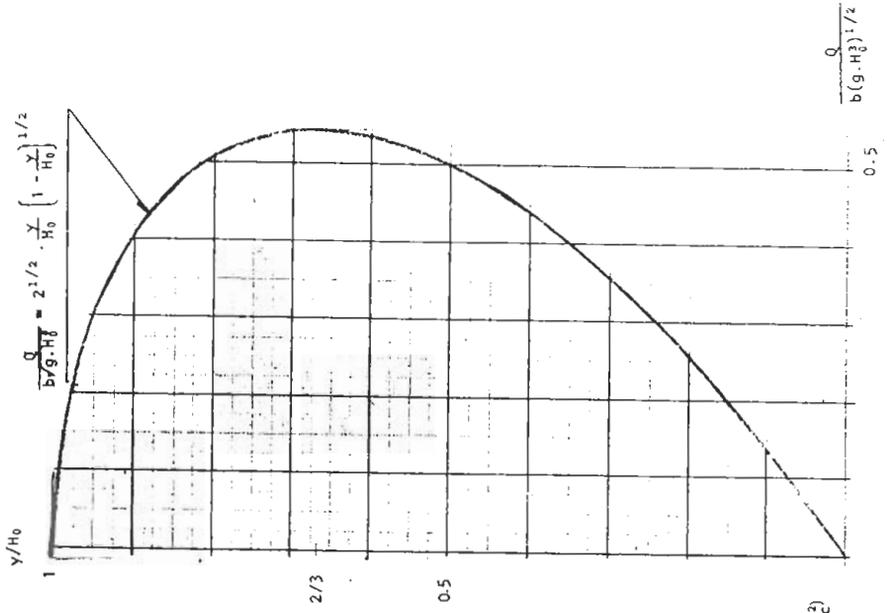
- Venturímetro.
- Umbral convergente/divergente.
- Regla limnimétrica.

B) Procedimiento:

1. Fijar la pendiente $I_0 = 0$, bajar la compuerta distal hasta el fondo y establecer una corriente con $Q \approx 8$ l/s (lectura en venturímetro $h \approx 0'14$ m).
2. Medir h_1 .
3. Medir y en las secciones x_1 a x_6 .
4. Manteniendo el mismo caudal, repetir con nuevas situaciones de régimen permanente para sucesivos grupos, imponiendo en compuerta de desagüe un control que provoque la formación de un resalto estacionario.
5. Elevar compuerta de desagüe hasta lograr que el calado de cola sea suficientemente alto para que se observe una respuesta en la carga de vertido h_1 sobre el umbral. Repetir mediciones en las situaciones inmediatamente anterior y posterior a esta situación.

C) Informe:

1. Dibujar el eje hidráulico de cada situación considerada.
2. Previa determinación de C_d y C_u , obtener Q , comparando este valor con el obtenido mediante el venturímetro. Calcular y_c .
3. Estimar H_0 y N en las secciones x_1 a x_6 . Obtener los correspondientes pares (H_0, y) , (N, y) .
4. Representar en sistemas de coordenadas rectangulares los pares de valores adimensionales:
 - 4.1. $\left(\frac{H_0}{y_c}, \frac{y}{y_c} \right)$
 - 4.2. $\left(\frac{N}{\gamma \cdot b \cdot y_c^2}, \frac{y}{y_c} \right)$
5. Confrontar los puntos obtenidos con los gráficos que se adjuntan y justificar analíticamente las correspondientes expresiones.
6. A la vista de estos gráficos:
 - 6.1. Interpretar el efecto de una elevación de solera con un umbral o con un vertedero de pared gruesa.
 - 6.2. Estudiar la línea de energía y la disipación de ésta en cambios bruscos de sección. Observar, en particular, la exigencia del salto H_1 a H_2 para que una sola medida h_1 determine el aforo de la corriente vertida sobre el umbral.
 - 6.3. Observar el efecto de la pérdida de carga (o bien de la reducción de H_0 , cuando $I_0 = 0$) sobre el calado, desde x_1 a x_6 .
 - 6.4. Comparar los valores de la función de impulsión antes y después de un resalto.
 - 6.5. Comparar resultados de los distintos grupos.



Abertura llave	
VENTURIMETRO ($C_d = 1'042$)	$h = \underline{\hspace{2cm}}$ \rightarrow $Q = \underline{\hspace{2cm}}$
VERTEDERO	$h_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ $C_d = \underline{\hspace{2cm}}$ } $Q = \underline{\hspace{2cm}}$ } $y_c = \underline{\hspace{2cm}}$ $C_u = \underline{\hspace{2cm}}$ } $b = 0'30 \text{ m}$ }

	REGIMEN 1		REGIMEN 2		REGIMEN 3		REGIMEN 4	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
CALADOS	y_1 _____	y_1/y_c _____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
	y_2 _____	y_2/y_c _____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
	y_4 _____	y_4/y_c _____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
	y_5 _____	y_5/y_c _____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
	y_6 _____	y_6/y_c _____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
ENERGIA ESPECIFICA	H_{01} _____	H_{01}/y_c _____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
	H_{02} _____	H_{02}/y_c _____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
	$H_{0c} = H_1$ _____	H_{0c}/y_c _____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
	H_{04} _____	H_{04}/y_c _____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
	H_{05} _____	H_{05}/y_c _____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
IMPULSION	N_1 _____	$N_1/(\gamma b y_{c2})$ _____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
	N_2 _____	$N_2/(\gamma b y_{c2})$ _____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
	N_c _____	$N_c/(\gamma b y_{c2})$ _____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
	N_4 _____	$N_4/(\gamma b y_{c2})$ _____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
	N_5 _____	$N_5/(\gamma b y_{c2})$ _____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
	N_6 _____	$N_6/(\gamma b y_{c2})$ _____	_____	_____	_____	_____	_____	_____

LIMITE MODULAR	$H_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ $H_2 = \underline{\hspace{2cm}}$	$\left. \vphantom{\begin{matrix} H_1 \\ H_2 \end{matrix}} \right\} L = H_1/H_2 = \underline{\hspace{2cm}} ; \Delta H_1 = \underline{\hspace{2cm}} \rightarrow \Delta Q_{estimado} = \underline{\hspace{2cm}}$
-----------------------	--	---

H.8. AFORO DE CORRIENTES LIQUIDAS (I)

Objetivo

Los objetivos de este experimento son observar el funcionamiento de dispositivos de medida de caudal y comprobar la aplicabilidad de las ecuaciones de gasto a una corriente de agua, como fluido real.

A) Equipo:

- Venturímetro, con medida diferencial en piezómetros y en manómetro diferencial.
- Vertedero rectangular en pared delgada, sin contracción lateral(*).
- Vertedero en V con pared delgada.
- Limnímetro o reglas limnimétricas.
- Sonda de Prandtl.
- Circuito hidráulico (ver práctica H. I).

B) Procedimiento:

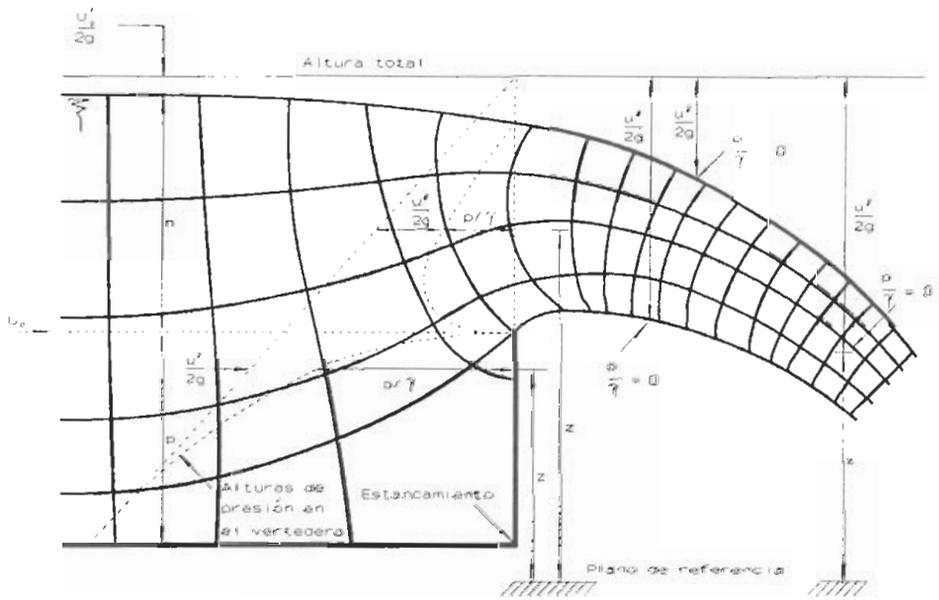
1. Implantar un régimen de corriente con caudal pequeño, que será incrementado en fases sucesivas.
2. Medir carga diferencial en venturímetro, utilizando piezómetros con caudales pequeños y manómetro diferencial con los relativamente altos.
3. Medir cargas de vertido sobre crestas de vertederos, utilizando reglas limnimétricas.
4. Medir altura de presión dinámica en los piezómetros de la sonda de Prandtl.

(*) Cada grupo considerará un régimen de corriente propio. Por lo que respecta al vertedero sin contracción, la práctica se realizará permitiendo la ventilación bajo el chorro pero se desarrollará una segunda fase en la que se mantendrán tapados los tubos de ventilación, con caudales crecientes hasta que se produzca la separación.

C) Informe:

1. Dibujar un esquema de cada aforador y seleccionar fórmula a utilizar.
2. Estimar el gasto en el venturi suponiendo fluidez perfecta al agua.
3. Calcular el caudal en los vertederos aplicando, en su caso, el oportuno coeficiente de gasto. Estimar el correspondiente C_d en el venturi.
4. Estimar el caudal a partir de la altura de presión dinámica medida con la sonda de Prandtl.
5. Comparar los resultados obtenidos por diversos grupos.
6. a) Calcular la fuerza total que se llegaría a ejercer aguas arriba sobre el vertedero sin contracción cuando $h = 0'15$ m, comparando resultados a partir de la ecuación de Euler con los que se pueden obtener del diagrama de presiones adjunto.
b) Comparar los resultados con el empuje estático bajo una profundidad $p + h = 0'30$ m.

		REGIMEN 1	REGIMEN 2	REGIMEN 3	REGIMEN 4	REGIMEN 5
Abertura llave						
VENTURIMETRO (d = 0'0766 m; D = 0'125 m)	Piezómetro 1					
	Piezómetro 2					
	h					
	Q ($\mu = 0$)					
	C_d					
VERTEDEROS	Triangular (P = 0'075 m; $C_c = 0'57$; $\theta = 90^\circ$)	h				
		Q				
	Sin contracción lateral (P = 0'15 m; b = 0'30 m)	h				
		h/(h + P)				
		C_d				
		Q				
SONDA DE PRANDTL.	y					
	Δ					
	U					
	Q					



H.9. AFORO DE CORRIENTES LIQUIDAS (II)

Objetivo

El objetivo de esta práctica es el aforo de una corriente libre. Se establecerán diversas condiciones del movimiento permanente variado impuesto por un estrechamiento con régimen crítico (condición modular) y se estudiará el eje hidráulico que les corresponde.

A) Instalaciones y equipo:

- Depósito de reserva.
- Canal de pendiente variable alimentado, desde dicho depósito, por una bomba de la que parte una tubería de impulsión en la que hay instalado un venturímetro que servirá para medir el gasto circulante Q .
- Transición consistente en un aforador de estrechamiento largo interpuesto en el canal (ver Apéndice).
- 2 limnómetros, uno en cabeza y otro en cola del aforador.
- Compuerta en extremo distal del canal.

B) Procedimiento:

1. Fijar la pendiente $I_0 = 0$ en el canal y bajar totalmente la compuerta distal.
2. Establecer un régimen permanente en el canal y observar el eje hidráulico correspondiente.
3. Medir h en el venturímetro y en el aforador, así como y_1 , y_c e y_2 en la transición impuesta por el aforador (ver figura adjunta).
4. Subir lentamente la compuerta del canal hasta producir un resalto hidráulico estacionario.
5. Observar las situaciones permanentes sucesivas al levantar la compuerta hasta producir sumergencia del aforador.

C) Informe:

1. Calcular Q en cada punto de aforo.
2. Calcular el valor de la relación de sumergencia H_2/H_1 .
3. Representar cualitativamente los diversos ejes hidráulicos observados.
4. Discutir los resultados.

AFORO

- Venturímetro:

$$h = \qquad \qquad \qquad Q =$$

$$D = 0'125$$

$$d = 0'0766$$

$$C_d = 1'042$$

- Aforador de estrechamiento largo:

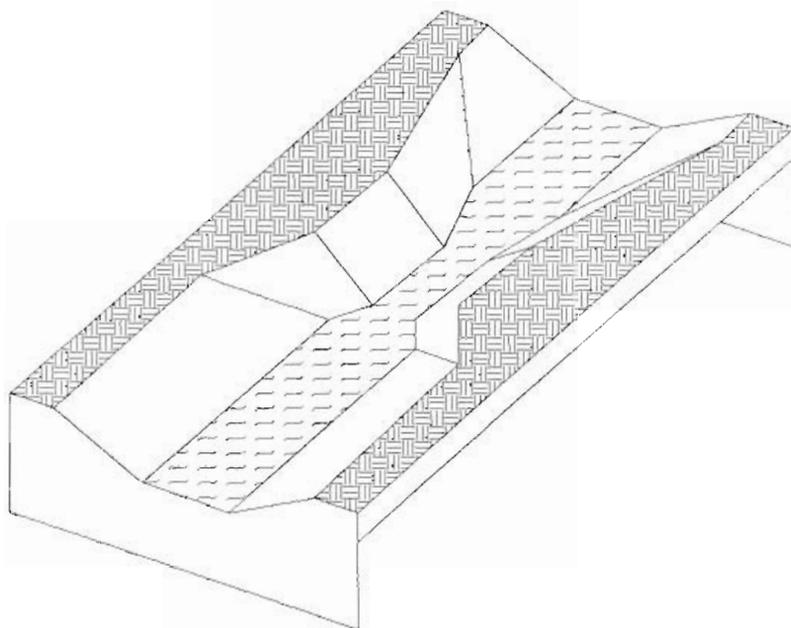
$$b_1 = 0'10 \quad l = 0'10 \quad h = y_1 = \qquad \qquad y_c = \qquad \qquad y_2 =$$

$$b = 0'05 \quad z = z_1 = z_2 = 1 \quad Q = \qquad \qquad H_1 = \qquad \qquad H_2 = \qquad \qquad H_2/H_1 =$$

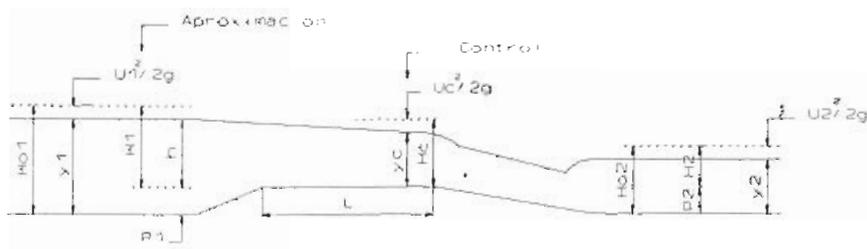
$$\text{VENTURI:} \quad Q = C_d \omega \sqrt{2gh}$$

$$\text{AFORADOR:} \quad Q = C_d \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} \sqrt{g} b h^{3/2}$$

$$C_d = 0'999 \left(\frac{H}{l}\right)^{0'022}$$



Croquis aforador para surcos



Sección longitudinal

H.10. BOMBEO

Objetivo

Se pretende estudiar la transferencia de potencia a una corriente por una bomba centrífuga monobloc horizontal. Esta constituirá el elemento hidráulico que recircula un gasto conocido.

El régimen de trabajo de la bomba será el correspondiente a la velocidad de rotación impuesta por su motor, prácticamente constante, por lo que su funcionamiento será descrito por las correspondientes curvas características de altura H , potencia P y rendimiento η , en relación con el gasto Q .

A) Equipo:

- Depósito de reserva para alimentar diversos gastos que serán aforados mediante vertedero triangular ($p = 0'075$ m; $\theta = 90^\circ$; $C_c = 0'57$) donde se mide la carga de vertimiento con limnómetro.
- Sistema de conducción forzada compuesto por:
 - * *Aspiración*: tubería de hierro galvanizado ($k = 0'15$ mm) de diámetro interior 106 mm y longitud 1'15 m, precedida de alcachofa y válvula de pie y con distribuidor troncocónico a la entrada en la bomba.
 - * *Impulsión*: un primer tramo de tubería de fundición ($k = 0'25$ mm) de diámetro interior 84 mm y longitud 1'20 m, con un difusor troncocónico a la salida de la bomba con dos codos y una llave de compuerta, unido mediante ensanchamiento a un segundo tramo de tubería de PVC (de diámetro 110 mm y longitud 9'50 m), y un tercer tramo, con 3 codos, también de PVC del mismo diámetro y longitud 2'85 m que desagua libremente a la cota 2'75 m en cabecera del canal de pendiente variable.
- Bomba centrífuga monobloc horizontal, cuyo impulsor tiene un diámetro $D = 117'3$ mm y cuyo motor comunica al eje del impulsor un número de revoluciones constante $N = 2.880$ r.p.m. Este grupo absorberá la potencia eléctrica suministrada por la red, que será transformada y transmitida, con un cierto rendimiento, a la corriente de agua.
- Canal de pendiente variable por donde circulará el gasto desaguado por la tubería de impulsión y donde se instalará el vertedero triangular a utilizar para la medida de dicho gasto.
- Llave de compuerta para regular el gasto, situada en el primer tramo de la tubería de impulsión.

- Otros elementos de medida: amperímetro y voltímetro para la determinación de la potencia eléctrica absorbida; vacuómetro y manómetro, para determinar la altura de energía alcanzada por el agua.

B) Procedimiento:

Se seguirán los siguientes pasos:

1. Situar el nivel 0 para medir la carga limnométrica en el vertedero.
2. Cebiar la bomba.
3. Manteniendo cerrado el cebador y la llave de compuerta, poner en funcionamiento la bomba mediante el arranque en cuadro eléctrico.
4. Proceder a sucesivos ensayos estableciendo otras situaciones de régimen para distintos grados de abertura de la llave de compuerta. Para cada situación de régimen permanente establecida, se tomarán los datos previstos en la hoja de laboratorio: medidas en vacuómetro, manómetro y limnómetro; medidas de intensidad y voltaje.

C) Informe(*)(**):

1. Dibujar las curvas características **H-Q**, **P-Q** y **η -Q** de la bomba (utilizando el SI) para el número de revoluciones impuesto por el motor.
2. Obtener las curvas correspondientes a los coeficientes adimensionales C_{11} y C_p en relación con C_Q , y estudiar el funcionamiento de la bomba a un número de revoluciones igual al doble del citado anteriormente. Hacer corresponder puntos homólogos.
3. Obtener la curva del sistema de distribución, estimando las pérdidas de carga.
4. Obtener, por intersección de las curvas **H-Q** de la bomba y del sistema, el punto de funcionamiento.
5. Discutir e interpretar los resultados.

(*) Se considerará que el motor trabaja con un rendimiento del 90%.

(**) El coseno del ángulo de fase se considerará con un valor constante de 0'8.

Data _____

HOJA DE LABORATORIO

	REGIMEN 1	REGIMEN 2	REGIMEN 3	REGIMEN 4	REGIMEN 5
Profundidad del agua en el depósito de reserva					
Vacuómetro (cm de Hg)					
Manómetro (kgf/cm ²)					
Altura manométrica, H (m)					
Límnímetro, h (mm)					
Caudal, Q (m ³ /s)					
Corriente eléctrica: * Intensidad (A)					
* Voltaje (V)					
* Potencia (C.V.)					
Potencia útil, P (C.V.)					
Rendimiento, η (%)					

NUMERO DE REVOLUCIONES DEL MOTOR 2.880 rpm

DIAMETRO DEL IMPULSOR 117'3 mm

COTA DEL DESAGÜE CON RESPECTO AL P.C. SITUADO
 EN EL FONDO DEL DEPOSITO DE RESERVA 2'75 m

PARTE SEGUNDA

INSTRUCCIONES PARA LA REALIZACION DE ENSAYOS DE RIEGO EN CAMPO

INTRODUCCION

Las técnicas de evaluación aquí presentadas se limitarán, fundamentalmente, al análisis de las variables hidráulicas del sistema. Por esto, aunque cuantifican su capacidad para aplicar el agua bajo ciertas condiciones, no pretenden mostrar su grado de adecuación para unos cultivos y suelos de características dadas y bajo condicionamiento climáticos determinados. De ahí, la escasa consideración que se presta a variables sobre agua disponible o necesaria, fracción de superficie suficientemente humedecida, volumen alcanzado por el agua filtrada, frecuencia y duración de riegos, etc. Esta puede ser, no obstante, necesaria para evaluar la adecuación de la capacidad del sistema al consumo propio del cultivo.

I. RIEGOS POR SUPERFICIE

S.0. Introducción

S.1. Infiltración en cilindro

S.2. Riego por escurrimiento en surcos

S.3. Riego a manta

S.0. INTRODUCCION

El objetivo de estos ensayos es el estudio experimental del riego por superficie. Se realizarán tres tipos de prueba:

1. *Estudio experimental de la infiltración:*

El objetivo de este ensayo es el estudio experimental de la entrada del agua a través de la superficie de suelo delimitada por un infiltrómetro cilíndrico.

Por lo que se refiere a la infiltración en surco el ensayo S.2 proporcionará los datos de campo necesarios para estimar la curva correspondiente.

2. *Riego por escurrimiento en surcos:*

El objetivo de este ensayo es el estudio experimental del riego por surcos en declive.

3. *Riego a manta:*

El objetivo de esta prueba es la evaluación experimental de la aplicación de riegos por escurrimiento a manta, de canteros en declive, bien por inundación, de canteros a nivel^(*).

(*) El estudio individual de surcos a nivel podrá ser realizado según la metodología propia de surcos en declive, con la salvedad de que cada surco en estudio sólo será aforado en dos puntos (en toma y a una distancia de 25 m) y en tanto se cumpla la condición modular.

S.1. INFILTRACION 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).
- 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 de referencia.
- Observación y medición de la lámina de agua infiltrada en sucesivos intervalos de tiempo.

Con los datos obtenidos serán representadas las curvas características de infiltración acumulada $i_a(t)$ e instantánea $i_i(t)$ del suelo y serán estudiadas la relación de Kostiakov y la familia de infiltración I_f a que pertenece la curva $i_a(t)$.

A) Equipo:

- 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, 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 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 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 a la 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 _____

HOJA DE CAMPO N° 1

1. Datos generales

1.1. Croquis:

1.1.1. Sección de infiltrómetro:

1.1.2. Ubicación de puntos de medida:

1.2. Tipo de suelo:

1.3. Contenido hídrico:

1.4. Cultivo:

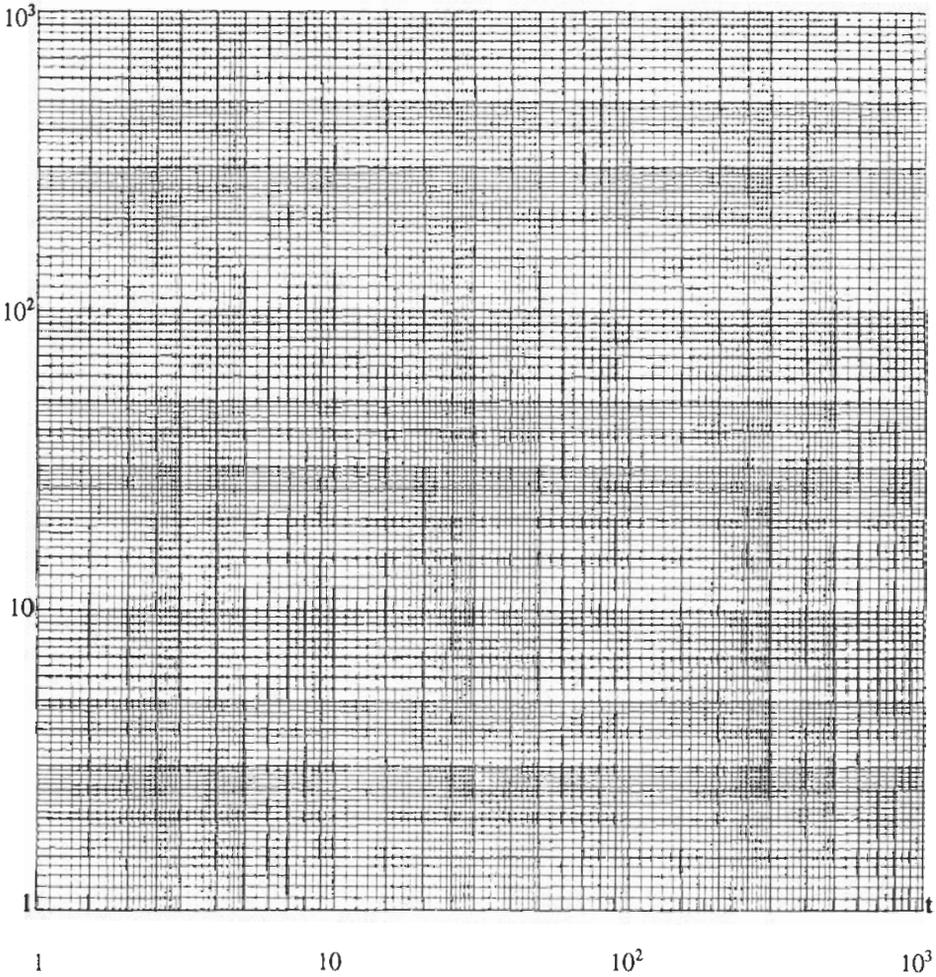
1.5. Otras observaciones:

Ensayo n° _____
Data _____

HOJA DE GABINETE N° 1

1. Curvas características

i_i (mm · h⁻¹)
 i_a (mm)



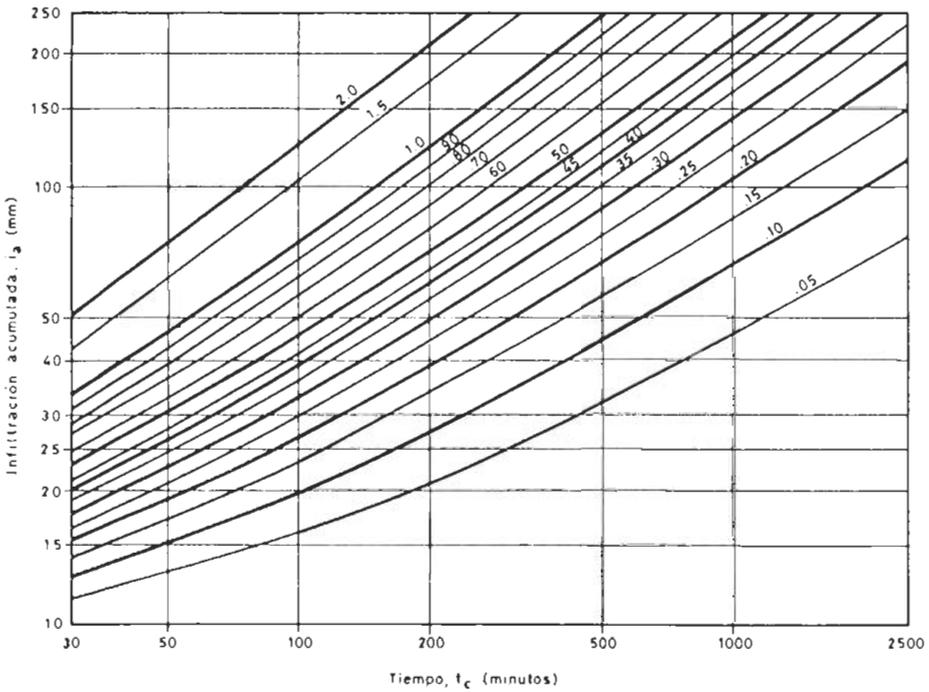
Ensayo n° _____

HOJA DE GABINETE N° 2

2. Familia de infiltración

2.1. Relación de Kostiakov:

2.2. Familia I_f del SCS:



Ensayo n° _____

HOJA DE GABINETE N° 3

2.3. Otros ajustes:

3. Observaciones

S.2. RIEGO POR ESCURRIMIENTO EN SURCOS

Cada ensayo será encomendado a un grupo de trabajo compuesto por 5 miembros y consiste en las operaciones que siguen:

- Selección de 2 grupos de 3 surcos consecutivos con trazado rectilíneo y pendiente y sección sensiblemente uniformes. Será evaluado el surco central.
- Aplicación, en el extremo superior de cada surco, de un gasto controlado (entre $5 \cdot 10^{-4}$ y $3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).
- Observación y medición de las variables que describen el desarrollo del riego (pendiente, sección, aspereza, calado, gasto, erosión y tiempos de avance, receso y recubrimiento).

Con los datos obtenidos serán determinadas las características de infiltración acumulada e instantánea del suelo y serán evaluados los criterios adoptados de proyecto y operación de riego. A tal efecto, los registros de cálculo sugeridos en las hojas de gabinete serán estructurados para el tratamiento informático oportuno.

A) Equipo:

- Sistema de riego descrito en el croquis, compuesto por un cantero preparado para el riego por surcos y, en su borde superior, una obra de distribución y control (véase croquis).
- Lámina de plástico para proteger el extremo superior de cada surco.
- 3 aforadores portátiles de estrechamiento largo por cada surco a evaluar, con sendas escalas limnimétricas y curva de gasto calibrada (ver Apéndice).
- Nivel, cinta métrica y mira.
- Perfilómetro, a ser posible, de guillotina, y hojas de cartulina.
- Impresos para registro y manejo de datos.
- Varios (nivel de albañil, estaquillas, cronómetro, tabloncillos, azada, barrena, máquina fotográfica, etc.).

B) Procedimiento:

0. Fase previa:

- 0.1. Clavar estaquillas cada 20 m, para identificar distancias al origen.
- 0.2. Colocar 3 aforadores en cada surco central, a distancias 0, (fL) y L (f es una fracción $0 < f < 1$) convenientemente nivelados y con solera a ras con la rasante del surco (véase croquis).
- 0.3. Cubrir con plástico el arranque de cada surco y separar el acceso a los aforadores colocando sendos tabloncillos transversalmente a los surcos, sobre los lomos.
- 0.4. Determinar el perfil longitudinal de cada surco ensayado por medición del desnivel entre puntos con equidistancia de 20 m, y estimar los valores medios de la pendiente de rasante I_0 .
- 0.5. Determinar las características geométricas de secciones transversales representativas. Estimar relaciones $B(y)$, $\omega(y)$, $p(y)$ y $n(k)$. Medir separación S entre surcos.
- 0.6. Comprobar que las bocas de servicio a los surcos considerados están cerradas, aunque las destinadas a otros surcos sensiblemente distantes pueden estar abiertas.

1. Desarrollo de la prueba:

- 1.1. Arrancar sistema de suministro y asegurar el funcionamiento regular el servicio.
- 1.2. Aplicar un gasto próximo al deseado, y retener la aportación hasta acumular sobre el plástico, en el tramo anterior al primer aforador, 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 de cada surco.
- 1.4. Registrar evolución del eje hidráulico a partir de t_{a0} hasta el instante de la interrupción del riego. Las observaciones correspondientes se realizarán en los tiempos de avance hasta cada estaquilla (ver páginas 65 y 66).
- 1.5. Interrumpir la aplicación de agua de riego cuando, habiendo cubierto el agua todos los surcos, se estime que el régimen de la corriente se

ha estabilizado en el tramo infiltrométrico; 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 de los surcos, determinar las características de sección señaladas en el punto 0.5.
- 1.9. Observar la humectación resultante en el suelo a lo largo de cada surco.

C) Informe(*):

1. Representar los hidrogramas que han resultados para $s = 0$, ($f L$) y $L m$.
2. Representar las curvas de avance y receso.
3. Caracterizar la infiltración en el suelo. Comparar las curvas obtenidas con infiltrómetro cilíndrico y por balance hídrico en surco.
4. Evaluar el riego aplicado.
5. Utilizar las variables consideradas de módulo, pendiente, aspereza y familia de infiltración para contrastar las previsiones ofrecidas por el método del SCS.
6. Discutir la calidad de las observaciones y resultados proporcionados por la prueba.

(*) Para la elaboración de resultados, se recomienda la utilización de hojas de cálculo en ordenador.

Ensayo n° _____
Data _____

HOJA DE CAMPO N° 1

1. Datos generales(*)

1.1. Croquis con ubicación de surcos y puntos de aforo:

1.2. Tipo de suelo:

1.3. Familia de infiltración (cilindro)(**)

1.4. Riego n°:

1.5. Erosión observada:

1.6. Duración de aplicación normal:

1.8. Otras observaciones:

(*) Salvo indicación en contra, las medidas se refieren al SI.

(**) Ver ensayo S.1 con cilindro infiltrométrico.

Ensayo n° _____

HOJA DE CAMPO N° 2

2. Características del surco

2.1. Perfil longitudinal:

<i>S</i>	<i>Lectura de mira</i>	$I_0 \cdot 10^3$
0		
20		
40		
60		
80		
100		
120		
140		
160		
180		
200		
220		
240		
260		
280		
300		
320		
L =		

$\bar{I}_0 =$

Ensayo n° _____

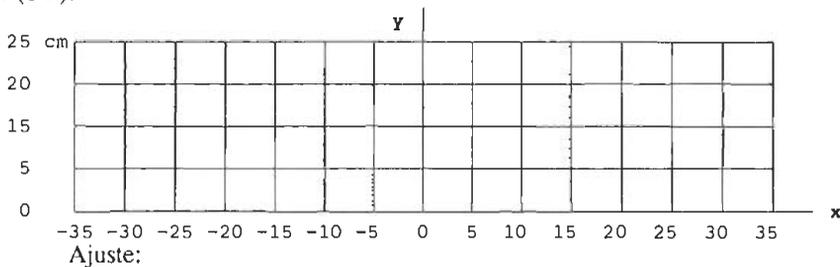
HOJA DE CAMPO N° 2 (cont.)

2.2. Sección transversal:

2.2.1. S =

y	B	$\omega \cdot 10^4$	$p \cdot 10^2$

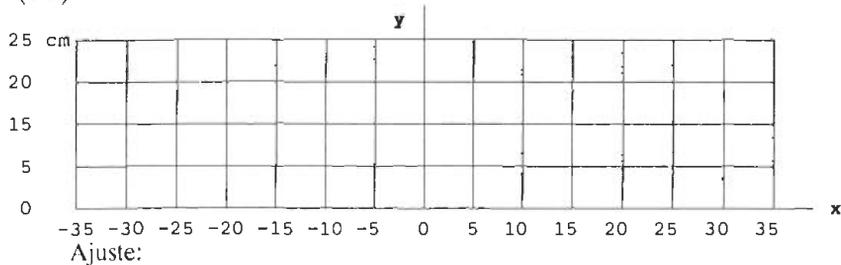
n (ó k):



2.2.2. S =

y	B	$\omega \cdot 10^4$	$p \cdot 10^2$

n (ó k):



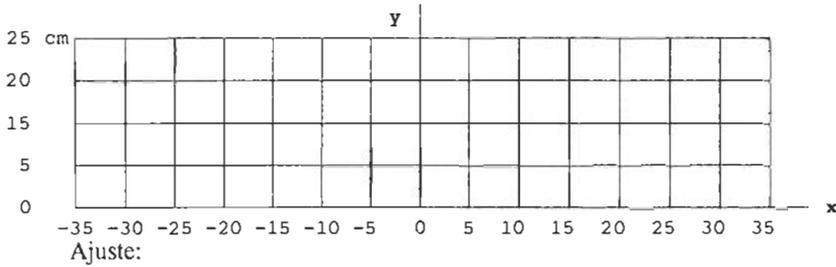
Ensayo n° _____

HOJA DE CAMPO N° 2 (cont.)

2.2.3. S =

y	B	$\omega \cdot 10^4$	$p \cdot 10^2$

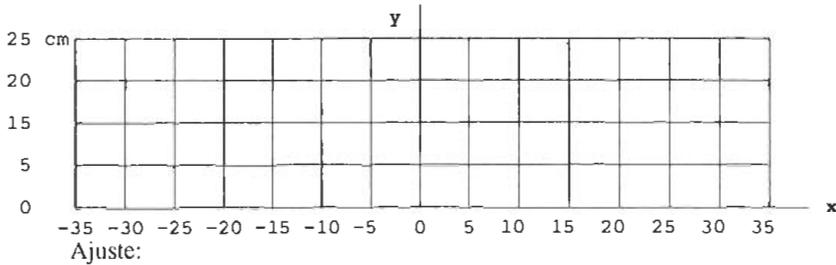
n (ó k):



2.2.4. S =

y	B	$\omega \cdot 10^4$	$p \cdot 10^2$

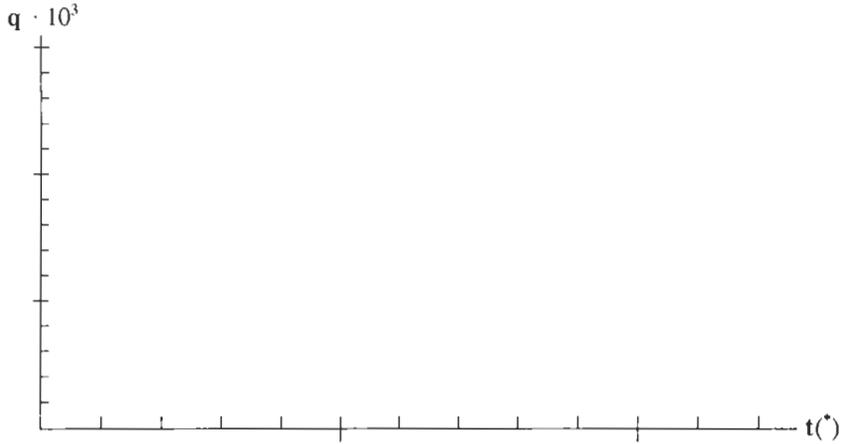
n (ó k):



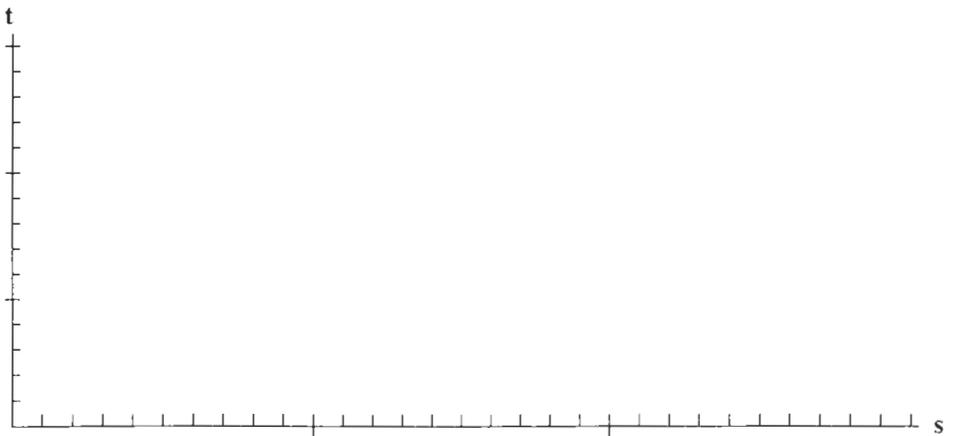
Ensayo n° _____
Data _____

HOJA DE GABINETE N° 1

1. Hidrogramas



2. Curvas de avance y receso



(^o) El tiempo t viene dado en horas.

Ensayo n° _____

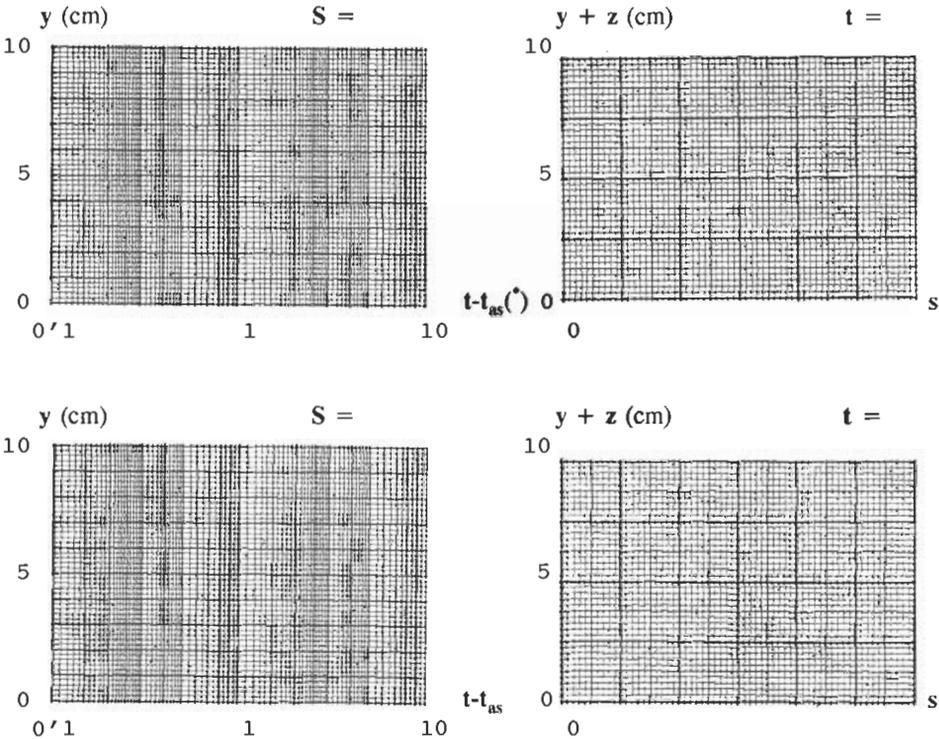
HOJA DE GABINETE N° 3

4. Lámina infiltrada, hasta el tiempo t, en el tramo 0-L

$$H_{(0-L)} = \frac{V_0 - V_L - V_a}{L \rho}$$

- 4.1. Aportación V_0 durante $t - t_{a0}$ (ver apartado 3):
- 4.2. Escorrentía residual V_L durante $t - t_{al}$ (ver apartado 3):
- 4.3. Almacenamiento superficial, V_a , en t:

Puede ser estimado a partir de los datos de perfil y sección (ver páginas 62 a 64) y las variaciones de calados y eje hidráulico que siguen (basadas en las páginas 65 y 66):



También puede estimarse por la relación empírica:

(*) El tiempo viene dado en horas.

Ensayo n° _____

HOJA DE GABINETE N° 5

7. Estimación de la familia de infiltración

7.1. Ajuste a I_f del SCS (ver ensayo S. I):

7.2. Otros ajustes:

8. Evaluación del riego aplicado

8.1. Aportación aplicada:

$$V_0 = \bar{q}_0 t_{ar} =$$

8.2. Volumen de escorrentía:

$$V_e = \bar{q}_L t_{cL} =$$

donde \bar{q}_L es gasto residual medio durante el tiempo de escorrentía t_{cL} , lo que representa un porcentaje de pérdidas de un _____ %.

8.3. Volumen infiltrado:

$$V_i = V_0 - V_e =$$

8.4. Lámina media equivalente:

$$\bar{H} = \frac{V_i}{L S} =$$

Ensayo n° _____

HOJA DE GABINETE N° 6

8.5. Estimación de lámina en cabeza(*):

$$H_o = (A t_{\infty}^B + C) \frac{P}{S} = i_{ao} \frac{P}{S} =$$

8.6. Estimación de lámina en cola:

$$H_L = (A t_{cl}^B + C) \frac{P}{S} = i_{al} \frac{P}{S} =$$

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

8.8. Estimación de la uniformidad, rendimiento y déficit logrados.

(*) Aceptando la validez de la familia I_F adoptada.

Ensayo n° _____

HOJA DE GABINETE N° 7

8.9. Discusión de los criterios de operación aplicados. Comparar los resultados reales con los previsibles aplicando criterios de cálculo del SCS:

8.10. Otras observaciones:

S.3. RIEGO A MANTA

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

- Selección de un cantero rectangular con pendiente transversal nula y longitudinal sensiblemente uniforme.
- Aplicación desde la obra de distribución en cabecera de un gasto unitario, controlado y uniforme entre 10^{-4} y $2 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.
- Observación y medición de las variables que describen el desarrollo del riego (pendiente, aspereza, calado, gasto, erosión y tiempos de avance, almacenamiento, agotamiento y receso).

Con los datos obtenidos serán evaluados los criterios adoptados de proyecto y operación de riego.

A) Equipo:

- Sistema de riego descrito en el croquis, compuesto por un cantero, cuyo suelo tiene características hidrofísicas conocidas, y por obra de cabecera (acequia o tubería a baja presión) capaz de modular a lo largo de su trazado un gasto uniformemente distribuido.
- Aforador de estrechamiento largo en cola, capaz de medir hasta $2'5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ de escurrimiento (en cantero de escurrimiento).
- Nivel, cinta métrica y mira.
- Impresos para registro y manejo de datos.
- Varios (estaquillas, cronómetro, azada, barrena, etc.).

B) Procedimiento:

0. Fase previa:

- 0.1. Clavar estaquillas cada 20 m, para identificar distancias al origen y con equidistancia transversal de 5 m.
- 0.2. Asegurar puesta a punto de los sistemas de modulación y aforo.
- 0.3. Determinar la topografía por medición del nivel en los puntos con estaquillas, y estimar el valor medio de la pendiente de rasante longitudinal I_0 .

0.4. Estimar la aspereza $n(k)$ del suelo y comprobar el contenido hídrico del mismo.

1. Desarrollo del ensayo:

- 1.1.** Arrancar el sistema de suministro y comprobar el régimen permanente apropiado para el servicio del módulo previsto.
- 1.2.** Registrar los tiempos de avance t_{as} hasta cada frente de estaquillas, y observar la regularidad del escurrimiento.
- 1.3.** Interrumpir la entrada de agua cuando haya sido completada la aportación prevista, registrando el tiempo t_{ar} de aplicación de riego.
- 1.4.** Registrar el intervalo de agotamiento.
- 1.5.** Registrar los tiempos de receso t_{rs} hasta la terminación del riego, y observar la regularidad del proceso.
- 1.6.** Observar postriego las características señaladas en el punto **0.4**.

C) Informe:

- 1.** Representar los hidrogramas que han resultado en cabeza y cola.
- 2.** Estimar las curvas de avance y receso, representándolas con referencia a distintas medias (es decir, área afectada, en relación con la anchura del cantero, correspondiente a cada tiempo).
- 3.** Evaluar el riego aplicado.
- 4.** Discutir la calidad de las observaciones y resultados proporcionados por la prueba. En particular, contrastar las previsiones ofrecidas por los modelos hidrodinámicos y del SCS.

Ensayo n° _____
Data _____

HOJA DE CAMPO N° 1

1. Datos generales(†)

1.1. Croquis con ubicación de estaquillas y puntos de aforo.

1.2. Tipo de suelo:

1.3. Familia de infiltración (cilindro)(**):

1.4. Cultivo:

1.5. Riego n°:

1.6. Erosión observada:

1.7. Duración de aplicación normal:

1.8. Otras observaciones:

(†) Salvo indicación en contra, las medidas se refieren al SI.

(**) Ver prueba con infiltrómetro cilíndrico.

Ensayo n° _____

HOJA DE CAMPO N° 2

2. Características del cantero

2.1. Lecturas de mira en puntos de retícula:

2.2. Pendientes observadas:

2.3. Aspereza:

2.4. Sección de lomo:

2.5. Otras observaciones:

Ensayo n° _____

HOJA DE CAMPO N° 3

3. Datos de riego

3.1. Sistema de modulación y aforo:

3.2. Registros de avance y receso:

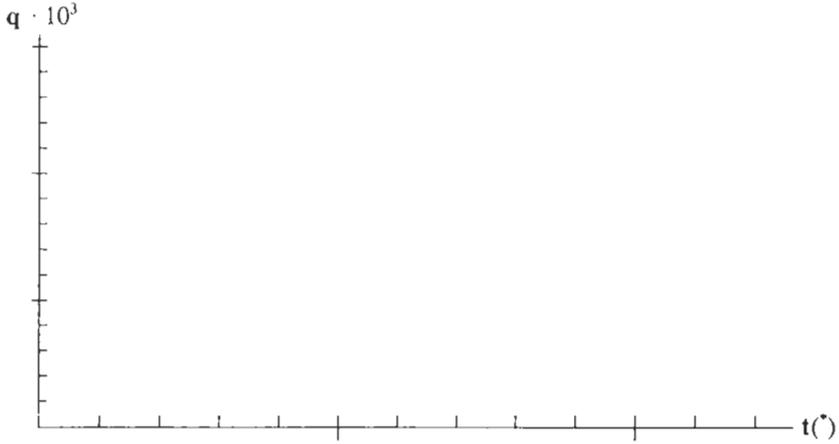
Hora-minutos	Tiempo transcurrido, t (h)	Distancia, s (*)	Medidas de gasto, Q			
			Aplicado		Residual	
			$h \cdot 10^3$	$Q_0 \cdot 10^3$	$h \cdot 10^3$	$Q_L \cdot 10^3$

(*) Señala distancia media representativa de los frentes de avance o receso.

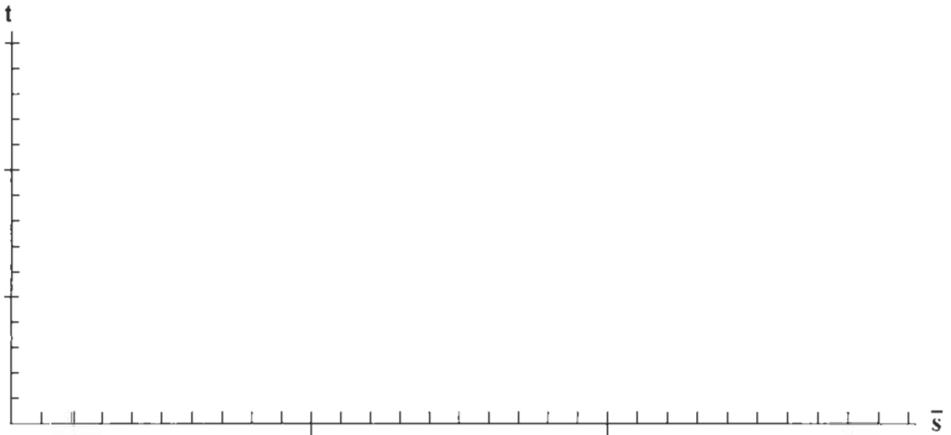
Ensayo n° _____
Data _____

HOJA DE GABINETE N° 1

1. Hidrogramas de entrada y salida



2. Curvas de avance y receso



($^{\circ}$) El tiempo t viene dado en horas.

Ensayo n° _____

HOJA DE GABINETE N° 3

4. Evaluación del riego aplicado

4.1. Aportación aplicada, ver apartado 6, $s = 0$):

$$V_0 =$$

4.2. Volumen de escorrentía (ver apartado 6, $s = L =$ _____):

$$V_e =$$

lo que representa un porcentaje de pérdidas de un _____ %.

4.3. Volumen infiltrado:

4.3.1. Lámina media:

$$\bar{H} = \frac{V_0 - V_e}{B L} =$$

4.3.2. Estimación de lámina en cabeza:

$$H_0 =$$

4.3.3. Estimación de lámina en cola:

$$H_L =$$

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

Ensayo n° _____

HOJA DE GABINETE N° 4

4.4. Estimación de la uniformidad, rendimientos y déficit logrados:

4.5. Discusión de resultados:

II. ASPERSION CONVENCIONAL Y POR PIVOTE

A.0. Introducción

A.1. Ensayo de aspersor aislado

A.2. Evaluación de sistema de riego por aspersión convencional

A.3. Evaluación de riego aplicado por pivote

A.0. INTRODUCCION

El objetivo de estos ensayos es el estudio experimental del riego por aspersión. Se realizarán tres tipos de prueba:

1. Distribución de la lluvia aplicada desde un aspersor aislado:

Serán seleccionados tanto el elemento emisor como las condiciones de trabajo a que ha de ser sometido durante la realización de cada ensayo, las cuales deberán aproximar a las tipificadas para bancos de pruebas (ver referencias). Si éstas no son logradas, los resultados del ensayo no serán homologables, aunque podrán orientar sobre la utilización óptima del emisor. Con los datos obtenidos se simulará la lluvia aplicada desde sistemas con disposición convencional.

2. Evaluación de sistema de riego por aspersión convencional:

El objetivo de este ensayo es la evaluación del riego por aspersión aplicado desde ramales convencionales. Las condiciones que se impondrán a cada ensayo serán establecidas en relación con las previstas por el proyecto y programa de operaciones de riego del sistema considerado.

Con los datos obtenidos será estudiada la aplicación desde ramales convencionales con disposición en marco.

3. Evaluación de riegos aplicados por pivote central:

Con los datos de campo obtenidos, se pretende determinar las características de la lluvia aplicada y elaborar criterios para racionalizar las operaciones de riego.

A.1. ENSAYO DE ASPERSOR AISLADO

El grupo de trabajo, constituido por 5 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 podrán ser presentados en hojas de campo análogas a las propuestas.
- 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) Instalación y equipos:

- Aspersor normalizado.
- Banco de pruebas. Deberá disponer de una superficie sensiblemente horizontal extensa para recibir toda la lluvia producida por el aspersor, ubicado en su centro. Un regulador de presión y una llave de paso en la tubería ser servicio facilitarán el control de la descarga desde el aspersor, con fuente de alimentación de agua a presión de hasta 0'6 MPa. Un croquis que facilitará su descripción será representado en la página 94).
- 300 vasos, de diámetro 0'11 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, que podrán ser instalados sobre otras tantas planchas portavasos dotadas de pincho, para facilitar su colocación sobre el suelo.
- Manómetros, de hasta 0'7 MPa, en el conducto de servicio y en el cañuto porta-aspersor, o en toma de pitot.
- 2 cubos aforados de $10 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ y 2 mangueras, de diámetro 0'020 m y longitud 1 m.
- Cronómetro.

- 5 probetas de $2'5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$ 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. Podrán ser emplazados sobre apoyos previamente pinchados en el suelo. Su posición, que podrá ser identificada tomando como referencia dos ejes coordenados constituidos por sendas hileras de vasos numerados correlativamente, quedará señalada por los pinchos correspondientes, que no serán movidos hasta que la prueba, con posibles repeticiones, sea finalizada.
- 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 la marca señalada.
- 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 de trabajo del aspersor. En particular, la presión en boquilla y en cañuto, anteriores al ensayo. Asimismo, la velocidad y la dirección del viento, a intervalos de 15 minutos, durante el tiempo del ensayo. Medir y registrar la velocidad de rotación.
- 1.3. Registrar el tiempo de finalización del ensayo, que habrá debido durar ≈ 2 a 3 h.

- 1.4. Medir la aportación recibida en cada vaso pluviométrico, así como la diferencia de nivel en los vasos testigo.
2. Trabajo de gabinete:
 - 2.1. 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 a un vaso de superficie ω durante el tiempo t . Anotar el nombre del archivo en que han sido registrados.

- 2.2. Estudiar las variables de trabajo del aspersor y, entre éstas, las relativas a funciones de gasto-presión, alcance efectivo, etc. Dibujar curvas de distribución pluviométrica a lo largo del diámetro mojado. Utilizando programas adecuados, representar diagramas con la lluvia simulada a proporcionar por un solo aspersor y por una serie de aspersores tendidos con un marco dado.
- 2.3. Analizar la acción superpuesta de un conjunto de aspersores vecinos, en función de diversas alternativas de separación de los mismos 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.
- 2.4. Redactar un informe discutiendo los resultados obtenidos así como los posibles de obtener con diversos empleos del aspersor ensayado.

Ensayo n° _____

HOJA DE CAMPO N° 1

Data _____

1. Especificaciones del aspersor(*)

Tipo y material:

Diámetro de boquilla(s):

Primaria: mm (")

Secundaria: mm (")

Presión en boquilla: kPa

Gasto: m³·s⁻¹ (l·h⁻¹)

Radio de alcance del chorro: m

Coefficiente de uniformidad para s_a x s_r = C_u =

Velocidad media de rotación: rpm

Otras:

2. Condiciones del ensayo

Tiempo atmosférico:

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

ETP: mm día⁻¹

Otras:

(*) Datos del fabricante.

Ensayo n° _____

HOJA DE CAMPO N° 3

5. Registro de medidas de lluvia

Indicar el nudo sobre el que fue ubicado el aspersor:
 Viento:

		x																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
y	1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	4	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	5	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	6	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	7	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	8	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	9	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	10	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	11	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	12	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	13	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	14	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	15	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	17	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

6. Registro de evaporación

Volumen inicial: cm³
 Volumen final: cm³

7. Observaciones

Separación de vasos o nudos en la retícula: m
 Nudo donde se ubicó el aspersor: :
 Unidad de aportación en vasos: cm³ (≅ 0'11 mm)
 Norte geográfico y dirección y velocidad del viento:
 Otras:

Ensayo n° _____
Data _____

HOJA DE GABINETE N° I

1. Resumen de datos del ensayo n°

Presión: MPa; ϕ boquillas: mm
Gasto del aspersor: $l \cdot s^{-1}$
Velocidad del viento: $m \cdot s^{-1}$; dirección: ° desde el N
Número de filas en serie de datos:
Número de columnas en serie de datos:
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 de vasos: m^3
Aportación del aspersor: m^3
Rendimiento aplicado: %

3. Configuración de la lluvia

3.1. Lluvia neta aplicada por el aspersor:

Gráfico de isoyetas.
Diagrama tridimensional.

3.2. Simulación de la lluvia aplicada por aspersores con disposiciones alternativas (ver hojas adjuntas):

Diagrama tridimensional.
Distribución de la variable adimensional H_i^* , relación entre la aportación genérica H_i y la aportación media \bar{H} .

Ensayo n° _____

HOJA DE GABINETE N° 2

Disposición de _____ x _____:

Simulación de la distribución de intensidad de lluvia neta aplicada sobre el suelo (ver valores acumulados en hoja adjunta).

Parámetros estadísticos:

Intensidad media:	$i_h =$	mm h ⁻¹
Desviación típica:	$\sigma =$	mm h ⁻¹
Coefficiente de asimetría:	$m_3 =$	
Apuntamiento:	$m_4 =$	
Coefficientes de uniformidad:	$C_u =$	
	$UC_{II} =$	

Objetivo del riego:

Altura de riego requerido:	$H_r =$	mm
----------------------------	---------	----

Tiempo de aplicación por postura:	$t_{ar} =$	h
-----------------------------------	------------	---

Resultados de riego:

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

Parámetros de riego:

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

Observaciones:

A.2. EVALUACION DE SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION CONVENCIONAL

El grupo de trabajo, constituido por 5 miembros, realizará las operaciones que siguen:

- Selección del ramal de aspersión a estudiar, que será representativo del sistema en cuanto a características y separación de aspersores, presión, número y diámetro de sus boquillas.
- Aplicación de unas condiciones de presión en cabeza de ramal próximas a las recomendadas en el proyecto del sistema, o del orden de las estimadas como posible alternativa de trabajo que podría mejorar los riegos aplicados desde el mismo.
- Estimación o medición de las variables que condicionan o describen el riego: tiempo de aplicación, láminas de riego (requerida y aplicada), separación entre aspersores y ramales, presión en boquilla en diferentes puntos del sistema, gasto en aspersores, etc.

Con los datos obtenidos serán interpretadas las características del riego aplicado y se estudiarán alternativas de operación recomendables.

A) Equipo:

- Sistema de riego, descrito en el croquis, del que forma parte el ramal sometido a evaluación, que dispone de una fuente de alimentación de agua a presión, con llave de paso en la tubería terciaria, de servicio, para controlar la descarga aplicada. Los datos y resultados podrán ser recogidos en hojas de campo y de gabinete como las que se acompañan.
- Manómetro, de hasta 0'7 MPa, en cañutos porta-aspersores o en toma de pitot.
- Cubo aforado, de $10 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$.
- Manguera, de diámetro 0'020 y longitud 1'25 m.
- Entre 50 y 100 vasos pluviométricos, de diámetro 0'11 y altura 0'12 m, de borde en arista viva. Su emplazamiento debe corresponder a aspersores cuyo trabajo sea representativo de las condiciones medias. Será señalado por la base numerada correspondiente, que podrá ser fijada al suelo mediante un pincho adecuado. No serán movidos hasta que la prueba, con posibles repeticiones, sea dada por finalizada.

- Probetas de $2'5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$ y embudos.
- Anemómetro y velta.
- Varios, como cronómetro, hojas de campo, cinta métrica de 25 m, plantilla, barrena y azada, etc.

B) Procedimiento:

0. Fase previa:

- 0.1. Estimar la distribución de presiones a lo largo de un ramal convencional representativo del sistema y elegir un tramo del mismo con tres aspersores consecutivos cuya presión sea próxima a la media. Comprobar las características del ramal (diámetro, pendiente, etc.).
- 0.2. Colocar un mínimo de 24 vasos vacíos, según una retícula de mallas no mayores de $3 \times 3 \text{ m}$, dentro del área a cubrir por la lluvia entre los tres aspersores seccionados y/o entre el ramal considerado y los dos vecinos (ver croquis). Para el caso de sistemas autopropulsados con transporte transversal, podrá bastar una hilera de vasos regularmente distribuidos en el sentido longitudinal del ramal, el cual deberá barrerlos durante el ensayo.
- 0.3. Poner dos vasos testigo, con altura de agua conocida, fuera del alcance previsible de los chorros.
- 0.4. Antes de iniciar el ensayo, bloquear el elemento móvil de los aspersores, para evitar que el agua caiga sobre los vasos.
- 0.5. Estimar el estado hídrico del suelo previo a la operación de riego.
- 0.6. Maniobrar la llave de control para aproximar el régimen de trabajo propio de la prueba. Medir y registrar la presión y el gasto en diferentes lugares, con ayuda del tubo de pitot y del cubo aforado.
- 0.7. Poner cronómetro a cero a la hora de comenzar la prueba.

1. Desarrollo de la prueba:

- 1.1. Iniciar el riego desde el ramal, después de liberar los aspersores.
- 1.2. Observar las condiciones de viento durante el tiempo del ensayo, realizando las oportunas lecturas en anemómetro (dirección y velocidad).

- 1.3. Seleccionar otros aspersores en puntos diversos del sistema y determinar, con ayuda de la manguera y el cubo de aforo, el tiempo que emplean en alcanzar la marca aquí señalada. Se observarán en ellos las condiciones de presión durante el tiempo del ensayo.
- 1.4. Registrar el tiempo de finalización del ensayo.
- 1.5. Medir la aportación recibida en cada vaso pluviométrico, así como la diferencia de nivel en los vasos testigo, destinados a evaluar la evaporación.

C) Informe:

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

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

2. Superponer la lluvia aplicada con la que cabría esperar que será aplicada desde las posturas inmediatas de ramal. Determinar isoyetas y obtener representación tridimensional.
3. Estimar la uniformidad de distribución, el coeficiente de uniformidad, el rendimiento de aplicación y el coeficiente de déficit obtenidos.
4. Estudiar otras alternativas de trabajo del sistema de aspersión. A tal efecto, simular diversas separaciones del tendido de los ramales, superponiendo las aportaciones en vasos a ambos lados del ramal ensayado.

Ensayo n° _____

HOJA DE CAMPO N° 1

Data _____

1. Especificaciones del aspersor(*)

Tipo y material:

Diámetro de boquilla(s):

Primaria: mm (")

Secundaria: mm (")

Presión en boquilla: MPa

Gasto: m³ s⁻¹ (l h⁻¹)

Radio de alcance del chorro: m

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

Velocidad media de rotación: rpm

Otras:

2. Condiciones del ensayo

Tiempo atmosférico:

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

ETP: mm día⁻¹

Otras:

(*) Datos del fabricante.

Ensayo n° _____

HOJA DE CAMPO N° 2

3. Datos del ensayo

Hora de comienzo:

Hora de terminación:

Duración: min

Cultivo:

Suelo:

Equipo:

Marco $s_a \times s_r$ de los aspersores:

Posición de los aspersores estudiados, sobre el ramal:

Presión:

Gasto (capacidad cubo/tiempo de llene): 10 l en _____ s, _____ $m^3 \cdot s^{-1}$;

Características del sistema:

Tubería terciaria:

Ramal:

4. Croquis del emplazamiento(*)

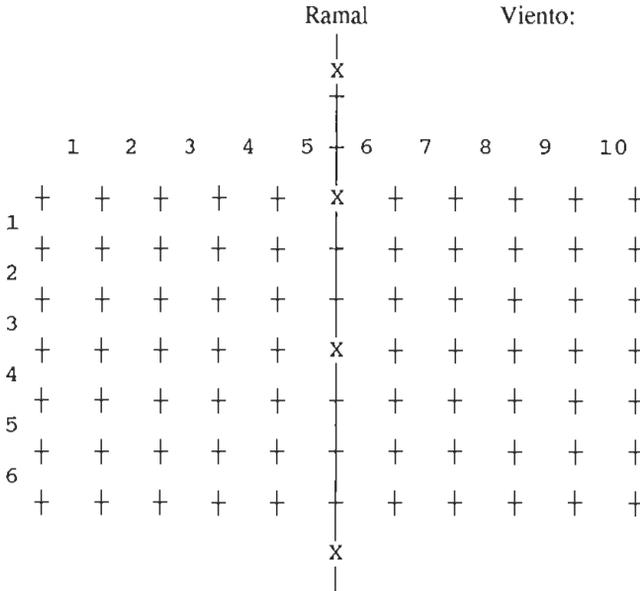
(*) Indíquese:

- Características del terreno y situación del ramal ensayado.
- Situación de la redcula de vasos pluviométricos.
- Descripción y altura de los mismos.
- Descripción del equipo de medida del tiempo.
- Dirección del viento.
- Alturas de cortavientos.

Ensayo n° _____

HOJA DE CAMPO N° 3

5. Registro de medidas de lluvia(*)



6. Registro de evaporación

Volumen inicial: cm³

Volumen final: cm³

7. Observaciones

Separación de vasos o nudos en la retícula: m

Descripción y altura de los vasos:

Unidad de aportación en vasos: cm³ (≅ 0'11 mm)

Norte geográfico y dirección y velocidad del viento:

Otras:

(*) El croquis se presenta a título de ejemplo, pues dependerá del marco propio del sistema ensayado.

Ensayo n° _____
 Data _____

HOJA DE GABINETE N° 1

1. Resumen de datos del ensayo n°

Presión: MPa; ϕ boquillas: mm
 Gasto del aspersor: $l \cdot s^{-1}$
 Disposición de _____ x _____:
 Velocidad del viento: $m \cdot s^{-1}$; dirección: ° desde el N
 Número de filas en serie de datos:
 Número de columnas en serie de datos:
 Separación de vasos: m
 Duración de la prueba: min

Configuración de la lluvia neta aplicada por el aspersor (ver hojas adjuntas):
 Gráfico de isoyetas.
 Diagrama tridimensional.

Distribución de la variable adimensional H_i^* , relación entre la aportación genérica H_i y la aportación media H .

Parámetros estadísticos:
 Intensidad media: $i_h =$ mm $\cdot h^{-1}$
 Desviación típica: $\sigma =$ mm $\cdot h^{-1}$
 Coeficiente de asimetría: $m_3 =$
 Apuntamiento: $m_4 =$
 Coeficientes de uniformidad: $C_u =$
 $UC_{II} =$

Objetivo del riego:
 Altura de riego requerido: $H_r =$ mm

Tiempo de aplicación por postura: $t_{ar} =$ h

Resultados de riego:
 Altura de lluvia media bruta: $H_b = i_b \cdot t_{ar} =$ mm
 Altura mínima: $H_m =$ mm
 Altura infiltrada neta: $H_n =$ mm
 Déficit de riego: $H_d =$ mm
 Altura 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: $f =$
 Uniformidad de distribución: $DU =$

Observaciones:

A.3. EVALUACION DEL RIEGO APLICADO POR PIVOTE

El grupo de trabajo, constituido por 5 miembros, realizará las operaciones que siguen:

- Selección del sector de riego a cubrir durante el ensayo.
- Aplicación de unas condiciones de presión próximas a las recomendadas en el proyecto del sistema, o del orden de las estimadas para un posible mejoramiento de los riegos aplicados desde el mismo.
- Estimación o medición de las variables que condicionan o describen el riego (ver hojas de campo): topografía de la tierra, características del ramal, separación y características de los aspersores, número y diámetro de sus boquillas, presión en boquilla en diferentes puntos del sistema y, en particular, en ambos extremos del ramal, velocidad de rotación, gasto, arco mojado, tiempo de aplicación, láminas de riego (aceptable, requerida y aplicada), etc.

Con los datos obtenidos serán estudiadas las características del riego aplicado, así como posibles alternativas de operación.

A) Equipo:

- Sistema pivotante representado en el croquis, en el que conviene destacar el cuadro de control y la llave para regulación de la descarga.
- Manómetro, de hasta 0'7 MPa, en toma de pitot, junto a otro en cabezal del ramal y otro en extremo distal.
- Cubo aforado de $10 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$.
- Manguera, de diámetro 0'02 y longitud 4 m.
- Escalera portátil.
- 100 vasos, de diámetro 0'11 y altura 0'12 m, de borde en arista viva, con otros tantos portavasos.
- Cronómetro.
- 4 probetas de $2'4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$ y embudos.
- Cinta métrica de 25 m, nivel y mira.

- Anemómetro y veleta.
- Varios, como hojas de campo, chubasquero, barrena y azada, plantilla, cámara fotográfica, etc.

B) Procedimiento:

0. Fase previa:

- 0.1.** Colocar 2 hileras de vasos vacíos dentro del sector a cubrir, siguiendo a ser posible un trazado de acceso relativamente fácil, en posiciones a equidistancia radial de 5 m. Poner 2 vasos testigo, con altura de agua conocida, fuera del área mojada.
- 0.2.** Situar ramal de forma que la mayoría de los vasos quede fuera del sector mojado. Marcar la posición de las torres.
- 0.3.** Seguir instrucciones del manual de puesta en marcha.
- 0.4.** Asegurar el funcionamiento regular y estable del sistema y maniobrar la llave de control para aproximar el régimen de trabajo propio de la prueba. A ramal parado, medir y registrar la presión y el gasto en los lugares preestablecidos, con ayuda del tubo de pitot y del cubo aforado. A este efecto, aplicar la manguera, para determinar el tiempo que emplea el aspersor en alcanzar la marca señalada en el cubo de aforo.
- 0.5.** Poner cronómetro a cero a la hora de comenzar la prueba.

1. Desarrollo de la prueba:

- 1.1.** Arrancar el sistema, de acuerdo con el manual del operador. Iniciar la marcha en riego. Registrar presión de servicio en la caseta de bombeo y en el pivote, así como el radio de alcance en aspersor distal y cañón.
- 1.2.** Observar las condiciones de viento durante el tiempo del ensayo, realizando las oportunas lecturas en anemómetro (dirección y velocidad). Otras condiciones climáticas serán leídas, tras la terminación de la prueba, en el registro proporcionado por la estación climática.
- 1.3.** Registrar el tiempo de finalización del ensayo.

- 1.4. Medir y registrar la aportación recibida en cada vaso pluviométrico, así como la diferencia de nivel en los vasos testigo, destinados a evaluar la evaporación.
- 1.5. Medir el arco recorrido por la torre distal.

C) Informe:

1. Crear en el ordenador el archivo de datos de lluvia a lo largo del riego.
2. Estimar el coeficiente de uniformidad, el rendimiento de aplicación y el coeficiente de déficit obtenidos.
3. Comparar diferentes alternativas de trabajo del sistema. A tal efecto, estudiar la aplicación de agua con diversos tiempos de riego.

Ensayo n° _____
Data _____

HOJA DE CAMPO N° 1

1. Características técnicas descriptivas del sistema(*)

Marca y modelo del pivote:

Diámetro y tramos de tubería:

Longitud total del aparato:

Propulsión:

Velocidad de rotación:

Presión en cabeza: MPa

Aspersores (especificar en anejo):

Distancia al eje:

Tipo:

Angulo:

Diámetro de boquilla(s):

Primaria: " (= mm)

Secundaria: " (= mm)

Accesorios:

Aspersor distal (cañón):

Presión en boquilla: MPa

Radio de alcance del chorro:

Radio mojado:

Area regada:

Coefficiente de uniformidad (especificar condiciones): $C_u =$

Otras:

2. Cultivo

(*) Datos del fabricante y de proyecto.

Ensayo n° _____

HOJA DE CAMPO N° 2

3. Suelo (condiciones mecánicas e hidrofísicas)

Huellas de escorrentía:

A los 3/4:

Al final:

Manchas húmedas y secas:

Marcas de erosión y rodadas:

4. Condiciones del ensayo

Tiempo atmosférico:

Hora	Viento		Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)
	Velocidad (m/s)	Dirección		

ETP:

mm día⁻¹

Otras:

5. Croquis de posición(*)

(*) Indíquese:

- Diferencia de cota en terreno.
- Funcionamiento durante la prueba:
 - * Posición del ramal y dirección de su rotación.
 - * Velocidad de rotación.
- Situación de equipo de medida del tiempo.
- Dirección del viento.

Ensayo n° _____

HOJA DE CAMPO N° 3

6. Registro de medidas de lluvia

Tramo	Vaso		Observación operación de aspersores
	N° posición	Aportación (cm ³)	
I	1		
	2		
	3		
	4		
	5		
	6		
	7		
	8		
	9		
	10		
II	11		
	12		
	13		
	14		
	15		
	16		
	17		
	18		
	19		
	20		
III	21		
	22		
	23		
	24		
	25		
	26		
	27		
	28		
	29		
	30		
IV	31		
	32		
	33		
	34		
	35		
V	36		
	37		
	38		
	39		
	40		
	41		
	42		
	43		
	44		

Datos relativos a la prueba:

Hora de comienzo:

Hora de terminación:

Tiempo en marcha:

Medidas en contador volumétrico:

Al comienzo:

A la terminación:

Gasto:

m³s⁻¹

Medidas en medidor de ultrasonidos:

Recorrido torre distal:

m

Velocidad torre distal:

rpm

Presión:

En caseta:

kPa

En pivote:

kPa

En aspersor distal:

kPa

Vasos pluviométricos:

Descripción:

Altura:

Separación:

Equivalencia vol./alt.:

l cm³ -

mm

Evaporación:

Volumen inicial:

cm³

Volumen final:

cm³

Lámina evaporada:

mm

Otras observaciones:

Ensayo n° _____
Data _____

HOJA DE GABINETE N° 1

1. Parámetros estadísticos

Lluvia media:	$H_b =$	mm
Desviación típica:	$\sigma =$	mm; $\sigma/H_b =$
Coefficiente de asimetría:	$m_3 =$	
Apuntamiento:	$m_4 =$	
Coefficientes de uniformidad:	$C_u =$	
	$UC_{II} =$	

2. Objetivo del riego

Altura de riego requerido, por vuelta: $H_r^* =$ mm

3. Resultados del riego

Intensidad media en tramos sucesivos:

Gasto aplicado:
Rendimiento:

Altura de lluvia máxima:	$H_{Ml} =$	mm
Altura mínima:	$H_m =$	mm
Altura media del cuartil inferior:	$H_{ci} =$	mm
Altura media de la mitad inferior:	$H_{mi} =$	mm
Altura infiltrada neta:	$H_n =$	mm
Déficit de riego:	$H_d =$	mm
Altura perdida por filtración:	$H_p =$	mm

4. Evaluación

Representar gráfico de evaluación y estimar los siguientes parámetros de riego, para diversas alternativas de H_r^* :

	<u>Exp.</u>	<u>Nor.</u>
Rendimiento de aplicación:	$R_a =$	
Coefficiente de déficit:	$C_d =$	
Coefficiente de filtración profunda:	$C_p =$	
Fracción de área suficientemente regada:	$f =$	
Uniformidad de distribución:	$DU =$	

5. Observaciones

III. RIEGOS LOCALIZADOS

L.0. Introducción

L.1. Evaluación de riego por goteo

L.2. Ensayo de microaspersor

L.0. INTRODUCCION

El objetivo último de ensayos como los aquí planteados es el estudio experimental, de campo, de los riegos aplicados desde sistemas de goteo y microaspersión. No obstante, los ensayos de microaspersión sólo se realizarán para describir el funcionamiento de un microaspersor aislado. Por lo que respecta a las relaciones de gasto-presión en goteros, así como las relativas a pérdidas de carga en filtros y tamices serán estudiadas en laboratorio (ver ensayo *H.3*).

Puesto que no se pretende humedecer de manera uniforme toda la superficie de cultivo, no es posible aplicar a los riegos localizados los conceptos de uniformidad, déficit y rendimiento utilizados para riegos a manta y por aspersión convencional.

L.1. EVALUACION DE RIEGO POR GOTEO

Se pretende evaluar el riego aplicado por los equipos de riego por goteo instalados en invernadero y en campo abierto.

Las condiciones de cada ensayo vienen impuestas por el sistema de riego seleccionado, cuyo trazado y altimetría se ajustan al croquis que acompaña a los impresos de campo y de gabinete que se adjuntan, donde se describe la posición del sector seleccionado como representativo.

La evaluación pretende determinar e interpretar la intensidad de gasto en los puntos de goteo, así como la distribución de la presión disponible en el sistema, estimar el estado de los elementos de limpieza (filtros y tamices) y las variaciones del régimen de trabajo de los goteros después de lavar la instalación.

A) Material:

- Manómetro, con toma de aguja o acoplamiento en T para su colocación temporal en extremos de los ramales, 0-0'35 MPa.
- Cronómetro.
- Vasos colectores, de diámetro $\approx 0'11$ y altura $\approx 0'12$ m.
- Probeta, de $\approx 0'25$ ó $0'50$ litros.
- Embudo, de $\approx \phi 0'10$ m.
- Canaleta de ≈ 3 m.
- Cinta métrica de 5 m.
- Hojas de campo para registro y manejo de datos.
- Varios, como esquemas de los materiales empleados en el sistema, plantilla, calculadora, máquina fotográfica, etc.

B) Procedimiento:

0. Fase previa:

- 0.1. Describir características del sistema suelo-planta-atmósfera.

- 0.2. Describir las características del sistema de distribución y, en especial, el trazado según sectores y el programa de riegos en marcha (duración y frecuencia de aplicaciones sucesivas).
 - 0.3. Describir las características de funcionamiento de los goteros, según fabricante.
 - 0.4. Seleccionar un sector cuyas condiciones de trabajo puedan representar las del conjunto del sistema de riego(*).
 - 0.5. Seleccionar 4 ramales de goteo derivados de la tubería terciaria que atiende a la unidad modular objeto del ensayo(*).
1. Desarrollo de la prueba:
- 1.1. Medir el gasto en grupos de 2 goteros sucesivos en 4 lugares representativos de cada uno de los 4 ramales seleccionados(*). Alternativamente, en el caso de ramales porosos, cada pareja de goteros sería sustituida por la canaleta.
 - 1.2. Registrar la presión en cabeza y cola de cada ramal considerado.
 - 1.3. Señalar la presión de entrada mínima en ramales de goteo a lo largo de cada tubería terciaria.
 - 1.4. Observar la fracción de suelo humedecida, así como otras características del riego señaladas en la hoja de campo adjunta.

C) Informe:

1. Estimar la distribución del agua aplicada por el conjunto de goteros de sector(**).

(*) 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 terciaria y, en cada uno de ellos, sobre sendos emplazamientos al principio, a $\frac{1}{3}$, a $\frac{2}{3}$ y en cola. Las conclusiones obtenidas para el sector considerado deberán ser confrontadas con el funcionamiento de todo el bloque del que forma parte, así como con el del conjunto de los bloques que integran el sistema, que funcionan alternativamente.

(**) La función de distribución del gasto en todos los goteros del sistema debe justificar que el gasto de los goteros seleccionados, cuya frecuencia está teóricamente determinada, proporcione la información necesaria para la evaluación. Alternativamente, puede interesar la determinación de la llamada uniformidad de distribución del gasto, que ha sido definida por la relación entre los gastos mínimo Q_m (representado por el valor medio del cuarto inferior de todos los valores obtenidos) y medio Q .

2. Estimar el *rendimiento de aplicación* y el *coeficiente de déficit* que pueden corresponder a un tiempo de riego t_{ar} y a la aportación V_r requerida por las condiciones de cultivo, de suelo y climáticas.
3. Comparar las condiciones de gasto y presión en el sistema con los valores que fueron considerados en proyecto y con las variables de operación proporcionadas por el fabricante de los goteros.
4. Discutir la capacidad del sistema para aplicar riegos eficientemente. Estimar posibles mejoramientos en el sistema y en diversas alternativas de operación.

Ensayo n° _____
Data _____

HOJA DE CAMPC N° 1

1. Cultivo

Marco: Edad:

Estado general (raíces, área cubierta, etc.):

2. Suelo

Textura, infiltración, retención de agua, etc.:

3. Agua

Origen, calidad, etc.:

4. Equipo

Filtro, diámetro y material de tubería terciaria, ramales y piezas singulares, características del gotero y parámetros en su relación de gasto, etc.:

5. Croquis del sistema

Situación del ensayo, etc.:

Ensayo n° _____

HOJA DE CAMPO N° 2

6. Riegos

Aportación requerida:

Frecuencia:

Duración:

7. Datos de la prueba

Posición de goteros en ramal		Posición del ramal sobre tubería terciaria							
		Cabeza		1/3		2/3		Cola	
		V_i	Q_i	V_i	Q_i	V_i	Q_i	V_i	Q_i
Cabeza	A								
	B								
	Tiempo Media								
1/3	A								
	B								
	Tiempo Media								
2/3	A								
	B								
	Tiempo Media								
Cola	A								
	B								
	Tiempo Media								
Presión	En cabeza								
	En cola								
	En acometida de tubería terciaria								

Pérdida de carga en filtro:

Estimación del área mojada:

Observaciones:

Ensayo n° _____
Data _____

HOJA DE GABINETE N° 1

1. Configuración del riego aportado por el emisor (ver hojas adjuntas)

Parámetros estadísticos:

Gasto medio:	$\bar{Q} =$	$l \cdot h^{-1}$
Desviación típica:	$\sigma =$	$l \cdot h^{-1}$
Coefficiente de uniformidad:	$C_u =$	

Distribución de la aportación aplicada sobre el suelo (variación de la relación adimensional V_i^* entre la aportación genérica V_i y la aportación media \bar{V}).

Objetivo del riego:

Aportación de riego requerido:	$V_r =$	l
Tiempo de aplicación:	$t_{ar} =$	h

Resultados de riego:

Aportación media bruta:	$V_b = \bar{Q} t_{ar} =$	l
Aportación neta:	$V_n =$	l
Aportación perdida por filtración:	$V_p =$	l
Fracción de área mojada:		
Fracción de área suficientemente regada:	$f =$	

Parámetros de riego:

Rendimiento de aplicación:	$R_a =$	
Coefficiente de déficit:	$C_d =$	
Coefficiente de filtración profunda:	$C_p =$	
Otros efectos:		

2. Observaciones sobre el riego aplicado y recomendaciones para su mejoramiento

L.2. ENSAYO DE MICROASPERSOR

Las instrucciones que siguen se limitan al estudio del comportamiento de un microaspersor aislado.

El grupo de trabajo, constituido por 4 miembros, realizará las operaciones que siguen:

- Selección del tipo de emisor: microaspersor (rotativo, por impulso o por impacto) o difusor (chorro fijo).
- Aplicación de unas condiciones de presión en boquilla del orden de las recomendadas por el fabricante (en general entre 0'1 y 0'25 MPa).
- Observación o medición de otras variables que describen o condicionan la lluvia aplicada: duración del ensayo, gasto del emisor (del orden de 75 l/h), velocidad de rotación, alcance efectivo (en general, entre 2'5 y 5 m), aportación en pluviómetros, tiempo atmosférico (evaporación y vientos), etc. Los datos podrán ser presentados en hojas de campo análogas a las propuestas.
- A partir de los datos obtenidos, estimación de las características del riego aplicado y estudio de recomendaciones para la mejor utilización del emisor ensayado.

A) Instalación y equipos:

- Sistema de riego del que forma parte la unidad representada en el croquis (ver página 123), con emisor normalizado y fuente de alimentación de agua a presión de hasta 0'3 MPa. Cada prueba dispondrá de una superficie suficientemente extensa para recibir toda la lluvia producida por el emisor, ubicado en su centro. Un regulador de presión y una llave de paso en la tubería de servicio facilitarán el control de la descarga desde el mismo.
- 30 vasos, de diámetro 0'11 y altura 0'12 m, de borde en arista viva. Opcionalmente, otras tantas planchas portavasos, dotadas de pincho, para facilitar su colocación sobre el suelo.
- Manómetro, de hasta 0'3 MPa, en los conductos de servicio, o en toma de pitot.
- Cubo aforado de 1 a 5 l.
- Cronómetro.

- 2 probetas de $2'5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$ y 2 embudos.
- Anemómetro y veleta.
- Varios, como reseñas de funcionamiento proporcionadas por el fabricante, hojas de campo, cinta métrica de 5 m, plantilla, calculadora, cámara fotográfica, etc.

B) Procedimiento:

0. Fase previa:

- 0.1. Seleccionar el emisor que será sometido a las observaciones o pruebas del ensayo, y fijar la presión de trabajo correspondiente.
- 0.2. Señalar hasta un máximo de cuatro radios, tomando como centro cada emisor de prueba. Se estructura así la colocación de vasos vacíos en el interior del círculo que previsiblemente va a ser cubierto por la lluvia aplicada (ver página 125). Podrán ser emplazados sobre apoyos previamente pinchados en el suelo, en puntos a equidistancia de 0'50 m, comenzando a partir de un radio de 0'25 m. Alternativamente, serán colocados directamente sobre el suelo, debidamente preparado con la azada.
- 0.3. Poner 2 vasos testigo, con altura de agua conocida, fuera del alcance previsible del chorro, con objeto de evaluar la evaporación.
- 0.4. Regular y registrar el régimen de trabajo propio de cada prueba, maniobrando las llaves de control y dirigiendo el chorro hacia el cubo de aforo. Anotar la presión y el tiempo empleado en el llene del mismo, hasta alcanzar la marca señalada (ver página 124).
- 0.5. Leer anemómetro a la hora de comenzar la prueba.

1. Desarrollo de la prueba:

- 1.1. Leer el cronómetro e iniciar la descarga libre desde el emisor en prueba. Observar, en su caso, la velocidad de rotación.
- 1.2. Registrar las condiciones de trabajo del emisor. En particular, la presión de que dispone, el gasto y el diámetro mojado, así como la velocidad y la dirección del viento.

- 1.3. Registrar el tiempo de finalización del ensayo, que habrá llegado a proporcionar 0'025 m en algún vaso pluviométrico de cada una de las pruebas.
- 1.4. Medir la aportación recibida en los vasos alcanzados por los emisores de prueba, así como la diferencia de nivel en los vasos testigo.

C) Trabajo de gabinete:

1. Crear en el ordenador el archivo de datos de intensidad de lluvia horaria i_h .
2. Estudiar las variables de trabajo del emisor y, entre éstas, las relativas a funciones de gasto-presión y alcance efectivo R_e . Por lo que se refiere a la(s) prueba(s) de lluvia, calcular su intensidad media, relaciones intensidad/superficie, etc. y dibujar curvas de distribución pluviométrica a lo largo del diámetro mojado.
3. Analizar diversas alternativas de riego. A tal efecto, calcular la uniformidad y otros coeficientes estadísticos de la lluvia resultante, que será referida a la lluvia media.
4. Redactar un informe discutiendo los resultados obtenidos así como los posibles de obtener con diversos empleos del emisor ensayado.

Ensayo n° _____
Data _____

HOJA DE CAMPO N° 1

1. Especificaciones del sistema(*)

Diámetro exterior y espesor del ramal: mm

Tipo de emisor:

Diámetro de boquilla: mm (")

Presiones máxima y mínima: MPa

Gasto nominal (a 0'2 MPa): $m^3 \cdot s^{-1}$ ($l \cdot h^{-1}$)

Radio de alcance del chorro: m

Otras:

2. Croquis del emplazamiento(**)

(*) Datos del fabricante o del proyecto.

(**) Indíquese:

- Descripción del equipo de medida del tiempo.
- Norte geográfico y dirección y velocidad del viento.

Ensayo n° _____

HOJA DE CAMPO N° 2

3. Condiciones del ensayo

Tiempo atmosférico:

Hora	Viento		Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)
	Velocidad (m/s)	Dirección		

ETP:

mm día⁻¹

Otras:

4. Datos observados

	Emisor n° (ver ubicación en croquis)			
	1	2	3	4
Presión (MPa)				
Gasto(̂) (l/h)				
Altura de chorro (m)				
Interferencia				
Diámetro mojado (m)				

Otras medidas de presión:

Máxima:

Mínima:

Media:

(̂) Capacidad cubo/tiempo de llene: 5 l en _____ s. _____ m³s⁻¹.

Ensayo n° _____
Data _____

HOJA DE GABINETE N° 1

1. Resumen de datos del ensayo

Presión: MPa
Gasto: $l \cdot s^{-1}$
Velocidad del viento: $m \cdot s^{-1}$; dirección: ° desde el N
Duración de la prueba: min

2. Balance hídrico

Rendimiento de aportación en vasos: %

3. Configuración de la lluvia neta aplicada por el emisor (ver hojas adjuntas)

Gráfico de isoyetas:

Parámetros estadísticos:

Intensidad media dentro de R_e : $i_b =$ mm \cdot h⁻¹
Desviación típica: $\sigma =$ mm \cdot h⁻¹
Coeficiente de uniformidad: $C_u =$

Distribución de la intensidad de lluvia aplicada sobre suelo (variación de la relación adimensional H_i^* , relación entre la aportación genérica H_i y la aportación media \bar{H}).

Objetivo del riego:

Altura de riego requerido: $H_r =$ mm
Tiempo de aplicación por postura: $t_{ar} =$ h

Resultados de riego:

Perfil radial del agua aplicada dentro de R_e :
Altura de lluvia media bruta: $H_b = i_b \cdot t_{ar} =$ mm
Altura infiltrada neta: $H_u =$ mm
Altura perdida por filtración: $H_p =$ mm
Fracción de área mojada:
Fracción de área suficientemente regada: $f =$

Parámetros de riego:

Rendimiento de aplicación: $R_a =$
Coeficiente de filtración profunda: $C_p =$
Otros efectos:

4. Observaciones sobre el riego aplicado y recomendaciones para su mejoramiento

APENDICE

UN AFORADOR PARA EVALUAR EL RIEGO EN SURCOS

INTRODUCCION

El agua está frecuentemente en el trasfondo de las catástrofes relacionadas con el clima: si graves son los daños de avenida, graves son también los de sequía. Aunque no es posible aceptar criterios que establezcan *a priori* qué extremos son más temibles, sí está quedando cada vez más claramente de manifiesto que la sequía hoy padecida por media España ha concienciado a toda su población, en general, y a la agrícola, en particular de que el agua es un recurso escaso. El calificativo como "bien precioso" no es pues gratuito, y si importante es medir el agua urbana tanto, o más, lo es el agua agrícola. Esto resulta patente al tener presente que el agua que se despilfarra por hectárea cada campaña de riegos puede abastecer durante todo un año una población de 50 personas. Considerando las circunstancias extremas que rodean la necesidad y disponibilidad de agua, no es aventurado prever que, a muy corto plazo, el volumen distribuido para los riegos será medido y cobrado en forma paralela a como se hace para el abastecimiento de poblaciones y para otros servicios. La futura legislación de aguas establecerá, sin duda, disposiciones al respecto.

A la vista de lo que antecede, la agricultura tiene que prepararse. El actual desarrollo científico y tecnológico lo permite. Este folleto pretende divulgar la utilización de una herramienta de trabajo que será, con el tiempo, un elemento más en la rutina de algunas operaciones agrícolas: un instrumento para medir el agua de riego. El aforador que aquí se presenta es sólo un caso particular, pero bien representativo, de un modelo que tiene un amplio campo de aplicación. Su diseño es el resultado de una colaboración entre el Servicio de Experimentación y Apoyo Técnico de la Dirección General de Investigación y Extensión Agrarias (Junta de Andalucía) y la Unidad de Hidráulica de la Universidad de Córdoba, habiéndose podido desarrollar gracias al proyecto de investigación n°475 subvencionado por la C.A.I.C.Y.T.

DESCRIPCION Y USO DEL AFORADOR

Los aforadores de corrientes de agua son artificios para medir su gasto. Los llamados de *resalto* son canaletas convergente-divergentes interpuestas en corrientes libres (ver ensayo H.9) (ver figura 1). Su parte esencial es la constrictura prismática: los paramentos del canal convergen produciendo un estrechamiento en la caja. Debe producirse en esta garganta un régimen de corriente con algunas condiciones que son familiares para los hidráulicos: en primer lugar, que el flujo llegue a ser crítico; por otro lado, sensiblemente paralelo, o uniforme. La primera condición convierte al aforador en un sistema de control, es decir, se produce un rápido, y las posibles perturbaciones aguas abajo no afectan el calado aguas arriba, que permanece constante cuando el gasto no varía. La segunda condición, que exige un mínimo de longitud de garganta (aproximadamente, entre una y dos veces el calado aguas arriba, lo que justifica la denominación de *canaleta de garganta larga*), permite obtener

una relación sencilla entre el caudal y la energía, o carga, de la corriente. Dado que la energía en garganta es sensiblemente igual a la que existe en la aproximación aguas arriba, y dado que, también aquí, la corriente es sensiblemente uniforme, *es posible calcular el gasto Q a partir, exclusivamente, de la cota h medida en este tramo de aproximación^(*)* (ver figura 2). Esta corresponde a un régimen lento, o subcrítico, y las pocas perturbaciones en la superficie libre permiten una lectura limnimétrica cómoda y sin gran error.



FIGURA 1. Perspectiva del aforador.

Nuestro interés en aforadores de este tipo radica en que su empleo permite conocer los módulos que son distribuidos en las redes de riego así como los utilizados a nivel de parcela. Se utilizan tanto para estimar rendimientos en las acequias de distribución como para evaluar las condiciones del riego en cada parcela e incluso en cada surco. El modelo presentado en la figura 1, con garganta de sección triangular, fue construido en chapa galvanizada de 3 mm, conforme a las cotas definidas en la figura 3. Es adecuado a pequeños caudales que se utilizan en surcos (0'1 a 2 l/s). Una fórmula de gasto que resulta de su calibración es la siguiente:

(*) Ver glosario de símbolos empleados.

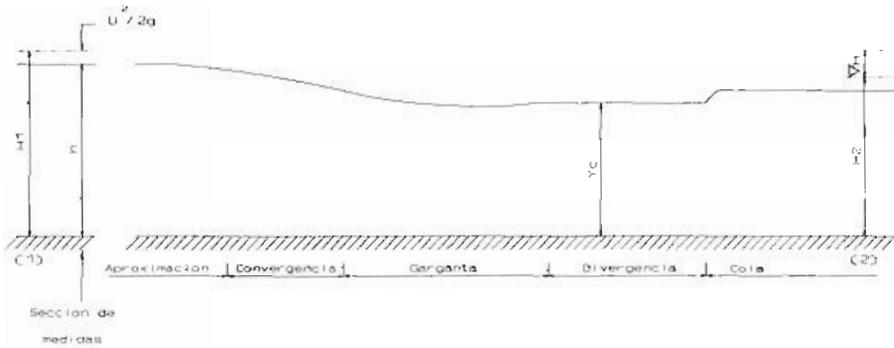


FIGURA 2. Sección longitudinal.

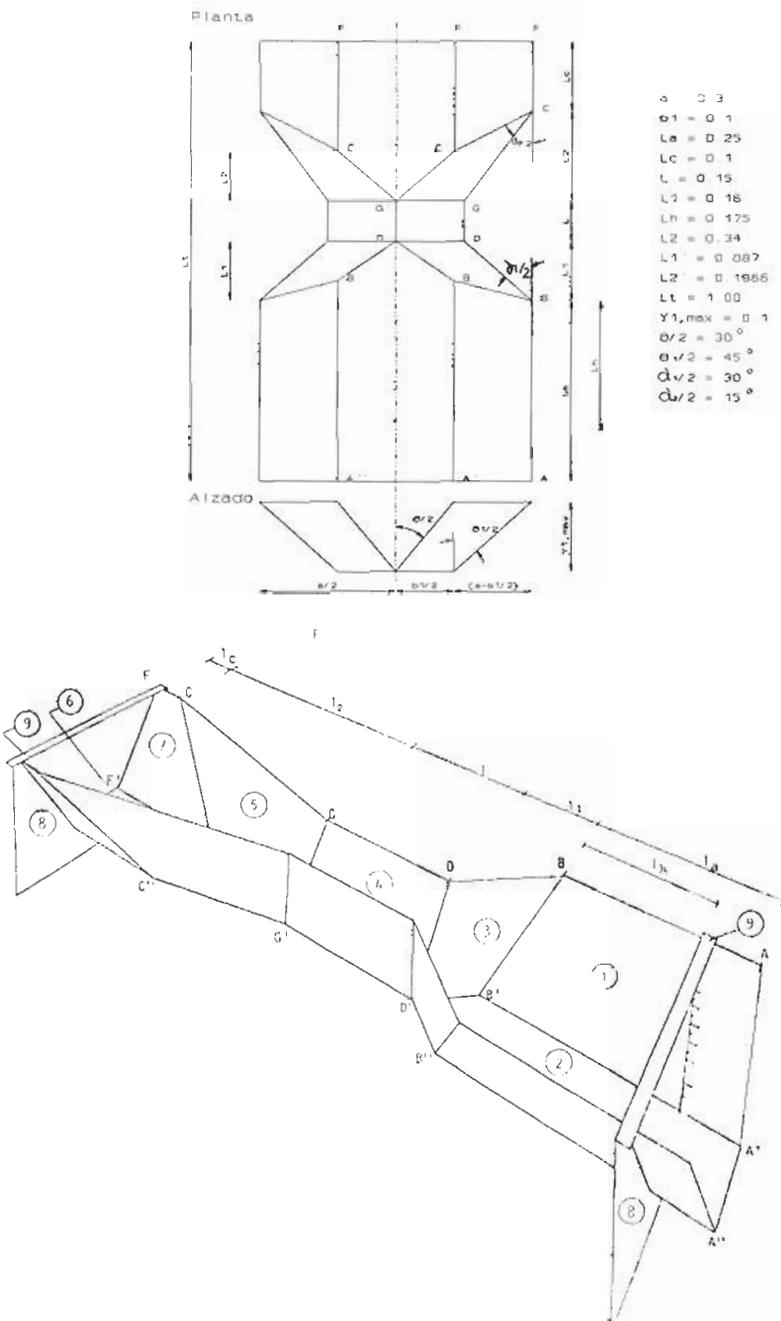
$$Q = 0'7094 h^{2'5087}$$

donde los coeficientes numéricos tienen en cuenta la geometría del aforador y las propiedades del agua. Otras curvas de gasto pueden verse en la figura 7.

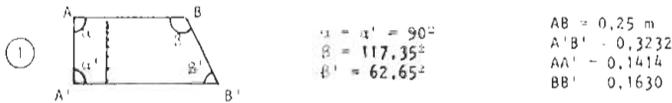
El cociente H_2/H_1 entre la carga total aguas abajo y la carga total aguas arriba es la llamada *relación de sumergencia*, siempre inferior a la unidad, por cuanto existe una pérdida entre ambas secciones. Cuando su valor sobrepasa cierto límite L , el flujo aguas arriba es afectado por las condiciones aguas abajo. Por encima de este *límite modular* no se manifiesta el flujo crítico en la garganta y la operación de aforo sería más laboriosa que la aquí propuesta.

La figura 4 recoge los detalles constructivos que un experto en calderería puede necesitar para construir el dispositivo. La pieza n°8 tiene una finalidad de anclaje, pero también contribuye a cegar posibles vías parásitas de agua. La n°9 facilita el transporte del aforador y, junto con la n°8, protege su geometría.

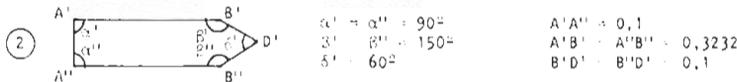
Por su interés práctico, interesa utilizar una regla de aforo, que indica directamente el gasto que corresponde a cada nivel alcanzado en el tramo de aproximación. Tanto el empleo de un limnómetro para la medición de h , como el subsiguiente cálculo de Q , pueden ser evitados utilizando la regla de aforo representada en la figura 5, que puede ser grabada sobre el propio paramento haciendo coincidir su cero con el nivel de solera. La figura 6 ilustra la operación de aforo utilizando ambos procedimientos alternativos de medición.



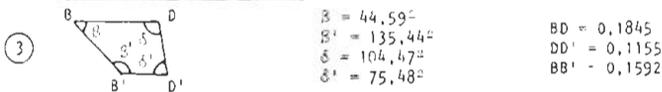
Paramento en aproximación (dos piezas: una puede disponer de ranuras para fijar regla de aforo, o bien ser grabada conforme a acotaciones en figura 5):



Solera en aproximación y convergencia:



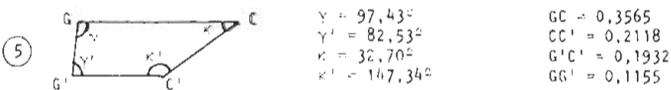
Paramento en convergencia (dos piezas):



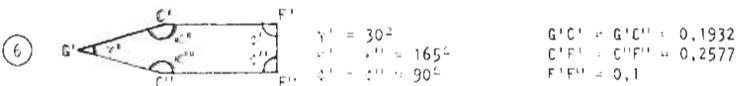
Paramento en garganta (dos piezas, o una doblada por arista G'D'):



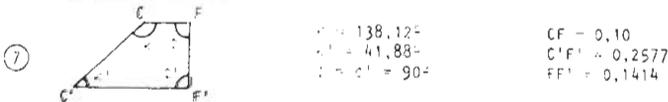
Paramento en expansión (dos piezas):



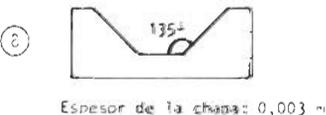
Solera en expansión y cola:



Paramento en cola (dos piezas):



Anclaje (dos piezas):



Travesaño (dos piezas):



FIGURA 4. Detalles constructivos.

h (m)	Q (m ³ /s)
20×10^{-3}	$3,71 \times 10^{-5}$
30×10^{-3}	$1,06 \times 10^{-4}$
40×10^{-3}	$2,22 \times 10^{-4}$
45×10^{-3}	$3,00 \times 10^{-4}$
50×10^{-3}	$3,93 \times 10^{-4}$
55×10^{-3}	$5,00 \times 10^{-4}$
60×10^{-3}	$6,24 \times 10^{-4}$
65×10^{-3}	$7,64 \times 10^{-4}$
70×10^{-3}	$9,22 \times 10^{-4}$
75×10^{-3}	$1,09 \times 10^{-3}$
80×10^{-3}	$1,29 \times 10^{-3}$
85×10^{-3}	$1,50 \times 10^{-3}$
90×10^{-3}	$1,74 \times 10^{-3}$
95×10^{-3}	$1,99 \times 10^{-3}$
100×10^{-3}	$2,28 \times 10^{-3}$

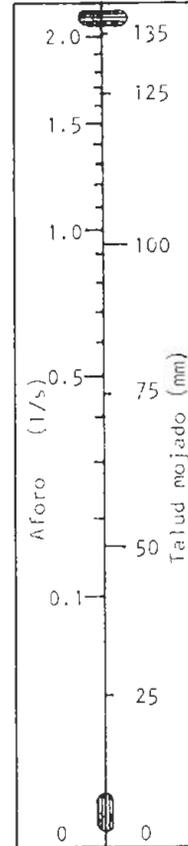


FIGURA 5. Regla de aforo.



FIGURA 6. Utilización evaluando un riego.

GUIA PARA SU UTILIZACION Y USO

Aunque la descripción que antecede ofrece elementos de juicio suficientes para la correcta ejecución de prácticas de aforo, se ha juzgado oportuno añadir algunas recomendaciones que, aunque de carácter rutinario, no dejan de tener importancia:

- Tanto en la sección de entrada al aforador como en la de salida, resulta conveniente facilitar una transición suave con el surco.
- Para que las medidas sean correctas, el aforador ha de instalarse perfectamente horizontal. A tal fin, puede bastar el uso de un nivel de albañil.
- La relación H_2/H_1 entre la carga total aguas abajo y la carga total aguas arriba no debe sobrepasar el límite modular. En la práctica, la operación de aforo descrita es aceptable siempre que se cumpla $h_2/h_1 < 0'80$.
- La utilización simultánea de dos aforadores instalados en un único surco, uno en cabecera y otro en cola, permite estimar el agua infiltrada entre ambos emplazamientos.

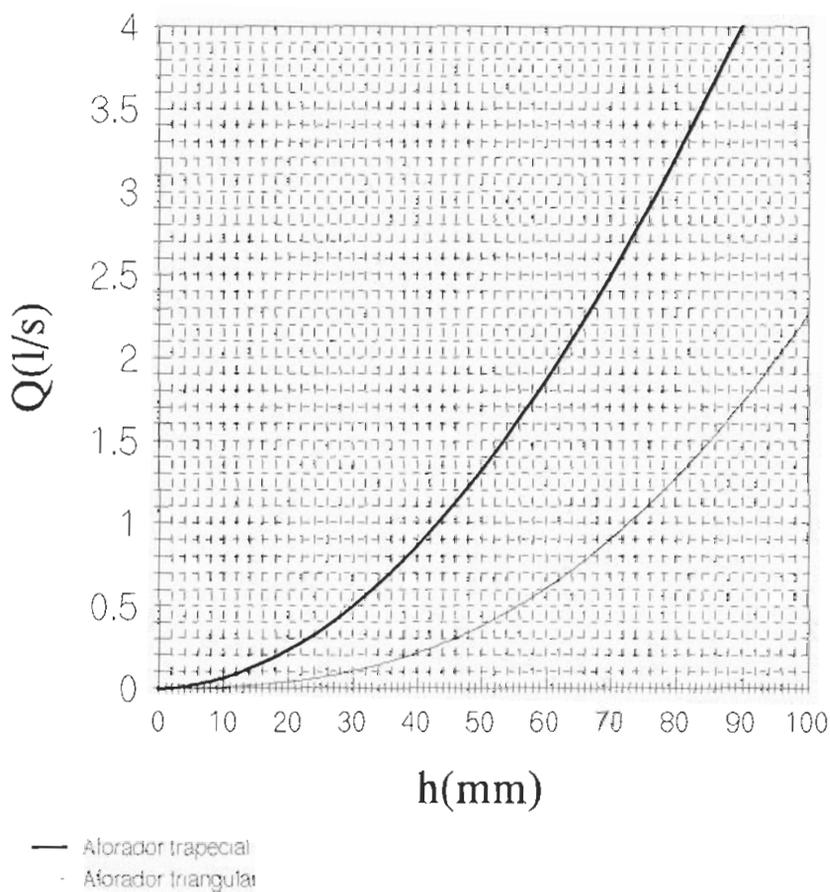


FIGURA 7. Curvas de gasto en aforadores para surco.

GLOSARIO Y SIMBOLOS EMPLEADOS

		<u>Unidad</u>
α_1, α_2	Ángulos de convergencia y expansión, en paramentos	Grados
$\theta/2, \theta_1/2$	Ángulos de talud en garganta y en aproximación	Grados
h	Carga o altura piezométrica en sección de medidas ($h = y_1$)	m
H	Carga total que resulta de añadir a la anterior el sumando cinético	m
ΔH	Pérdida de energía entre las secciones (1) y (2): $H_2 - H_1$	m
l	Longitud de garganta	m
L	Límite modular	Adimensional
Q	Gasto, o caudal aforado	$m^3 \cdot s^{-1}$
$U^2/2g$	Término de energía cinética, debido a la velocidad U del agua, con una constante gravitatoria g	m
y_1, y_c	Calados, o cotas del nivel del agua sobre solera, en aproximación y en garganta (crítico)	m

Otros índices utilizados para describir la geometría y detalles constructivos quedan identificados en las correspondientes figuras.

BIBLIOGRAFIA

- ALLEN, R.F. (1.989). *Sprinkler Catchcan Overlap Program, USU*.
- ARMONI, S. (1.989). *Riego por microaspersión*. Prensa XXI, S.A., Barcelona.
- BRALTS, V.F.; I.P. WU y H.M. GITLIN (1.981). Manufacturing variation and drip irrigation uniformity. *Trans. ASAE*, pp. 113-119.
- CRIDDLE, W.D.; S. DAVIS; S.N. PAIR y D.S. SCHOCKLEY (1.956). Methods for evaluating irrigation systems. *Agricultural Handbook n° 82*, SCS-USDA, Washington.
- DOMINGUEZ, J.; A. LOSADA; J. ROLDAN y M. ALCAIDE (1.984). Curvas de gasto para aforo modular. *Comunicaciones INIA, Serie: General*, n° 14.
- 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.
- JENSEN, M.E. (ed.) (1.980). Design and operation of farm irrigation systems. *ASAE Monograph N° 3*, Michigan.
- JUANA, L.; A. LOSADA; E. HERNANDEZ; M. ALCAIDE y J. AMARO (1.990). Determinación de criterios de operación y evaluación de sistemas de riego por goteo. *VIII Jornadas Técnicas sobre Riegos*.
- LOSADA, A.; L. JUANA y J. ROLDAN (1.990). Operation Diagrams for Irrigation Management. *Agricultural Water Management*, vol. 18, pp. 289-300.
- LOSADA, A.; L.R. SINOBAS; L. JUANA; J. ROLDAN y M. ALCAIDE (1.992). Parámetros hidráulicos de elementos plásticos en ramales de goteo. *XII Congreso Internacional de Plásticos en Agricultura*, Granada: D-34-D-42.
- MERRIAM, J.L. y J. KELLER (1.978). *Farm irrigation system evaluation: A guide for management*. Utah St. Univ. Logan.
- Normas ISO* (proyecto ISO/DIS 9261: Systèmes de tuyaux émetteurs) y *UNE* (68-075-86: Emisores).
- 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).
- USDA (1.984). *Furrow irrigation. Chapter 5. Section 15: Irrigation*. SCS National Engineering Handbook, Washington.

USDA (1.984). *Trickle irrigation. Chapter 7. Section 15: Irrigation.* SCS National Engineering Handbook, Washington.

VERMEIREN, L. y G.A. GOBLING (1.986). Riego localizado. *Estudio FAO: Riegos y Drenajes*, 36, Roma.

WALKER, W.R. (1.979). *Sprinkler and trickle irrigation.* Dept. of Agricultural and Chemical Engg., Colorado State University.

WALKER, W.R. y G.V. SKOGERBOE (1.987). *Surface irrigation. Theory and practice.* Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, EE.UU.

WU, I.P.; T.A. HOWELL y E.A. HILLEL (1.979). Hydraulic design of drip irrigation systems. Hawaii Inst. of Tropical Agriculture and Human Resources, *Tech. Bull.*, 105, 80 páginas.

P.V.P. 500 p

