

## Capítulo II

<b>AFORO DE CAUDALES DE RIEGO.....</b>	<b>1</b>
INTRODUCCION.....	1
MEDICION DEL CAUDAL.....	1
Métodos directos.....	2
a) Método volumétrico.....	2
MÉTODOS INDIRECTOS.....	4
a) Método del flotador (sección mojada y velocidad media).....	4
b) Método de aforo por compuerta.....	8
c) Métodos de aforo de cañería de pozos agua.....	13
BIBLIOGRAFÍA.....	50



# CAPÍTULO II

## AFORO DE CAUDALES DE RIEGO

*Trabajo: “Aforos” de Carlos E. Schilardi,  
Cátedra de Hidrología Agrícola  
Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo*

### INTRODUCCION

Conocer la cantidad de agua que recibe una finca o propiedad agrícola, por medio del turnado o a través de una perforación, es de mucha importancia para: lograr entregarle al cultivo mediante el riego, la cantidad de agua necesaria que permita obtener una adecuada producción en cantidad y calidad, planificar la máxima superficie factible de riego, evaluar el desempeño del sistema de riego y efectuar correcciones sobre el mismo si fuera necesario, optimizar el recurso agua y mejorar la calidad de la cosecha maximizando el beneficio de cada peso invertido en pos de la producción.

El siguiente apartado tiene como finalidad resumir y difundir a los profesionales y agricultores los principales métodos prácticos de campo utilizados para medir o aforar el agua que se aplica en cada riego.

### MEDICION DEL CAUDAL

El caudal es la cantidad de agua (ej: en litros) que pasa por un punto o sección de un canal, acequia, perforación de agua subterránea o surco durante un determinado intervalo de tiempo (ej: un segundo). Así por ejemplo un caudal de 10 litros/segundo, significa que pasan 10 litros de agua por una punto o “sección” del canal durante 1 segundo. Otro ejemplo es el caudal erogado por las perforaciones de agua subterránea, así por ejemplo un pozo que eroga 50 litros/segundo, significa que pasan 50 litros de agua en la sección del caño de descarga durante 1 segundo.

El caudal suele medirse en litros/segundo, la equivalencia con m<sup>3</sup>/segundo es la siguiente:

$$1000 \text{ l/s} = 1 \text{ m}^3/\text{s}$$

Entre los métodos más utilizados para medir caudales de agua se encuentran los siguientes:

- *Métodos directos*

- a) Método volumétrico

- *Métodos Indirectos*

- a) Método del flotador (sección mojada y velocidad media)
- b) Método de aforo por compuerta
- c) Métodos de aforo de cañería de pozos agua subterránea
- d) Métodos mediante estructuras de medida (vertederos y aforadores)
- e) Método de la sección y la pendiente (Manning)
- f) Molinete
- g) Medidor ultrasónico
- h) Aforo químico
- i) Aforo por resalto

## MÉTODOS DIRECTOS

### a) Método volumétrico

Este método permite medir pequeños caudales de agua menores de 20 litros/segundo, como son los que escurren en surcos de riego o pequeñas acequias. Para ello es necesario contar con un depósito (balde, tanque australiano, pileta, etc) de volumen conocido en el cual se colecta el agua, anotando el tiempo que demora este en llenarse. Esta operación puede repetirse 2 ó 3 veces y se promedia, con el fin de asegurar una mayor exactitud (Figura II.1).

#### Ejemplo 1:

Se quiere medir el caudal de agua que entrega un sifón de riego a un surco. Para ello se practica el aforo volumétrico con un balde de 10 litros.

Se efectúan 3 mediciones tomado el tiempo en que llenamos el balde

Tiempo (segundos)	1° medición	2° medición	3° medición	Promedio
	5	6	4	5

Dividiendo el volumen de agua recogido en el recipiente por el tiempo (promedio) que demoró en llenarse, se obtiene el caudal en litros por segundo.

Ejemplo: volumen del Balde :10 litros.

tiempo promedio que demoró en llenarse: 5 segundos.

$$\text{Caudal}(Q) = \frac{\text{volumen}}{\text{tiempo}} = \frac{10 \text{ litros}}{5 \text{ seg}} = 2 \text{ l/seg}$$

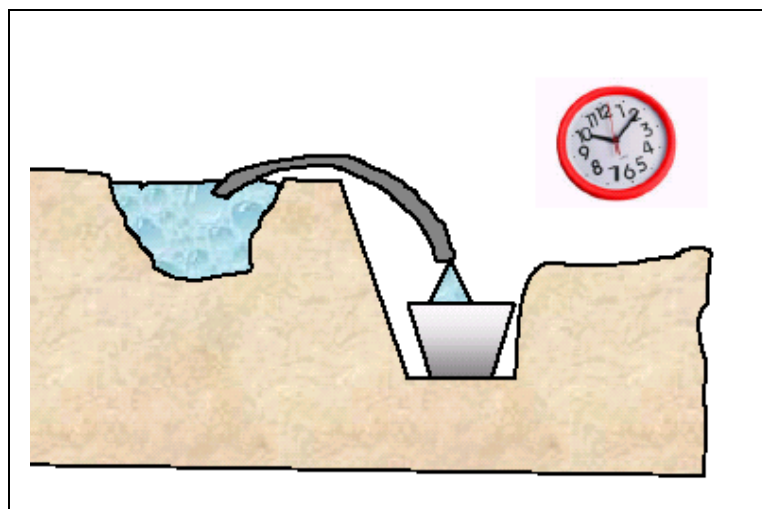


Figura II.1: Medición de caudales utilizando un balde y un cronómetro.

**Tabla II. 1: Caudal en litros por segundo, cuando se usan baldes de 3 volúmenes diferentes, que se llenan en un tiempo entre 1 y 25 segundos.**

Tiempo seg)	Volumen del balde		
	5 lts.	10 lts.	20 lts.
	caudal (litros/seg)		
1	5.00	10.00	20.00
2	2.50	5.00	10.00
3	1.63	3.33	6.66
4	1.25	2.50	5.00
5	1.00	2.00	4.00
6	0.83	1.67	3.33
7	0.71	1.42	2.86
8	0.63	1.25	2.50
9	0.55	1.11	2.22
10	0.50	1.00	2.00
11	0.45	0.90	1.82
12	0.42	0.83	1.67
13	0.38	0.77	1.54
14	0.36	0.71	1.43
15	0.33	0.66	1.33
16	0.32	0.63	1.25
17	0.29	0.59	1.18
18	0.28	0.56	1.11
19	0.26	0.53	1.05
20	0.25	0.50	1.00
21	0.24	0.48	0.95
22	0.23	0.45	0.90
23	0.22	0.43	0.87
24	0.21	0.42	0.83
25	0.20	0.40	0.80

**Ejemplo 2:**

Se quiere conocer el caudal de agua que vierte un pozo de agua subterránea a un tanque australiano. Para ello se determina el tiempo en que tarda en llenarse el tanque. Se parte con el tanque vacío, sino estuviera vacío, se mide la diferencia de altura de agua en el tanque antes de prender el pozo y al final de la experiencia, ello permitirá conocer el volumen de agua en función del volumen del tanque.

El volumen del tanque es igual a la superficie de la base por la altura, es así que para tanques cilíndricos:

$$\text{volumen} = \frac{\Pi \cdot D^2}{4} \cdot h = 0,785 \cdot D^2 \cdot h$$

volumen se expresa en m<sup>3</sup>

D = diámetro (en metros)

h = altura de agua (en metros)

Las medidas a tomar son las internas. Para aquellos tanques grandes, en los cuales se hace difícil medir el diámetro, este se puede calcular dividiendo el perímetro externo del tanque por  $\Pi$

(3,14) para poder conocer de esta manera su diámetro. Al dato obtenido se le debe descontar el espesor de ambas paredes:

$$\text{diámetro} = \frac{P}{\Pi}$$

P = perímetro del tanque expresado en metros

$\Pi$  = constante (3,14)

diámetro = diámetro del tanque expresado en metros

**Ejemplo a campo:**

Se mide el perímetro externo del tanque australiano, su valor es de 64 metros, por lo tanto el diámetro será:

$$\text{diámetro} = \frac{P}{\Pi} = \frac{64}{3,14} = 20,4 \text{ m}$$

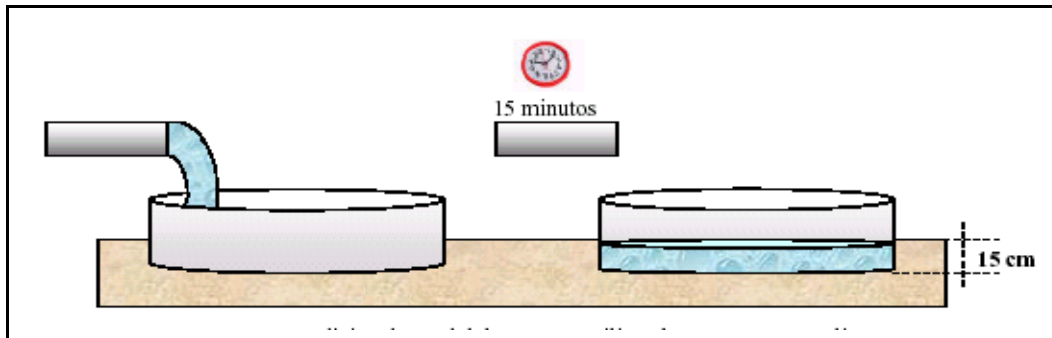
a este valor se le descuenta el espesor de dos paredes (0,06 .2) = 0,12

$$\text{diámetro} = 20,4 - 0,12 = 20,28 \text{ m}$$

Para conocer el caudal: Se prende el pozo durante 15 minutos (900 segundos), una vez apagado se mide la altura de agua, en nuestro ejemplo se midieron 15 cm de altura de agua, que equivalen a 0,15 metros

$$\text{volumen} = 0,785 \cdot (20,28)^2 \cdot 0,15 = 0,46 \text{ m}^3$$

$$\text{caudal}(Q) = \frac{\text{volumen}}{\text{tiempo}} = \frac{0,46 \text{ m}^3}{900 \text{ seg}} = 0,00051 \text{ m}^3/\text{seg} = 0,51 \text{ litros/seg}$$

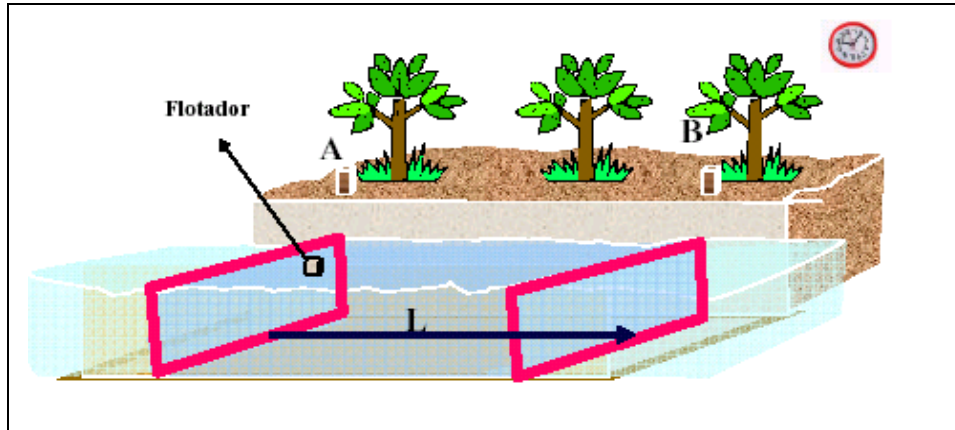


**Figura II.2: Medición de caudal de un pozo utilizando un tanque australiano**

**MÉTODOS INDIRECTOS**

**a) Método del flotador (sección mojada y velocidad media)**

Este método se utiliza tanto para conocer el agua que circula en canales como en acequias de riego, dando sólo una medida aproximada de los caudales. Se presenta como una metodología sencilla de campo, pero su uso es limitado debido a que los valores que se obtienen son estimativos del caudal, siendo necesario el uso de otros métodos cuando se requiere una mayor precisión.



**Figura II.3: Medición de caudal mediante el método del flotador**

Los cauces de riego pueden tener formas geométricas bien definidas, revestidas con cemento, o bien naturales de tierra. Para determinar el caudal que pasa por ellas en este método:

$$Q = A \cdot V$$

Q = caudal que circula en el cauce de riego

A = área del perfil del cauce perpendicular a la dirección en que se mueve el agua

V = velocidad media del agua del cauce de riego en metros/segundo

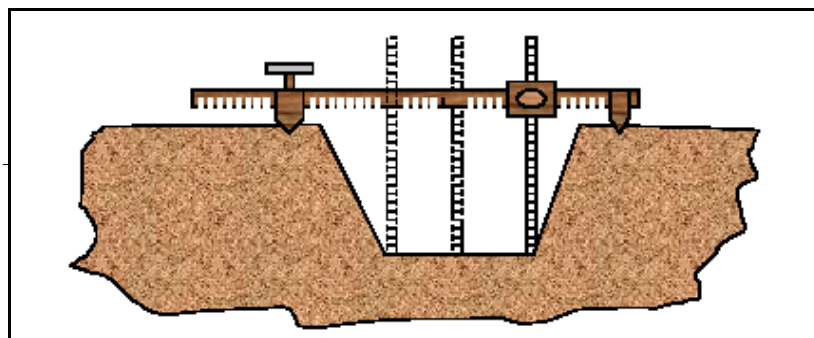
Para determinar el caudal se siguen los siguientes pasos:

Primer paso: Ubicación del lugar

Se elige una longitud “L” (Figura II.3), del cauce de riego, no inferior a 30 m, de sección uniforme, preferentemente donde no se produzcan grandes infiltraciones, se marcan los extremos de esta longitud “L” con dos estacas (puntos A y B de la Figura II.3).

Segundo paso: Determinación de la sección o superficie del cauce de riego

Se determina la sección o superficie del cauce de riego en la mitad de la longitud “L”. Puede medirse con una escuadra de correderas que permite medir profundidades y anchos (Figura II.4)



**Figura II.4: Determinación de la sección mojada**

Tercer paso: Determinar el valor de la velocidad media del agua en el cauce de riego

Para determinar la velocidad, por medio de flotadores sencillos: corchos, trozos de madera, etc, se obtiene la velocidad superficial, determinando el tiempo que demora en recorrer el flotador la distancia “L”, comprendida entre las estacas (punto A y B Figura II 3):

$$\text{velocidad superficial} = \frac{\text{distancia (m)}}{\text{tiempo (seg)}}$$

Se promedian varias observaciones, el valor así obtenido es la velocidad superficial del agua. Para conocer la velocidad media multiplicaremos a la velocidad superficial por un factor de corrección experimental (Tabla II.2), variable de acuerdo a la condición de la acequia:

$$\text{velocidad}_{\text{media}} = \text{velocidad}_{\text{superficial}} \cdot c$$

**Tabla II.2: Factor “c” de corrección experimental**

R (m)	C de Bazin						
	K = 0,06	K = 0,16	K = 0,66	K = 0,85	K = 1,30	K = 1,75	K = 2,30
0.05	0.830	0.784	0.670	0.5634	0.478	0.466	0.346
0.10	0.840	0.804	0.717	0.628	0.548	0.487	0.420
0.20	0.845	0.821	0.756	0.682	0.614	0.556	0.495
0.30	0.849	0.828	0.772	0.709	0.649	0.596	0.535
0.40	0.850	0.830	0.783	0.726	0.971	0.622	0.565
0.60	0.852	0.837	0.796	0.747	0.698	0.655	0.603
0.70	0.853	0.841	0.804	0.761	0.717	0.678	0.629
1.00	0.854	0.843	0.810	0.771	0.730	0.693	0.645

donde K representa la naturaleza de las paredes del canal y R (m) en radio hidráulico:

K = 0,06 paredes lisas conservadas de hormigón, madera o metálicas

K = 0,16 hormigón no perfectamente alisado, con salientes de mampostería de ladrillo y/o piedra tallada

K = 0,46 hormigón descuidado con algo de vegetación, aguas turbias con depósitos en las paredes.  
mampostería de piedra común no perfilado.

K = 0,85 tierra con sección rectangular eventualmente revestida con guijarros, poco depósito en el fondo, sin vegetación.

K = 1,30 tierra de sección rectangular, con hierbas en el fondo y matas en los taludes, limpiezas periódicas.

K = 1,75 tierra en malas condiciones de conservación, matas de vegetación abundante, depósitos de peñascos o guijarros, irregularidades, erosiones, conservación descuidada.

K = 2,40 cursos naturales de agua canales excavados en el terreno.

R (m): el radio hidráulico de un cauce es el cociente entre el área y su perímetro mojado.

Cuarto paso: Determinación del caudal que circula en el cauce de riego

El caudal que circula por el cauce de riego se determina finalmente:

$$Q = A \cdot V$$

Q = caudal que circula en el cauce de riego

A = área del perfil del cauce perpendicular a la dirección en que se mueve el agua

V = velocidad media del agua del cauce de riego en metros/segundo

### **Ejemplo 3:**

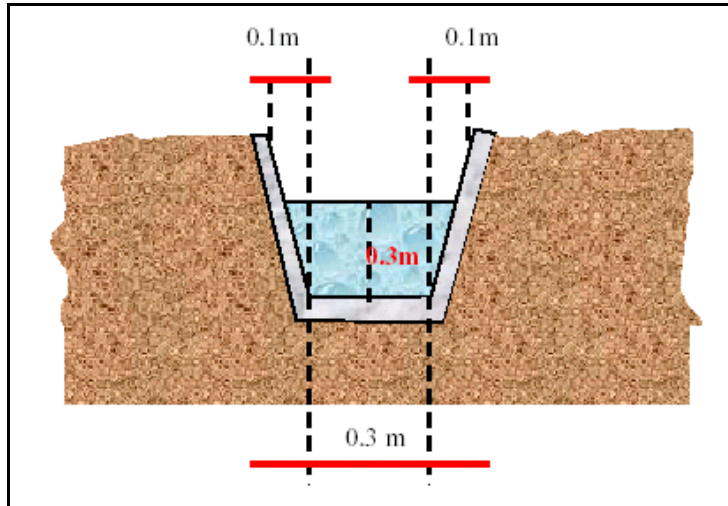
Se desea conocer el caudal que circula en una acequia trapezoidal de hormigón que presenta las dimensiones de la Figura II.5.

Primer paso: Ubicación del lugar

Se elige una sobre el cauce de riego una longitud “L”, no inferior a 30 m, de sección uniforme.

Segundo paso: Determinación de la sección o superficie del cauce de riego

Se determina la sección o superficie del cauce de riego en la mitad de la longitud “L”. Mediante 3 posiciones de la escuadra (Figura II.5), se obtienen las medidas necesarias para calcular la sección.



**Figura II.5**

Para calcular la superficie descomponemos la superficie trapezoidal del cauce de riego en dos triángulos y un cuadrado para facilitar el cálculo:

$$\text{Área del cuadrado} = L \cdot L = 0,3 \text{ m} \cdot 0,3 \text{ m} = 0,9 \text{ m}^2$$

$$\text{Área de los dos triángulos laterales} = ((b \cdot h)/2) \cdot 2 = ((0,3 \cdot 0,1)/2) \cdot 2 = 0,03 \text{ m}^2$$

$$\text{Área Total de la sección: } 0,09 + 0,03 = 0,12 \text{ m}^2$$

$$\text{Perímetro mojado: } 0,4 + 0,4 + 0,3 = 1,1$$

$$\text{Radio hidráulico: } 0,12/1,1 = 1,0$$

$$\text{Factor } c: 0,854$$

Tercer paso: Determinar el valor de la velocidad media del agua en el cauce de riego

Se determina el tiempo en que un flotador tarda en recorrer los 30 m del cauce, se efectúan tres mediciones:

Tipo (segundos)	1ª Medición	2ª Medición	3ª Medición	Promedio
	60	61	59	60

$$\text{velocidad superficial} = \frac{\text{distancia (m)}}{\text{tiempo (seg)}} = \frac{30}{60} = 0,5 \text{ m/s}$$

$$\text{velocidad}_{\text{media}} = \text{velocidad}_{\text{superficial}} \cdot c = 0,5 \cdot 0,854 = 0,43 \text{ m/s}$$

K = 0,06 (paredes lisas conservadas de hormigón)

Cuarto paso: Determinación del caudal que circula en el cauce de riego

El caudal que circula por el cauce de riego se determina finalmente:

$$Q = A \cdot V = 0,12 \text{ m}^2 \cdot 0,43 \text{ m/s} = 0,0516 \text{ m}^3/\text{s} = 51,6 \text{ l/s}$$

Se presenta a continuación la Tabla II.3 que relaciona los valores de velocidad media, sección y el correspondiente caudal.

**Tabla II. 3**

Velocidad media en m/s	Valores de S en m <sup>2</sup>											
	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75
	Q litros/segundo											
0.4	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
0.44	88	110	132	154	176	198	220	242	264	286	308	330
0.5	100	125	150	175	200	224	250	275	300	325	350	375
0.56	112	140	168	196	224	252	280	308	336	364	392	420
0.61	122	152	183	213	244	274	305	335	366	396	427	457
0.66	132	165	198	231	264	297	330	363	396	429	462	495
0.73	146	182	219	255	292	328	365	401	438	474	511	546
0.8	160	200	240	280	320	360	400	440	480	520	560	600
0.89	178	222	267	311	356	400	445	489	534	578	623	667
1	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750
1.14	248	285	342	399	496	513	570	627	684	741	798	855
1.32	264	330	396	462	528	594	660	726	792	858	924	990

Tomado de Manual de Agricultura bajo riego J.A Luque (1955)

### b) Método de aforo por compuerta

Las compuertas que comúnmente son utilizadas para dotar el agua de riego pueden considerarse como un orificio en los cuales es factible poder medir el caudal que dejan pasar. Este método no es muy conveniente cuando el nivel de agua aguas arriba y debajo de la compuerta varía mucho en el tiempo, ya que no podremos medir un caudal que sea representativo o estable para el cauce de riego que estamos evaluando.

La fórmula que se emplea para medir el agua que sale por una compuerta es:

$$Q = c \cdot a \cdot l \cdot \epsilon, \epsilon^3 \cdot \sqrt{h_1} \quad (\text{compuerta libre})$$

$$Q = c \cdot a \cdot l \cdot 4,43 \cdot \sqrt{h_1 - h_2} \quad (\text{compuerta ahogada})$$

Q = caudal que pasa a través de la compuerta

a = abertura de la compuerta

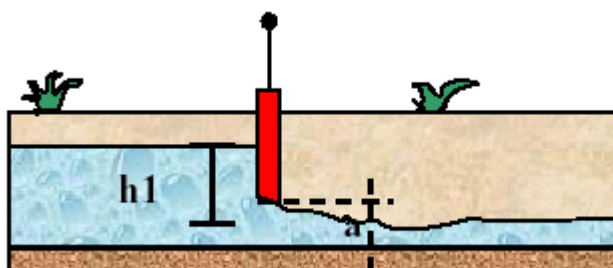
l = ancho de la compuerta

h1 = altura de agua aguas arriba de la compuerta en metros

h2 = altura aguas debajo de la compuerta en metros

c = coeficiente de gasto

¿Cuándo una compuerta trabaja en forma libre o ahogada?



**Figura II.6: Compuerta libre**

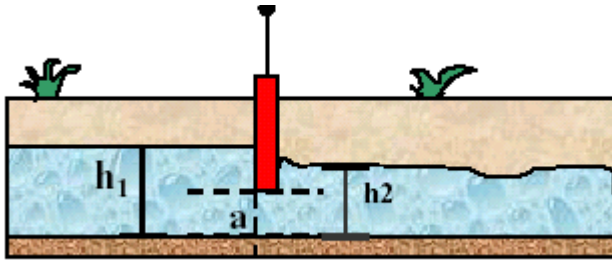


Figura II.7: Compuerta ahogada

¿Que es el coeficiente de gasto y que valores tiene?

El coeficiente de gasto es un valor adimensional menor que la unidad que produce una disminución del caudal teórico o práctico. Esta disminución se debe a distintos factores. El primer factor es la contracción de la vena líquida. Esta se produce a la salida del orificio como consecuencia del rozamiento de la vena líquida y deformación de los filetes líquidos al chocar con la arista interna y de las paredes. El otro factor es la velocidad, como el área de la vena líquida es de menor dimensión que el área real, la velocidad teórica que debería producir el líquido a la salida es mayor que la velocidad real de esta. Es así que el efecto de estos dos factores es lo que denominamos coeficiente de gasto de la compuerta. Los valores que puede tomar son los siguientes:

Cuando la compuerta trabaja como libre:

$c = 0.68$  Cuando la solera del canal coincide con la parte inferior de la compuerta y los costados del canal (sin contracciones).

$c = 0.65$  Cuando coincide con el fondo pero no con los costados (contracción lateral).

Cuando la compuerta trabaja ahogada:

$c = 0.73$  Sin contracciones en el fondo y bordes.

$c = 0.67$  Con contracciones en los tres lados.

¿Qué otra precaución hay que tener en el aforo por compuerta?

Cuando la velocidad de llegada supera 0.5 metros/segundo hay que modificar el cálculo, agregando una sobrecarga de la velocidad de llegada de la siguiente manera:

$$Q = c \cdot a \cdot l \cdot \epsilon, \epsilon^3, \sqrt{h_1 + h'} \quad (\text{compuerta — libre})$$

$$Q = c \cdot a \cdot l \cdot \epsilon, \epsilon^3, \sqrt{(h_1 - h_v) + h'} \quad (\text{compuerta — ahogada})$$

**Tabla II.4: Valor de velocidad según la carga (h1 ó h1-h2)**

h (m)	v (m/seg)	h (m)	v (m/seg)	h (m)	v (m/seg)
0,001	0,14	0,09	1,33	0,35	2,62
0,002	0,20	0,10	1,40	0,40	2,80
0,003	0,24	0,11	1,47	0,45	2,97
0,004	0,28	0,12	1,53	0,50	3,13
0,005	0,31	0,13	1,60	0,55	3,28
0,006	0,34	0,14	1,66	0,60	3,43
0,007	0,37	0,15	1,71	0,65	3,57
0,008	0,40	0,16	1,77	0,70	3,70
0,009	0,42	0,17	1,83	0,75	3,83
0,01	0,44	0,18	1,88	0,80	3,96
0,02	0,63	0,19	1,93	0,85	4,08
0,03	0,77	0,20	1,98	0,90	4,20
0,04	0,89	0,22	2,08	0,95	4,32
0,05	0,99	0,24	2,17	1,00	4,43
0,06	1,08	0,26	2,26	1,10	4,64
0,07	1,17	0,28	2,34	1,20	4,85
0,08	1,25	0,30	2,42	1,30	5,05

Para conocer el valor de la sobrecarga  $h'$  se tiene:

**Tabla II.5: Sobrecarga  $h'$  para velocidades de llegada entre 0.05 y 3 m/seg**

v (m/seg)	$h'$	v (m/seg)	$h'$	v (m/seg)	$h'$
0,05	0,0001	0,70	0,025	1,70	0,147
0,10	0,0005	0,75	0,029	1,80	0,165
0,15	0,001	0,80	0,033	1,90	0,184
0,20	0,002	0,85	0,037	2,00	0,204
0,25	0,003	0,90	0,041	2,10	0,225
0,30	0,005	0,95	0,046	2,20	0,247
0,35	0,006	1,00	0,051	2,30	0,270
0,40	0,008	1,10	0,062	2,40	0,294
0,45	0,010	1,20	0,073	2,50	0,319
0,50	0,013	1,30	0,086	2,60	0,345
0,55	0,015	1,40	0,100	2,70	0,372
0,60	0,018	1,50	0,115	2,80	0,400
0,65	0,022	1,60	0,131	2,90	0,429

**Ejemplo 4:**

Se quiere conocer el caudal que ingresa a una propiedad, la cual tiene una compuerta de tornillo ubicada en forma paralela a la hijuela que dota la propiedad, la misma trabaja en forma **libre** y tiene contracción lateral. La compuerta tiene una abertura  $a = 0.11 \text{ m}$  y el ancho de es de  $l = 0.20 \text{ m}$ .

Para determinar el caudal o gasto que ingresa por la compuerta a la propiedad y dadas las condiciones en que trabaja la compuerta se procede a medir aguas arriba de la compuerta la altura de agua desde el fondo hasta el pelo de agua a la misma, se le resta la mitad de la

abertura de la compuerta para determinar la carga desde la mitad del orificio o abertura de la compuerta hasta el pelo de agua de la hijuela, ya que la trabaja como compuerta libre:

$$a/2 = 0,11/2 = 0,055 \text{ m}$$

$$\text{altura desde el fondo al pelo de agua} = 0,315 \text{ m}$$

$$h_1 = 0,315 - 0,055 = 0,26 \text{ m}$$

$$c = 0,65$$

velocidad de llegada:  $< 0,5 \text{ m/seg}$

$$Q = c \cdot a \cdot l \cdot 0,407 \cdot \sqrt{h_1} = 0,65 \cdot 0,11 \cdot 0,2 \cdot 0,407 \cdot \sqrt{0,26} = 0,032 \text{ m}^3 / \text{seg}$$

$$Q = 0,032 \text{ m}^3 / \text{seg} = 32 \text{ l/seg}$$

### **Ejemplo 5:**

Se quiere conocer el caudal que ingresa por una compuerta de tornillo a una propiedad agrícola. La compuerta se encuentra ubicada en forma paralela al cauce de riego que dota la propiedad y se encuentra trabajando en forma **ahogada** y no posee contracciones en el fondo ni en los bordes. La compuerta tiene una abertura de **a = 0.50 m** y el ancho de la misma es de **l = 1m**

Dadas las condiciones en que opera la compuerta se mide la altura o carga de agua, aguas arriba de la compuerta y aguas debajo de la compuerta.

$$a = 0,50 \text{ m}$$

$$b = 1 \text{ m}$$

$$h_1 = 0,70 \text{ m}$$

$$h_2 = 0,65 \text{ m}$$

$$h_1 - h_2 = 0,70 - 0,65 = 0,05$$

Velocidad de llegada:  $< 0,5 \text{ m/seg}$

$$Q = c \cdot a \cdot l \cdot 4,43 \cdot \sqrt{(h_1 - h_2)} = 0,73 \cdot 0,50 \cdot 1 \cdot 4,43 \cdot \sqrt{0,05} = 0,36 \text{ m}^3 / \text{seg}$$

$$Q = 0,36 \text{ m}^3 / \text{seg} = 360 \text{ l/seg}$$

La fórmula que suele aplicarse para calcular el caudal en compuertas, tiene el inconveniente de que el valor del coeficiente no es constante sino variable y tiene valores que fluctúan entre 0.55 y 0.95, por lo que puede cometerse un grave error de estimación además, en algunos casos el área hidráulica del orificio puede ser difícil de medir.

Como simplificación del método de aforo y para evitar hasta cierto punto los inconvenientes señalados, L. Zierold (1964), encontró un método relativamente sencillo para aplicar esta fórmula. El método de Zierold consiste en lo siguiente: Se hacen varios aforos con diferentes aberturas de compuerta, utilizando otro método, por ejemplo molinete, también se mide la carga y luego de la ecuación se despeja el valor  $CA$ .

$$CA = \sqrt{\frac{Q}{2gH}}$$

Como  $H$  y  $Q$  son conocidos puede saberse el valor  $c$ , estos valores se relacionan con las aberturas mediante una gráfica, generalmente en papel logarítmico, poniendo a los valores de abertura como ordenadas y los de  $c$  como abscisas. También puede intentarse calcular una función que relacione estas variables, al menos en ciertos rangos. Generalmente la relación no es lineal, pero puede suponerse potencial.

A continuación se describe el procedimiento para calibrar una compuerta por este método:

- a) Se instalan escalas aguas arriba y aguas abajo de las compuertas, referenciadas a un mismo

origen para que por diferencia de lectura se conozca el valor de la carga (H).

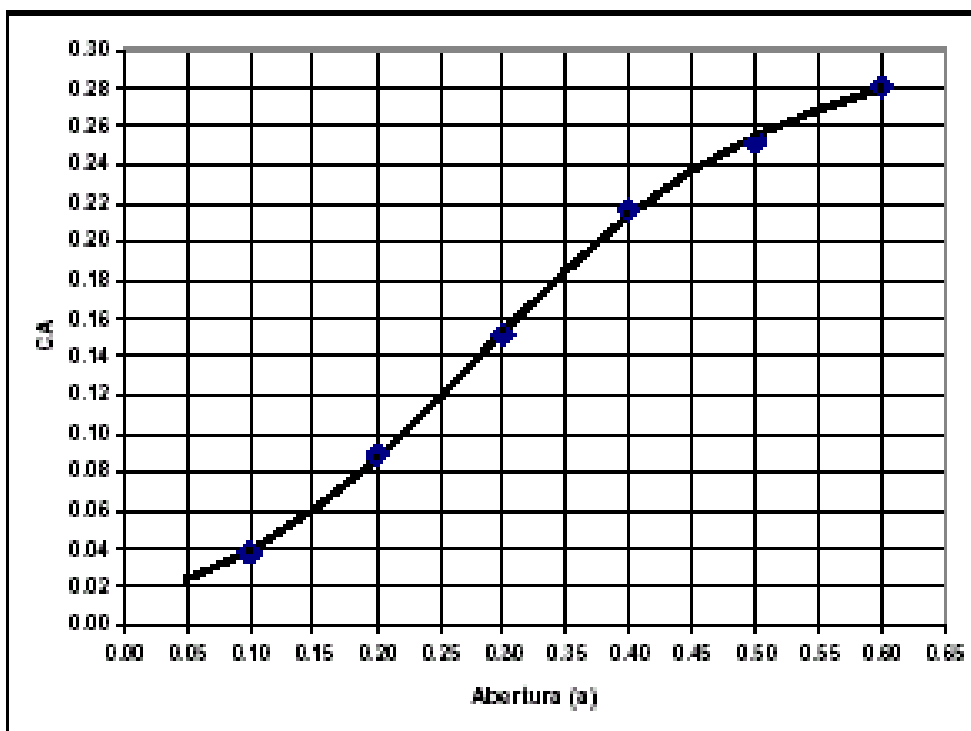
- b) Con la compuerta cerrada, se marca el cero en el vástago para medir la abertura de la compuerta (a) sobre dicho vástago.
- c) Se procede a la calibración, abriendo la compuerta una cierta cantidad, se espera a que se normalicen los tirantes aguas arriba y abajo de la compuerta (lecturas constantes) para hacer la lectura de la carga y luego se hace el aforo para conocer el caudal que pasa por dicha compuerta.
- d) Se repite la operación varias veces hasta la abertura completa de la compuerta.

Como ejemplo se presenta el resultado de la calibración de una compuerta de 61 cm. (24”) de diámetro, con 6 aforos (uno cada 10 cm. de abertura). En el siguiente cuadro se muestran los resultados de las medidas llevadas al cabo con fines de calibrar la mencionada compuerta.

**Tabla II.5b: Calibración de una compuerta**

Q (m <sup>3</sup> /s)	H(m)	a(m)	CA
0.155	0.87	0.10	0.038
0.360	0.83	0.20	0.089
0.575	0.74	0.30	0.151
0.750	0.61	0.40	0.217
0.805	0.52	0.50	0.252
0.880	0.50	0.60	0.281

Al graficar los valores de la abertura contra c, como se muestra en la Figura 7b, se obtienen una serie de puntos que podrían representarse como dos rectas y que permitirá a un distribuidor de agua calcular el caudal en función de la abertura y la carga sin hacer cálculos. Sin embargo, también puede estimarse un adecuado ajuste a los puntos para obtener una función.



(Fuente Palacios Vélez, Maestría en Riego y Drenaje, F.C.A-U.N.C)

**Figura II.7b: Gráfica de la calibración de una compuerta**

En efecto, sobre estos datos se puede hacer una regresión para buscar un adecuado ajuste estadístico a los puntos obtenidos, pudiendo calcularse una función como la que se ha agregado en la figura que logra un excelente ajuste, con un coeficiente de determinación de  $R^2 = 0.999$  cuya función es:

$$Q = \frac{0,3 \cdot a}{(1 + \text{Exp}(1,727 - 1,787 \cdot a))^{1,7 \cdot \varepsilon}}$$

Así, por ejemplo, supóngase que se quiere calcular el caudal para una abertura  $a = 0.25$  m y una carga de  $H = 0.75$ , primero utilizando la gráfica, se observa que para dicha abertura corresponde un valor de  $c$  de 0.12, luego el caudal será de:

$$Q = 0,12 \cdot \sqrt{19,6 \cdot 0,75} = 0,460 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Si se usa la función obtenida, se obtiene para  $c$  un valor de 0.119 y el caudal de  $0.456 \text{ m}^3/\text{s}$ . Al calcular los valores de  $c$  con la mencionada función para los valores de la Tabla II.5b, se obtuvieron caudales muy similares a los reportados en dicho cuadro, con un error máximo del orden del 3%.

### c) Métodos de aforo de cañería de pozos agua

Se pueden presentar dos ocasiones:

- d.1\_ Pozo surgente con salida vertical
- d.2\_ Pozo con salida horizontal.

#### d.1\_ Pozo surgente con salida vertical:

Se determina en forma muy aproximada el caudal de un pozo surgente con salida de agua vertical.

Se mide la altura máxima a que llega el agua en la boca del caño (Figura II.8). Se toma en cuenta el diámetro interior del caño de descarga en pulgadas.

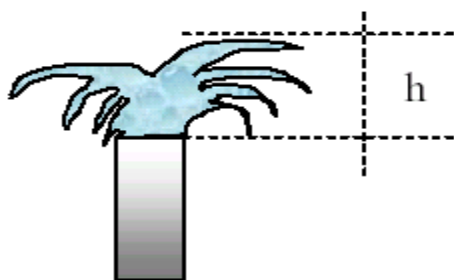


Figura II.8: Caño con salida vertical

El caudal en litros por minuto se busca en la Tabla II.6 de acuerdo a la altura y diámetro medido en campo.

**Tabla II.6: Caudal en litros por minuto, de acuerdo a la altura y diámetro interno del caño de descarga medido a campo.**

h (cm)	Diámetro del caño de descarga en pulgadas							
	2"	3"	4"	5"	6"	7"	8"	10"
7	127	277	487	790	1125	1540	2055	3440
8	136	301	527	843	1210	1660	2220	3690
9	145	325	567	895	1300	1775	2380	3930
10	153	346	602	947	1385	1885	2550	4180
11	163	364	636	1000	1470	1995	2710	4420
12	172	381	668	1050	1540	2105	2855	4670
13	180	398	698	1095	1610	2205	3000	4900
14	188	415	727	1140	1680	2295	3130	5110
15	195	432	758	1185	1750	2390	3270	5320
16	202	449	784	1230	1820	2480	3390	5500
17	209	465	810	1273	1885	2570	3505	5670
18	216	480	835	1315	1945	2650	3615	5830
19	223	494	860	1353	2000	2735	3730	590
20	229	507	885	1390	2055	2820	3840	6160
22	241	534	930	1465	2165	2970	4055	6460
24	253	560	973	1535	2275	3115	4245	6750
26	264	586	1016	1602	2380	3255	4430	7020
28	275	610	1059	1668	2470	3375	4605	7280
30	285	634	1102	1734	2565	3500	4780	7540
35	311	690	1196	1883	2780	3805	5180	8140
40	334	739	1284	2026	2985	4090	5520	8710
45	356	785	1366	2160	3175	4350	5855	9420
50	378	829	1448	2278	3340	4600	6175	9760
60	415	913	1590	1497	3665	5050	6760	10660
70	449	989	1722	2700	3965	5450	7290	11520
80	482	1062	1847	2895	4245	5835	7780	12320
90	514	1134	1964	3083	4500	6205	8240	13060
100	544	1194	2068	3247	4760	6550	8705	13810

Para las distintas dimensiones de caños y distintas alturas de agua, se puede determinar el caudal mediante la siguiente fórmula:

$$Q_{\text{litros/minuto}} = 13,49 \cdot C \cdot d^r \cdot \sqrt{h}$$

Q = caudal en litros por minutos

d = diámetro interior del caño de descarga en pulgadas h = altura del agua en el caño de descarga en cm

C = coeficiente variable de 0,87 a 0,97 por caños de 2 a 4 pulgadas de diámetro y de 15 hasta 60 cm de altura.

**Ejemplo 6:**

Con un caño de d = 6" y una altura de agua h = 13 cm tendremos un caudal de:

$$Q = 1610 \text{ litros/minutos}$$

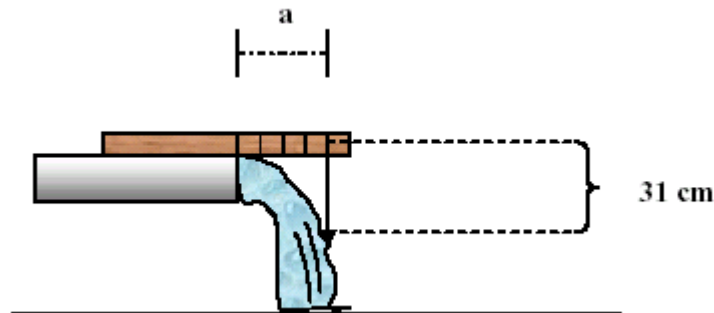
**d.2\_ Pozo con salida horizontal e inclinada:**

Pueden darse dos situaciones: caño con salida horizontal e inclinada que fluye lleno

(d.2.1) y caño de salida horizontal e inclinada que no fluye lleno (d.2.2). Otro método

práctico de aforo de un pozo es a través del nomograma de aforo en condiciones de caño lleno (d.2.3)

d.2.1 Pozo con salida horizontal e inclinada que fluye lleno:



**Figura II.9: Pozo con salida horizontal que fluye lleno**

En una vara de lago menos que un metro, se suspende una plomada que debe tener exactamente 31 cm (Figura II.9). La vara se acerca cuidadosamente al caño de descarga donde mana el agua cuyo caudal se desea medir. Luego, la vara debe ser deslizada adelante o hacia atrás, hasta que la punta de la plomada toque el agua que sale del caño. En ese momento se determina la distancia **a** (Figura II.9), la misma se mide desde el extremo del caño de descarga y el punto donde se encuentra atada la plomada.

La fórmula para conocer el caudal es la siguiente:

$$Q_{\text{litros/ minuto}} = a \cdot K$$

Q = caudal en litros por minuto.

a = distancia en centímetros desde el extremo del caño de descarga y el punto donde se encuentra atada la plomada

K = coeficiente que depende del diámetro interno del caño de descarga. (Tabla II.7)

**Ejemplo 7:**

Determinar el caudal que eroga un pozo de 6" de diámetro interno, el mismo tiene la descarga en forma horizontal y fluye lleno de agua. La lectura de regla con plomada dio una distancia desde el extremo del caño de descarga y el punto donde se encuentra atada la plomada de 46 cm

K= 43.81 (Tabla II.7)

$$Q_{\text{litros/ miinuto}} = a \cdot K = 46 \cdot 43,81 = 2015 \text{ litros / minuto}$$

$$Q = 2015 \text{ litros/minuto}$$

**Tabla II. 7: Coeficiente K**

Diámetro interno en pulgadas					
Diám. Int	K	Diám. Int	K	Diám. Int	K
2	4.92	6	43.81	10	121.75
2 1/4	6.11	6 1/4	47.54	10 1/4	128
2 1/2	7.6	6 1/2	51.41	10 1/2	134.26
2 3/4	9.24	6 3/4	55.43	10 3/4	140.67
3	10.88	7	59.61	11	147.38
3 1/4	12.82	7 1/4	63.93	11 1/4	153.49
3 1/2	14.9	7 1/2	68.4	11 1/2	160.94
3 3/4	17.14	7 3/4	73.02	11 3/4	168.39
4	19.52	8	77.94	12	175.84
4 1/4	21.91	8 1/4	82.85	12 1/4	190.74
4 1/2	24.59	8 1/2	87.92	13	205.64
4 3/4	27.42	8 3/4	93.13	13 1/2	22.03
5	30.4	9	98.65	14	238.43
5 1/4	33.53	9 1/4	104.16	14 1/2	256.31
5 1/2	36.81	9 1/2	109.82	15	274.19
5 3/4	40.23	9 3/4	115.79	16	311.44

d.2.2\_ Pozo con salida horizontal e inclinada que no fluye lleno:



**Figura II.10: Pozo con salida horizontal que no fluye lleno**

Primero se hacen todos los pasos como si el caño de descarga estuviera trabajando lleno. Luego procederemos a medir el espacio que llamaremos “f” (Figura II.10), también se debe medir el diámetro exterior del caño de descarga “d”. Si dividimos el valor de f sobre d, obtendremos el porcentaje libre del caño de descarga.

Con el valor obtenido se busca en la Tabla II.5 el factor de corrección que multiplicado al caudal obtenido como si el caño fluyera lleno dará como resultado el caudal real en litros por minuto que eroga el caño de descarga que no fluye lleno.

**Tabla II.8: Factor de corrección**

%	Factor de Corrección	%	Factor de Corrección
5	0.981	55	0.436
10	0.948	60	0.375
15	0.905	65	0.312
20	0.858	70	0.253
25	0.805	75	0.195
30	0.747	80	0.142
35	0.655	85	0.095
40	0.27	90	0.052
45	0.564	95	0.019
50	0.5	100	0

**Ejemplo 8:**

Se desea conocer el caudal que eroga un pozo que posee un caño de descarga horizontal y que no fluye lleno.

El caño posee  $d = 15$  cm de diámetro exterior se mide su porción libre  $f = 3$  cm, dividiendo  $f/d = 0.2 = 20 \%$ , para lo cual y mediante la Tabla II.8 el factor de corrección correspondiente es 0,858.

Calculamos el caudal como si el caño de descarga fluyera lleno, para nuestro ejemplo:

Diámetro interno = 6”

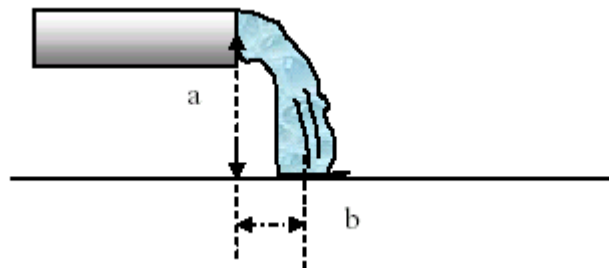
$K = 43.81$  (Tabla II.7)

$$Q_{\text{litros/minute}} = a \cdot K = 27, 23, 81 = 2 \cdot 10 \text{ litros / minuto}$$

$$Q_{\text{litros/minute}} = 2 \cdot 10 \text{ l / minuto}, \cdot 0,858 = 1729 \text{ litros / minuto}$$

$$Q = 1729 \text{ litros/minuto}$$

d.2.2\_ Aforo de un pozo a través del nomograma de aforo (caño lleno):



**Figura II.11: Aforo de un pozo utilizando el nomograma**

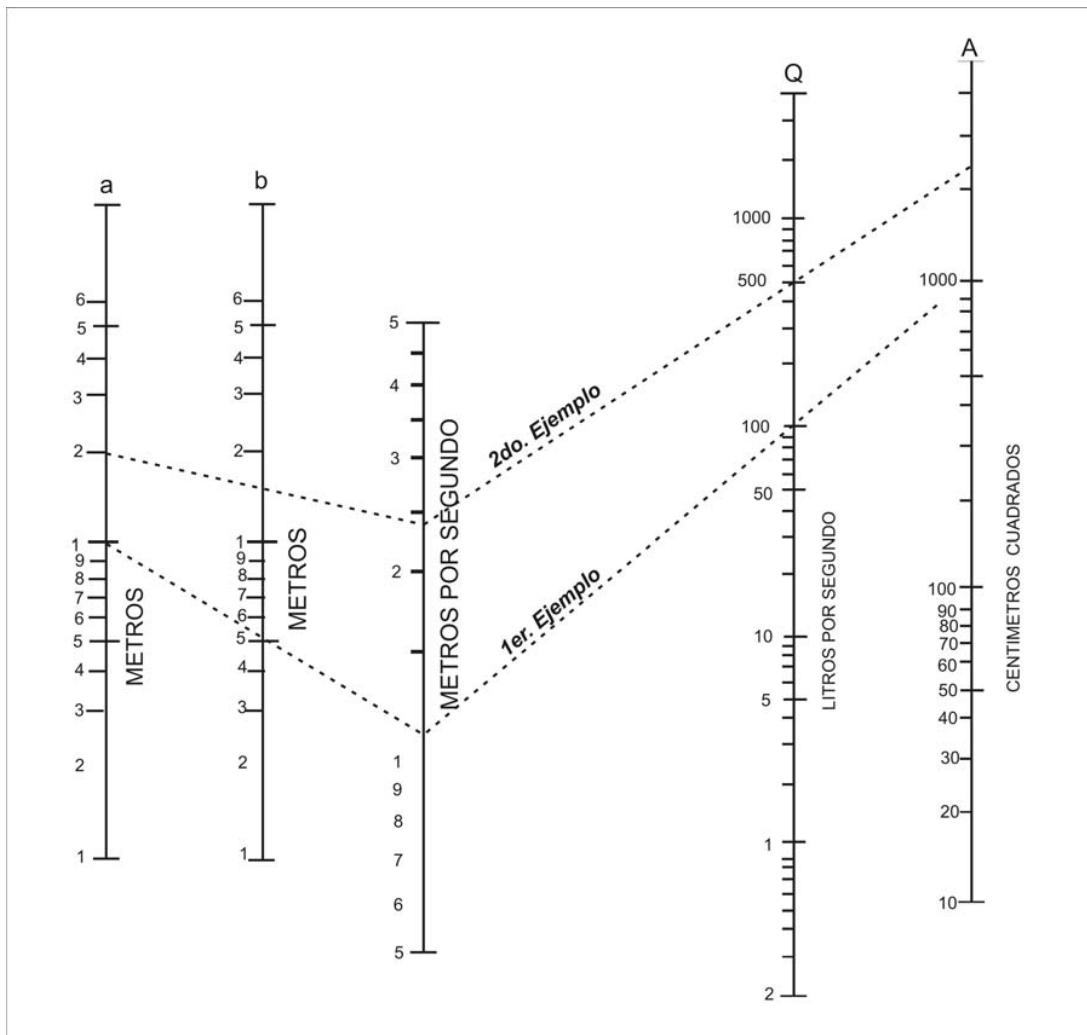
Para determinar el caudal que eroga un pozo utilizando el nomograma de aforo, se debe conocer la distancia en metros del piso o superficie del agua embalsada, al centro del caño “a” (Figura II.11) y la distancia de la salida del chorro hasta el centro del lugar en que cae “b” (Figura II.11).

Conociendo el diámetro de caño de descarga podremos conocer el área del mismo mediante:

$$A = \frac{P \cdot D^2}{\epsilon}$$

Los valores de **a** y **b** se miden a campo. Una vez obtenidos todos los datos en el nomograma (Figura II.12) se procede de la siguiente manera:

- El valor de **a** se ubica sobre la línea correspondiente. b) Se prolonga una línea que corte al valor de **b** medida.
- Se continúa la línea hasta cortar la línea de velocidad (metros por segundo), de esta manera determinaremos la velocidad en metros por segundo del agua en la salida del caño de descarga.
- Unir el punto de la velocidad obtenida con el área del caño calculado anteriormente.
- La línea resultante del paso anterior contará en un punto a la línea de caudal, ese valor será el que está erogando el pozo con los datos medidos de campo.



(fuente: Aforo en pequeños canales de riego – Ings Agrs Fernández y C.J Gras)

Figura II. 12: Nomograma para el aforo de un pozo con dos ejemplos

**Ejemplo 9:**

Se desea conocer el caudal que eroga un pozo de 8" de diámetro que fluye lleno y cuyo caño de descarga se encuentra en forma horizontal. El valor de  $a = 1$  m y  $b = 0,5$  m

El área del caño según diámetro en de  $A = 324 \text{ cm}^2$

Entrando por el nomograma se determina que el caudal es: **Q = 30 litros/segundo**

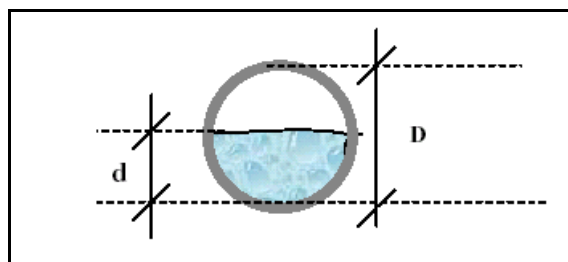
Si el caño de descarga no trabajara lleno, se puede utilizar el mismo nomograma pero calculando el área según Tabla II.9

**Tabla II.9: Cuadro de áreas**

Diámetro		Áreas en $\text{cm}^2$									
		lleno	Relación d/D (proporción del caño que sale lleno)								
pul	cm		9/10	8/10	7/10	6/10	5/10	4/10	3/10	2/10	1/10
1	2.54	5	5	4	4	3	3	2	1	1	-
2	5.08	20	15	47	15	13	10	8	5	3	1
3	7.62	46	43	39	34	29	23	17	12	6	2
4	10.16	81	77	70	61	51	41	30	20	12	4
6	15.24	182	173	156	136	114	91	68	46	26	9
8	20.32	324	307	278	242	203	162	121	82	48	17
10	25.4	507	480	435	379	317	253	189	128	72	26
12	30.48	731	693	627	546	453	366	273	184	104	38
14	35.56	993	941	852	743	622	497	371	251	141	52
16	40.84	1297	1230	1112	970	813	649	484	327	185	67
18	45.72	1642	1557	1408	1228	1029	821	613	414	234	85
24	60.85	2919	2767	2508	2183	1829	1459	1090	737	416	152
30	76.2	4560	4223	3911	3410	2857	2280	1703	1150	649	237
36	91.44	6580	6225	5633	4911	4115	3284	2453	1657	935	342
42	105.68	8938	8475	7665	6683	5600	4469	3338	2255	1273	465

(fuente: Aforo de agua en pequeños canales de riego Ings. Agrs. P.C Fernández y C.J Grassi 1962)

**Figura II.13: Datos para calcular el área (relación d/D)**



d) Métodos mediante estructuras de medida (vertederos y aforadores)

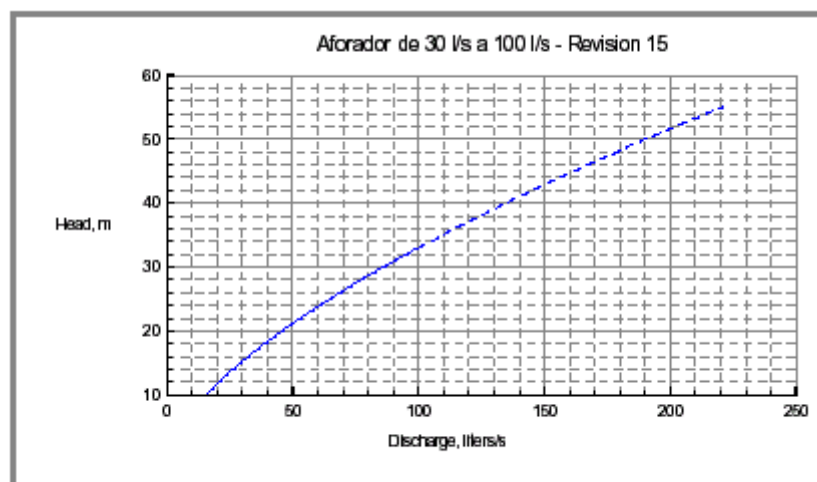
c.1) Aforadores

Los aforadores son estructuras en donde se puede determinar en forma indirecta el caudal conociendo la altura de agua de una acequia o cauce de riego.

Uno de los tantos tipos de aforadores muy práctico es el aforador de cresta ancha, el mismo se basa en la elevación de fondo del canal para conseguir que los filetes de agua sean paralelos (régimen laminar), para de esta manera poder establecer una relación unívoca entre la altura de agua y el caudal que está circulado por la acequia o cauce de riego. Esta relación es la que representa la curva de gasto propia de cada aforador.

**Tabla II.10: Altura caudal de un aforador**

Altura de agua (cm)	Caudal (l/s)
10	16
11	18
12	21
13	24
14	27
15	29
16	33
17	36
18	39
19	42
20	46
21	50
22	53
23	57
24	61
25	65
26	69
27	73
28	77
29	82
30	86
31	91
32	95
33	100



**Figura II.14: Curva de gasto**

De esta manera conociendo la altura de agua en el canal o cauce de riego podremos determinar el caudal que circula por ella.

Las ventajas de este tipo de aforadores son:

- El error de medición es menor del 2 %
- Se puede construir en canales o acequias de cualquier dimensión.

- Deja pasar los sedimentos.
- Los cuerpos flotantes que trae el agua causan pocos problemas.
- Es de construcción económica.

¿Qué datos son necesarios para construir un aforador?

1. Ancho de la acequia
2. Caudal máximo a medir

Para conocer el caudal máximo que puede llenar la acequia o cauce de riego se afora la misma con el método del flotador anteriormente explicado en condiciones de máximo caudal transportado por el cauce de riego.

¿Dónde conviene ubicar el aforador?

Aguas arriba del aforador debe existir un tramo recto de una longitud 10 veces mayor que el ancho de la acequia donde se quiere instalar el aforador. La acequia debe tener un ancho uniforme, una pendiente uniforme no menor al 1 ‰ (desnivel de 1 metro en 1000 metros de largo). Si sobre la acequia existiera algún salto, el aforador debe ubicarse antes de este.

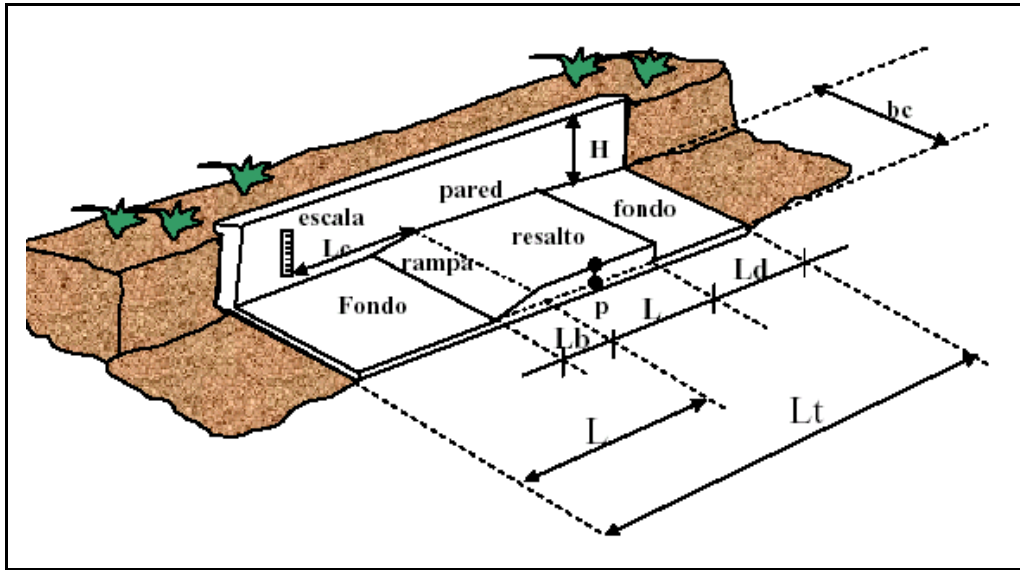
¿Qué medidas debe tener el aforador?

Como mencionáramos anteriormente debemos conocer el ancho de la acequia y el caudal máximo a medir, con estos valores podemos entrar a la Tabla II.11 y seleccionar el aforador con sus correspondientes dimensiones.

**Tabla II.11: Datos para la construcción de un aforador de cresta ancha**

Tamaño	Ancho Acequia metros (bc)	Caudal a medir litros/seg (Q)		Tramo		Resalto				Rampa Largo metros (Lb)	Escala Distancia al Resalto metro (Lc)	Materiales de construcción
				Largo metros (L)	Altura metros (H)	Tamaño		Ubicación				
		Altura (P)	Largo (L)			Comienzo (Lr)	Final (Ld)					
A	0.3	5	114	1.8	0.5	0.1	0.5	0.8	0.5	0.3	0.7	Hormigón simple (1 cemento x 5 ripio sin hierro) 8-10 cm de espesor
	0.4	3	150									
	0.5	5	190									
B	0.5	9	219	2.05	0.5	0.1	0.75	0.8	0.5	0.3	0.7	Parrilla de hierro 4.2 mm, cruzado cada 15 cm. Hormigón simple 10-12 cm de espesor
	0.6	11	263									
	0.7	13	306									
	0.8	15	350									
	0.9	17	394									
C	1	19	438	2.35	0.8	0.2	0.75	1	0.6	0.4	0.9	Parrilla de hierro 6 mm, cruzado cada 15 cm. Hormigón simple 10-12 cm de espesor
	0.5	9	344									
	0.6	11	413									
	0.7	13	482									
	0.8	15	551									
D	0.9	17	620	3	1	0.2	1	1.4	0.6	0.4	1.35	
	1	19	689									
	1	30	1110									
	1.1	33	1221									
	1.2	36	1332									
	1.3	39	1443									
	1.4	42	1554									
	1.5	45	1665									

(Aforador de cresta ancha – Ricardo Bagini Folleto n° 108 INTA E.E.A Mendoza)



**Figura II.15: Dimensiones del aforador de cresta ancha**

¿Cómo construyo mi aforador?

En el lugar seleccionado para colocar el aforador, se debe construir una acequia de hormigón, con el fondo a nivel cero de paredes verticales, lograremos de esta manera tener una sección uniforme. Con las medidas del ancho de la acequia y el caudal máximo a medir, en la Tabla II.11, seleccionamos el aforador y con ello sus dimensiones.

Se inicia con la construcción del fondo, el mismo debe estar a nivel cero y ser algo más ancho que la acequia, para que una vez construidas las paredes, tenga el ancho deseado. El largo del fondo y de las paredes se obtiene de la Tabla II.11. Tanto el fondo como las paredes deben tener una terminación perfectamente lisa. El escalón de resalto debe construirse según los datos obtenidos en la Tabla II.11. Para la construcción del resalto basta con colocar un encofrador y rellenar el escalón con hormigón. La parte superior del resalto debe tener nivel cero en todos los sentidos.

Una vez fraguado el resalto, se construye la rampa con el largo indicado en la Tabla II.11. Al igual que para las paredes y el resalto, la rampa debe tener una terminación perfectamente lisa.

¿Cómo coloco la escala del aforador?

La escala se coloca sobre una de las paredes a una distancia  $L_c$  (que para cada caso se encuentra en detalle en la Tabla II.11), se instala perfectamente nivelada, donde el cero de la escala se encuentra al mismo nivel del resalto (Figura II.15).

¿Cómo obtengo mi curva de gasto?

Para conocer la curva de gasto individual de cada aforador, se toma la Tabla II.12. Los caudales de esta tabla están expresados para 1 metro de ancho del aforador, los valores leídos deben multiplicarse por el ancho real de este.

**Tabla II.12: Caudales en litros por segundo por metro de ancho del aforador y po cada centímetro de la escala**

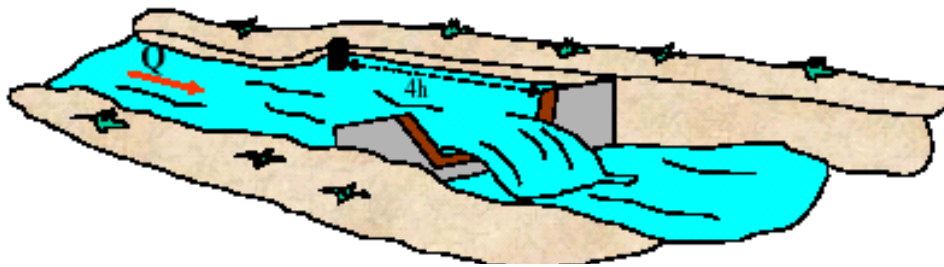
Altura de agua en escala (cm)	Tamaño				Altura de agua en escala (cm)	Tamaño			
	A	B	C	D		A	B	C	D
4	13	-	-	-	36	-	438	405	405
5	19	19	18	-	37	-	-	423	424
6	25	25	24	-	38	-	-	442	442
7	32	32	31	-	39	-	-	462	462
8	39	39	38	37	40	-	-	480	480
9	48	47	45	45	41	-	-	500	500
10	56	55	54	53	42	-	-	520	520
11	65	65	62	62	43	-	-	540	540
12	75	74	71	71	44	-	-	560	561
13	85	84	81	80	45	-	-	581	581
14	96	95	91	90	46	-	-	602	602
15	107	106	101	100	47	-	-	623	624
16	118	118	112	111	42	-	-	645	645
17	130	130	123	122	49	-	-	667	667
18	143	142	134	134	50	-	-	689	690
19	156	155	146	146	51	-	-	-	712
20	169	19	159	158	52	-	-	-	735
21	183	182	171	171	53	-	-	-	758
22	197	197	185	184	54	-	-	-	781
23	212	211	198	198	55	-	-	-	805
24	227	226	212	212	56	-	-	-	829
25	243	242	226	226	57	-	-	-	853
26	259	258	241	240	58	-	-	-	877
27	275	274	256	256	59	-	-	-	902
28	292	291	271	271	60	-	-	-	927
29	309	308	287	286	61	-	-	-	953
30	326	325	302	302	62	-	-	-	978
31	344	343	319	319	63	-	-	-	1004
32	362	361	335	335	64	-	-	--	1030
33	381	380	352	352	65	-	-	-	1056
3	-	399	30	370	66	-	-	-	1083
35	-	418	387	387	67	-	-	-	1110

(fuente: Aforador de cresta ancha – Ricardo Bagini Folleto n° 108 INTA E.E.A Mendoza)

### c.2) Vertederos:

¿Qué es un vertedero?

Los vertederos son estructuras que se instalan en los canales o acequias (en condiciones especiales) en forma perpendicular a la corriente, de manera que toda el agua pase por la abertura del vertedero forme un salto al caer, la altura de agua tomada aguas arriba del vertedero nos permitirá determinar el caudal que circula por el cauce o acequia de riego.



**Figura II.16: Esquema de un vertedero funcionando**

Los tipos más comunes de vertedero son: rectangular, trapecial (Chipolleti) y triangular.

¿Con qué materiales se construyen?

Para la escotadura, se puede usar chapa de hierro de 3 a 4 mm, colocada sobre un marco de hormigón estable en la acequia.

¿Qué condiciones especiales debe tener la acequia en donde se instala el vertedero?

Se debe ensanchar el cauce arriba de la ubicación del vertedero, de manera que se produzca una disminución de la velocidad de llegada del agua para que esta adquiera valores inferiores a  $0,5 \text{ m}^3/\text{seg}$ .

¿Cómo se determina el caudal que circula por la acequia o cauce de riego?

Se determina midiendo la altura de agua sobre la cresta del vertedero que a través de una fórmula específica para cada tipo de vertedero nos permitirá obtener el caudal correspondiente. Para que estos vertederos trabajen bien necesitan buena pendiente.

La carga o altura de agua que pase sobre la cresta del vertedero debe medirse a una distancia aguas arriba tal, que no sea afectada por la depresión de la superficie del agua que se produce al aproximarse a la cresta. Esto se consigue haciendo las mediciones a una distancia de por lo menos cuatro veces la carga (altura) máxima a la que puede llegar el vertedero  $h$ .

La forma más conveniente de realizar las mediciones es clavando una estaca en el fondo del canal o acequia aguas arriba del vertedero, (a la distancia señalada), sobre la cual se fija una reglilla graduada en centímetros, cuidando que su origen, el cero, quede a la altura de la cresta del vertedero (Figura II.16).

### c.2.1 Vertedero trapecial: (Cipoletti)

Es un vertedero con forma trapezoidal en su abertura, tal como lo indica su nombre, se lo conoce como vertedero Cipoletti en honor a su inventor, el Ingeniero italiano Cesare Cipoletti. Esta estructura requiere que el talud de sus lados sea 1:4 (Figura II.17).

La fórmula para calcular el caudal es la siguiente:

$$Q_{\text{m}^3/\text{seg}} = 1,86 \cdot b \cdot h^{3/2}$$



**Figura II.17: Vertedero Cipoletti**

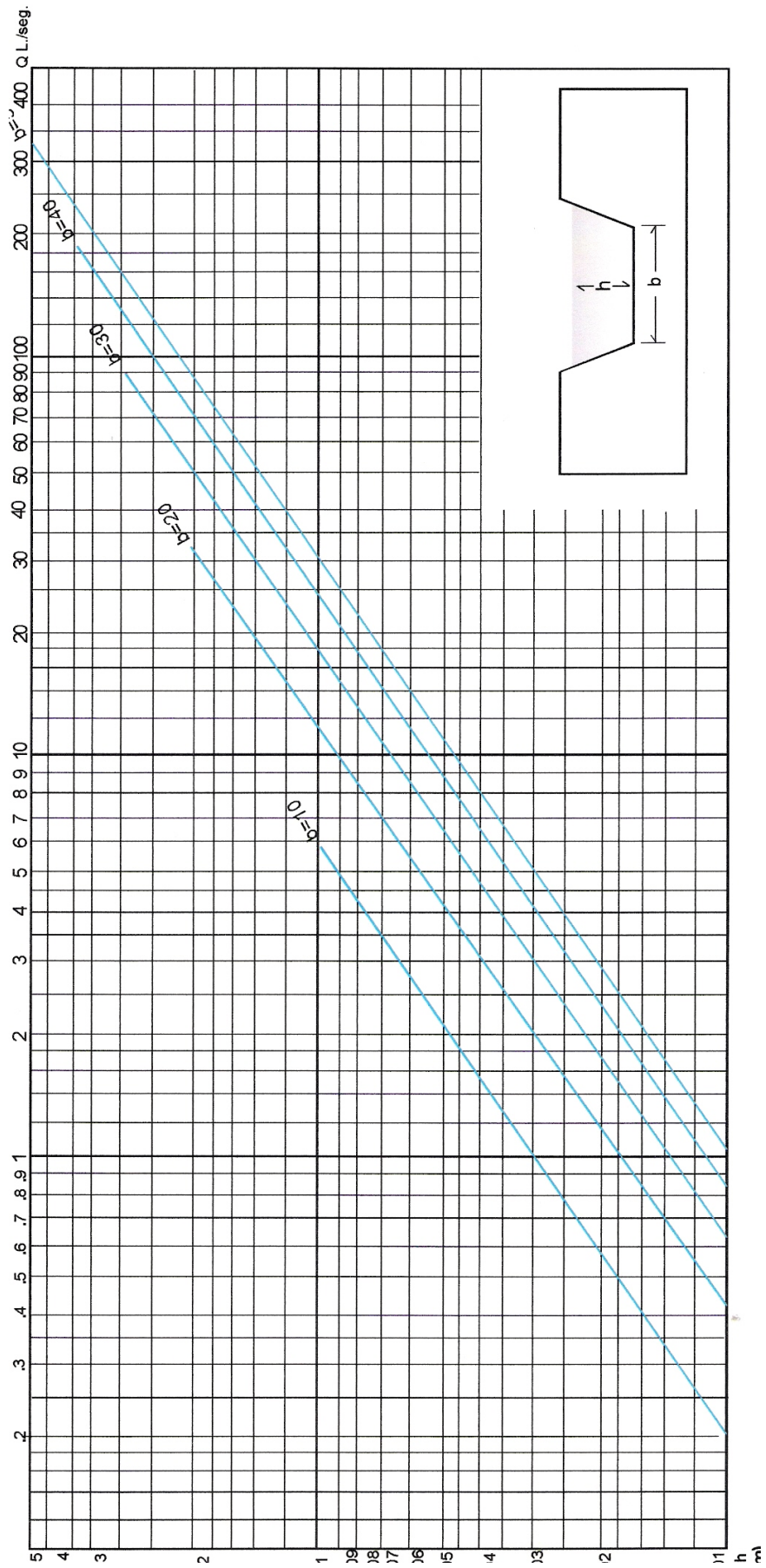


Figura II.17b: Curva de gasto para distintos vertederos trapeziales

Podemos simplificar esta fórmula para determinar de una manera más sencilla el caudal, utilizando la Tabla II.13, de la siguiente manera:

$$Q_{m^3/seg} = 1,47 \cdot b \cdot h^{3/2}$$

$$K_{ch} = 1,86 \cdot h^{3/2}$$

$$Q_{m^3/seg} = K_{ch} \cdot b$$

**Tabla II.13: Valor del coeficiente K para el cálculo de caudal en vertederos rectangulares**

h	h 3/2	K	h	h 3/2	K
0	0,000	0,0000	0,26	0,133	0,2466
0,01	0,001	0,0019	0,27	0,140	0,2610
0,02	0,003	0,0053	0,28	0,148	0,2756
0,03	0,005	0,0097	0,29	0,156	0,2905
0,04	0,008	0,0149	0,3	0,164	0,3056
0,05	0,011	0,0208	0,31	0,173	0,3210
0,06	0,015	0,0273	0,32	0,181	0,3367
0,07	0,019	0,0344	0,33	0,190	0,3526
0,08	0,023	0,0421	0,34	0,198	0,3687
0,09	0,027	0,0502	0,35	0,207	0,3851
0,1	0,032	0,0588	0,36	0,216	0,4018
0,11	0,036	0,0679	0,37	0,225	0,4186
0,12	0,042	0,0773	0,38	0,234	0,4357
0,13	0,047	0,0872	0,39	0,244	0,4530
0,14	0,052	0,0974	0,4	0,253	0,4705
0,15	0,058	0,1081	0,41	0,263	0,4883
0,16	0,064	0,1190	0,42	0,272	0,5063
0,17	0,070	0,1304	0,43	0,282	0,5245
0,18	0,076	0,1420	0,44	0,292	0,5429
0,19	0,083	0,1540	0,45	0,302	0,5615
0,2	0,089	0,1664	0,46	0,312	0,5803
0,21	0,096	0,1790	0,47	0,322	0,5993
0,22	0,103	0,1919	0,48	0,333	0,6185
0,23	0,110	0,2052	0,49	0,343	0,6380
0,24	0,118	0,2187	0,5	0,354	0,6576
0,25	0,125	0,2325	0,51	0,364	0,6774

Con la Tabla II.13 y conociendo las dimensiones de **b** para cada vertedero en particular podremos armar su respectiva curva de gasto y tabla de altura caudal correspondiente. Haremos el ejemplo para un vertedero cuyo valor de **b = 0,50**

**Tabla II.14: Tabla de altura caudal para un vertedero rectangular donde b = 0.50**

h	K	Q (m3/seg)	Q (litros/seg)	h	K	Q (m3/seg)	Q (litros/seg)
0	0.0000	0.00	0.00	0.26	0.2466	0.12	123.29
0.01	0.0019	0.00	0.93	0.27	0.2610	0.13	130.48
0.02	0.0053	0.00	2.63	0.28	0.2756	0.14	137.79
0.03	0.0097	0.00	4.83	0.29	0.2905	0.15	145.24
0.04	0.0149	0.01	7.44	0.3	0.3056	0.15	152.81
0.05	0.0208	0.01	10.40	0.31	0.3210	0.16	160.52
0.06	0.0273	0.01	13.67	0.32	0.3367	0.17	168.35
0.07	0.0344	0.02	17.22	0.33	0.3526	0.18	176.30
0.08	0.0421	0.02	21.04	0.34	0.3687	0.18	184.37
0.09	0.0502	0.03	25.11	0.35	0.3851	0.19	192.57
0.1	0.0588	0.03	29.41	0.36	0.4018	0.20	200.88
0.11	0.0679	0.03	33.93	0.37	0.4186	0.21	209.31
0.12	0.0773	0.04	38.66	0.38	0.4357	0.22	217.85
0.13	0.0872	0.04	43.59	0.39	0.4530	0.23	226.51
0.14	0.0974	0.05	48.72	0.4	0.4705	0.24	235.27
0.15	0.1081	0.05	54.03	0.41	0.4883	0.24	244.15
0.16	0.1190	0.06	59.52	0.42	0.5063	0.25	253.14
0.17	0.1304	0.07	65.19	0.43	0.5245	0.26	262.23
0.18	0.1420	0.07	71.02	0.44	0.5429	0.27	271.43
0.19	0.1540	0.08	77.02	0.45	0.5615	0.28	280.74
0.2	0.1664	0.08	83.18	0.46	0.5803	0.29	290.15
0.21	0.1790	0.09	89.50	0.47	0.5993	0.30	299.66
0.22	0.1919	0.10	95.97	0.48	0.6185	0.31	309.27
0.23	0.2052	0.10	102.58	0.49	0.6380	0.32	318.99
0.24	0.2187	0.11	109.35	0.5	0.6576	0.33	328.80
0.25	0.2325	0.12	116.25	0.51	0.6774	0.34	338.72

c..2.2 Vertedero rectangular

Este tipo de vertedero es el más fácil de construir por ello ha sido uno de los más usados a nivel de finca. La precisión de la lectura que ofrece está determinada por su nivel de error, que fluctúa entre un 3 y 5%.

Para calcular el caudal o gasto, se pueden utilizar diferentes ecuaciones empíricas; en este caso sólo mencionaremos la de Francis, que es la más utilizada:

$$Q_{m^3/seg} = 1,48 \cdot b \cdot h^{3/2}$$

$$K_r = 1,84 \cdot h^{3/2}$$

$$Q_{m^3/seg} = K_r \cdot b$$

**Figura II.19: Vertedero rectangular**



Para facilitar el cálculo se puede proceder de la misma manera que para los vertederos trapeziales, si  $b = 0.5$  se puede utilizar la Tabla II.10, ya que la fórmula de vertedero trapezoidal y rectangular son muy parecidas.

### c.2.3 Vertedero triangular:

El más utilizado es el que en su escotadura forma un ángulo recto ( $90^\circ$ ). Este tipo de vertederos es bastante eficiente, pero sin embargo presenta una gran pérdida de carga; motivo por el cual se recomienda especialmente para caudales pequeños (menores de 110 l/s), ya que en estos niveles de gastos de agua, su precisión es mayor que la de otros tipos de vertederos.

La fórmula más utilizada para el cálculo del caudal o gasto es la de King:



**Figura II.20: Vertedero triangular**

$$\text{Para } 90^\circ: Q_{m^3/\text{seg}} = 1.364 h^{2.47}$$

$$\text{Para } 60^\circ: Q_{m^3/\text{seg}} = 0.808 h^{2.0}$$

Para simplificar los cálculos el gasto o caudal de los vertederos triangulares ( $90^\circ$  y  $60^\circ$ ) puede determinarse por la Tabla II.15.

**Tabla II.15: Altura - Caudal para vertedero triangulares (90° - 60°)**

h (cm)	90° Q lts/seg	60° Q lts/seg	h (cm)	90° Q lts/seg	60° Q lts/seg
1	0,02	0,01	31	74,43	43,25
2	0,09	0,05	32	80,50	46,83
3	0,23	0,13	33	86,86	50,57
4	0,47	0,26	34	93,50	54,49
5	0,82	0,45	35	100,44	58,59
6	1,29	0,71	36	107,68	62,86
7	1,89	1,05	37	115,22	67,32
8	2,62	1,46	38	123,07	71,96
9	3,51	1,96	39	131,22	76,79
10	4,55	2,56	40	139,69	81,80
11	5,76	3,24	41	148,47	87,01
12	7,14	4,03	42	157,58	92,42
13	8,70	4,93	43	167,01	98,02
14	10,45	5,93	44	176,77	103,81
15	12,39	7,04	45	186,86	109,81
16	14,53	8,28	46	197,28	116,02
17	16,88	9,63	47	208,05	122,43
18	19,44	11,11	48	219,15	129,04
19	22,21	12,72	49	230,60	135,87
20	25,21	14,46	50	242,40	142,91
21	28,44	16,34	51	254,55	150,16
22	31,91	18,35	52	267,06	157,63
23	35,61	20,51	53	279,92	165,32
24	39,55	22,81	54	293,15	173,23
25	43,75	25,26	55	306,74	181,36
26	48,20	27,87	56	320,70	189,71
27	52,91	30,62	57	335,03	198,30

**Ventajas y desventajas de los vertederos:**

El uso de vertederos como aforadores de agua ofrece las siguientes ventajas:

- Exactitud (3 – 5 %)
- Simplicidad y sencillez de construcción
- No se obstruyen con cuerpos flotantes
- Duración

Entre las desventajas podemos anotar:

- Necesidad de saltos grandes de aguas, con la consiguiente pérdida de altura, lo que hace que su empleo en terrenos nivelados sea casi impracticable.
- Acumulación de grava, arena y limos aguas arriba del vertedero, lo que resta exactitud a las mediciones y obliga a una continua limpieza y manutención.

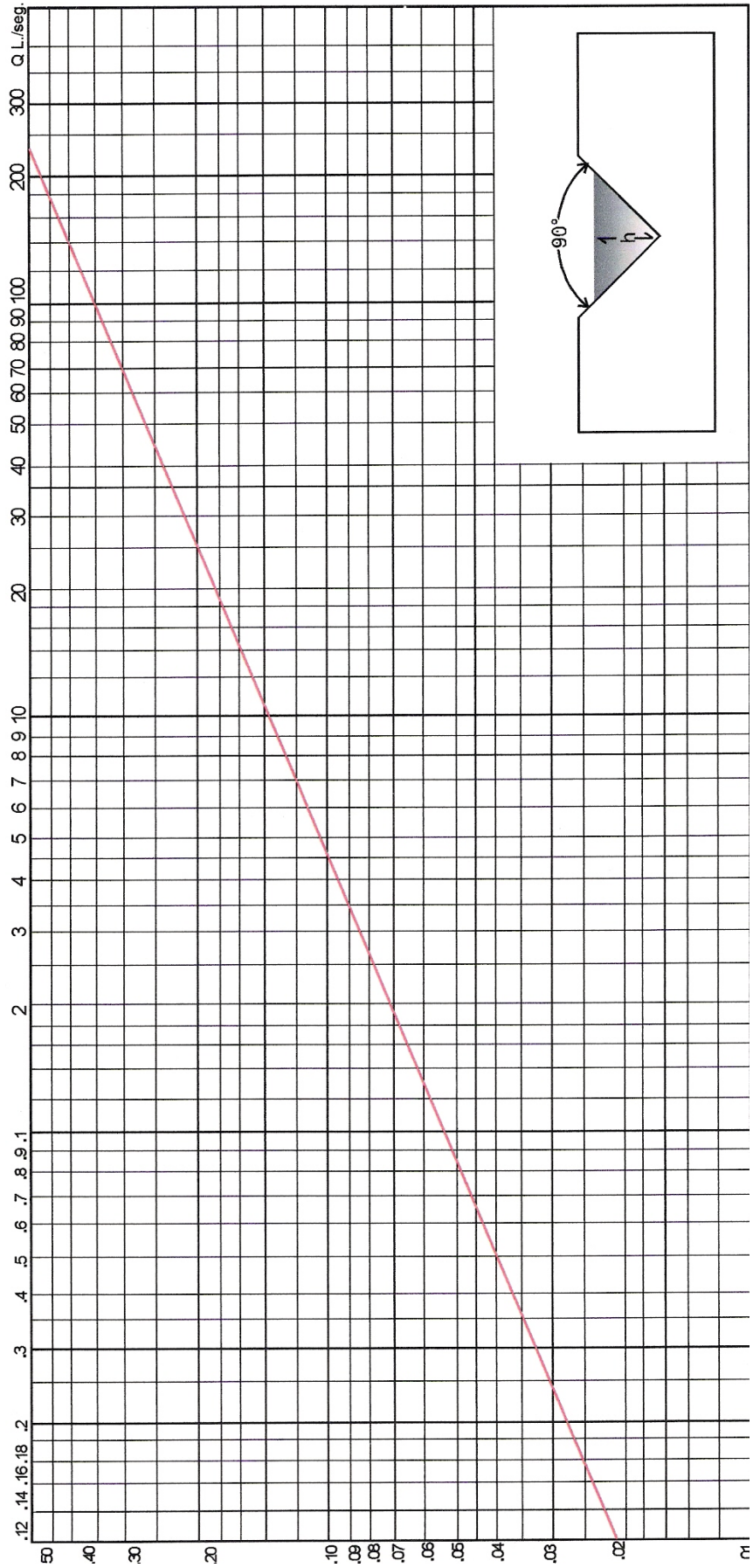


Figura II.20b: Curva de Gasto para vertedero triangular de 90°

### e) Método de la sección y pendiente (Manning)

Si se considera que en un cauce el flujo es normal, es decir que la pendiente del cauce es aproximadamente igual a la pendiente de la línea de energía del agua, entonces puede hacerse una estimación del caudal, conociendo las condiciones del cauce, como la pendiente, el área hidráulica y un coeficiente de rugosidad o de resistencia al flujo. Estas condiciones pueden darse en canales o acequias pequeñas, en cauces rectos, donde no se observen remansos.

Para calcular la velocidad del agua por este método se recurre a la ecuación de Chezy, de modo que el caudal será:

$$Q = A \cdot v = A \cdot c \cdot \sqrt{R \cdot S}$$

donde  $c$  es el coeficiente de Chezy,  $R$  el radio hidráulico de la sección y  $S$  la pendiente del cauce.

Generalmente se usa el valor dado por Manning para el coeficiente  $c$  por lo que se tiene:

$$c = \frac{1}{n} R^{1/6}$$

donde  $n$  es el denominado coeficiente de rugosidad, que es un coeficiente de resistencia al flujo y depende de las condiciones del cauce. Al sustituir este valor en la ecuación del caudal se tiene:

$$Q = \frac{A \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}}{n} = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

#### ***Coefficientes de rugosidad***

Los coeficientes de rugosidad  $n$ , propuesto por Horton, para ser utilizados en la fórmula de Manning son los siguientes:

Material	Coefficiente de rugosidad $n$
Tubos de barro para drenaje	0.014
Superficie de cemento pulido	0.012
Tuberías de concreto	0.015
Canales revestidos con concreto	0.014
Superficie de mampostería con cemento	0.020
Acueductos semicirculares, metálicos, lisos	0.012
Acueductos semicirculares, metálicos corrugados	0.025
Canales en tierra, alineados y uniformes	0.025
Canales en roca, lisos y uniformes	0.033
Canales en roca, con salientes y sinuosos	0.040
Canales dragados en tierra	0.0275
Canales con lecho pedregoso y bordos de tierra enyerbados	0.035
Canales con plantilla de tierra y taludes ásperos	0.033
Corrientes naturales limpias, bordos rectos, sin hendeduras ni charcos profundos	0.030
Corrientes naturales igual al anterior, pero con algo de hierba y piedra	0.035
Corrientes naturales igual al anterior, pero menos profundas, con secciones pedregosas	0.055
Ríos con tramos lentos, cauce enhierbado o con charcos profundos	0.070
Playas muy enyerbadas	0.125

## f) Molinete

Es uno de los métodos más utilizados; tiene como desventaja que es laborioso y tardado, pero suele utilizarse como método patrón para calibrar otros.

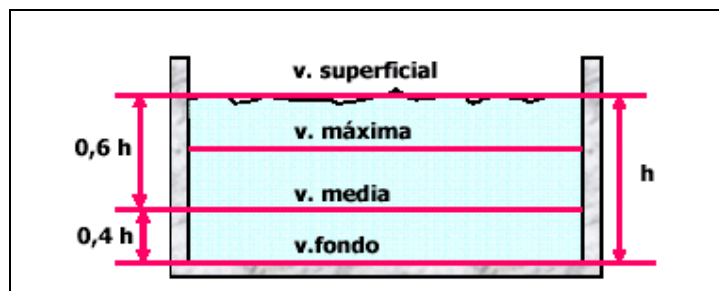
Existen fundamentalmente dos tipos de molinete en nuestras zonas de riego, el de hélices y la sonda de flujo. Ambos pretenden determinar la velocidad media del flujo para que posteriormente conociendo el área hidráulica pueda determinarse el gasto o caudal.

### *Molinete de hélice*

La velocidad del agua hace girar la hélice, el número de revoluciones en la unidad de tiempo es proporcional a la velocidad.

Por lo general los molinetes vienen calibrados de fábrica y cada uno trae la ecuación que relaciona las revoluciones por segundo o minuto con la velocidad del agua. La velocidad en un punto está dada por la ecuación general  $V = a \cdot n + b$ . Por lo tanto la velocidad media está en función del número de vueltas por segundo que da la hélice ( $n$ ) y las constantes  $a$  y  $b$  del aparato, que son específicas para cada hélice.

El método consiste en determinar el área de la sección por medio de sondeos y medidas horizontales, estimando la velocidad media del agua con el molinete en base a las reglas enunciadas anteriormente. Por lo general la sección se fracciona estimando áreas parciales, las mediciones sobre el flujo de agua se deberán realizar a una profundidad del 60 % de la profundidad del pelo de agua (considerado desde la superficie) o a una profundidad del 40 % (considerado desde el fondo), ya que ha esta profundidad se considera que se encuentra la velocidad media de flujo.



**Distribución de velocidades del agua en cauces de riego**

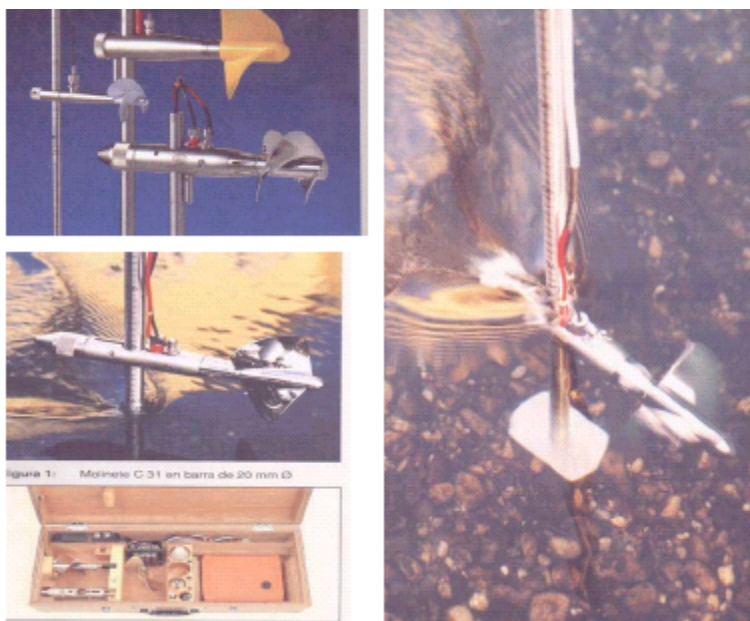
Para efectuar un aforo con este método se sigue la siguiente secuencia:

- Se busca un lugar adecuado del cauce, de preferencia un tramo largo y recto que tenga una sección aproximadamente uniforme.
- Se coloca un madero como puente (en caso de que no exista), o se tiende un cable entre postes para suspender de él al molinete; debe procurarse que la sección sea perpendicular al eje del cauce.
- La sección se divide en varios tramos, cuyo número depende de la anchura del cauce y de la exactitud que se requiera. En el centro de cada tramo se determina la velocidad media con el molinete de acuerdo con las reglas ya mencionadas.

El producto del área del tramo correspondiente por su velocidad media, da el caudal parcial en el tramo; con la suma de caudales parciales se obtiene el caudal en la sección. El área parcial en el tramo, se obtiene de multiplicar la profundidad media por su anchura; la profundidad media se estima con los sondeos.

Un método utilizado para obtener profundidad media, es sumar los sondeos de los extremos con el doble del sondeo central y dividirlo entre cuatro, es decir si se llama  $A$  la profundidad en un extremo,  $B$  la del otro y  $C$  la central, el valor de la profundidad media será:

$$\text{Profundidad media} = \frac{A + B + 2C}{4}$$



Diferentes modelos de molinete para la medición de flujos en canales

### Ejemplo de aforo de un cauce con molinete

Se desea conocer el caudal que circula por un cauce de riego cuyo ancho es de 89 cm y la altura o pelo de agua en el centro del mismo es de 47 cm.

Se divide el ancho del cauce en 4 secciones de 22 cm cada una. En el centro de cada sección o tramo se mide la altura o pelo de agua y se determina la velocidad media con el molinete de acuerdo con las reglas ya mencionadas.

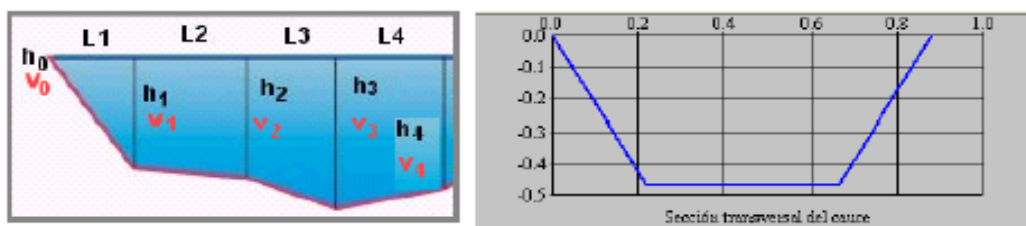
En el ejemplo se utilizó una hélice con las siguientes características:

$$V = a \cdot n + b$$

$$a = 0,1023$$

$$b = 0,016$$

Posteriormente si obtiene la velocidad media en cada tramo y luego en caudal. La suma del caudal en cada tramo o sección es el caudal que circula por el cauce de riego. En el ejemplo es caudal medido es de 0.2256 m<sup>3</sup>/s ó 225,6 l/s.



Esquema general de dimensiones y secciones de aforo del cauce de riego

## Esquema general de dimensiones y secciones de aforo del cauce de riego

**Tabla de aforo con molinete**

Nº	X	%	x (m)	h (m)	y=h.04 (m)	h media (m)	Delta x (m)	A (m <sup>2</sup> )	Lecturas		Prom nº	t (s)	rps (n)	V (m/s)	V <sub>media</sub> (m/s)	Q (m <sup>3</sup> /s)
									1º	2º						
1	.89	.00	.00	.00	.00	---	---	---	---	---	---	50	7.4	.538	---	---
		.22	.22	.47	.19	.24	.22	.0525	369	367	368	50	7.4	.769	.654	.0342
		.45	.45	.47	.19	.47	.22	.102	413	414	414	50	8.3	.862	.815	.0853
		.67	.67	.47	.19	.47	.22	.105	307	295	301	50	6.0	.632	.747	.0781
		1	.89	.00	.00	.24	.22	.052			301	50	6.0	.442	.537	.0281
<b>.2256</b>																

### **Sonda de flujo**

En los últimos años Irrigación ha estado incorporado por medio de la Componente de Manejo del Agua en obras de infraestructura nuevas sondas de flujo para medir el gasto en cauces. Estas sondas presentan la ventaja de ser económicas y muy fáciles de manejar, presentando un costo económico alcanzable por las Inspecciones y/o Asociaciones de Usuarios. En la práctica se ha observado que generalmente registran valores de gasto en un 5 % de más que los molinetes explicados anteriormente. Suelen tener dificultades en medir cuando hay mucha lama en los cauces, por lo cual en estos casos se requiere realizar mayor cantidad de mediciones en el mismo punto, para obtener un dato correcto o aceptable.

Finalmente su relación costo beneficio perfila a este tipo de equipo como positivo ya que podrá resolver problemas en la distribución de una forma práctica y sencilla. A continuación se hará una breve descripción del manual del uso, que ha sido traducido en el presente documento.

### **Instrucciones generales de uso**

- a) Asegúrese de que la hélice de la Sonda de Flujo se mueve libremente soplando fuertemente en el sostén.
- b) Ponga la hélice directamente en el flujo que usted desea medir. Enfrente la flecha que se aloja dentro del sostén. La sonda FP101 tiene dos varas extensibles de 3 ' a 6 ', y la sonda FP201 tiene tres varas de sección extensible de 5 ' a 15 '. Para extender la vara, para una correcta colocación en flujo a medir, suelte la nuez y extraiga las varas extensibles, para fijarla ajuste la nuez.
- c) Use el botón del fondo de la computadora para pasar a través de las funciones de la sonda hasta que aparezca "AVGSPEED"(medida de velocidad). El número de la parte superior es la velocidad instantánea a los .5 pie/segundo más cercanos. El despliegue más bajo es la velocidad media.

Apretando el botón de la parte superior durante 3 segundo se borrará el promedio y empezarán una nueva lectura. Mientras se toma una lectura de la velocidad media, la velocidad máxima también se grabará. Empujando el botón del fondo hasta

"MAXSPEED" (máxima velocidad) se indicará este valor. Cuando en esta pantalla apriete el botón de la parte superior durante 3 segundo borrará este valor.

Si aprieta el botón superior durante 5 segundos en las pantallas del valor promedio o el valor máximo borrará las dos funciones.

- a) Para hacer una medida, ponga la hélice en el punto que desea medir y sostenga el botón de la parte superior durante 3 segundos para borrar el valor o 5 segundos para borrar los dos, la velocidad media y la velocidad máxima. Sostenga la sonda en el lugar hasta que la lectura se

ponga firme, quite la sonda del agua. La velocidad promedio y máxima permanecen en sus pantallas respectivas. Estos valores sólo se actualizan mientras la hélice está funcionando. Vea la sección de Velocidad Media para más información.

- b) Medida/Cálculo del área de la sección donde se mide el flujo en pies cuadrados. Si usted está midiendo flujo en cañerías, mida la profundidad de agua y use las tablas adjuntas para determinar el área de la sección particular (vea Apéndice B: Cálculos para Flujo en cañerías parcialmente llenas). Si usted está midiendo flujo en otro tipo del cauce, manualmente mida la profundidad de agua en varios puntos por el flujo. Éstas medidas son guardadas fácilmente utilizando un diagrama de papel cuadriculado, con una escala donde de 1 pie cuadrado corresponde a un cuadro del papel cuadriculado.

Área de la sección (en pies cuadrados) puede ser encontrado entonces contando el número de cuadrados que le corresponde al cauce.

- a) La velocidad media (calculada con la Sonda de Flujo en pie/segundo) multiplicada por el área de la sección donde se mide el flujo (pies cuadrados) iguala flujo en pies cúbicos por segundo (cfs),  $Q = V \cdot A$
- b) Si la hélice se traba mientras se mide el flujo, límpiela hasta que la hélice gire libremente y vuelva a empezar.

### **Velocidad media**

La sonda de flujo se usa para medir la velocidad media del agua. La velocidad del flujo varía por dos razones:

- a) Las velocidades varían a lo largo de la sección del flujo. En general, las velocidades son mayores en el centro del flujo y menores cerca del fondo y lados del cauce.
- b) El agua varía su velocidad con el tiempo. En un arroyo de corriente liso, la velocidad en un punto específico puede variar 1-2 pies fácilmente por segundo encima de el periodo de un minuto. Esta variación en la medida del flujo debe ser promediada para obtener un flujo medio exacto (deje la sonda en el flujo a través de una serie de olas de flujo).

La sonda de flujo puede usarse de tres maneras para determinar velocidad media:

- a) Para los arroyos pequeños y cañerías, la sonda puede moverse despacio y fácilmente a lo largo del flujo durante la medida de la velocidad media.
- b) Mueva la sonda en forma uniforme, hacia atrás y adelante desde la cima al fondo del flujo tal que la sonda se quede en cada punto aproximadamente la misma cantidad de tiempo. Siga moviendo la sonda durante 20-40 segundos para obtener un valor medio exacto para el que se considera surgiendo. (El movimiento de la sonda es como si usted estuviera pintando con spray y intentando conseguir una cobertura igual de pintura encima de la superficie)

La sonda de flujo usa la verdadera velocidad media. Cuando la velocidad promedio y la velocidad máxima son puestas a cero empujando el botón de la parte superior, el funcionamiento, del promedio se activa. Con tal de que la sonda permanezca en el flujo, continuará promediando. Se toma una lectura por segundo, y un promedio continuo se despliega. Por ejemplo, después de 10 segundos, se ascienden a lecturas y entonces son divididas a través de 10 y este promedio es desplegado. Una vez que la lectura de velocidad media se pone firme, se obtiene la verdadera velocidad media del flujo. Cuando usted saca la sonda del agua, este valor de la velocidad media está congelado en la pantalla hasta que sea borrado o puesto a cero nuevamente.

- a) Para los arroyos más grandes y ríos donde la Sonda de Flujo no puede ser fácilmente movida a lo largo del flujo, divida el arroyo en subdivisiones 2-3 pies ancho. Se recomienda que en un papel cuadriculado dibuje el diagrama del perfil del flujo. Mida la longitud de cada tramo con una cinta para tenerlo de referencia. Obtenga un perfil de flujo vertical al centro de cada

subdivisión: ponga a cero la función promediando y mueva la Sonda de Flujo verticalmente de la superficie al fondo, de arriba abajo, despacio y fácilmente durante 20-40 segundos para obtener un buen promedio. La velocidad promedio (obtenida con la Sonda de Flujo) multiplicada por el área de la subdivisión (use su diagrama del papel cuadriculado) determina el flujo para cada subdivisión ( $Q=V \cdot A$ ). Una vez que se obtiene el flujo o caudal de cada subdivisión, sume todo los flujos de la subdivisión para obtener el flujo o caudal total.

- b) Para el USGS "6 método del tens", la Sonda de Flujo se pone al centro de la subdivisión a una profundidad desde la superficie de 60 % de la profundidad total.

La sonda de flujo se sostiene en este lugar y la velocidad media se obtiene luego de un periodo de 40 segundos. Se asume que al 60 % de profundidad desde la superficie es el punto de velocidad media para el perfil vertical. Por consiguiente, este promedio es similar al obtenido en la técnica 2 (la que se describe arriba).

### **Computadora funcionamiento**

- a) La sonda de flujo fue calibrada en fábrica. Cuando usted la recibe, puede necesitar setear el reloj de la computadora (vea Set Up de la Computadora). Usted tendrá que recalibrar la computadora cuando cambie la batería de la unidad (Vea Apéndice A: Arreglo de la computadora). La vida normal para la batería de la Sonda de Flujo es 3 años o más.
- b) La computadora de sonda de flujo se opera simplemente con dos botones. El botón de fondo salta entre las funciones y el botón de la parte superior pone a cero los valores de cada función. Apretando el botón de la parte superior durante 5 segundos, lleva a cero la velocidad promedio y la velocidad máxima.
- c) Las funciones de la computadora son las siguientes:

Velocidad : El número del despliegue superior es la velocidad instantánea a el .5 pie más cercano (o metro, dependiendo de unidades que se usan) por segundo.

El número del despliegue más bajo se usa para las siguientes funciones:

Velocidad media (AVGSPEED)

Velocidad Máxima (MAXSPEED)

RELOJ.

Parar el reloj (STPWATCH)

Empuje el botón de la parte superior durante 3 segundos para restablecer la función desplegada. Empuje durante 5 segundos para restablecer todas las funciones de velocidad.

Parar el reloj: Si aprieta el botón mientras STPWATCH se despliega empezará la parada del reloj. Apretando un segunda vez para el tiempo el reloj. Sosteniendo el botón durante 3 segundos lo aclara.

Reloj : La computadora devuelve la función de reloj después de un periodo largo de inactividad para la sonda

### **Mantenimiento**

- a. El asa o mango de la sonda:

Cuando la junta de expansión de la Sonda de Flujo se sumerge, el agua puede entrar en el asa o mango de la misma. Después del uso, seque la Sonda separando los dos mangos o asas y agote el agua que se encuentra adentro del asa, permitiéndole al asa secarse en un lugar caluroso antes de volverse a montar. El asa o mango de Sonda de flujo puede limpiarse con jabón y agua. No sumerja la parte superior del polo y la computadora. Si la computadora se sumerge, quítela de la Sonda de Flujo, SEQUE INMEDIATAMENTE con una tela suave; quite la batería y ponga en un lugar caluroso toda la noche para secar.

b. Reemplazo de la batería:

La computadora se sostiene hacia la cabeza de la Sonda por una cerradura de conexión a la torcedura. Para quitar, girar a la Computadora  $\frac{1}{4}$  a la izquierda y tire hacia afuera. Para quitar del uso la batería, con una moneda pequeña torcer la tapa de la batería en la parte de atrás de la computadora, girar  $\frac{1}{4}$  a la izquierda. Reemplace batería, (el + es el lado hacia la tapa de la batería), usando una CR2032, célula de litio de 3 voltios. Después de cambiar la batería los números de calibración requerirán su restablecimiento. (Vea Apéndice A: Arreglo de la computadora)

c. Limpiando

Asegúrese de que el Tubo extensible se vuelve libremente antes y después de su medidas. Sople sobre la hélice en la dirección de flujo. La hélice debe volverse libremente. Si no, enjuague la sonda y limpie, quite cualquier cordón visible o materiales de pelo de la presión de la hélice. Esto debe corregir el problema. Si la hélice todavía no se vuelve libremente, quite el tornillo del sostén y la hélice, lávelos en agua limpia o jabón y agua. Reemplace sostén y tornillo. Apriete el tornillo firmemente pero asegúrese que la hélice todavía gire libremente

**Problemas Frecuentes**

Problema: Computadora que lee incorrectamente

- a) Sople en la hélice. La hélice debe girar libremente y debe hacer un ruido (charla) cuando usted sopla en ella. La hélice debe estar suelta cuando usted la empuja con su dedo. Si la hélice no gira libremente, enjuáguela con agua limpia o empapela en agua jabonosa.
- b) Un imán de metal pequeño cubierto con adhesivo claro se instala adelante y atrás el lado de la hélice en cada una de las hojas. Esté seguro que el imán esté en su lugar y no ha sido removido. Este imán es necesario para generar la señal en la computadora.
- c) Quite al sostenedor de la computadora del asa del polo tirando el sosten lejos del polo. El sostenedor debe salir fuera con un sonido de estallo. Asegúrese no hay humedad alrededor del tapón o enchufe. Si el tapón y enchufe están húmedos, secar las partes afuera y poner ambos en un lugar caluroso toda la noche. Empuje al sostenedor de la computadora atrás adelante del mango o asa duramente, hasta que usted oiga un sonido de "estallido" o "chasquido". Si usted no oye este sonido, el sostenedor no está conectado o usted tiene un conector defectuoso en el enchufe. Ponga a cero en el modo "av" y sople en el sostén durante 5 a 7 segundos. Usted debe ver un número en "av" si la unidad está trabajando.
- d) La computadora puede quitarse del sostenedor girándola con  $\frac{1}{4}$  de giro a la izquierda y alzando. Inspeccione los dos contactos eléctricos la computadora del sostenedor y la unión de los contactos en la computadora. Asegúrese ellos están limpios y secos.
- e) Reinstale la computadora en la cabeza de la manera opuesta que fue removida. Gire la hélice, soplando en ella, y verifique una lectura media. Si no hay todavía ninguna lectura, contacte a su vendedor.
- f) Si el despliegue se pone débil o no se ilumina en absoluto, reemplace la batería.

## **Apéndice A:** Programación de la computadora

El equipo tiene la capacidad para cambiar entre 2 factores de calibración diferentes.

Para cambiar entre las distintas calibraciones quitar la computadora de la cabeza de sonda de flujo torciendo 45 grados opuesto en el sentido de las agujas del reloj.

El botón gris dentado en la esquina izquierda superior en la parte de atrás se utiliza para cambiar entre CAL I y CAL II. I es para desplegar CAL I y con II se despliega CAL II.

*Nota:*

I = el ft/sec, calibración #= 0053

II = el m/sec, calibración #= 0016

El botón gris dentado en la parte derecha superior se usa para entrar en el modo de calibración . Apriete y sostenga durante 5 segundos entrar en el modo de calibración.

Para RESTABLECER LA CALIBRACIÓN:

(Calibración # vienen de fábrica. El restablecimiento sólo se requiere después de hacer cambiado la batería.)

- Apriete el botón gris dentado de la izquierda seleccionar CAL I.
- Presione el botón del fondo. El factor de la calibración se despliega ahora.
- Presionando el botón de la parte superior cambiará el valor del dígito de destello.
- Presionando el botón del fondo aceptará este valor y moverse al próximo dígito.
- Ponga los factores de la calibración como sigue:
- Pie/segundo: 0053 (CAL I)
- Metros/segundo: 0016 (CAL II)
- Presione el botón dentado durante un segundo para guardar.

Repita sobre el procedimiento para Cal II. (Sólo el número de CAL se requerirá)

Para PROGRAMAR EL RELOJ

- Presione el botón del fondo hasta que el reloj aparezca al fondo de la pantalla.
- Presione y sostenga el botón derecho gris dentado (S) durante 5 segundos o hasta la llamada del reloj.
- Presione el botón de la parte superior hasta que la hora deseada se alcance.
- Presione el botón del fondo para mover a minutos.
- Presione el botón de la parte superior cuando el número deseado de minutos se alcanza.
- Presione el botón del fondo para mover y singularizar los minutos deseados.
- Presione el botón de la parte superior cuando el minuto deseado se alcanza.
- Presione el botón dentado botón gris por 1 segundo para guardar la programación.



Fotos de la sonda de flujo

## Apéndice B: Cálculo del flujo para tuberías parcialmente llenas.

B	C	B	C
0.01	0.0013	0.51	0.4027
0.02	0.0037	0.52	0.4127
0.03	0.0069	0.53	0.4227
0.04	0.0105	0.54	0.4327
0.05	0.0147	0.55	0.4426
0.06	0.0192	0.56	0.4526
0.07	0.0242	0.57	0.4625
0.08	0.0294	0.58	0.4723
0.09	0.0350	0.59	0.4822
0.10	0.0409	0.60	0.4920
0.11	0.0470	0.61	0.5018
0.12	0.0534	0.62	0.5115
0.13	0.0600	0.63	0.5212
0.14	0.0668	0.64	0.5308
0.15	0.0739	0.65	0.5404
0.16	0.0811	0.66	0.5499
0.17	0.0885	0.67	0.5594
0.18	0.0961	0.68	0.5687
0.19	0.1039	0.69	0.5780
0.20	0.1118	0.70	0.5872
0.21	0.1199	0.71	0.5964
0.22	0.1281	0.72	0.6054
0.23	0.1365	0.73	0.6143
0.24	0.1449	0.74	0.6231
0.25	0.1535	0.75	0.6318
0.26	0.1623	0.76	0.6404
0.27	0.1711	0.77	0.6489
0.28	0.1800	0.78	0.6573
0.29	0.1890	0.79	0.6655
0.30	0.1982	0.80	0.6736
0.31	0.2074	0.81	0.6815
0.32	0.2167	0.82	0.6893
0.33	0.2266	0.83	0.6969
0.34	0.2355	0.84	0.7043
0.35	0.2450	0.85	0.7115
0.36	0.2546	0.86	0.7186
0.37	0.2644	0.87	0.7254
0.38	0.2743	0.88	0.7320
0.39	0.2836	0.89	0.7384
0.40	0.2934	0.90	0.7445
0.41	0.3032	0.91	0.7504
0.42	0.3130	0.92	0.7560
0.43	0.3229	0.93	0.7612
0.44	0.3328	0.94	0.7662
0.45	0.3428	0.95	0.7707
0.46	0.3527	0.96	0.7749
0.47	0.3627	0.97	0.7785
0.48	0.3727	0.98	0.7816
0.49	0.3827	0.99	0.7841
0.50	0.3927	1.00	0.7854

H= Height of water; D= Diameter of pipe (in feet)

H/D = Column B

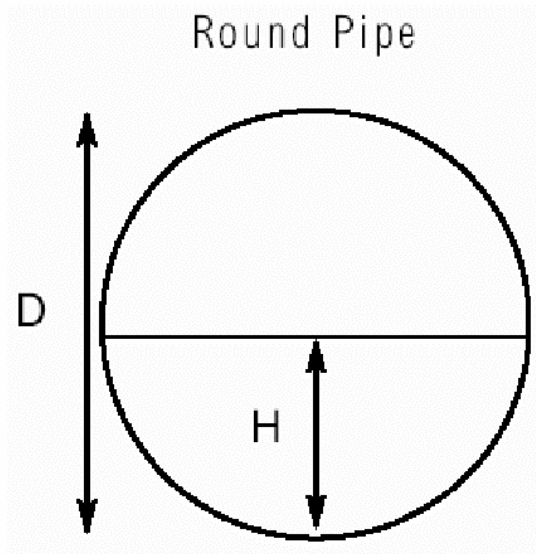
Read Column C adjacent to your pipe's B

C x D<sup>2</sup> = Filled area, A (sq. ft. )

A x Average Velocity = Volumetric flow (CFS)

CFS x 448.83 = Gallons/minute (GPM)

GPM x 1440 = Gallons/day (GPD)



### g) Medidor ultrasónico

#### Principio de operación

El medidor calcula el gasto o caudal en función de dos variables principales:

- a) Área hidráulica
- b) Velocidad media

Cada una de estas variables no se miden directamente, se miden a través de otras variables físicas. El proceso completo se observa en la Figura II.20. En este esquema las flechas representan fórmulas que se aplican para obtener cada variable subsecuente. Lo que mide el aparato es: el efecto doppler, la temperatura y la diferencia del voltaje de una corriente eléctrica.

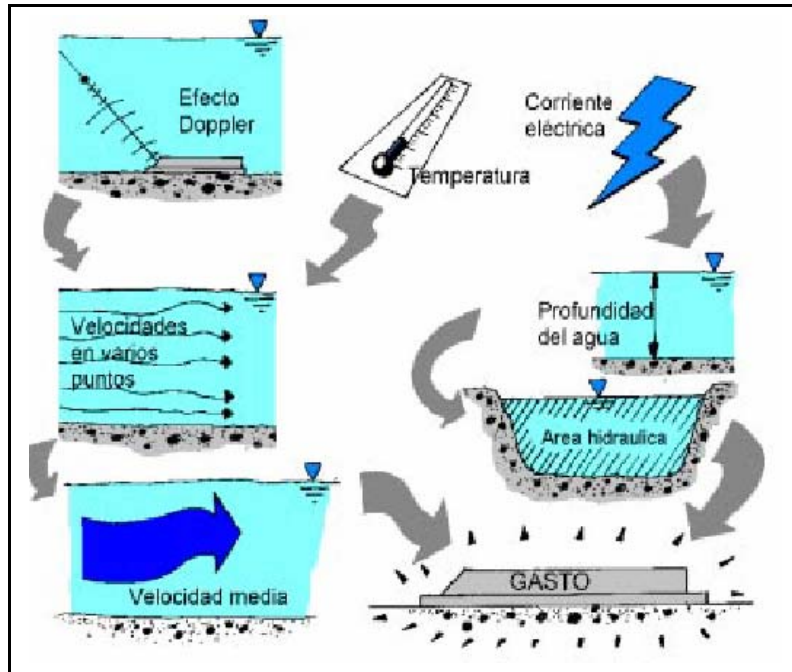


Figura II.20: Principio de funcionamiento

### Medición del área hidráulica

El medidor de efecto doppler calcula el área hidráulica en función del tipo de sección (datos a ingresar en el aparato) y la profundidad del agua. Para medir la profundidad utiliza un transductor, que es un dispositivo que proporciona una salida eléctrica en respuesta a una magnitud física que se desea medir. En este caso se desea medir la profundidad del agua y lo que realmente se mide es la presión de la misma.

Esto es debido a que mientras más profundidad de agua se tenga mayor presión se presentará. El agua ejerce una presión sobre un material especial sujeto a una corriente eléctrica: dicho material suele ser silicio incorporado a un diafragma. Cuando el diafragma está plano sin presión presenta cierta resistencia al paso de la corriente, y cuando está deformado presenta otra (Figura n° 21). Esta diferencia de resistencia es la que registra el aparato y la trasforma por medio de fórmulas, primero a presión y después a profundidad de agua. Una vez obtenida la profundidad se calcula posteriormente el área hidráulica.

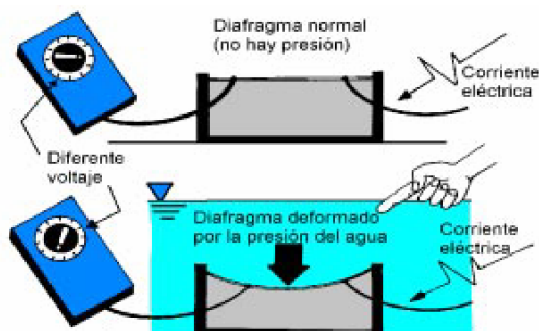
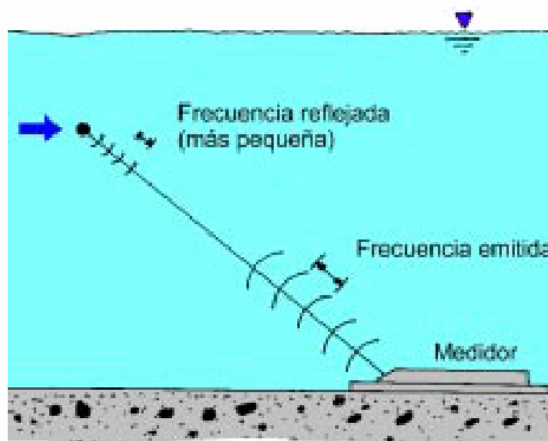


Figura II.21 Medición del área hidráulica

### **Medición de la velocidad**

El aparato utiliza el llamado efecto doppler para medir la velocidad en la corriente. El efecto doppler es una alteración de la frecuencia de las ondas, en función del movimiento, ya sea del receptor o del emisor de las ondas. El medidor de ultrasonido utiliza la alteración de las ondas de sonido. Le ultrasonido es un sonido con frecuencia más alta que la perceptible por el oído humano. El medidor tiene unos emisores de onda de ultrasonido y unos receptores de las mismas. Primero el emisor envía una onda a una determinada frecuencia y el receptor capta las ondas que son reflejadas por el agua. Si el agua está esta en movimiento, las ondas reflejadas tendrán una frecuencia diferente a la emitida, la diferencia de frecuencia indica al dispositivo la velocidad de la corriente.



**Figura II.22: El efecto doppler**

### **Medición de la temperatura**

El medidor registra la temperatura del agua por medio de un termómetro. Este variable es necesaria para corregir el valor de la velocidad del sonido en le agua ya que el medidor realiza los cálculos para una velocidad de referencia con una temperatura de 20°C.

#### **Tipos de medidores:**

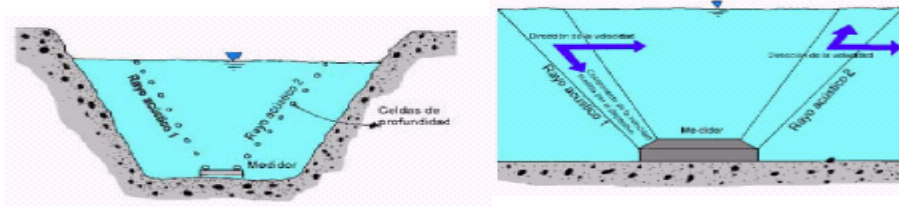
En función de cómo se envía el rayo se diferencian dos tipos de medidores ultrasónicos:

- a) Dopplers perfiladores
- b) Dopplers continuos

#### **Dopplers perfiladores:**

El medidor divide la señal reflejada en intervalos regulares que corresponden a diferentes profundidades de agua. La velocidad se calcula a partir de la señal reflejada en cada intervalo. El resultado es un perfil o distribución de velocidades a lo largo de la dirección del rayo de ultrasonido. Este tipo de dopplers tienen emisores en la parte frontal y posterior. Además los intervalos entre la emisión de un rayo y otro son tan cortos que la velocidad reportada es la de un pequeño volumen de agua (cilindros de 5 cm de largo por 5 mm de diámetro). Los datos de velocidad de los dos rayos acústicos se maneja por medio de fórmulas matemáticas para describir las velocidades en toda el área hidráulica de la sección transversal. Las fórmulas empleadas utilizan algunos artificios para interpolar los puntos medidos, de tal manera que el resultado es la descripción de todas las velocidades en la sección transversal.

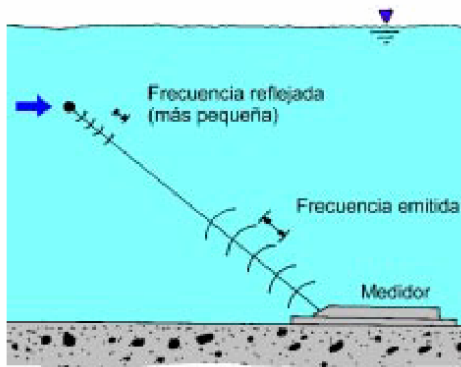
descripción de todas las velocidades en la sección transversal.



**Figura II.23: Doppler perfilador**

*Dopplers continuos:*

Este tipo de doppler envía una señal continua y mide los reflejos en todas y cada una de las partículas de agua o sedimentos, las velocidades de las partículas son combinadas para obtener una velocidad parecida a la velocidad media.



**Figura II.24: Doppler continuo**

*Requerimientos para su instalación en canales*

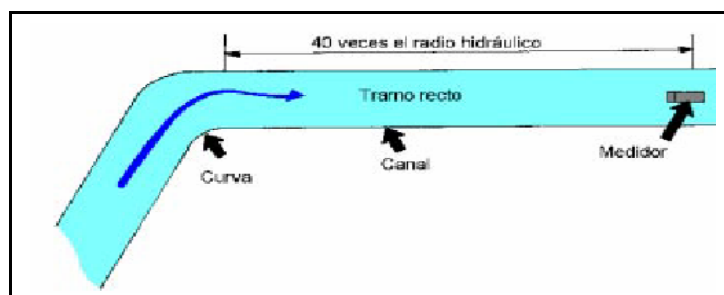
Al instalar un equipo deben tenerse varios cuidados. Estos cuidados están relacionados con el efecto que tienen en la medida de la velocidad y el funcionamiento del medidor.

*Se deberán considerar las siguientes situaciones:*

-Tramo recto mínimo ante del medidor:

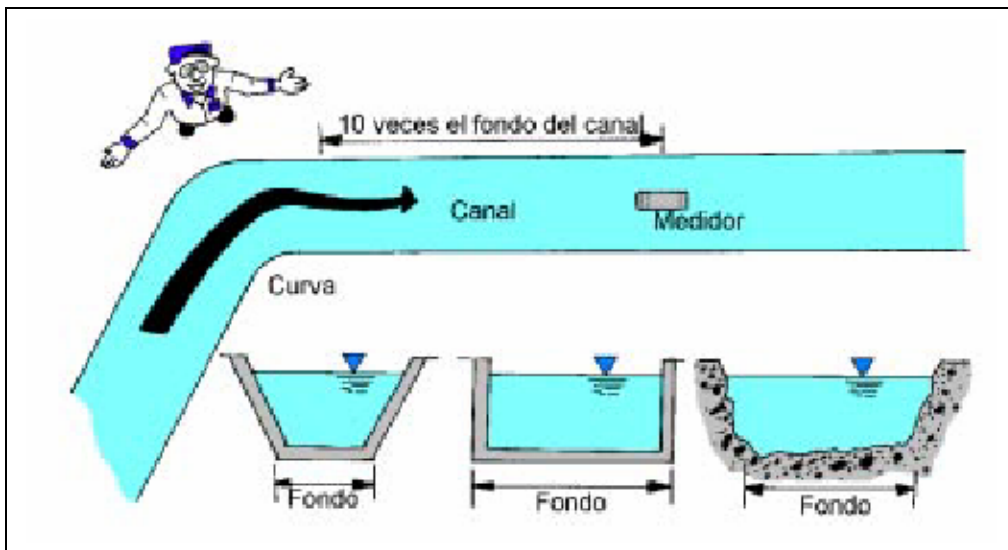
Una de las principales restricciones que debe tener un sitio donde se va a colocar el medidor es la uniformidad en la corriente. Este significa que antes del medidor se debe tener un tramo recto sin obstáculos de una longitud mínima. Los obstáculos pueden ser, inclusive, bancos de arena o de grava asentados en el fondo del canal, las siguientes condiciones deben cumplirse en el canal:

Tramo recto ideal: el tramo recto debe ser mayor de 40 veces el radio hidráulico de la sección donde se encuentra el medidor.



**Figura II.25: Tramo recto ideal**

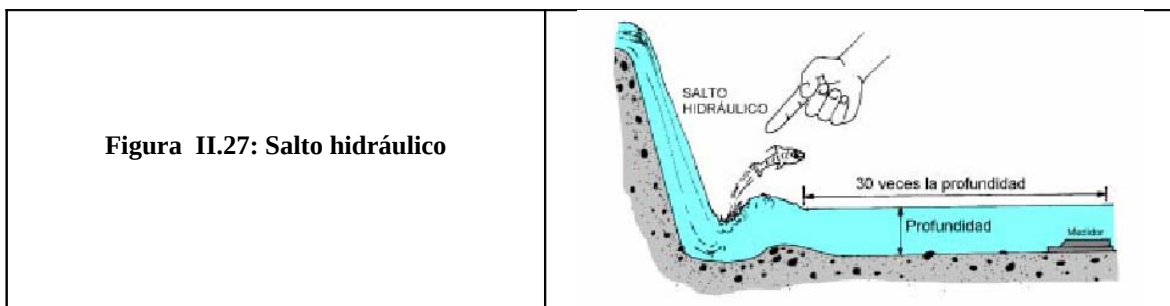
Tramo recto mínimo: Si el criterio anterior no se cumple, por lo menos se debe tener un tramo recto de 10 veces el ancho del fondo del canal.



**Figura II.26: Tramo recto mínimo**

**Salto hidráulico**

Antes del medidor: si se tiene un salto hidráulico antes el medidor, este debe estar a por lo menos 30 veces la profundidad del canal. Dicho salto hidráulico genera una gran cantidad de burbujas que pueden alterar las mediciones.

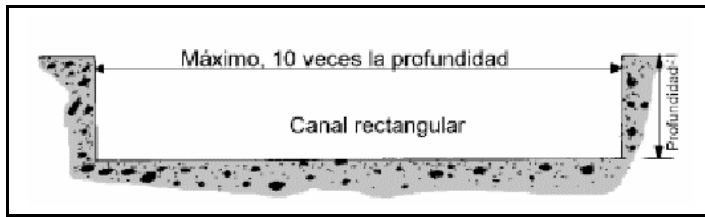


**Figura II.27: Salto hidráulico**

**Ancho máximo del canal:**

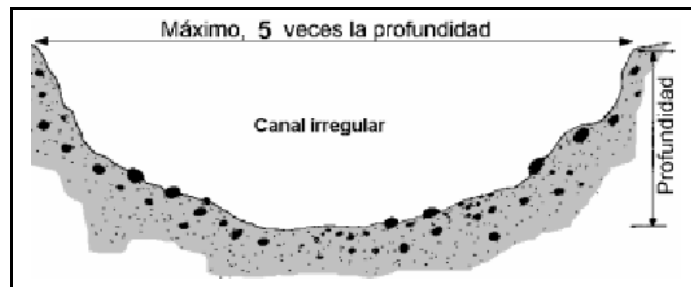
Las restricciones relacionadas con el área hidráulica, se consideran por medio del ancho de la superficie del agua. Si la sección es muy ancha se pueden tener errores ya que es muy posible la presencia de velocidades que están fuera del alcance de la zona de influencia del medidor y su magnitud no es igual a la velocidad inferida. Se presentan las siguientes condiciones:

Canal regular: si el canal es regular (rectangular, trapecial, etc) no debe tener un ancho mayor a diez veces la profundidad.



**Figura II.28: Canal regular**

Canal irregular: Si el canal es irregular (en tierra), no debe tener un ancho mayor a cinco veces la profundidad.



**Figura II.29: Canal irregular**

### ***Restricciones del sitio de instalación***

*Obstáculos aguas arriba del medidor:* Tales como hierbas, rocas, etc; esto se debe a que el medidor emite un rayo acústico inclinado por lo que la presencia de obstáculos antes de él pueden estorbar la señal.

*Variaciones del fondo del canal:* escalones o irregularidades, tendrían el mismo efecto que el de una roca, es decir la obstrucción del rayo acústico o la presencia del fluido en la señal.

*Sólidos en suspensión y velocidades bajas:* con muchos sólidos en suspensión y velocidades bajas ( $< 0,5$  m/s), se puede acumular material que es muy nocivo para el funcionamiento del medidor, ya que puede llegar a tapan los sensores que emiten y reciben los rayos y el sensor que mide la profundidad del agua.

*Objetos sobre el medidor:* obstruyen el correcto funcionamiento de los sensores de emisión-recepción de rayos acústicos.

*Turbulencias en la corriente:* esto se presenta cuando las partículas de agua se mueven en trayectorias erráticas. Si se recuerda que el medidor registra la velocidad del agua, viajando solamente en la dirección del mismo, entonces la velocidad que se registra no será para nada parecida a la velocidad media. Se han reportado que pueden presentarse errores de hasta un diez por ciento. La misma turbulencia puede producir demasiadas burbujas que también afectan la medición.

*Oleaje alto:* se considera que las olas provocadas por la turbulencia no deben exceder 5 cm por cada metro de profundidad del agua. Oleaje más alto puede provocar que el reflejo del rayo acústico se vea desviado ya que la superficie del agua no es horizontal en la parte donde incide el rayo y esta desviación genera "ruido" en las frecuencias reflejadas.

*Profundidad mínima:* se ha observado que en profundidades menores a 60 cm, la medición del gasto tiene errores significativos. Por lo tanto puede considerarse como profundidad mínima de medición.

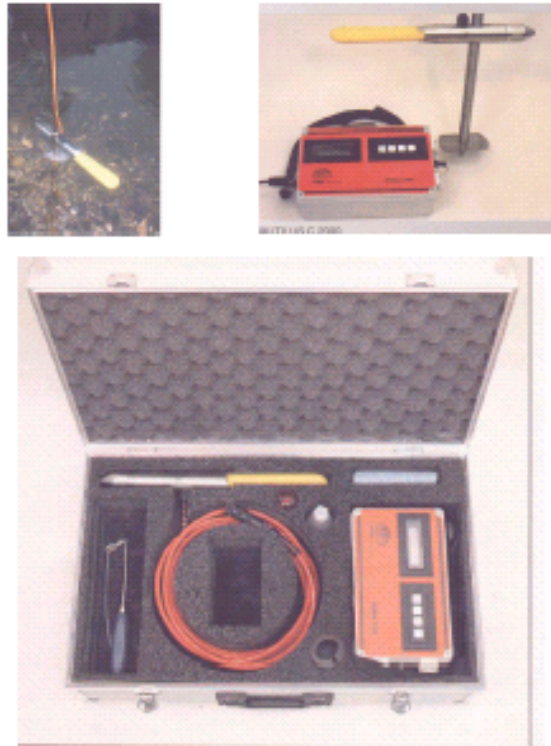
### ***Ventajas y desventajas de este tipo de medidor***

Ventajas:

- a) No es necesario tener otro elemento de medición.
- b) Se puede instalar en sitios donde otros no funcionarían.
- c) Tiene un amplio rango de funcionamiento
- c) Es posible el envío de información por medio de medios de transmisión remota.
- d) La información pasa directamente a archivos de computadora.
- e) No es necesario tomar lecturas diariamente.

Desventajas:

- a) Costo elevado.
- b) En caso de fallas sólo el fabricante sabe que hacer.
- c) Son fácil presa del vandalismo.
- c) Se requiere secar los canales para su instalación.
- d) Se debe manejar un programa de cómputos para sacar la información.



**Figura II.30: Medidor de flujo portátil con efecto doppler**



**Figura II.31: Aforador telemétrico en canal que utiliza el efecto doppler**

#### **h) Aforo químico**

El método químico es un método muy preciso para conocer el caudal que circula por un cauce. Se utiliza para medianos a chicos caudales y cuando la sección del cauce es muy irregular.

Se basa en la medición de la Conductividad Eléctrica (CE) del agua que circula por el cauce. Como se sabe la CE es directamente proporcional al contenido salino del agua. Para su aplicación se necesitan los siguientes elementos:

- a) Conductímetro portátil
- b) Balde de 10 litros aproximadamente y tarro auxiliar
- c) Botella de Mariotte o instrumental que asegure un caudal constante (pequeño)
- d) Probeta graduada de 500 mililitros
- e) Bolsas de sal doméstica (cloruro de sodio)
- f) Cronómetro

#### **Forma de trabajo**

- 1) Se prepara una solución salina homogénea (agua del lugar + sal de cloruro de sodio)
- 2) Se coloca en la botella de Mariotte. Se asegura una estructura para un caudal constante
- 3) Se elige un lugar donde aplicar el caudal. En nuestro caso en el punto 3: boca de registro con tapa circular metálica. Se eroga un caudal constante y se mide (probeta y cronómetro). Al inicio y final del aforo.
- 4) Se deja caer ese caudal sobre el punto 3 y se mide la CE con el conductímetro en el punto 4. Se observa que la CE del agua que circula comienza a aumentar hasta alcanzar un valor constante y decae cuando se deja de aplicar el caudal en el punto 3.
- 5) Se toma un volumen conocido de la solución salina y se coloca en el balde. Se le agrega agua del canal que se quiere aforar, midiendo la conductividad eléctrica de la nueva solución salina del balde. Se mide CE y volumen agregado hasta que la CE sea igual al valor máximo

constante del punto 4. Este es un proceso iterativo de agregado de volumen y medición de CE.

6) Se calcula el caudal del canal con la fórmula:  $Q = (y/x) \cdot q$

donde:

y = Volumen de agua del cauce agregada al balde hasta alcanzar la CE máxima del canal

x = Volumen de solución salina agregada al balde

q = caudal medio erogada por la botella de Mariotte (promedio de valor inicial y final)

### **Ejemplo:**

- La CE del agua de riego es de 1,5 dS/m
- La CE aumenta hasta 2,3 dS/m
- Tomo 200 ml de la solución salina y la coloco en le balde (valor de x)
- El caudal erogado por la botella de Mariotte fue de: inicio = 270 ml/min y final 240 ml/min. Caudal promedio: 255 ml/min.
- Se agregó agua del canal al balde hasta que la CE baja hasta 2,3 dS/m. El volumen agregado fue de: 10,2 litros.

### **Datos**

- - y = 10.200 mililitros
- - x = 200 mililitros
- - q = 255 ml/min.

### **Respuesta:**

$$Q = (y/x) \cdot q = (10.200 \text{ ml}/200 \text{ ml}) \cdot 255 \text{ ml/min.} = 13.005 \text{ ml/min.} = 0,22 \text{ L/s}$$

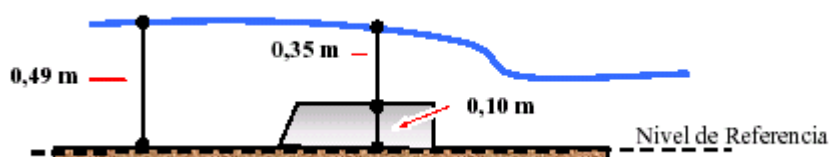
### **i) Aforo de resalto**

La determinación del aforo se basa en le Teorema de Bernoulli. Es un método práctico para el aforo de regueras o cauces pequeños, donde se pueda interponer en fondo del mismo algún escalón que no sea llevado por la corriente pero que eleve el pelo de agua.

### **Ejemplo 10:**

Se desea conocer el caudal del una reguera mediante el aforo por resalto, se coloca un escalón de fondo en la misma, y se mide lo siguiente:

- Altura del escalón
- Altura del pelo de agua desde le escalón (en la mitad de su longitud)
- Altura del pelo de agua aguas arriba del escalón.



**Figura II.32: Aforo por resalto**

El método de cálculo es el siguiente:

$$\frac{p_1}{\rho} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} = \frac{p_2}{\rho} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2 \cdot g}$$

$$0,49 + 0 + \frac{V_1^2}{2 \cdot 9,81} = 0,45 + 0 + \frac{V_2^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$Q = V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2$$

$$V_1 = \frac{Q}{0,8 \cdot 0,49} ; V_2 = \frac{Q}{0,8 \cdot 0,35}$$

$$0,49 + \frac{\frac{Q^2}{(0,80 \cdot 0,49)^2}}{2 \cdot 9,81} = 0,45 + \frac{\frac{Q^2}{(0,80 \cdot 0,35)^2}}{2 \cdot 9,81}$$

$$0,49 + \frac{Q^2}{3,015} = 0,45 + \frac{Q^2}{1,538}$$

$$0,49 - 0,45 = \frac{Q^2}{1,538} - \frac{Q^2}{3,015} = 0,65 \cdot Q^2 - 0,33 \cdot Q^2$$

$$0,04 = 0,65 \cdot Q^2 - 0,33 \cdot Q^2$$

$$0,04 = 0,3 \cdot Q^2$$

$$Q = \sqrt{\frac{0,04}{0,32}} = 0,354 \text{ m}^3/\text{s}$$

### Conclusiones:

Se han presentado las formas prácticas para poder medir el agua que tenemos disponible en cada riego, ya sea a través del tornado o por la extracción del agua por medio de perforaciones. A continuación desarrollaremos un ejemplo práctico muy sencillo para evaluar la aplicación del agua en una finca.

Nos situamos en una propiedad de 1 hectárea cuyo suelo es franco (determinado a través del tacto), tiene un cultivo de vid, la profundidad de raíces es de 1 m y el contenido de humedad es de aproximadamente entre el 25 - 50 % de la humedad disponible (determinado a través del tacto). Se dispone de una caudal de 300 litros/ segundo (medido con el método del flotador).

*¿Durante cuanto tiempo tendremos que regar para lograr un riego adecuado?*

Mediante el uso de la Tabla II.16 determinamos la cantidad de agua que debemos aplicar en el riego, según textura y contenido de humedad del suelo al tacto.

Determinamos que para la humedad que tiene el suelo tenemos que aplicar una lámina de entre 8 y 13 mm cada 10 cm de suelo a regar, por lo cual tomamos un valor medio de 10,5 mm. Como el suelo tiene una profundidad de 1 m = 100 cm, la lámina de agua aplicar es de 105 mm. A esta cantidad de agua le agregamos un 30 % como requerimiento de lixiviación, evitando de esta manera la salinización del suelo, por lo que 105 mm + (30% de 105 mm) = 136,5 mm.

El agua que debemos aplicar es de 136,5 mm = 1365 m<sup>3</sup>/ha. (1 mm = 10 m<sup>3</sup>/ha). El caudal que disponemos es de 300 lts/seg = 540 m<sup>3</sup>/h.

Si en una hora entra por la toma de la finca 540 m<sup>3</sup> de agua para poder aplicar 1365m<sup>3</sup> necesitaremos **2 horas 31 minutos**.

Para poder regar toda la hectárea de vid para reponer el agua desde la humedad actual hasta dejar todo el perfil lleno de agua debemos aplicar el agua durante 2 horas 31 minutos.

Deberá estimarse un valor de eficiencia de riego de la propiedad para corregir estos valores y estimar al agua bruta y tiempo corregido para aplicar correctamente el riego (agua a aplicar).

*Nota:* el procedimiento detallado es simplificado y orientativo para establecer un esquema de riego general sobre una propiedad agrícola.

**Tabla II.16: Estimación del porcentaje de agua disponible (Wd%) y de la necesidad de riego**

Wd	Franco arenoso	Franco	Franco arcilloso
0-25 REGAR	Seco: suelo para entre los dedos (9-11 mm/10 cm)**	Polvo seco o costroso, quebradizo (12,5-17)	Duro, agrietado con costras (3,5-18)
25-50 REGAR	Apariencia seca, no forma bola (5-9)	Costroso, pero forma bola (8-13)	Algo moldeable, forma bola (9-13)
50-75 ESPERAR	Tiende a formar bola (3-5)	Forma bola, brilla al presionar (4,5-8,5)	Forma bola y se moldea en tiras (5-9,5)
75-100 NO REGAR	Forma bola poco estable (0-3)	Forma bola moldeable, brilla si tiene arcilla (0-4,5)	Forma fácilmente tiras moldeables (0-0,5)
más de DRENAR	Escurre agua al amasar	Puede escurrir agua al comprimir	Barroso, escurre agua espontáneamente

(\*\*) milímetros lámina de agua de riego a aplicar, cada 10 cm de capa suelo a mojar, para compensar el déficit. Si corresponde, incrementar con el porcentaje de requerimiento de lixiviación, para mantener un adecuado balance salino en la zona radicular.

(Fuente: Nijensohn, L; Vallone, R “Guía de orientación para regantes de zonas áridas- Universidad Nacional de Cuyo – Facultad de Ciencias Agrarias)

## BIBLIOGRAFÍA

- Bagini, R.L. (1994) “Aforador de Cresta Ancha”. Folleto N° 108. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Agropecuaria Mendoza”
- Bos Marinuns, G.; Replogle, J.A.; Clemens, A.J. (1986) “Aforadores de caudal para canales abiertos”, International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen, The Netherlands.
- Chambuleyron, J. “Riego y Drenaje (Tomo I)”, Libro para el cursado de Hidrología Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias, U.N.C
- Chambuleyron, J. “Riego y Drenaje (Tomo II)”, Libro para el cursado de Hidrología Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias, U.N.C
- Fajardo Rubio, M.; Rodríguez B.(1986) “Manual de Auto-Instrucción para el Riego Agrícola”, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
- Grassi J. C.; Fernández Pedro Carlos (1962) “Aforo del agua en pequeños Canales de Riego”, Universidad Nacional de Cuyo – Facultad de Ciencias Agrarias.
- Grassi, J. C.(1998) “Fundamentos del Riego”, CIDIAT, Mérida, Venezuela. Grassi, J. Carlos (2000) “Diseño y operación de riego por superficie”, CIDIAT, Mérida, Venezuela.

- Morábito, J. (2000) “Aforo Químico”, Cátedra de Hidrología Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo. N° 70.
- Nijensohn, L.; Vallone, R. (2002) “Guía de Orientación para regantes de zonas áridas”, Universidad Nacional de Cuyo – Facultad de Ciencias Agrarias.
- Oreolani, J.C (1978) “Métodos de Riego (Clásicos y Mecanizados)”, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Agencia de Extensión Junín.
- Oreolani, J.C; Carretero José F. (1984) “Guía práctica para resolver problemas de riego”, INTA – Estación Experimental Regional Agropecuaria Mendoza.
- Oreolani, J.C; Carretero, J.F (1965) “Curso de Riego para Agricultores”, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Agencia de Extensión Junín.
- Oriolani, J.C “Riego en Vid”, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Folleto
- Osorio, A.; Mesa F.(1994) “Cómo medir el agua de riego”, Ministerio de Agricultura, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, Chile. INIA-INTIHUASI Proyecto PROMM - IV Región - Cartilla Divulgativa N° 05.
- Palacios Velez, E.(2005) “Hidrometría práctica para distribución de agua”, Capítulo IV. Operación y Conservación de Sistemas de riego. Maestría en Riego y Drenaje. FCA-UNC
- Palacios Vélez, E. “¿Cuánto, Cuándo y Cómo regar?”, Memorando Técnico 195, Subsecretaría de Agricultura y Operación, Dirección General de Distritos y Unidades de Riego, México.
- Pedroza, G.E “Medidor ultrasónico de efecto doppler para canales”, Subdirección Nacional de Administración del Agua. México.
- Tecnología Agropecuaria (INTA), Folleto N° 50.
- Varas, E.; Cabas N.(1993) “Aforos o Mediciones de Aguas en Canales”, Serie Quilamapu N° 38 ISSN 0716-6265 Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Subestación Experimental Cauquenes, Chile.