

MEDICIÓN DE PRESIÓN Y CAUDAL

MARCO ANTONIO BELLO U.
MARÍA TERESA PINO Q.



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO

BOLETÍN INIA N° 28

ISSN 0717 - 4829



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE AGRICULTURA
CNR - INIA KAMPENAIKE

MEDICIÓN DE PRESIÓN Y CAUDAL

Marco Antonio Bello U.
María Teresa Pino Q.
Centro Regional de Investigación Kampenaiké

Punta Arenas, Chile, 2000.

Autores:

Marco Antonio Bello U.
Ing. Agrónomo
Producción Vegetal
Centro Regional de Investigación Kampenaiké

Maria Teresa Pino Q.
Ing. Agrónomo
Producción Vegetal
Centro Regional de Investigación Kampenaiké

Director Responsable:

Raúl Lira F.
Ing. Agrónomo, M.sc.
Director Centro Regional de Investigación Kampenaiké

Comité Editor Regional:

Nilo Covacevich C., Ing. Agrónomo, (Ph.D)
Oscar Strauch B., Ing. Agrónomo

Asistentes de Investigación:

Jaime Pincheira, Técnico Agrícola

Boletín INIA N° 28

Este boletín fue editado por el Centro Regional de Investigación Kampenaiké, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura.
Financiado por Proyecto PROVALTT

Diseño y diagramación: Lorena Mardones D.

Impresión: INIA – Kampenaiké

Cantidad de ejemplares: 50

Punta Arenas, 2000.

INTRODUCCIÓN

Al pensar en implementar un sistema de riego, sea tecnificado o no, existen diversos factores a considerar, tanto hidráulicos como agronómicos. Sin embargo, junto con pensar en cuáles serán los cultivos a regar y cómo estará diseñada la instalación de riego, se debe contar con la información básica de agua disponible, sus características de calidad, presión y caudal. Estos dos últimos datos, no obstante se obtendrán, en términos de requerimientos, al diseñar las instalaciones, también deberán tenerse presentes en todo momento mientras el sistema opere y se esté aplicando riego a los cultivos en cada temporada.

De ahí que resulte importante el que el agricultor conozca y se familiarice tanto con los conceptos de presión y caudal, como también, con las diferentes formas que podrá utilizar en el futuro para medirlos.

No obstante la red de riego PROMM corresponde a un sistema entubado, el cual proporciona una presión y caudal básicamente conocidos y constantes. La presente cartilla apunta, primero, a entregar conceptos generales de dichos temas, así como procedimientos de medición; y, en segundo lugar, a proporcionar una guía para que el agricultor pueda realizar algunos chequeos periódicos de dichos parámetros, cuando sea pertinente y necesario, complementándose con los contenidos entregados en otras cartillas divulgativas, principalmente en lo que dice relación con la medición de uniformidad del sistema y evaluación del riego.

PRESIÓN

Técnicamente, por presión se entiende la aplicación de una fuerza sobre una superficie. Así, una misma fuerza puede producir más o menos presión, si la superficie sobre la que se aplica es menor o mayor. Para entenderlo más claramente, supongamos una fuerza de 1000 kilos sobre una superficie de 100 cm²; la presión ejercida será de:

$$P = F/S \quad \Rightarrow \quad P = 1000/100 = 10 \text{ Kg/cm}^2$$

Si esa misma fuerza se aplica sobre una superficie de 20 cm², la presión será entonces de:

$$P = F/S \quad \Rightarrow \quad P = 1000/20 = 50 \text{ Kg/cm}^2$$

Por lo tanto, cuando se habla de presión, no es suficiente indicar la fuerza o peso, sino que hay que saber también, la superficie sobre la cual se actúa.

Sin embargo, en el lenguaje normal, suele abreviarse y así es frecuente escuchar: “resiste una presión de 20 kilos”, entendiéndose que 20 kilogramos se ejercen sobre una superficie de 1 cm², que es la unidad más empleada.

En la Tierra, todo se encuentra expuesto o sometido a la presión de la capa de aire atmosférico, por lo que cuando se indique cualquier

presión en alguna tubería, se sobreentiende además de la presión atmosférica.

Unidades de Presión más frecuentemente usadas

Técnicamente existen varias unidades en las que se puede expresar la presión; algunas de ellas y sus equivalencias se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Equivalencia entre varias unidades de medición de presión, sobre la base de 10 m.c.a.

Unidad de Presión	Equivalencia (m.c.a.)*
1 Atmósfera	10
1 bar	9,88
1 psi o lb/pul ²	0,7
1 kg/cm ²	10

(*) m.c.a. = Metros Columna de Agua.

Pérdidas de Carga

Cuando el agua circula por dentro de las tuberías, debido al rozamiento de las paredes, se produce una pérdida de energía o de presión, conocida con el nombre de "pérdidas de carga". Igual efecto es producido por los fitting y piezas singulares (codos, válvulas, etc) y por las diferencias de nivel en el terreno recorrido por la tubería conductora

del agua (al presentarse una pendiente positiva, el agua pierde presión; al presentarse una pendiente negativa, el agua gana presión).

La fórmula básica para el cálculo de las pérdidas de carga en tuberías, se encuentra dada por la expresión:

$$PC = \frac{L \times J}{100}$$

Donde:

- PC = Pérdidas de Carga (m.c.a.)
- L = Longitud de la tubería (m)
- J = Pérdidas de Carga por cada 100 metros lineales
(este dato es proporcionado por tablas o ábacos)

Medición de la Presión

Usualmente la presión puede ser medida, como se señaló antes, en metros de columna de agua en un centímetro cuadrado (m.c.a.), lo que está dado por las pérdidas de carga obtenidas. Sin embargo, una vez que la instalación está diseñada, se utilizan instrumentos de medición directa; dichos instrumentos se conocen con el nombre de manómetros (Figura 1.), los cuales pueden ser instalados en diversos puntos de la red (manómetros roscados o embutidos), o bien, a través de la inserción de tomas manométricas de polietileno insertas en la red y la utilización de un manómetro con una aguja manométrica.

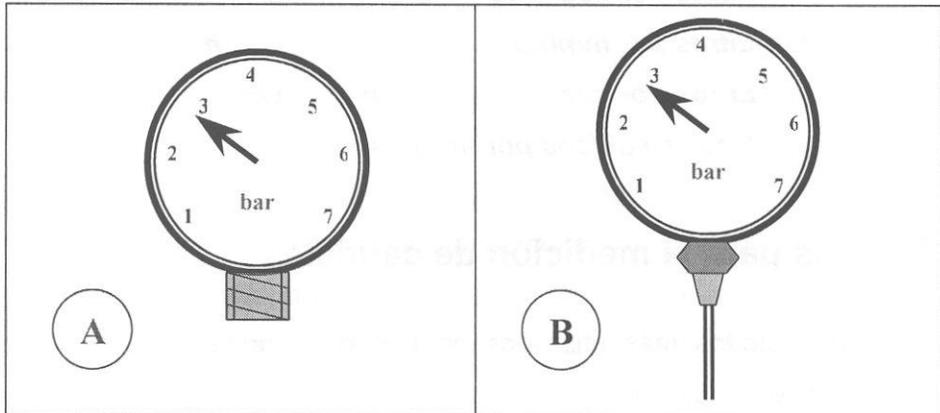


Figura 1. Esquema de un manómetro portátil tipo reloj: A) De inserción (roscado); B) Con aguja manométrica.

CAUDAL

El caudal corresponde a una cantidad de agua que pasa por un lugar (canal, tubería, etc.) en una cierta cantidad de tiempo, o sea, corresponde a un volumen de agua (Litros, Metros Cúbicos, etc.), por unidad de tiempo (Segundos, Minutos, Horas, etc.).

Unidades de medición de caudal

Como ya se señaló, el caudal corresponde a un volumen de agua por unidad de tiempo, siendo las unidades de medición más utilizadas, las siguientes:

<i>Litros por segundo</i>	=	<i>L/s</i>
<i>Litros por minuto</i>	=	<i>L/min</i>
<i>Litros por hora</i>	=	<i>L/h</i>
<i>Metros cúbicos por hora</i>	=	<i>m³/h</i>

Métodos para la medición de caudales

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

1. Método del Flotador
2. Método Volumétrico
3. Método de la Trayectoria
4. Estructuras de medida

1) MÉTODO DEL FLOTADOR

El método del flotador se utiliza en los canales, acequias y da sólo una medida aproximada de los caudales. 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.

Para ejecutarlo, se elige un tramo del canal que sea recto y de sección transversal uniforme, de alrededor de 30 metros de largo, donde el agua escurra libremente.

Se marca en el terreno la longitud elegida y se toma el tiempo que demora un flotador (por ejemplo un trozo de madera) en recorrerla, con el fin de conocer la velocidad que lleva el agua en esa sección.

Como flotador se puede usar cualquier objeto que sea capaz de permanecer suspendido en el agua, como un trozo de madera, corcho u otro material similar, que no ofrezca gran resistencia al contacto con el aire y que se deje arrastrar fácilmente por la corriente de agua.

Determinación de la velocidad

Para conocer la velocidad del agua, deberá dividirse el largo de la sección elegida, en metros, por el tiempo que demoró el flotador en recorrerla, expresado en segundos, como se indica en la siguiente relación:

$$V = \frac{\text{Largo sección (m)}}{\text{Tiempo en recorrerla (s)}} = \mathbf{(m/s)}$$

El paso siguiente es determinar el área promedio del canal (sección transversal del canal).

Determinación del área del canal

Se multiplica el ancho promedio del canal por su profundidad, con todas las medidas expresadas en metros (ver Figura 2).

$$A = \frac{(a + b)}{2} \times h$$

La altura “h” se obtiene de un promedio de las alturas de agua a lo largo del canal en el sector elegido

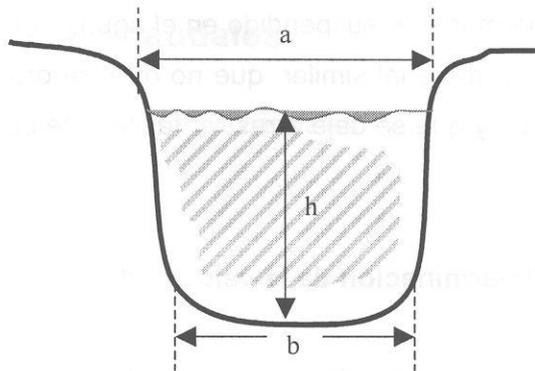


Figura 2. Medidas necesarias para determinar el área de un canal.

Determinación del caudal

Conocida la velocidad (V) del agua y el área (A) del canal, se aplica la siguiente fórmula para calcular el caudal (Q):

$$Q = A \times V \times 850$$

Donde:

Q = Caudal en L/s

A = Área del canal en m²

V = Velocidad en m/s

2) MÉTODO VOLUMÉTRICO

Este método permite medir pequeños caudales de agua, como son los que escurren en surcos de riego o pequeñas acequias. Para ello es necesario contar con un depósito (balde) de volumen conocido en el cual se colecta el agua, anotando el tiempo que demoró en llenarse. Esta operación puede repetirse 2 ó 3 veces y se promedia, con el fin de asegurar una mayor exactitud (ver Figura 3).

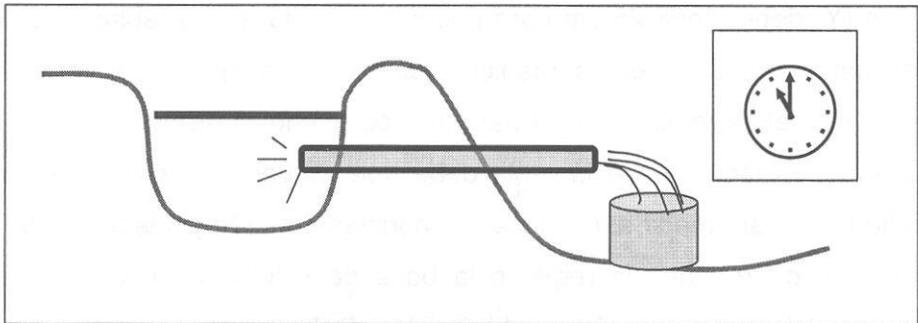


Figura 3. Medición de caudales utilizando un balde y un cronómetro.

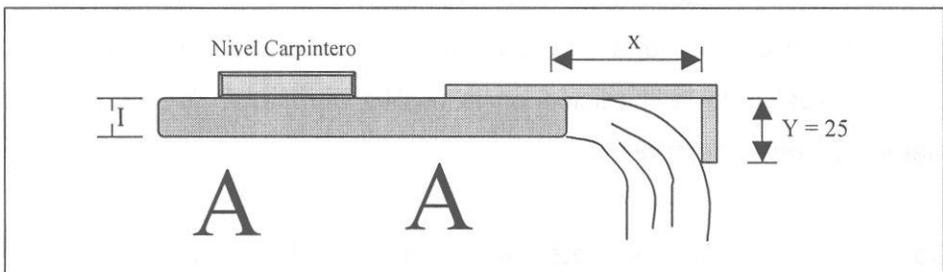


Figura 4. Medición de caudal en una tubería llena horizontal, utilizando el método de la trayectoria.

3) MÉTODO DE LA TRAYECTORIA

Este método es de gran utilidad para el aforo (medición de caudal) en tuberías y bombas. Con él es posible obtener una aproximación aceptable cuando se usa en forma adecuada. La ventaja que presenta es su fácil y rápida operación.

El material que se utiliza es una escuadra, cuya forma se indica en la figura 4 (tubería a nivel). La característica de ella es que uno de sus lados (Y) debe medir 25 cm para poder hacer uso de las tablas que se detallan más adelante. La medición se realiza desplazando la regla hasta que el extremo inferior (mango) roce el chorro de agua que sale del tubo. El lado "X" de la regla debe quedar paralelo y apoyado en dicho tubo, para medir así la distancia horizontal que hay desde el punto donde el chorro toca la regla, a la boca de salida de la tubería. La tubería debe estar en forma horizontal. Debe cuidarse que no se produzcan curvaturas a lo largo de ella y que la tubería vaya llena de agua.

Es conveniente hacer varias lecturas con el fin de promediar los resultados y obtener una medición más próxima al caudal verdadero. Una vez realizada la medición en la reglilla horizontal "X", se mide el diámetro interno del tubo.

Con estos dos valores, se determina el caudal en la Tabla 2.

Tabla 2. Caudal en litros/segundo (L/s) para varios diámetros de tuberías.

Distancia de la trayectoria horizontal en cm (X)	Diámetro de la tubería en pulgadas						
	2"	3"	4"	5"	6"	8"	10"
5	0.4	1.0	1.8	2.7	4.0	7.0	11.0
7,5	0.7	1.5	2.6	4.1	5.1	10.6	16.5
10,0	0.9	2.0	3.5	5.5	7.9	14.1	22.0
12,5	1.1	2.5	4.4	6.9	9.9	17.6	27.4
15,0	1.3	3.0	5.3	8.3	11.8	21.2	33.0
17,5	1.5	3.5	6.2	9.6	13.9	24.6	38.6
20,0	1.8	4.0	7.0	11.0	15.8	28.2	44.0
22,5	2.0	4.4	7.9	12.4	17.8	31.6	49.5
25,0	2.2	4.9	8.8	13.8	19.8	35.2	55.0
27,5	2.4	5.4	9.7	15.1	21.8	38.6	60.5
30,0	2.6	5.9	10.6	16.5	23.7	42.3	66.0
35,0	3.0	6.9	12.4	19.2	27.7	49.4	77.0
40,0	3.5	7.9	14.2	22.0	31.7	56.4	88.0
45,0	4.0	8.9	15.7	24.8	35.7	63.5	99.0
50,0	4.4	9.9	17.7	27.5	39.6	70.5	110.0
55,0	4.8	10.9	19.4	30.2	43.6	77.5	121.0
60,0	5.3	11.9	21.2	33.0	47.5	84.5	132.0

Estructuras para medición de aguas

Como se ha visto, la medición de caudales puede ser realizada por distintos métodos, pero sin duda los sistemas más eficientes y exactos son aquellos que utilizan estructuras especiales.

Casi todas las clases de obstáculos que restringen parcialmente la corriente de agua en un canal, pueden ser utilizados para medición de caudales, siempre que se les calibre apropiadamente.

Existe, sin embargo, una gran cantidad de sistemas y dispositivos utilizados en la medición de aguas. En este caso, se detallan sólo los más conocidos y sencillos, como son los vertederos.

Vertederos

Sin duda alguna son los más sencillos y utilizados para medir el caudal de agua en canales abiertos.

Según la forma que se obligue a adoptar a la sección de la vena líquida que circule por él, se clasifican en rectangulares, trapezoidales y triangulares (ver Figura 5).

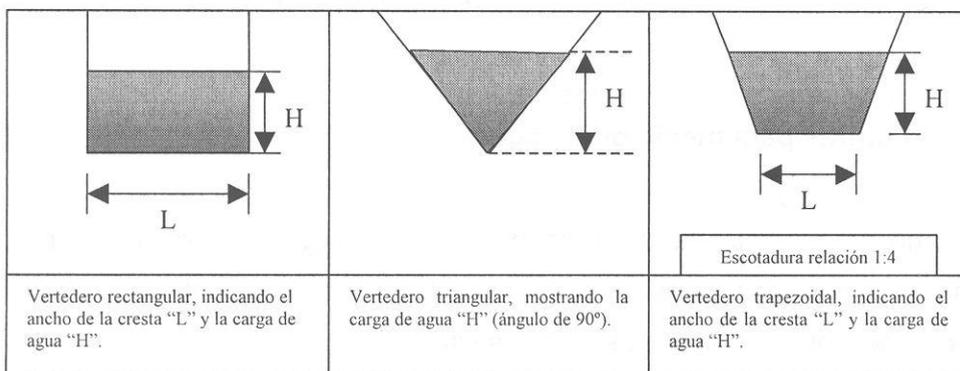


Figura 5. Distintos tipos de vertederos.

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 seis veces la carga (altura) máxima a la que puede llegar el vertedero.

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 de por lo menos seis veces la carga de agua a medir), 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 6).

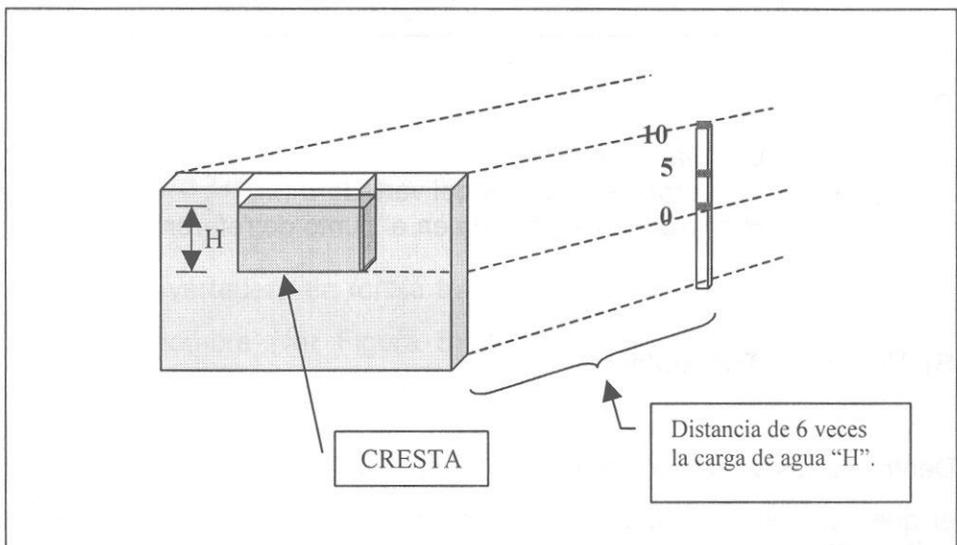


Figura 6. Esquema de medición de la carga de agua que pasa por un vertedero.

A) Vertedero Rectangular

El vertedero rectangular es uno de los más sencillos para construir y por este motivo, es justamente uno de los más usados a nivel predial. La precisión de la lectura que ofrece está determinada por su nivel de error, que fluctúa entre 3 y 5%.

Para calcular el caudal o gasto, se pueden utilizar diferentes ecuaciones empíricas; en este caso sólo se mencionará una de ellas (la de Francis), que es la más utilizada y que corresponde a un vertedero rectangular con contracción lateral (ver Figura 5).

$$Q = 1,84 \times (L - 0,2H) \times H^{3/2}$$

Donde:

Q = Gasto en m³/s

L = Largo de la cresta del vertedero (m)

H = Altura o carga leída en el punto de referencia (m)

B) Vertedero Triangular

Dentro de los vertederos triangulares, el utilizado más comúnmente es el que tiene 90° en su vértice inferior, o sea, la escotadura forma un ángulo recto, tal como se muestra en la Figura 5.

Este tipo de vertederos es bastante eficiente, pero sin embargo presenta una gran pérdida de carga; motivo por el cual se recomienda especialmente para canales 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.

Con la finalidad de calcular el gasto, también existen diferentes fórmulas empíricas, siendo la de King la más usada; y que se indica a continuación:

$$Q = 1,38 \times H^{5/2}$$

Donde:

Q = Gasto (m³/s)

H = Altura o carga de agua (m)

C) Vertedero Trapezoidal

Este es un vertedero en forma trapezoidal en su abertura, tal como lo indica su nombre (ver Figura 5), también conocido como vertedero Cipolletti, en honor a su inventor, el Ingeniero italiano Cesare Cipolletti.

Esta estructura requiere que el talud de sus lados sea 1:4. Este vertedero es de construcción más dificultosa que los otros dos vistos anteriormente y no ofrece ventajas significativas que lo hagan destacar, razón por la cual es menos utilizado que los anteriores.

Para el cálculo del gasto se utiliza, entre otras, la fórmula de Francis:

$$Q = 1,859 \times L \times H^{3/2}$$

Donde:

- Q = Gasto (L/s)
- L = Largo de la cresta (m)
- H = Carga de agua (cm)

LITERATURA CONSULTADA

AVILA, R., CABELLO, A., LIROLA, J., MARTÍN, A., Y ORTIZ, F. 1996. Agua, riego y fertirrigación. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca. Servicio de Publicaciones y Divulgación. Depósito legal SE-2244-96. ISBN 84-802-009. Sevilla, España. 155p.

JEREZ B., JORGE. 1999. Claves para elegir el sistema de riego por aspersión. En revista Tierra Adentro N° 26, mayo – junio. Págs. 45 –47.

MOYA T., JESUS. 1994. Riego localizado y fertirrigación. Ediciones Mundi-Prensa. Depósito legal M.28.845-1994. ISBN 84-7114-477-8. Madrid, España. 363p.

OSORIO U., ALFONSO, MEZA A., FRANCISCO, Y SALINAS, R. 1994. Como medir el agua de riego. Cartilla Divulgativa N° 5. Proyecto PROMM IV Región. INIA – CRI Intihuasi. 23p.

SALGADO S., LUIS, Y VALENZUELA A., ALEJANDRO. _____. Aforos de agua de riego. Boletín de extensión; proyecto FONDEF AI-02. Facultad de Ingeniería Agrícola, Departamento de Riego y Drenaje. 30p.