

## **TP N° 4**

**Hidrometría, medición de caudales en cauces naturales, acequias, canales y cañerías. Utilización de instrumental y estructuras. Diseño de canales pequeños y acequias.**

### **Equipo docente:**

Ing. Agr. Leopoldo J. Génova (Dr. M. Sc.), Profesor Titular Ordinario

Ing. Agr. Ricardo Andreau, Profesor Adjunto Ordinario

Ing. Agr. Marta Etcheverry (M. Sc.) Jefe de Trabajos Prácticos Ordinario

Ing. Agr. Pablo Etchevers, Jefe de Trabajos Prácticos

Ing. Agr. Walter Chale, Ayudante Diplomado

Ing. Agr. Luciano Calvo Ayudante Diplomado

Ing. Agr. Facundo Ramos, Ayudante Diplomado

Ing. Agr. Cecilia Pascual, Ayudante Alumna

## Contenido

Circulación de agua en canales y acequias .....	3
Ejemplo de dimensionamiento de un canal trapecial: .....	7
<i>Hidrometría</i> .....	11
Orificio: .....	12
Vertederos.....	14
Vertedero rectangular o de Francis.....	16
Vertedero triangular o de Thompson.....	17
Vertedero trapecial del Ing. Cipolletti .....	18
Vertederos de pared gruesa.....	19
Ventajas y desventajas de los vertederos:.....	20
Mantenimiento de los vertederos instalados: .....	21
Conducto aforador de Parshall .....	21
Descripción de la estructura: .....	22
Sifones .....	25
Caño horizontal o inclinado fluyendo lleno. ....	27
Caño horizontal o inclinado, cuando el agua no ocupa toda la superficie útil del mismo. (flujo no lleno) .....	28
Caño vertical.....	30
Método de las coordenadas para determinar caudal a la salida de un caño horizontal, fluyendo total o parcialmente lleno. ....	31
Cursos libres .....	32
1.- Aforo mediante la determinación de velocidad y sección.....	32
2.- Medición de la velocidad de escurrimiento .....	33
3.- medición del área de una sección transversal.....	38
4.- Medición del nivel de agua. Limnímetros y Limnigrafos.....	39
5.- Limnígrafo.....	41
Ejercitación.....	43
Bibliografía.....	45

## Circulación de agua en canales y acequias

En tecnología hidráulica, un canal es un cauce de gran desarrollo, a cielo abierto o cerrado, construido para facilitar la circulación por gravedad de una corriente líquida, generalmente agua, que mantenga siempre una superficie libre.

En riego y drenaje las funciones principales de un canal son la conducción, distribución y drenaje de agua. Si el destino del agua es regar suelos, los cauces se denominan canales y cuando el destino es eliminar excedentes hídricos se denominan drenes y desagües.

Las acequias son cauces de menor desarrollo, cuya función es conducir y distribuir agua de riego.

Los canales vinculan fuentes de agua, como cursos libres (ríos, arroyos), reservorios (lagos, lagunas, diques, embalses, represas, tajamares) o plantas de bombeo, con las tierras regadas. Los desagües y drenes vinculan los suelos dedicados a la producción agraria con cuerpos receptores de excedentes hídricos (mar, río, lago, laguna, bajos topográficos destinados a tales fines, etc.).

La conducción y distribución de agua de riego conforma una red de canales y acequias, que van comunicándose entre sí desde estructuras de mayor a menor capacidad de conducción. El primer canal desde la fuente de agua se denomina matriz o principal, siguiéndoles los de menor orden (secundarios, terciarios, cuaternarios). Estos últimos generalmente cumplen la función directa de entrega de agua a los establecimientos regados.

El drenaje superficial (desagüe) y subsuperficial y subterráneo (dren) también conforman una red de cauces, que se inicia o debería iniciarse en los establecimientos de producción agrícola, ganadera, mixta, etc., con estructuras de menor capacidad, de tercer, segundo o primer orden, hasta terminar evacuando agua en los grandes colectores que finalmente desaguan en los cuerpos receptores de agua de drenaje.

Las principales partes físicas de un canal son:

Traza: localización de su eje en planta y perfil.

Sección hidráulica: área definida por el corte del cauce por un plano vertical, que resulta perpendicular a la corriente.

Estructuras accesorias u obras de arte: estructuras localizadas con funciones de entrega, cambio de dirección (curvas), de transición (secciones de ampliación o reducción de la capacidad de conducción), de disminución de la pendiente (saltos), de cruce, de operación, de unión o liga, de control, seguridad, mantenimiento, como compartos, puntas de diamante, puente canal, aforadores, compuertas, sifones, desarenadores, etc..

Los elementos técnicos de un canal son:

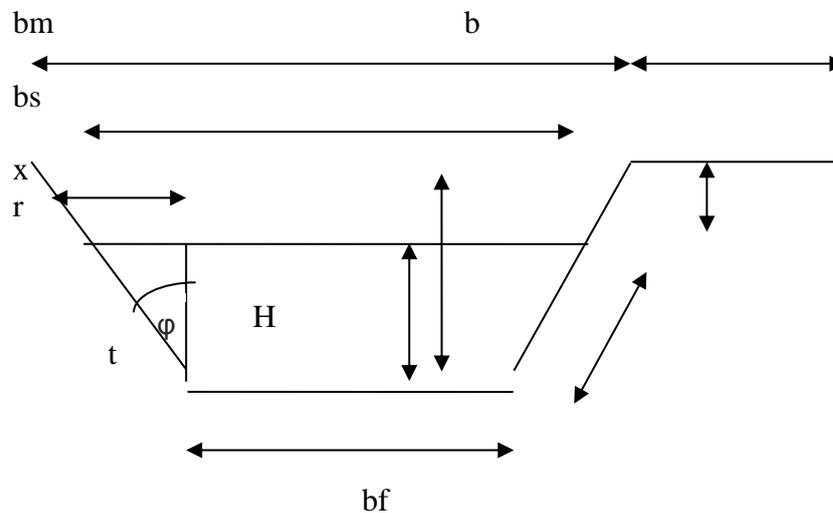
-  $Q$  = (Gasto = descarga = caudal): volumen de agua que circula en la unidad de tiempo, generalmente expresado en  $m^3/h$ ,  $m^3/s$  o  $l/s$ . También está dado por el producto entre el área de la sección y la velocidad media.

-  $n$  = coeficiente de rugosidad

-  $i$  = pendiente de la rasante, fondo o piso

- $z$  = relación de talud, inclinación de las paredes.  $z=x/h$
- $bf$  = ancho de fondo, ancho de solera, base de fondo. Es la dimensión representada por el ancho del piso o rasante en la sección vertical a la corriente. (m)
- $h$  = tirante, es la máxima distancia vertical entre la rasante de fondo y la superficie libre del agua SLA, representa la carga de presión sobre la rasante de fondo. (m)
- $v$  = velocidad media de la corriente. ( $m\ s^{-1}$ )
- $s$  = es la superficie de la sección hidráulica. ( $m^2$ )
- $p$  = perímetro mojado. Es el contorno del contacto entre la corriente y el cauce en la sección vertical. (m)
- $R$  (radio hidráulico)=  $s/p$ . No tiene representación física Se utiliza como referente del funcionamiento hidráulico del cauce.

### Partes de un canal



- bm: base mayor.
- bs: base superior.
- b: banquina.
- H: tirante máximo.
- h: tirante.
- bf: base de fondo.
- t: talud.
- $\phi$ : ángulo fi
- r: revancha

Los canales pueden ser clasificados siguiendo varios criterios:

Por su ubicación en el terreno, pueden ser elevados (conductos sobre pilotes, acueductos), superficiales (en terraplén, excavados o una combinación de ambas situaciones) y subterráneos.

Por la condición de su construcción simple, hormigón armado, mamposterías varias, piedras, maderas, laminas plásticas, etc.) o sin revestir, construidos generalmente en tierra, raramente en roca compacta o arena.

Por la geometría de la sección: pueden ser trapeziales (la más común, rectangulares y circulares).

Por su régimen de funcionamiento hidráulico, pueden conducir la corriente en régimen uniforme ( $Q$ ,  $v$ ,  $s$ ,  $h$ , son constantes, independientes del tiempo). Generalmente los canales son diseñados para que se cumpla un movimiento o régimen uniforme, que puede ser tranquilo, rápido o crítico.

Por su uso, pueden ser, como ya vimos, para riego y drenaje agrícola y otros, con distintos fines, como canales de fuerza, para la generación de energía eléctrica, canales de transporte (navegación), de abastecimiento de agua potable (acueductos), canales urbanos de desagüe pluvial, de servicios sanitarios cloacales, conductores de agua servidas, de drenaje, de aeropuertos, de derivación para obra, rectificación de cauces naturales, defensa de ciudades a inundaciones por escurrimiento superficial o subterráneo, etc..

Existen varias metodologías de diseño de la sección de un canal y tecnologías para su construcción que exceden los alcances de nuestra asignatura. Sin embargo, unas nociones de las características fundamentales para integrar equipos interdisciplinarios con ingenieros hidráulicos, civiles o agrimensores, geólogos, hidrólogos, arquitectos, se dan a continuación.

El punto de partida de cualquier diseño de canal, dren o acequia, para la conducción de agua, es la determinación del caudal a transportar, lo cual es eminentemente una tarea específica de los ingenieros agrónomos, para atender sistemas de riego y drenaje.

Para riego, la metodología que mejor ajusta para la obtención de  $Q$  es la ya tratada referente a la estimación de la demanda hídrica y las necesidades de riego.

Una vez definido el caudal, deberá proponerse la velocidad media de diseño con la cual se espera que sea conducida la corriente en el cauce a conducir, que cumpla con las siguientes condiciones: la velocidad seleccionada para iniciar el diseño no debe superar a la que erosionen las paredes y el fondo, ni ser inferiores a la velocidad que favorezca la sedimentación de partículas en suspensión, que habitualmente, en mayor o menor concentración, conforman la pequeña fracción sólida del caudal (principalmente arenas y limos).

La selección inicial de la velocidad puede apoyarse en información disponible de carácter general orientativo o específica generada por investigación o experiencias previas. En las tablas 1 y 2 se dan valores orientativos de velocidad, que son una función de la naturaleza de las paredes y fondo del canal ( $v$  máx. no erosiva), y de la naturaleza de los materiales en suspensión ( $v$  min. que no produzca sedimentación que sella, colmata los cauces).

Tabla N 1 Velocidades medias Máximas que no erosionan ( $m\ s^{-1}$ )

Tierra arenosa, muy fina o limo suelto	0.15
Arena	0.3
Tierra arenosa ligera, 15 % de arcilla	0.37
Arena gruesa	0.46-0.61
Tierra suelta con grava	0.76
Tierra o barros compactados, 65 % de arcilla	0.92
Arcillas con gravas compactas	1.52-2.14
Rocas estratificadas	2.44

Roca dura	4.07
Concreto	4.57-6.1

Tabla N 2 Material de arrastre. Velocidades mínimas (m s<sup>-1</sup>)

Arenoso	Mayor a 0.5
Limoso	Mayor a 0.35
Arcilloso	Mayor a 0.25

Con el Q y la v establecida, se calcula el área de la sección, ya que  $Q/v = s$ .

Luego se debe proponer una relación entre la base de fondo y el tirante bf/h, que asegure un régimen uniforme. Consultando tablas de canales ya diseñados para diferente Q, n, i y z, diagramas modelos, y demás formas de obtención de las variables requeridas disponibles en manuales de hidráulica o publicaciones técnicas de Organismos gubernamentales específicos (Ministerios, Secretarías, Departamentos de Obras Públicas, de Hidráulica, de Recursos Hídricos, Municipios, etc.) o de empresas de obras y servicios hídricos.

Una vez dimensionado el canal, debe comprobarse, antes de construirlo que las magnitudes de los elementos técnicos (los que fueron datos y los hallados con el diseño), cumplirán con el funcionamiento hidráulico deseado, verificando que la velocidad media de la corriente en el canal sea admisible, que este dentro del rango definido por la v máx. no erosiva y la v mínima anti sedimentación.

Con los elementos técnicos definidos, se estima la v media aplicando el modelo de Chezy para flujo uniforme, que explica lo siguiente: para cualquier relación bf/h, la v generada por Q/s debe ser igual a la v que genera la energía gravitatoria disponible y la mantenga constante, asegurando un régimen uniforme. La energía de gravedad es la energía potencial proporcionada por la pendiente i de la rasante del canal. Esto implica que la corriente, al pasar de una sección a otra en el canal, mantenga una v constante, para lo cual la aceleración deberá ser nula. Debe existir un balance entre el componente del peso del agua en la dirección del flujo y la fuerza de resistencia de las paredes y piso del canal, dado por la rugosidad del material en que este construido.

$$\text{Modelo de Chezy} \quad v = c(R i)^{1/2} \quad (1) \quad \text{donde}$$

c = coeficiente de rugosidad

Existen varios modelos para estimar c, siendo el más difundido el de Manning:

$$c = \frac{1}{n} R^{1/6} \quad (2) \quad \text{donde}$$

n = coeficiente de rugosidad de Manning (ver tabla 3)

Tabla N 3 Valores de n dados por Horton para ser empleado en la fórmula de Manning

Superficie	Condiciones de las paredes		
	Buenas	Regulares	Malas
En tierras alineados y uniformes	0.0200	0.0225	0.0250

En roca lisos y uniformes	0.0300	0.0330	0.0350
En roca con salientes y sinuosidades	0.0400	0.0450	
Sinuosos y de escurrimiento lento	0.0250	0.0275	0.0300
Dragados en tierra	0.0275	0.0300	0.0330
Con lecho pedregoso y bordos de tierra en hierbados	0.0300	0.04	0.0400
Planilla de tierra, taludes ásperos	0.0300	0.0330	0.0350
Corrientes naturales			
Limpios, bordos rectos llenos, sin hendiduras	0.0275	0.0300	0.0330
Ídem ant. pero con algo de hierba y piedra	0.0330	0.0350	0.0400
Sinuoso, algunos charcos y escollos, limpio	0.0350	0.0400	0.0450
Ídem ant. mas poco tirante, con pendiente	0.0450	0.0500	0.0550
ídem 3° algo de hierbas y piedra	0.0400	0.0450	0.0500
ídem 4° secciones pedregosas	0.0500	0.0550	0.0600
Ríos perezosos cauce enhierbado o con charco profundo	0.0600	0.0700	0.0800
Playas muy enhierbadas	0.1000	0.1250	0.1500

Por lo que queda, sustituyendo (2) en (1), la ecuación de Chezy – Manning (3) de la siguiente forma:

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} i^{1/2} \quad (3)$$

Si la  $v$  estimada inicialmente para definir tentativamente el área de la sección del canal, no es admisible, deberá proponerse otra relación  $bf/h$  que genere otras dimensiones de los elementos técnicos hasta encontrar la igualdad entre la  $v = Q/s$  y la  $v$  estimada con (3).

Una vez definido los valores de los elementos técnicos incógnitas, que generan la sección que permita conducir el  $Q$  deseado a la  $v$  admisible para que ocurra una circulación de la corriente en régimen uniforme, se construirá el canal con dicho dimensionamiento.

### **Ejemplo de dimensionamiento de un canal trapecial:**

A) Datos necesarios:

- 1- Caudal a conducir:  $Q = 1.5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$
- 2- Textura: arcilloso.  $z$  (relación talud 1:1) =  $45^\circ$
- 3- Pendiente:  $i = 0.06 \text{ m/m}$  (0.6 %) natural de terreno
- 4- Velocidad según material del canal =  $1.5 \text{ m s}^{-1}$
- 5- Maquinaria base de fondo = 0.8 m

B) Incógnitas:

- 1- Sección
- 2- Pendiente
  - 2.1- La natural del terreno: si o no
  - 2.2- Determinación de la pendiente.

Resolución:

Sección:

$$Q = s * v$$

$$s = \frac{1.5 \text{ m}^3/\text{s}}{1.5 \text{ m/s}} = 1 \text{ m}^2$$

Carga hidráulica: Tirante

$$s = bf * h + h^2 * \text{tg } \varphi$$

Siendo las unidades de:  
 $s = \text{m}^2$ ;  $bf = \text{m}$ ;  $h = \text{m}$

$$1 = 0.8 * h + h^2 * 1$$

$$h^2 + 0.8 * h - 1 = 0 \quad a * h^2 + b * h + c = 0$$

$$h = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4 * a * c}}{2 * a}$$

$$h = \frac{-0.8 + \sqrt{0.8^2 - 4 * 1 * (-1)}}{2 * 1} = 0.68 \text{ m}$$

Talud:

$$t^2 = h^2 + x^2$$

$$t = \sqrt{0.68^2 + 0.68^2} = 0.96 \text{ m}$$

Perímetro mojado:

$$p = bf + 2 t$$

menor R

$$p = 0.80 + 1.92$$

$$p = 2.72 \text{ m}$$

Radio hidráulico

$$R = s/p$$

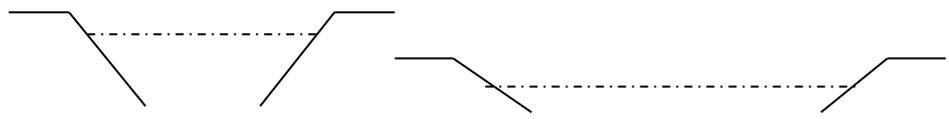
$$S1 = S2$$

S1: menor Pm, mayor R

S2: mayor Pm,

Mínima resistencia

Mínima infiltración



$$R = 0,37 \text{ m}$$

Base Superior

$$b_s = b_f + 2x \quad b_s = 2,16 \text{ m}$$

Revancha

$$r = 1/3 * h \text{ o } 1/4 * H \quad r = 0,23$$

Profundidad total

$$H = h + r$$

$$H = 0,91 \text{ m}$$

Ancho máximo

$$b_m = b_f + 2H \quad b_m = 2,61 \text{ m}$$

Sección total

$$St = \frac{(B_m + B_f) * H}{2} \quad St = 1,56 \text{ m}^2$$

Pendiente

a) Adoptando la pendiente natural del terreno: la ecuación de Chezy:

$$v = c\sqrt{R*i}$$

b) Aplicando el C de Manning:

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

Entonces:

$$C = \frac{1}{0,02} 0,37^{1/6} = 42$$

$$v = c\sqrt{R*i} = 42\sqrt{0,37 * 0,006} = 1,98 \text{ m/s}$$

Puede observarse que la velocidad resulta un poco mayor que la admisible para estas condiciones.

nota: Como me da mayor velocidad que la admisible modifíco la  $b_f$ , para que cambie R

## Canales

Se debe construir un canal que transporte 1 m<sup>3</sup>/seg... Se requiere una relación de talud de 2:1, un tirante de 0.8 m y una velocidad límite de 0.5 m/seg. Dimensione base de fondo, base superior, revancha, ancho máximo, perímetro mojado y radio hidráulico.

Se debe construir un canal que transporte 3 m<sup>3</sup>/seg. Se necesita una relación de talud de 3:1, un tirante máximo de 0.9 m. y una velocidad límite de 0.18 m/seg... Dimensione base de fondo, base superior, revancha, ancho máximo, perímetro mojado y radio hidráulico.

Un canal secundario abastecerá 500 has. Bajo cultivo de manzano en plena producción, plantados sobre suelo arcilloso, con PSI = 3.6 y CE = 3.3 dS/m, sistema que tiene un requerimiento de lixiviación del 20 %. Las pérdidas por conducción se estimaron aforando un canal secundario próximo (que atiende otra 500 has.), de tierra y bajo las mismas condiciones. Se obtuvo un Q = 500 l/seg, en la estación A y un Q = 1620 m<sup>3</sup>/h en la estación B, distantes a 0.5 km entre sí. Se solicita el valor de la sección hidráulica del canal secundario a construir.

Mes	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero
marzo					
Eto (mm/día)	4.0	4.7	5.0	4.8	4.6
3.9					
Kc	0.65	0.75	0.95	0.95	0.75
0.65					

**Hidrometría**

Aforo: definición, necesidad e importancia.

Aforar significa medir una cantidad de agua que escurre en distintos tipos de conductos (escurrimiento libre, en cauces naturales y canales o conducción forzada por tuberías).

La unidad de medida surge de relacionar un volumen de agua en que circula en determinado tiempo. Definiremos caudal como la razón volumen / tiempo, siendo equivalentes los términos “descarga” y “gasto”. La expresión del caudal para el sistema métrico decimal es m<sup>3</sup> / seg. y sus equivalencias. En términos generales, riego y drenaje tratan la aplicación del agua requerida por los cultivos y su eliminación cuando excede los rangos normales. Podemos conceptualizar que el agua realiza un recorrido: existe un flujo desde la fuente hasta su destino, resultando imprescindible el conocimiento de la magnitud de dicho flujo.

Sectores que integran el flujo

- a.- CAPTACION: derivación de la fuente (río, canal, reservorio, etc.)
- b.- CONDUCCION: canales, tuberías, acequias.
- c.- DISTRIBUCION: entrega volumétrica a nivel distrito, sección, toma.
- d.- APLICACIÓN: según sistemas y métodos de riego.
- e.- ELIMINACION: desagüe y drenaje.

Parámetro de medición	Relación utilizada	Elementos, estructuras y dispositivos.	
Volumen y tiempo	$Q = \text{Volumen} / \text{tiempo}$	Recipientes de área y/o volumen conocidos	
Velocidad y sección	$Q = \text{velocidad} * \text{sección}$	Determinación directa de la velocidad	Flotadores Velocímetros eléctricos mecánicos
Velocidad y sección	$Q = s\sqrt{2gh}$	Determinación indirecta de la velocidad	Orificios circulares rectangulares Vertederos Francis Cipolletti Thompson Conductos Parshall Resalto Sifones Regla "L" para uso en cañerías

**Clasificación de los métodos de aforo**

Partiendo de la definición de caudal  $Q = \text{Vol} / t$  (m<sup>3</sup>/seg.) y utilizando un recipiente de capacidad conocida, puede determinarse el caudal midiendo el tiempo en que es ocupado por un volumen de agua. Este método se considera de suma utilidad cuando es necesario calcular coeficientes de gastos de diversos aforadores. A campo, es posible medir caudales pequeños en surcos y melgas, de los cuales se deriva el agua hacia un recipiente. Si se utilizan sifones, estos se hacen verter dentro de un balde, caneca, etc. Habitualmente, el caudal erogado por el equipo de bombeo es medido utilizando como recipiente la pileta o cubeta donde descarga el caño de salida de la bomba. En riego por aspersión, para determinar la pluviometría efectiva, son colocados ordenadamente pequeños recipientes a modo de pluviómetros, en el área de mojado de cada aspersor.



Descripción y utilización de estructuras de aforo

**Orificio:**

Desde el punto de vista hidráulico, son perforaciones o aberturas practicadas en las paredes de un recipiente o en una plancha de metal u otro material, de forma geométrica conocida y perímetro cerrado. De acuerdo a su forma pueden ser circulares, rectangulares, cuadrados, etc. Las paredes del orificio pueden ser delgadas, cuando la abertura del mismo es mayor al doble del espesor de las paredes, o gruesas, cuando la abertura es menor a la tercera parte del espesor de las paredes.

Orificio de pared delgada:    abertura > 2 espesor

Orificio de pared gruesa:    abertura < espesor/3

Interesa el grosor de las paredes en que esta practicado el orificio, pues el chorro de la vena líquida puede tocar apenas la abertura en el perímetro del orificio (pared delgada), o puede adherir a la pared, (pared gruesa), determinando así distintas condiciones. Generalmente para aforar se utilizan paredes delgadas, ya sea por si mismas o por corte en bisel.

En cuanto a sus dimensiones, los orificios pueden ser de sección fija o variable (caso compuertas). Con respecto al tirante la descarga puede ocurrir en el aire, y en este caso se denomina orificio de funcionamiento libre, o puede ocurrir bajo el agua, entonces se denominará orificio de descarga sumergida. La ecuación básica de un líquido fluyendo por un orificio está dada por la expresión del Teorema de Torrichelli (velocidad), la sección y un coeficiente.

El caudal que pasa por el orificio en un tiempo, puede calcularse como el producto de  $S_c$ , (área real de la sección contraída) por  $V_r$ , (velocidad real media del fluido que pasa por esa sección) y por consiguiente se puede escribir la siguiente ecuación:

$$Q = S_c \cdot V_r = (S \cdot C_c) C_v \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

$$Q = cS\sqrt{2gh}$$

en donde

$c\sqrt{2gh}$ : representa la descarga ideal que habría ocurrido si no estuvieran presentes la fricción y la contracción.

$C_c$ : Coeficiente de contracción de la vena fluida a la salida del orificio. Su significado radica en el cambio brusco de sentido que deben realizar las partículas de la pared interior próximas al orificio. Es la relación entre el área contraída  $S_c$  y la del orificio  $S$ . Suele estar en torno a 0,65.

A la salida del líquido por un orificio se produce una contracción de su vena. Al cociente entre la superficie contraída de la vena líquida  $S_c$  y la superficie geométrica del orificio  $S$  se le conoce como coeficiente de contracción.



C: es el coeficiente por el cual el valor ideal de descarga es multiplicado para obtener el valor real, y se conoce como coeficiente de descarga. Numéricamente es igual al producto de los otros dos coeficientes.  $C = C_c C_v$

El coeficiente de descarga variará con la carga y el diámetro del orificio. Sus valores para el agua han sido determinados y tabulados por numerosos experimentadores. De forma orientativa se pueden tomar valores sobre 0,61. Así se puede apreciar la importancia del uso de estos coeficientes para obtener unos resultados de caudal aceptables.

Los errores más groseros, surgirán de la no observancia de condiciones de medición (relaciones de diseño de cada estructura, velocidad de llegada del agua, contracciones de la vena líquida, medición de la carga, etc.) Las correcciones que habría que tener en cuenta están dadas por la incidencia de la velocidad de la corriente y contracciones. En el caso de los orificios, la velocidad no es muy influyente, por lo tanto puede tomarse, en forma general, el valor del coeficiente de gasto de 0,61, con el cual el error cometido estará dentro de un rango aceptable, para los casos en que ocurra contracción completa. Entre las principales ventajas de los orificios, mencionemos: a. construcción sencilla, b. buena precisión (del 3 al 5 % de error funcionando libremente) y c. ocasionan pérdidas de carga no muy grandes, que permite su uso en canalizaciones de escasa pendiente.

La gran desventaja que presentan es la facilidad con la que son obstruidos por todo tipo de materiales en suspensión de arrastre por la corriente (hojas, ramitas, envases, etc.)

Un caso particular de orificio lo constituyen las compuertas, tan comúnmente utilizadas en la conducción y distribución del agua de riego. Se suprime una parte del perímetro por el fondo del canal o acequia donde está instalada la compuerta. Vemos el caso más frecuente: canales de sección trapecial o rectangular, que al abrir deja escurrir el agua a través de un orificio de sección variable.

También aquí cabrán dos situaciones de funcionamiento que debemos contemplar: condición libre o condición sumergida (ahogada). La primera, ocurre si el pelo de agua aguas abajo de la compuerta, no supera el borde superior del orificio formado.

Trabaja sumergida cuando el tirante aguas abajo supere dicho borde. Desde ya que puede ocurrir una situación intermedia, denominada condición semisumergida, pero su determinación es más dificultosa, por lo cual no se considera. Si una compuerta será permanentemente utilizada para aforar el escurrimiento de un curso, puede estandarizarse el método a fin de simplificar los cálculos. Primero se determinará el coeficiente de gasto para las condiciones dadas. Esto se logra relacionando el caudal medido con la compuerta, con los caudales hallados con los métodos más exactos, ya probados en la consideración del coeficiente correspondiente, o aquellos métodos volumétricos, de gran confiabilidad (medición de un volumen en un recipiente de área conocida). Una vez obtenidos varios caudales, por promedio se calcula el más representativo, el cual será considerado como el caudal real. El coeficiente de gasto surgirá de la siguiente relación:

$c = \text{coeficiente de gasto} = Q_r / Q_t = \text{Caudal medido (volumétrico)} / \text{Caudal calculado}$   
Luego se construirá una curva que relacione caudales calculados con tirantes ocurridos. De esta manera, si de la curva se puede elaborar una tabla de equivalencias, será muy fácil establecer datos de caudal para valores medidos de carga.

Compuerta libre

$$Q = c a b \sqrt{2gh}$$

Compuerta sumergida

$$Q = c a b \sqrt{2gh}$$

Siendo:

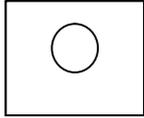
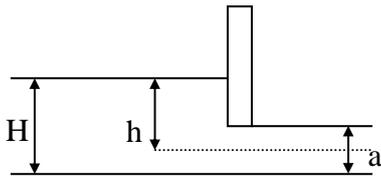
c : coeficiente de gasto

a: abertura u orificio

b: longitud de compuerta

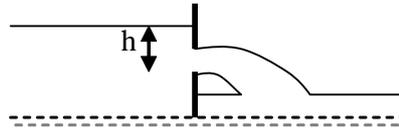
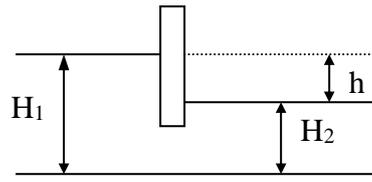
h: carga

$$h = H - \frac{1}{2} a$$

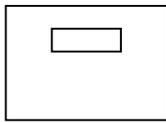


Orificio circular (frente)

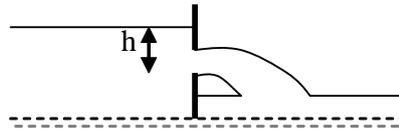
$$h = H_1 - H_2$$



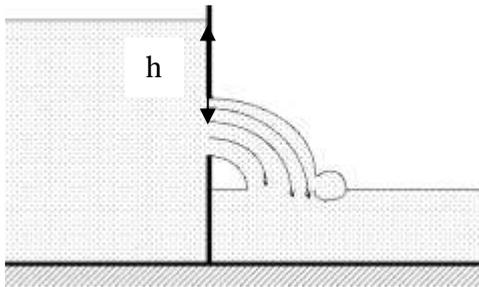
Orificio circular (corte longitudinal)



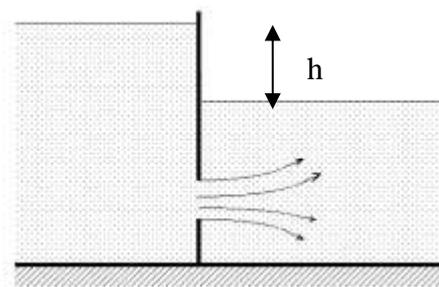
Orificio rectangular (frente)



Orificio rectangular (corte longitudinal)



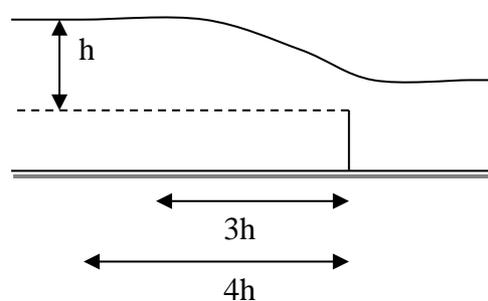
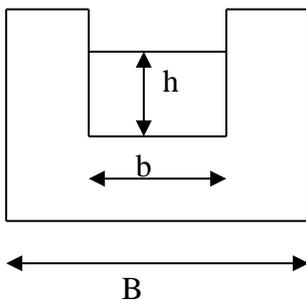
Descarga libre



Descarga sumergida

### Vertederos

Se denomina vertedero a aquellos dispositivos hidráulicos que presentan una escotadura o abertura, de perímetro abierto, a través de la cual escurre agua, fluye una vena líquida. Son una forma de orificio al cual le fue suprimido el borde superior. En las figuras siguientes se observan las partes constituyentes:



b= umbral

B= ancho del canal

Los vertederos pueden clasificarse según varios factores:

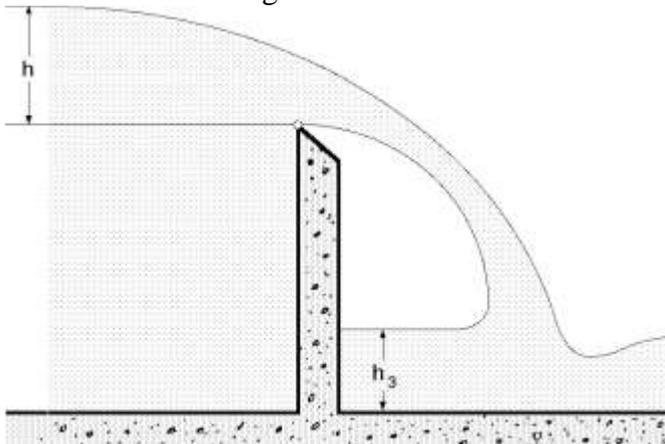
Por el aspensor de su pared, en vertederos de pared delgada y de pared gruesa según  $h > 2e$  o  $h < e/3$

Por la posición del nivel de descarga. Vertedero libre, cuando la carga aguas abajo no supera el umbral. Vertedero sumergido cuando la carga aguas abajo supera la cresta.

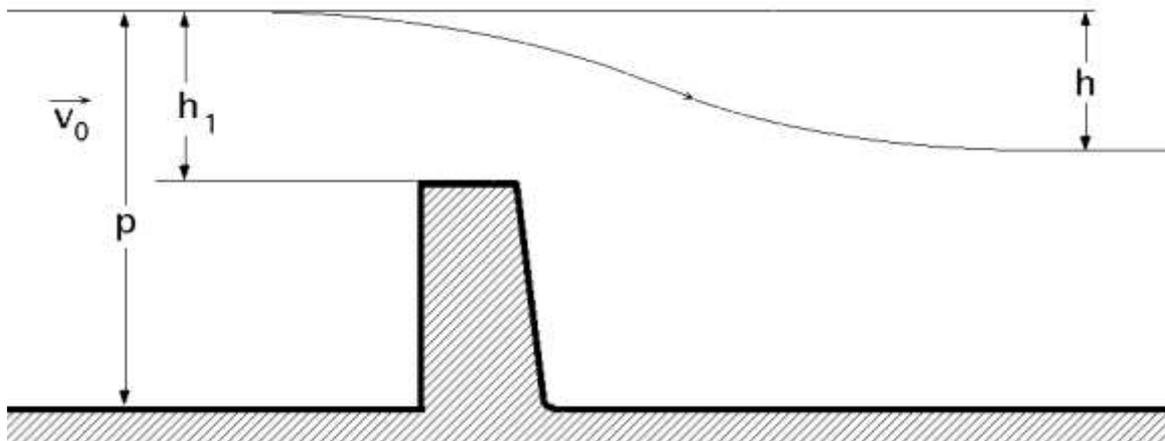
Por la forma de los bordes. Arista viva gruesa, delgada o redondeada. Los primeros son los utilizados para medición de pequeños caudales más comúnmente.

Por la forma de la lámina vertiente. Lámina aireada, cuando inmediatamente después del umbral, aguas abajo se forma una bolsa de aire, con incidencia de la presión atmosférica; en este caso la lámina no toca sino la arista viva de la cresta. Láminas sumergidas se presentan cuando el nivel de descarga aguas abajo supera la altura del umbral.

#### Vertedero de descarga libre



#### Vertedero de descarga sumergida



#### Vertedero perfecto

Es el que se verifican las siguientes condiciones:

Sección rectangular

Pared vertical

Caída libre

Pared normal a la corriente

Velocidad de llegada nula

Lamina aireada

Contracción lateral nula

Contracción de fondo completa  
Pared delgada  
Arista de la cresta viva

La condición de contracción total nula se verifica cuando la longitud del umbral es la misma que la del ancho del canal ( $B = b$ ).

Aplicación de los vertederos: estas estructuras son utilizadas para aforar corrientes de agua en cursos libres de pequeña sección y en canales de muy variable área mojada. También son apropiados para cumplir la función de aliviaderos de superficie, para la eliminación de excedentes, tanto en canales como en obras hidráulicas de envergadura (diques, presas, etc.). Otra función cumplida por los vertederos es la regulación de caudales en la distribución de aguas de regadío dentro y fuera de la propiedad.

Distintos tipos de vertederos: En la práctica, se utilizan vertederos de geometría variable, que trabajan en condiciones diferentes a las establecidas para el vertedero perfecto. Por lo tanto, las determinaciones de caudal son efectuadas por correcciones, a través de modificaciones en las formulas generales, en los coeficientes de gasto; por cálculos de aproximación (caso corrección de velocidad de llegada), o por el empleo de nuevos coeficientes.

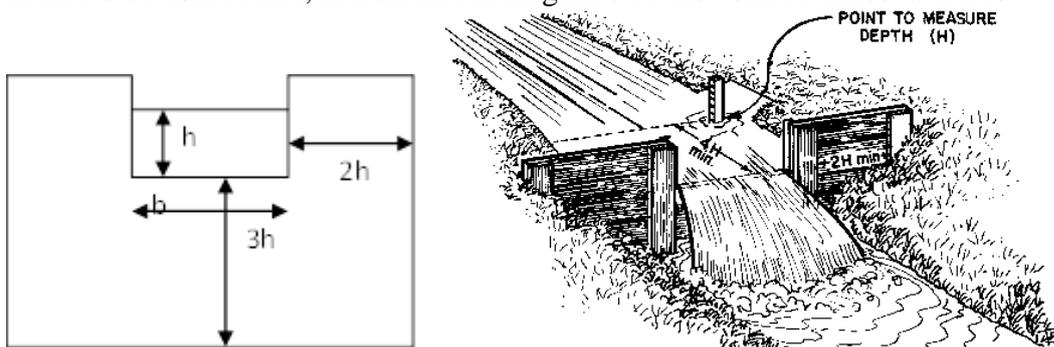
Para mediciones rigurosas, de gran precisión, se estudia el funcionamiento del sistema en particular, estableciendo las correcciones. Para uso agrícola, solo tendremos en cuenta la incidencia de las contracciones laterales, que en el caso del vertedor de Francis influyen considerablemente en el gasto. En general, basta con respetar las condiciones de medición y el dimensionamiento de los dispositivos.

Los alcances de la presente guía didáctica no consideran más que la familiarización del alumno con las estructuras de uso corriente, disponibles en plaza, fáciles de construir, y de sencillo manejo, que por otra parte, dada la aplicación en riego, son suficientes para la medición de caudales frecuentes en forma precisa y con gran adaptabilidad.

Los dispositivos hidráulicos definidos como vertederos más comunes, de amplio uso en la mayoría de las regiones de riego, son los que presentan secciones rectangulares, triangulares y trapeciales, tomando el nombre de los investigadores que lo idearon y/o experimentaron.

### Vertedero rectangular o de Francis

Es el más antiguo y popular de los vertederos. Francis fue quien estudio y ensayo su funcionamiento con más profundidad. Observo que en las caras del vertedero, los filetes cambian de dirección, mientras que en la parte central no se desvían. De las observaciones, perfecciono la fórmula para escotaduras rectangulares, determinando una relación entre el ancho de la contracción medida sobre el umbral, y la carga, ya que un aumento de esta última, incrementa la magnitud de las contracciones laterales.



En la figura se observan las relaciones dimensionales (dadas en función de la carga) que deben respetarse.

Para vertedero rectangular sin contracciones ( $n=0$ ), nos queda:  $Q = 1,84 * b * h^{\frac{3}{2}}$  que es la fórmula de vertedero rectangular sin contracción lateral ( $n=0$ ).

Como existen contracciones laterales,  $b = b_0 + n b_1$  (siendo  $b$  el umbral real,  $b_0$  el teórico,  $b_1$  la distancia perdida por la contracción del filete y  $n$  el número de contracciones

Resumen de fórmulas de aplicación:

Formula general de Francis  $Q = 1,84 * (b - 0,1n * h) * h^{\frac{3}{2}}$   
Teniendo en cuenta que  $b$  y  $h$  se expresan en metros y el caudal en  $m^3/s$

Ejemplificación:

Calcular el caudal que escurre a través de un vertedero tipo Francis con presencia de dos contracciones laterales, de 1,30 m de umbral y  $h = 0,5$  m

$$Q = 1,84 * (1,3 - 0,2 * 0,5) * 0,5^{\frac{3}{2}} = 0,77 m^3 / s$$

Calcular el caudal que escurre a través de un vertedero rectangular en el que no se verifican contracciones laterales.

Datos:

$$b = 0,60 \text{ m}$$

$$h = 0,10 \text{ m}$$

$$n = 0$$

$$Q = 1,84 * 0,6 * 0,10^{\frac{3}{2}} = 0,034 m^3 / s$$

Vertedero triangular o de Thompson

Se trata de un vertedero de uso generalizado por las ventajas que presenta la escotadura de  $90^\circ$ :

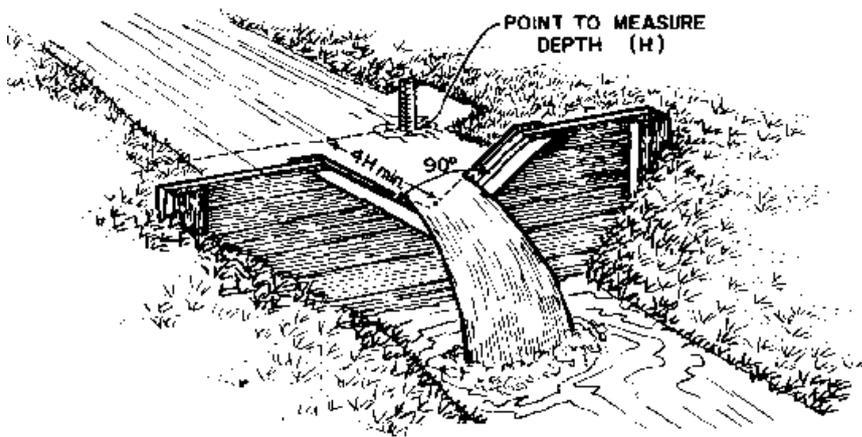
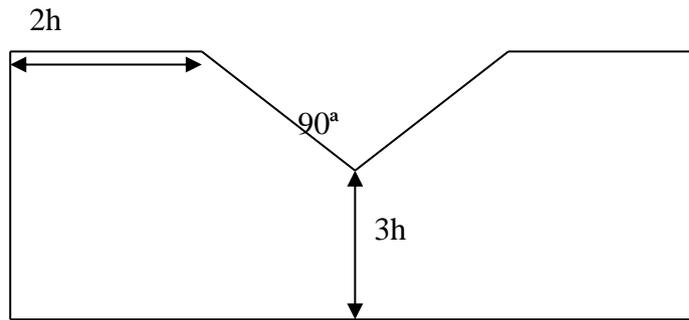
Gran facilidad de determinación de caudales, al considerar una única lectura de carga como dato para entrar en la formula.

Muy versátil, ya que permite realizar aforos de un rango muy amplio de caudales  $0,1$  a  $200 \text{ l s}^{-1}$ , pero está especialmente indicado para la medición de pequeños caudales. (aún más el vertedero de  $60^\circ$  de escotadura)

Construcción accesible sin problemas de diseño.

La velocidad de llegada no tiene gran influencia.

Los detalles constructivos y mínimos relacionados a tener en cuenta se observan en la siguiente figura:



También es prudente considerar sus desventajas:

Errores de medición de carga, ocasionan un gran error en la determinación del caudal, ya que h está considerado en formula con potencia 2,5.

Por su pequeña sección, una elevación aguas arriba, condiciona aumentos del tirante pudiendo superar la capacidad de conducción del canal, acequia o surco, desbordándolos.

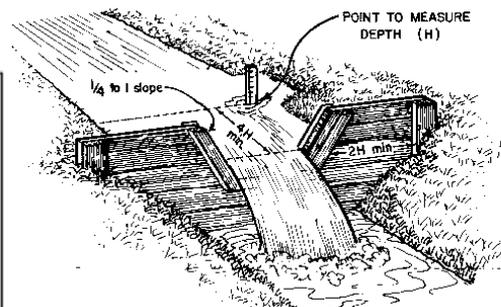
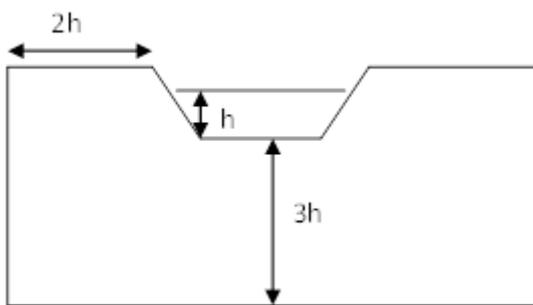
$$\text{Formula general: } Q = 1,4 * h^{\frac{5}{2}}$$

Ejemplificación:

Calcular el caudal que pasa por un vertedero Thompson de 90° si h = 0,05 m

$$Q = 1,4 * 0,05^{\frac{5}{2}} = 0,78l / s$$

Vertedero trapecial del Ing. Cipolletti



La sección por donde escurre el agua surge de la suma de dos secciones de geometría ya tratada: una rectangular y dos triangulares.

El caudal total sera :  $Q_t = Q_{\text{rect.}} + 2 Q_{\text{triang.}}$

Vimos que el caso del vertedero rectangular había que considerar las contracciones laterales, pues disminuyan la sección total. El Ing. Cipolletti determino la inclinación de las caras de una escotadura trapecial, convirtiendo un vertedero rectangular en trapezoidal, calculando el ángulo que compensa las contracciones. De esta manera ideó un dispositivo aforador donde el gasto es función directa de las dimensiones del umbral, para una misma carga, eliminando así la consideración de las contracciones laterales.

Formula general  $Q = 1,86 * b * h^{\frac{3}{2}}$

La fórmula de Cipolletti es muy similar a la de Francis (sin contracción), siendo el coeficiente el factor que varía, y considerablemente poco.

Ejemplificación:

Calcular el caudal que eroga un vertedero Cipolletti de 1,85 m de cresta, cuando la carga es de 0,62 m.

$$Q = 1,86 * 1,85 * 0,62^{\frac{3}{2}} = 1,679 m^3 / s$$

Calcular el caudal que escurre a través de un vertedero Cipolletti de 0,50 m de umbral y 0,12 m de carga.

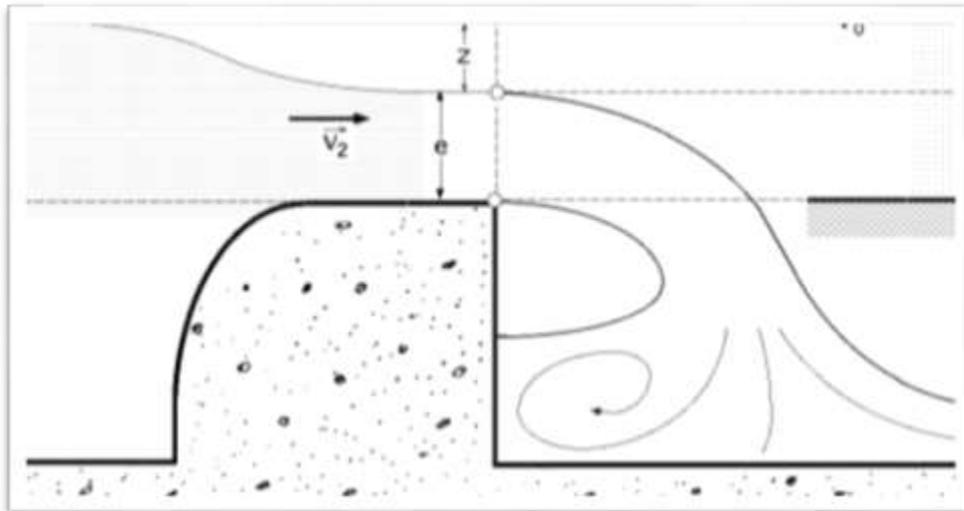
$$Q = 1,86 * 0,5 * 0,12^{\frac{3}{2}} = 38,6 l / s$$

#### Vertederos de pared gruesa

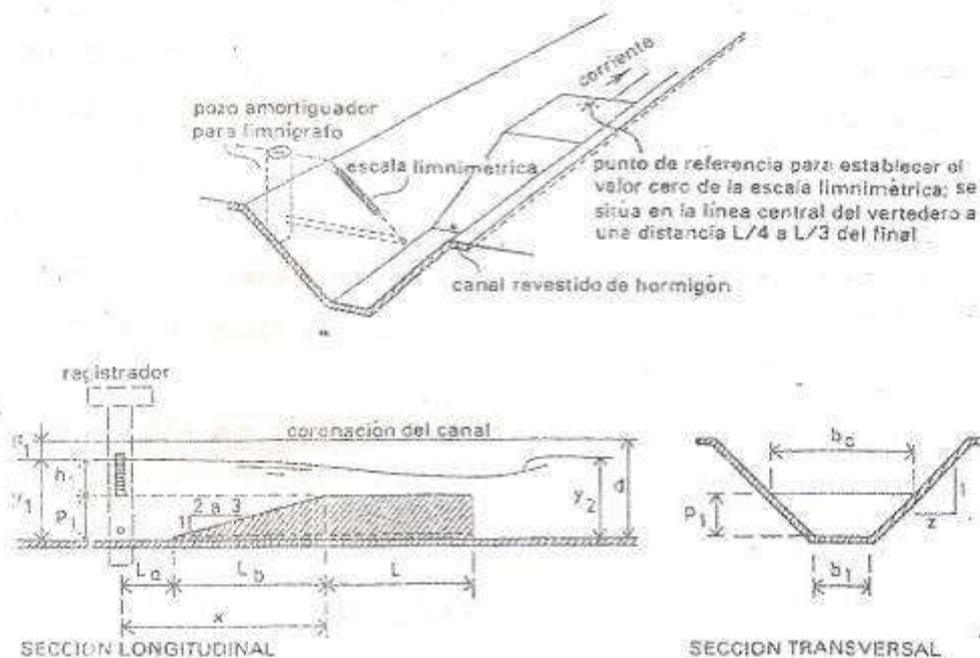
El aforo de caudales es problemático por la necesidad de remodelar canales para el uso de aforadores, como por ejemplo el Parshall, y por la necesidad de disponer de saltos relativamente altos, para el uso de vertederos de pared delgada; con la consiguiente pérdida de carga. Es por ello que surge la necesidad de uso de los aforadores denominados vertederos de pared gruesa, que minimizan los problemas anteriores.

La construcción de este tipo de aforadores es sencilla. Se pueden determinar con una aproximación al +/- 10%, lo que provocara un error máximo del +/- 1%.

En tamaños normales, el costo de construcción es de 10 o 20 % menos que el de aforadores más antiguos (Parshall y de Garganta); y en vertederos muy grandes, la diferencia puede alcanzar el 50%.



Vertedero de pared gruesa



La gran ventaja que tiene este aforador, es que para funcionar adecuadamente necesita una pequeña caída de agua a través de la instalación, es decir una pequeña carga. Las pérdidas de carga típicas en pequeños canales son del orden de los 5 cm. Esta cifra es la mitad, o la cuarta parte de la requerida por los aforadores de garganta. Es por eso que los aforadores de resalto pueden adaptarse a casi todas las redes, sin reconstruir los canales.

Ventajas y desventajas de los vertederos:

Ventajas

Facilidad de medición de caudales variables.

No se obstruyen con cuerpos flotantes, arrastrados por la corriente, tales como hojas, ramas, etc.

Construcción simple (respetando dimensionalmente según carga)

Precisión adaptable.

Otros usos: regulación, en la distribución de caudales, o su eliminación en casos de excesos.

#### Desventajas

Ocasionan saltos de agua que significan una pérdida de carga muy considerable. Por ello, no son aconsejados en zonas de pendientes débiles, ya que se dificulta la conducción de agua.

Modificaciones en la velocidad de llegada o en la sección aguas arriba y/o abajo, alteran las condiciones de funcionamiento. Por ejemplo: la deposición de sedimentos junto a la pared vertedora, disminuye la sección y provoca disturbios en la trayectoria de los filetes.

Funcionando en descarga libre cometen un error del 3 al 5 %. En cambio descargando en forma sumergida, el error se eleva del 5 al 15 %.

#### Mantenimiento de los vertederos instalados:

Nivelar periódicamente la cresta.

Verificar la verticalidad de la pared.

Controlar que no existan filtraciones en todo el perímetro mojado.

Desalojar la acumulación de sedimentos de fondo (arenas, limos, etc.) y materiales suspendidos que obstruyen eventualmente la boca.

Chequear la posición de la escala de medición y nivelar el conjunto con el umbral.

Dada la variabilidad de los materiales en que se construyen aforadores, en cada caso se tomaran las medidas necesarias para preservar su integridad.

### **Conducto aforador de Parshall**

Es un dispositivo aforador que basa su funcionamiento en el principio de Venturi. Se construye de materiales diversos, según sea portátil o fijo. Los primeros son de madera o metal (aluminio, hierro galvanizado, etc.). Las estructuras fijas se construyen de cemento armado, bloques, ladrillos revocados, hormigón, etc.

Reviste gran aceptación por sus características de diseño, que le hacen preciso, versátil, de fácil medición y, fundamentalmente, provoca un pequeño salto hidráulico que origina una pérdida de altura de aguas abajo cuatro veces inferior a la ocasionada por vertederos.

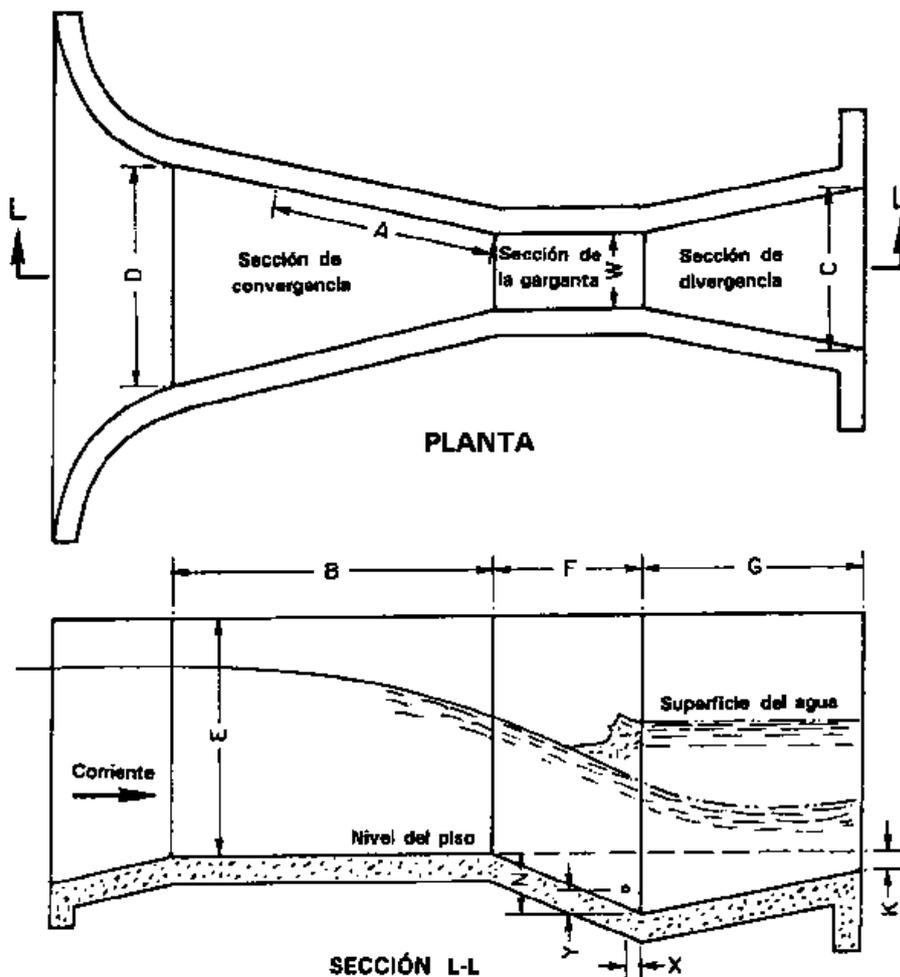
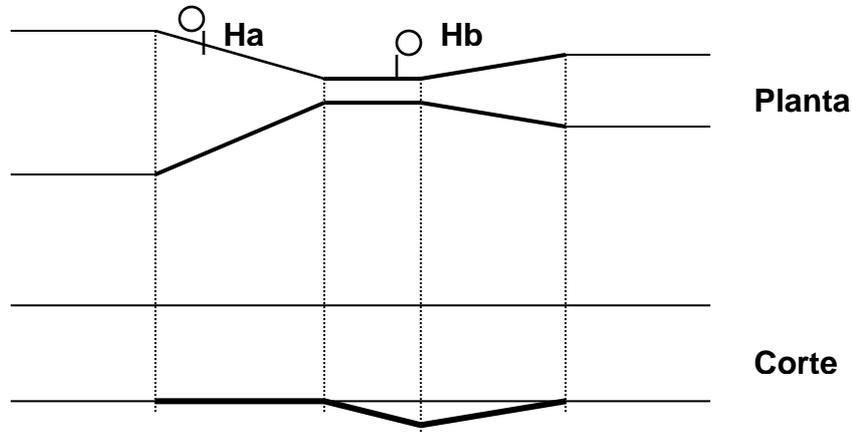
Es nuestro propósito considerar sus ventajas las cuales son causa de su difusión generalizada:

- 1.- No determina pérdidas de carga de magnitud. En áreas de escasas pendientes y en las propiedades, generalmente sistematizadas para riego con desniveles perfectamente establecidos, su uso es muy indicado y frecuente. La pérdida de carga puede calcularse a priori.
- 2.- Es muy exacto en condiciones de funcionamiento variable permite lecturas que arrojan medición de caudales con un 3 % de error cuando trabajan libres, y del 5 % cuando lo hacen sumergidos.
- 3.- Se adapta a mediciones de un elevado rango de caudales, incluso pequeños, que otros dispositivos no logran determinar con precisión.
- 4.- No acumula sedimentos ni elementos de arrastre groseros, que embancan u obstruyen otras estructuras, debido a la velocidad de pasaje de agua que su diseño y funcionamiento determinan.
- 5.- La influencia a la velocidad de llegada es despreciable.

6.- Se logra una independencia de la medición con relación a la situación del tirante aguas abajo.

7.- Con descarga libre, una única lectura de la carga aguas arriba indica el caudal, rápidamente obtenible mediante el uso de tablas o curvas. Incluso puede graduarse una escala de medición convertida en caudales.

Esquema de las características constructivas:



Descripción de la estructura:

Consta fundamentalmente de tres partes: dos conductos, uno de entrada y otro de salida, y una garganta.

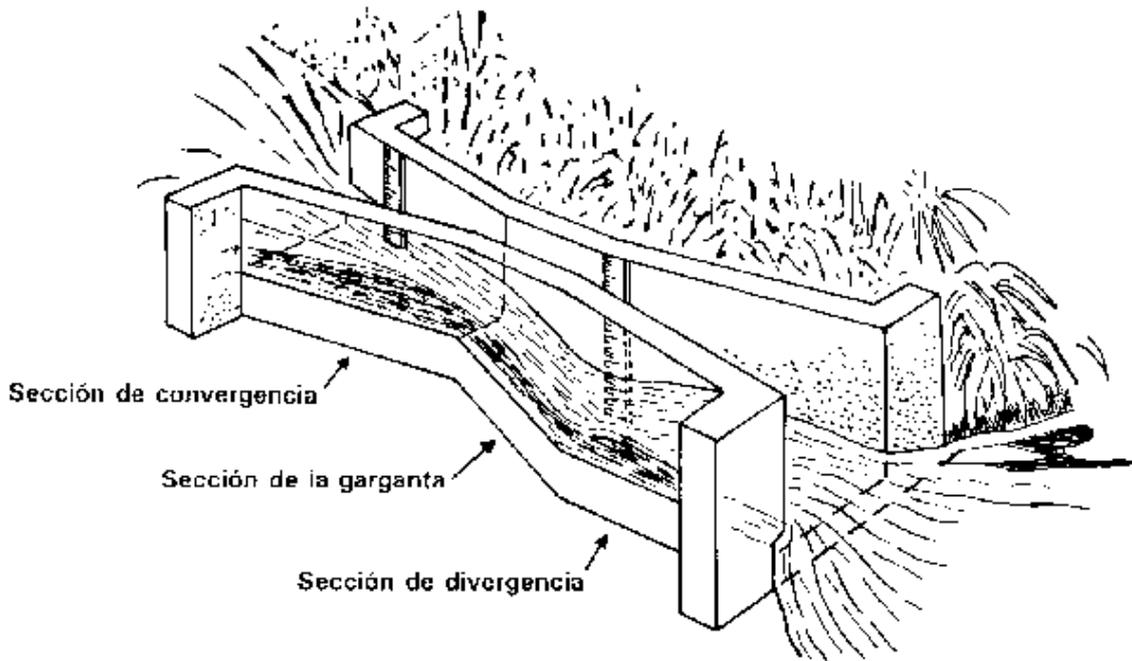
El conducto de entrada está definido por dos paredes convergentes y un piso o solera horizontal, que finaliza en la cresta. Esta, es una línea entre las paredes convergentes

que divide o delimita las secciones de convergencia con la garganta, y que es además la línea de apoyo o de referencia de las mediciones de carga.

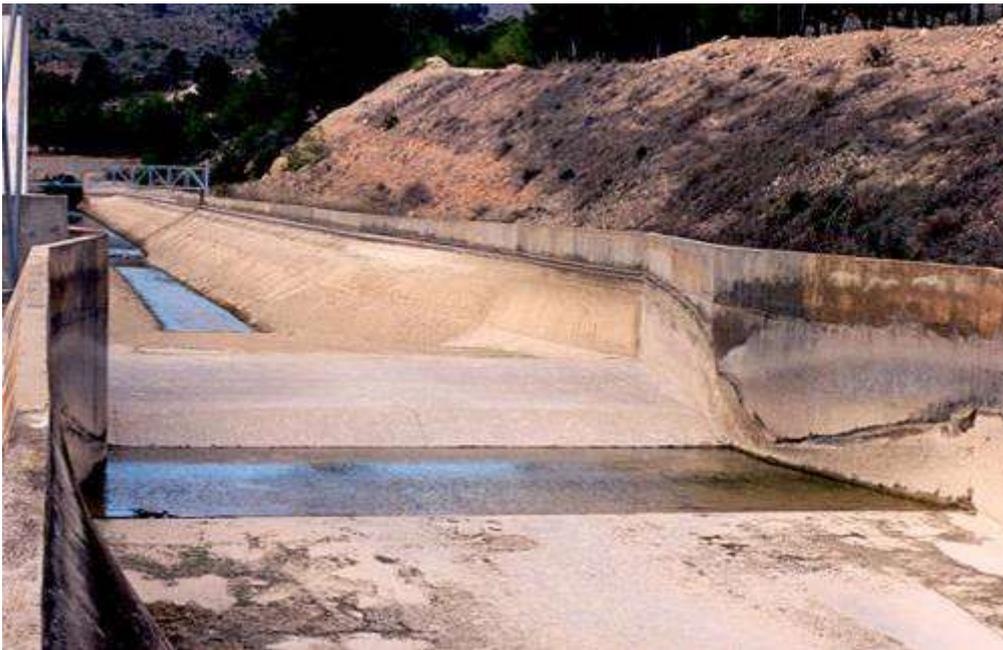
La garganta está formada por dos paredes paralelas y el piso. El ancho de la garganta, que es la de la cresta, categoriza el dispositivo, siendo además el parámetro de referencia para las demás relaciones dimensionales del aparato.

El conducto de salida de agua, de sección divergente, lo integran dos paredes dispuestas de esa manera, y un piso con pendiente ascendente.

En dos puntos perfectamente establecidos se practican las mediciones de carga, que en adelante denominaremos  $H_a$  al tirante aguas arriba y  $H_b$  al correspondiente a aguas abajo.  $H_a$  es medido a una distancia de  $2/3$  la longitud de la pared convergente, desde la cresta.  $H_b$  se mide en la sección estrechada.



Parshall funcionando



Aforador Parshall en un canal

Las mediciones se realizan directamente con escalas, reglillas, etc. Adosadas o colocadas en las paredes, sin que interfieran en la circulación del flujo, o más convenientemente, en pequeñas cubetas de aquietamiento relacionadas por vasos comunicantes, o tubos piezométricos (medidores de carga hidráulica)

Funcionamiento: al entrar agua circulando sobre el fondo entre las paredes convergentes adquiere mayor velocidad pues disminuye la sección. Dicha velocidad continua incrementándose pues el fondo del aparato desciende, a continuación de la cresta, en la garganta. Al salir de esta, comienza a perder velocidad por dos motivos opuestos a la situación de ingreso, como son, fondo ascendiente y paredes en divergencia. Como la velocidad aguas abajo es menor, se provoca un salto hidráulico o resalto, cerca del extremo inferior de la garganta. La localización del resalto varía con el caudal, por lo tanto variará la lectura de carga  $H_b$ .

La relación entre  $H_b/H_a$  define la condición de funcionamiento del aforador, y se denomina grado de sumergencia o de sumersión.

$$S = H_b / H_a$$

La condición de descarga es función del ancho de la garganta, de acuerdo a los siguientes valores:

Si  $S$  es igual o mayor a 0,95, la descarga será de determinación incierta, por lo tanto debe evitarse, sustituyendo el Parshall por otro de mayor cresta.

Se verifica que el caudal que escurre por el dispositivo está dado por las siguientes ecuaciones absolutamente empíricas.

Formula genérica para descarga libre:  $Q = m * Ha^n$

Formula genérica para descarga sumergida:  $Q = m * Ha^n - k$

Dónde:

$N$  y  $m$ : coeficiente empírico dependiente del ancho de la garganta. En bibliografía se podrán hallar los valores de los coeficientes  $m$  y  $n$ .

$H_a$ : carga aguas arriba de la cresta

$K$ : factor sustractivo de corrección, para efectuar cuando se opera en condiciones normales de sumersión.

Selección del tamaño del medidor: el ancho de la garganta más conveniente esta dado fundamentalmente por:

- a.- ancho del canal
- b.- carga existente y sus posibles variaciones
- c.- pérdidas de carga admisibles.

Como dato orientativo, puede partirse para escoger el ancho de garganta en que frecuentemente este está comprendido entre  $1/3$  y  $1/2$  del canal (ancho) en el que va a ser instalado. Sin embargo, no se cumple la relación cuando el tirante es muy bajo, o cuando el canal es muy estrecho y/o profundo.

Conviene considerar un tamaño lógico de acuerdo a tirantes y caudales, y verificar según formulas y nomogramas las descargas para el elegido y otras longitudes de crestas cercanos.

Se tomara a modo de margen de error u holgura, sumergencias del 10 % menor a los límites admisibles para los rangos de anchuras de garganta.

Habrá que tener en cuenta que gargantas menores determinan mayores pérdidas de carga, aun considerando las sumergencias máximas.

Una tabla orientativa de los límites de utilización para medidores con descarga libre, que es la condición a la que hay que tender, ya que una única lectura permite calcular gastos, con menor error, se presenta a continuación:

W en cm	Q (l/s)max
7,6	53
15,2	110
22,9	251
30,5	455
45,7	696
62	936
91,5	1426



Construcción de Parshall

Ubicación del medidor: deben evitarse regímenes turbulentos en la corriente a forar, a la entrada del medidor para ello se colocan en tramos rectos del canal, alejados de obras de arte.

Perdidas de carga: una de las mayores ventajas consignadas para este tipo de aforador es que el tirante agua abajo del mismo es significativamente similar al de llegada, actualmente la mayoría de las explotaciones bajo riego nivelan “a cero” sus paños.

Perder cota de dominio significaría impedimentos en la conducción de agua.

Dichas pérdidas pueden calcularse, ya que son función de datos, tales como el ancho de garganta ( $w$ ), caudal ( $q$ ) y grado de sumergencia ( $s$ ).

El cálculo se puede realizar por fórmula genérica, por tablas de carga vs. Caudal y gráfica.

Condiciones que puede rendir un dispositivo aforador:

Construcción sencilla en material de escaso deterioro

Facilidad de manejo (instalación y medición)

Exactitud en las determinaciones de caudal

Funcionamiento correcto de gastos con variables y pequeñas cargas

No determinan pérdidas de carga

No se obstruyen

## Sifones

Se denominan sifones en la terminología de irrigación, a pequeños tubos acotados, utilizados en la conducción final del agua que ingresa a las unidades de riego (surcos, amelgas, etc.). También son usados en trasvasamiento de diversa índole.

Prestan un gran servicio en la distribución de caudales en riegos gravitacionales, ya que eliminan las doble acequias de cabecera o “sobre acequias”, permitiendo directamente

conducir agua desde la acequia regadora a los lugares de aplicación, sin romper bordes, pues el sifón se coloca sobre estos, tal como se observa en las siguientes imágenes:



Sifones de distinto diámetro

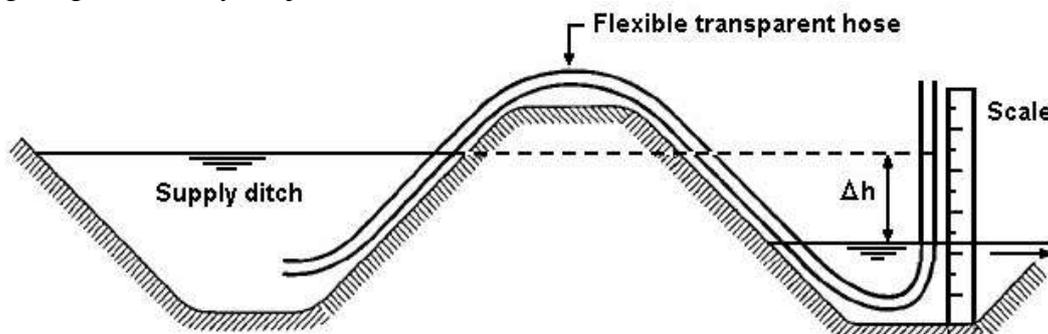


Puesta en marcha de sifones en riego por surco



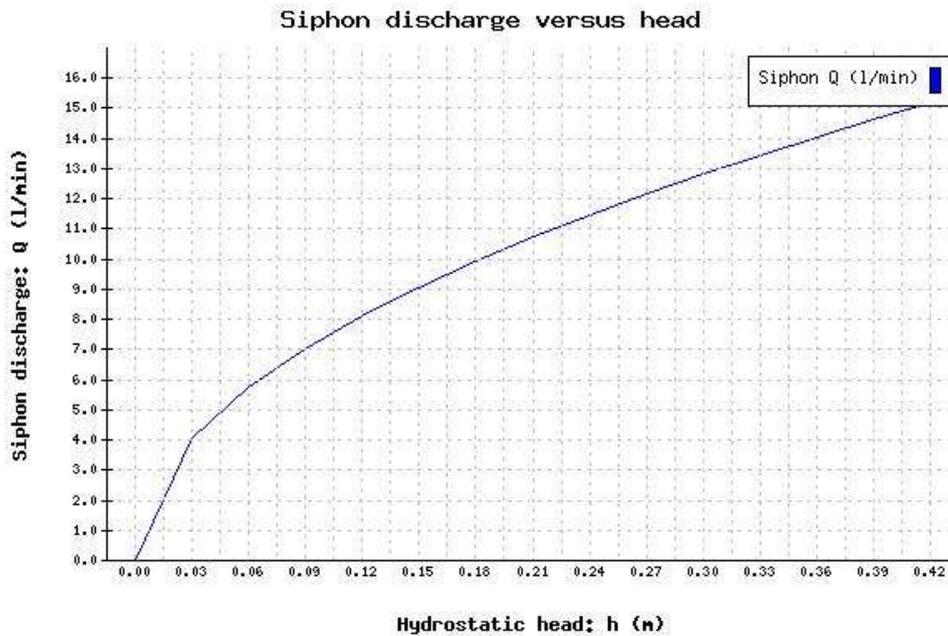
Sifones operando

El comportamiento hidráulico de los sifones es el correspondiente a orificios circulares. El caudal que erogan es función de su sección y de la velocidad de circulación. Funcionan básicamente en dos condiciones: descarga libre y descarga sumergida. Para el cálculo de la sumergida, la carga que permite calcular la velocidad es la diferencia de cargas aguas arriba y abajo del sifón.



Cuando el funcionamiento es con descarga libre, como en todo orificio, la carga será la altura de agua desde la superficie líquida hasta la mitad de la abertura, en este caso el centro del círculo de salida del sifón.

Debido a las connotaciones de la aplicación de sifones, dirigido al uso directo por parte de regante, no se considera útil la presentación de fórmulas sino el manejo de gráficos sencillos, mediante los cuales se obtiene el caudal a partir del dato de carga, para distintos diámetros y materiales de sifones.



### Caudal descargado por sifones

Los sifones disponibles en plaza son de diámetro estándar, que van de ½” a 2”. Por otra parte, los diámetros comerciales son suficientes para los fines que presentan los sifones. Cuando se desea aplicar cantidades de agua de acuerdo a un diseño de riego resultante de un proyecto de riego adecuado, maximizando las eficiencias de operación, la utilización de sifones es imprescindible para derivar caudales exactos a las unidades de riego, por lo tanto, constantemente se estarán determinando los caudales necesarios, que además se regulan variando la altura de descarga de los sifones. Para caudales muy variables, será preciso escoger sifones de diámetros adecuados.

Métodos para determinar la velocidad y el caudal de un chorro de agua a la salida de una cañería

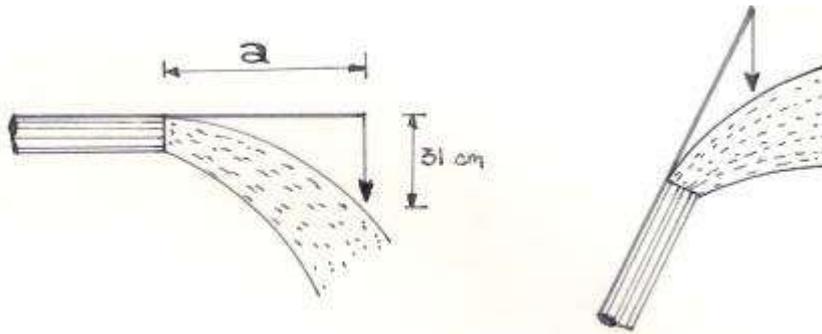
### Caño horizontal o inclinado fluyendo lleno.

En forma aproximada, puede medirse el caudal que eroga por ejemplo una bomba cuyo caño de descarga vierte agua al exterior, mediante la medición de dos coordenadas, utilizando una vara o regla graduada en milímetros, de cuyo pende una plomada de 31 cm de longitud. La vara de algo menos de un metro de largo se hace coincidir con el caño (ver figura) deslizando hacia delante o hacia atrás hasta que la punta de la plomada toque el punto proximal imaginario del perímetro del chorro de agua.

Se mide la distancia “a” que va desde la boca del caño hasta donde se une la plomada en centímetros.

En la tabla que figura a continuación se encuentran valores de una constante k para cada diámetro de cañería. El caudal está dado por la siguiente fórmula, en litros por minuto:

$$Q(l/min)=a(cm)*k$$



Ejemplificación:

a) calcular el caudal que descarga un caño de 8" de diámetro, en posición horizontal y flujo lleno, siendo la medida a = 30 cm.

$$K = 77,94$$

$$Q = 77,94 \times 30 = 2.338 \text{ l/min} = 38,97 \text{ l/s} = 0,03897 \text{ m}^3/\text{s} = 140,28 \text{ m}^3/\text{h} = 140.280 \text{ l/hora}$$

Caño horizontal o inclinado fluyendo lleno

Diámetro int	K	Diámetro int	K	Diámetro int	K
2"	4.92	6"	45.81	10"	121.78
2 ¼"	6.11	6 ¼"	47.54	10 ¼"	128.00
2 ½"	7.60	6 ½"	51.41	10 ½"	134.26
2 ¾"	9.24	6 ¾"	55.43	10 ¾"	140.67
3"	10.88	7"	59.61	11"	147.38
3 ¼"	12.82	7 ¼"	63.93	11 ¼"	153.49
3 ½"	14.90	7 ½"	68.40	11 ½"	160.94
3 ¾"	17.14	7 ¾"	73.02	11 ¾"	168.39
4"	19.52	8"	77.94	12"	175.84
4 ¼"	21.91	8 ¼"	82.85	12 ½"	190.74
4 ½"	24.59	8 ½"	87.92	13"	205.64
4 ¾"	27.42	8 ¾"	93.13	13 ½"	222.03
5"	30.40	9"	98.65	14"	238.43
5 ¼"	33.53	9 ¼"	104.16	14 ½"	256.31
5 ½"	36.81	9 ½"	109.82	15"	274.19
5 ¾"	30.23	9 ¾"	115.79	16"	311.44

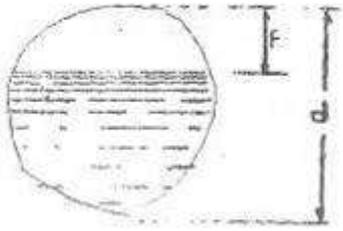
Cuando el caño está inclinado, se efectuara la misma medición, siempre que la inclinación sea hacia arriba.

**Caño horizontal o inclinado, cuando el agua no ocupa toda la superficie útil del mismo. (flujo no lleno)**

Será necesario considerar el área libre del caño, por la cual no escurre agua. Se mide en cm la distancia "f" desde el pelo de agua o superficie libre hasta el borde interior del caño, y luego se relaciona el valor hallado con el diámetro del caño.

$$\% \text{ área libre} = f / d$$

Este valor corresponde a un factor de corrección, consignado la siguiente tabla.



### Caño horizontal o inclinado fluyendo no lleno

%	Factor de corrección	%	Factor de corrección
5	0.98	55	0.136
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	0.688	85	0.095
40	0.627	90	0.052
45	0.564	95	0.019
50	0.500	100	0.000

Luego se determina el caudal como si se tratase de flujo lleno, es decir se mide la distancia "a" y se multiplica por el coeficiente hallado en la tabla 1, al valor hallado se lo afecta por el valor de corrección que figura en la tabla 2.

#### Ejemplo:

Calcular el caudal que vierte un caño inclinado, de 8" de Ø, en el cual el flujo de salida no ocupa toda la superficie. Efectuada la medición con la vara y plomada de 31 cm., esta es de 30 cm. La medición del sector libre del caño,  $f = 6,1$  cm.

Diámetro = 8" = 20,32 cm.

Datos:  $a = 30$  cm.

$F = 6,1$  cm.

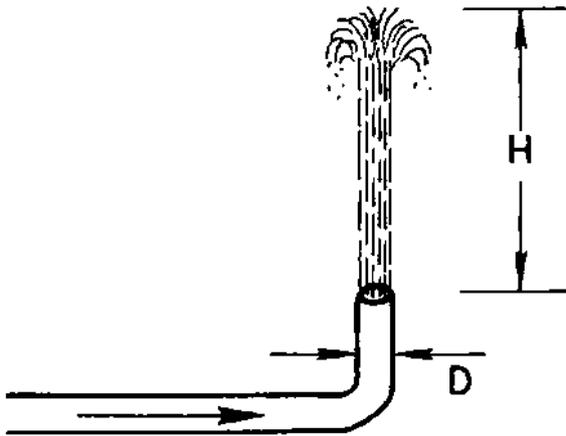
Al 30 % de superficie libre le corresponde un factor de corrección, según la tabla 2 de 0,747.

El caudal para caño lleno es de 140.292 l/seg.

El caudal para caño con 30 % de área libre es de  $140.292 \times 0,747$

Q caño no lleno = 104.798 l/seg.

## Caño vertical



Para situaciones como se ilustra en la figura, es posible determinar el caudal que eroga una cañería con salida de agua vertical en forma muy aproximada midiendo ( $h$ ) que es la altura máxima a que asciende el agua (en cm) y el diámetro interior ( $\emptyset$ ) del caño (en Pulgadas). Los valores de caudal, expresados en litros por minuto, se encontraran en la siguiente tabla.

h	Diámetro del caño 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	315	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	5990
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	9240
50	378	829	1448	2278	3340	4600	6175	9760
60	415	913	1590	2497	3665	5050	6760	10660
70	449	989	1722	2700	3963	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

Ejemplo:

a) Calcular el caudal que vierte un caño de 8" si la carga es de 10 cm.

$$Q = 2.550 \text{ l/seg.} = 153.000 \text{ l/hora}$$

En el caso de no hallarse en la tabla 3 los datos del diámetro y/o la altura, se resolverá utilizándose la fórmula siguiente:

$$Q(\text{l / min}) = 13,49 * C * \text{diam.int} * \sqrt{H}$$

C = coeficiente que varía según condiciones de cañería, entre 0,87 y 0,97.

Diam. Int. = diámetro interior en pulgadas

H = altura del chorro en centímetros.

Resolviendo el caso anterior con los datos siguientes:

$$\emptyset = 8'', h = 10 \text{ cm.}, C = 0,93$$

$$Q = 13,49 \times 0,93 \times (8'')^2 \times h^{1/2}$$
$$= 2.539 \text{ l/min.} = 152.340 \text{ l/hora.}$$

Otra fórmula, indicativa, es la siguiente:

$$Q = 125 \times \emptyset^2 \times h^{1/2}$$

$\emptyset$  = diámetro interior en centímetros

H = altura máxima del chorro en centímetros

Q = caudal en centímetros por hora

Comprobando con los datos anteriores:

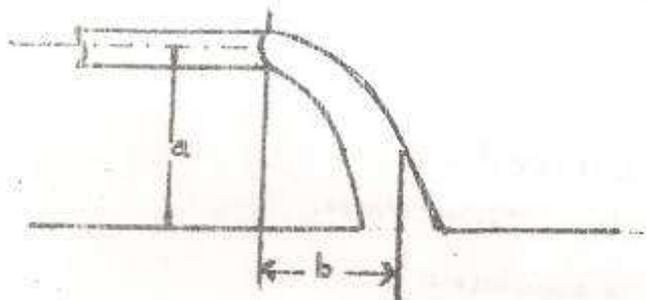
$$Q = 125 \times (20)^2 \times 10^{1/2}$$

$$Q = 158.000 \text{ l/ hora.}$$

Hay que tener en cuenta que los métodos planteados son solo orientativos, pero de indudable utilidad para estimar rápidamente caudales a la salida de una cañería, que constituye una situación muy común en toda explotación agropecuaria.

### Método de las coordenadas para determinar caudal a la salida de un caño horizontal, fluyendo total o parcialmente lleno.

En realidad, es el mismo método que el desarrollado, incluso aquel es una variante de este. En la figura se observan las distancias a medir:



La medida "a" surge de la distancia comprendida entre el centro del caño lleno, o el centro de gravedad del área hidráulica si no fluye lleno; y el piso o la superficie del agua embalada, por ejemplo en una cubeta amortiguadora o pileta a la salida de tubería de descarga de una bomba.

La medida "b" ("y" en otros métodos), se realiza desde la salida del chorro (boca del caño) hasta el centro del lugar en que cae el agua.

Un tercer dato será el diámetro de la cañería.

La fórmula empleada proviene de la definición de caudal, donde:

$$Q = \text{área} \times \text{velocidad.}$$

La distancia “b” constituye un espacio, siendo

$$b = \text{velocidad} \times \text{tiempo} = v \cdot t \text{ por lo tanto } t = b/v \quad (1)$$

La distancia “a” es otro espacio, que al ser caída libre de un cuerpo será:

$$a = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \quad (2)$$

Reemplazando (1) en (2) queda:

$$a = \frac{1}{2} \cdot g \cdot \frac{b^2}{v^2}$$

y despejando la velocidad:

$$v^2 = \frac{1}{2} \cdot g \cdot \frac{b^2}{a}$$

Formula que verifica que la trayectoria del chorro es una parábola

Despejando, quedan

$$v = \left( \frac{4,9 \cdot b^2}{a} \right)^{1/2} \quad \text{o su igual } v = 2,21 \cdot b/a^{1/2}$$

Para hallar el caudal, habrá que determinar la superficie del caño, para multiplicarlo por la velocidad calculada mediante las coordenadas.

Ejemplificación:

determinar el caudal que eroga un caño de 8” de diámetro, que fluye lleno. Fueron medidas las distancias  $a = 1 \text{ m}$  ;  $b = 0,5 \text{ m}$

$$\text{Área: } \frac{3,14 \times (0,203\text{m})^2}{4} = 0,0323 \text{ m}^2$$

$$\text{Velocidad: } \frac{4,9 \times (0,5 \text{ m})^2}{1 \text{ m}} \cdot \frac{1}{2} = 1,106 \text{ m/seg.}$$

$$\text{Caudal: } 35 \text{ l/seg.}$$

Cuando el caño no fluye lleno, puede establecerse la correlación evaluando el área llena, en décimas, con el auxilio de la tabla de áreas. Luego se operara como si fuera caño lleno.

Ejemplificación:

Calcular el caudal emergente de un caño horizontal de 10”, siendo la medida de “a” = 0,8 m; b= 0,6 m. el área de fluido es de 8/10 de la total.

$$Q = \sqrt{\frac{4,9 \times (0,6 \text{ m})^2}{0,8 \text{ m}} \times \frac{8}{10}} \times \frac{3,14 \times (0,254 \text{ m})^2}{4} = 0,06 \text{ m}^3/\text{seg}$$

## Cursos libres

### 1.- Aforo mediante la determinación de velocidad y sección

La metodología básica se fundamenta en la ecuación general de gasto,

$$Q \text{ (m}^3/\text{seg.)} = a \text{ (m}^2\text{)} \cdot v \text{ (m/seg.)} \quad \text{donde}$$

Q = caudal

a = sección

v = velocidad media

Para operar con dicha ecuación, es necesario efectuar mediciones directas del área de la sección transversal por donde transita el flujo de agua y de la velocidad media de escurrimiento.

El procedimiento es muy utilizado en los siguientes casos:

a) En condición libre (cursos o cauces de ríos, arroyos y canales)

- Cuando no existan estructuras aforadas instaladas
- Cuando no es posible (difícil acceso) o justificable (económica u operacionalmente) el uso de otras formas de medición.
- Como método de calibración de estaciones de aforo limimétricas.
- Cuando son necesarias medidas expeditivas, de apreciación, esporádicas o por única vez.

b) En conducción forzada (cañerías con circulación a presión)

La sección conocida o rápidamente obtenible y la velocidad fácilmente medida con aparatos tipo cuentavueeltas (velocímetros), hacen muy generalizado el método.

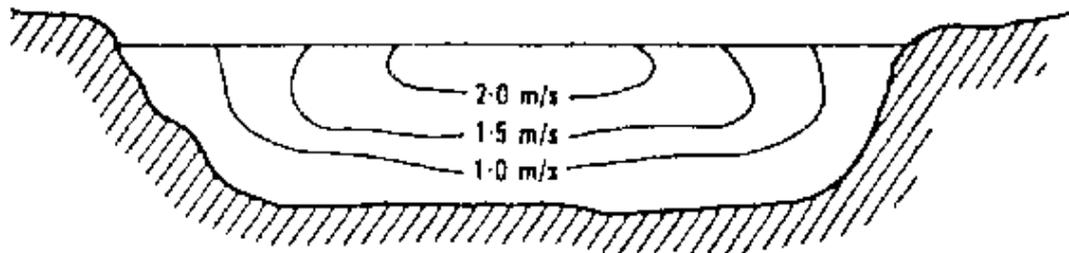
## 2.- Medición de la velocidad de escurrimiento

Todas las técnicas permiten hallar directa o indirectamente la velocidad media de la corriente.

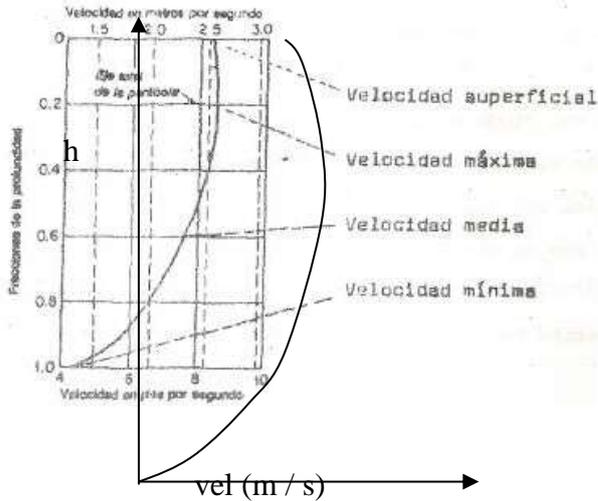
Recordamos que tanto en canales como en cauces naturales, el tipo de movimiento que se considera es permanente ( $Q = \text{cte}$ ) y uniforme (velocidad media constante, por lo tanto sección también constante). No se consideran movimientos permanentes no uniformes (acelerados o retardados, donde varía la sección), ni tampoco los movimientos no permanentes, variados, en los cuales el caudal no es constante, sino es una función del tiempo.

Las velocidades del flujo en condiciones libres (el pelo de agua está en contacto con el aire, soporta presión atmosférica), son influidas por el rozamiento con las paredes y el piso, fondo, solera; y también con el frotamiento con el aire. Las irregularidades de la sección, los cambios de dirección o alineación del cauce, la viscosidad y la tensión superficial son también factores que intervienen modificando la velocidad.

Se denominan isotaquias las líneas que unen los puntos de igual velocidad de una masa en movimiento. Aproximadamente son paralelos al fondo y a las paredes del cauce. A menor variabilidad de secciones de escurrimiento, más regular será la distribución de velocidades.



Aunque la desuniformidad del perímetro mojado de un cauce natural constituye la situación más común; se observa que la distribución de las velocidades en la sección transversal tienden a manifestarse según ciertas leyes, las que fueron enunciadas luego de estudiar cuidadosamente gráficos demostrativos de la variación vertical de la velocidad. Estos gráficos son construidos midiendo velocidades de un curso en una línea vertical, desde pocos centímetros bajo la superficie libre del agua, hasta el punto más cercano al lecho que sea posible medir, en intervalos iguales.



### Caudal en función del nivel en un río

La velocidad media es el área comprendida entre el eje vertical y la curva, limitada por las horizontales que pasan por el extremo superior e inferior de dicha curva; dividida por la profundidad del agua en la vertical considerada.

El estudio de gran número de observaciones de escurrimientos libres, caracterizado por gráficos de tirante vs. velocidades, permitió que el Servicio de Geología de los Estados Unidos estableciese las siguientes reglas:

La velocidad máxima se encuentra entre el 5% y el 25% de la profundidad. A mayor profundidad, el porcentaje se incrementa. En lechos rugosos, donde escurren aguas poco profundas, la velocidad máxima se presenta muy cerca de la superficie.

La variación vertical de la velocidad es representada por una parábola que pasa por el punto de la velocidad máxima.

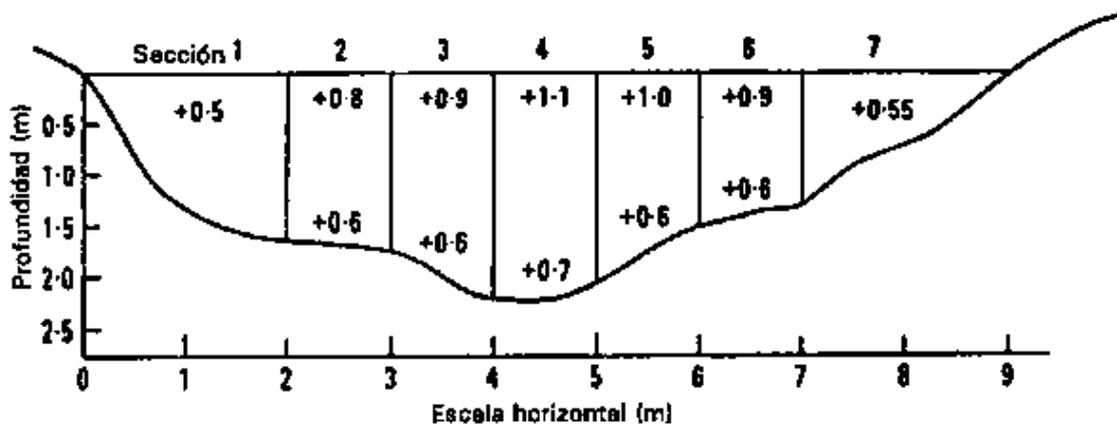
La velocidad media en una vertical se encuentra a 0,6 de la profundidad, con un error medio del 1% y un error máximo del 3%.

La velocidad media en una vertical, dentro de un error máximo del 1% y con un error medio nulo; es una media aritmética de las velocidades a 0,2 y a 0,8 de profundidad.

La velocidad media en una vertical es del 0,8 al 0,95 de la velocidad superficial. El coeficiente de corrección 0,85 es el más representativo, por lo tanto puede asumirse que  

$$\text{Vel. Media} = 0,85 \text{ vel superficial.}$$

En la figura se observa la distribución de las velocidades en un canal abierto.



Cálculo del caudal a partir de las lecturas del molinete

1	2	3	4	5	6	7	8
Sección	Velocidad del caudal (m/s)			Profundidad (m)	Ancho (m)	Área (m <sup>2</sup> ) 5x6	Caudal (m <sup>3</sup> /s) 4x7
	0,2D	0,8D	Media				
1	-	-	0,5	1,3	2,0	2,6	1,30
2	0,8	0,6	0,7	1,7	1,0	1,7	1,19
3	0,9	0,6	0,75	2,0	1,0	2,0	1,50
4	1,1	0,7	0,9	2,2	1,0	2,2	1,98
5	1,0	0,6	0,8	1,8	1,0	1,8	1,44
6	0,9	0,6	0,75	1,4	1,0	1,4	1,05
7	-	-	0,55	0,7	2,0	1,4	0,77
TOTAL							9,23

D es la profundidad de la corriente en el punto medio de cada sección  
 En cursos libres, la velocidad del flujo puede ser medida con instrumentos hidrométricos, que pueden ser:

- a.- Móviles (flotadores)
- b.- Fijos (velocímetros, también llamados correntómetros o molinetes hidráulicos)

Los flotadores pueden ser contruidos especialmente para cometer su finalidad (boya, bastón o varilla lastrada); o utilizarse como tales materiales de naturaleza diversa (trozo de madera, corcho, botella, etc.).

Varios investigadores del siglo pasado dieron fórmulas para hallar velocidades medias en cauces artificiales, a partir de valores de velocidades medidas por distintos instrumentos.

Los elementos flotantes superficiales permiten obtener la velocidad del curso en contacto con la atmósfera, es decir la velocidad superficial. Así Bazin dio distintos coeficientes correctores de la velocidad superficial hallada, en función de la naturaleza y estado de las paredes del cauce. Propuso la siguiente igualdad:

$$\text{vel. media} = c \cdot \text{vel. superficial}; \quad \text{siendo}$$

$c = 0,65$  a  $0,75$  para canales de tierra, enmalezados, de paredes irregulares.  
 $c = 0,85$  a  $0,95$  para canales de hormigón y en general  
 $v_m = 0,7$  a  $0,85$  vel. superficial

Según Schewior, el coeficiente “c” depende de la profundidad media del canal

Para  $h < 1$  m  $c = 0,85$  a  $0,90$   
 Para  $h > 1$  m  $c = 0,75$  a  $0,85$

Si un flotador, por ejemplo una boya, es lastrada de tal manera que su cuerpo se hunda hasta 0,2 de la profundidad, siempre permitiendo que sea visible; se obtendrá la velocidad máxima.

También han dado distintos autores expresiones de cálculo de la velocidad media a partir de velocidad máxima. Prony, propuso que:

$$v_m = 0,8 v_{\max}$$

Bazin dio la siguiente formula:

$$v_m = v_{\max} - 14 \cdot (R \cdot I)^{1/2} \quad \text{donde}$$

R = radio hidráulico (cociente entre la sección y el perímetro mojado)

I = la pendiente en % (0,0x)

Varillas o bastones (generalmente de caña) pueden lastrarse hasta lograr un hundimiento de 0,94 h (94 % de la profundidad), y así obtener un valor de velocidad cercano al de velocidad media. Puede ajustarse según la corrección propuesta por Francis:

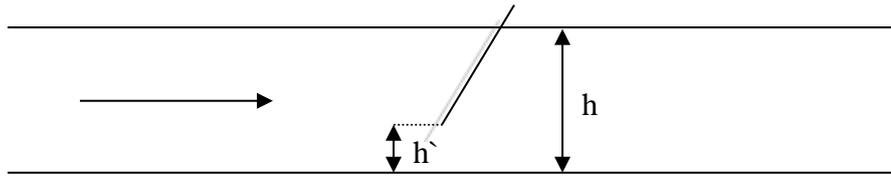
$$v_m = v_b \cdot (1,012 - 0,116 (h'/h)^{1/2}) \quad \text{donde}$$

$v_m$  = velocidad media

$v_b$  = velocidad hallada con el instrumento hidrométrico

h = profundidad del agua, tirante total

$h'$  = distancia desde el extremo inferior del bastón hasta el lecho.



Los flotadores usados cuando es imposible la aplicación de otro medidor, o en los casos de necesidad de datos aproximados u observaciones previas a la instalación de aforadores de mayor confiabilidad. Su uso en corrientes rápidas es inapropiado.

El procedimiento de medición de velocidad es sumamente sencillo. Son necesarios dos personas, un cronometro y un flotador. Se escoge un tramo del curso que ofrezca condiciones que determinan una sección regular, como son:

Márgenes regulares, paralelas, estables, sin vegetación.

Tramo recto, alejado de codos, obras de arte, etc.

Lecho impermeable o de mínima infiltración.

Escurrimiento sin turbulencias ni remanso.

Dicho tramo se extiende longitudinalmente de 10 a 50 metros. Se marcan dos puntos (inicial y final) del recorrido del flotador. Luego se registran los tiempos en que el agua transporta el flotador, arrojado varias veces, a fin de promediar los valores obtenidos. De esta manera, se hallan las velocidades superficiales, máximas o medias, según el tipo de instrumento utilizado.

Los velocímetros son aparatos especialmente diseñados para medir la velocidad de movimiento de la corriente de agua. Se fundamentan en la expresión  $v = e/t$ ; ya que el desplazamiento lineal del filete liquido imprime un movimiento de rotación al conjunto de elementos móviles (paletas de hélice, cazoletas o copas). Dichos elementos son portados por un cuerpo o caja que a su vez es sostenido por un vástago de longitud variable. La rotación alrededor de del eje mide un espacio recorrido, que se registra de acuerdo al tipo de molinete hidráulico (mecánico o eléctrico).

Los molinetes mecánicos registran el número de vueltas en un vernier o juego de ruedas totalizadoras. Debe trabarse y destrabarse la hélice desde la superficie, mediante un circuito de cable o cuerda. La medición se efectúa cronometrando, un tiempo de funcionamiento fijo, durante el que se acumulan un determinado número de vueltas. Actualmente han sido superados por los modelos eléctricos, que el recorrer un número de vueltas fijo,

Efectúan una señal (luminosa, acústica). En este caso debe cronometrarse el tiempo transcurrido entre la transmisión de dos señales consecutivas, ya que el número de vueltas es fijo.

En ambos casos de velocímetros, la ecuación utilizada es:

$$V = c \cdot n / t \quad \text{donde}$$

$V$  = la velocidad en un punto de la vertical

$c$  = coeficiente de ajuste y referencia del aparato (tarado)

$n$  = número de vueltas

$t$  = tiempo

Por ejemplo, la ecuación para transformar un numero de sonidos de chicharra o timbre en velocidad, para el velocímetro eléctrico acústico SIAP mod. 614 es:

$$V = (0,129 \cdot N \cdot 50) / t \quad \text{donde}$$

$N$  = número de sonidos ocurridos en el tiempo  $t$ .

50 vueltas fijas para cada señal

0,129: constante del aparato.

$V$  = velocidad en el punto de medición de la vertical, en (m/seg.)

Los límites de uso que aconseja la práctica son:

Velocidades no inferiores a 0,10 m/seg., pues la sensibilidad de los correntómetros no ofrecen precisión a bajas velocidades.

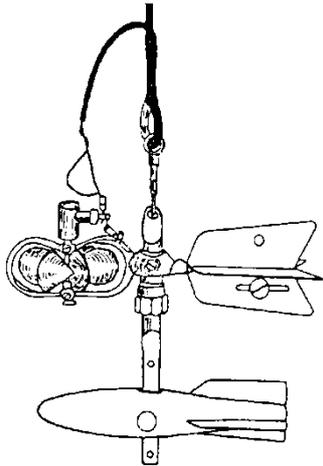
Corrientes con velocidades superiores a 2,5 m/seg. Impiden el manejo manual del aparato, amén del deterioro que le ocasiona el arrastre de materiales.

Sin embargo existe un tipo de correntómetro capaz de medir en un rango entre 0 y 1,5 m/seg.; el cual no consta de partes mecánicas; se basa en un dispositivo llamado (Magneto Inductivo), y es de lectura digital directa, en un display (Ej.: Nautilus C2000).

Los molinetes se clasifican de acuerdo a la posición de su eje:

Eje vertical: Tipo Price. A cazoletas con peso y aleta directriz.

Eje horizontal: Tipo SIAP, OTT, etc. Con hélice de diseño diverso.



Cazoletas



Hélice

Los molinetes permiten obtener velocidades medias, procediendo de acuerdo a las siguientes alternativas:

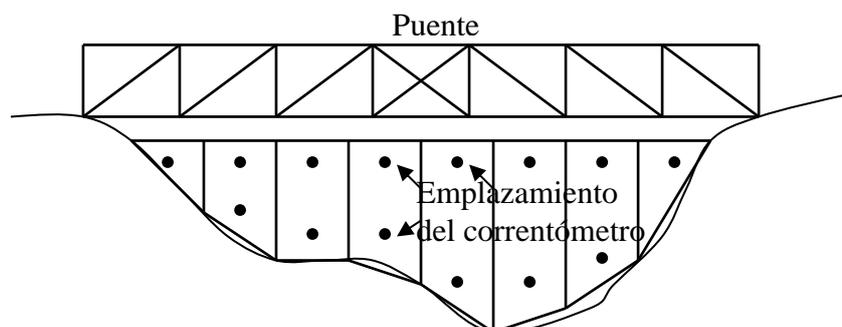
Efectuar la medición colocando el molinete a 0,6 h (6/10 de la profundidad, a partir del pelo de agua), para registrar directamente la velocidad media.

Considerar dos puntos de la vertical, a 0,2 h y a 0,8 h, promediando ambas mediciones para hallar la  $V_m$ . Este procedimiento se aconseja para bajar velocidades (menores de 0,5 m/seg.) y suficiente profundidades.

Si la profundidad es mayor a 4 m, puede tomarse las velocidades en tres puntos de una misma vertical, a 0,2; 0,6 y 0,8 de la profundidad, promediando de la siguiente manera:

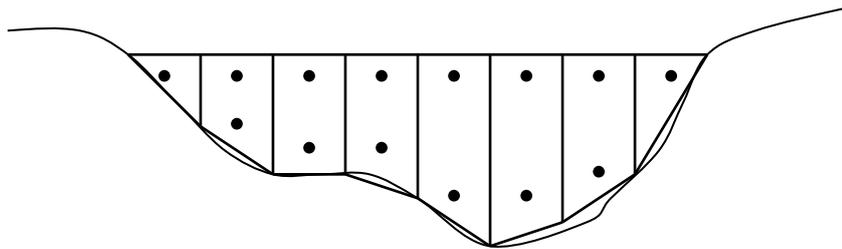
$$V_m = \frac{0,2 h + 2 \times 0,6 h + 0,8 h}{4}$$

Como vemos, la medición de velocidades con molinetes se efectúa en uno, dos o tres puntos de la vertical, para cada sección de la transversal considerada.



Para aforar un canal de pequeñas sección, fácilmente obtenible es suficiente la determinación de la velocidad media vertical correspondiente al eje hidráulico.

Tratándose de canales de base de fondo y ancho considerables, de una sección mayor, o más concretamente cauces naturales (arroyos, ríos), será necesario efectuar mediciones de la velocidad en varias secciones parciales; siendo el caudal total el integrado por los caudales de cada sección constituyente, en las que se ha determinado área y velocidad. En cuanto a las ventajas e inconvenientes de los tipos de molinetes, podemos acotar que aquellos que presentan capas o cazoletas, son sensibles a la proximidad de los márgenes, y se atascan más fácilmente con malezas y cuerpos extraños. Los velocímetros de hélices, pueden aproximarse más a los bordes, y tienen mayor posibilidad de atascamiento.



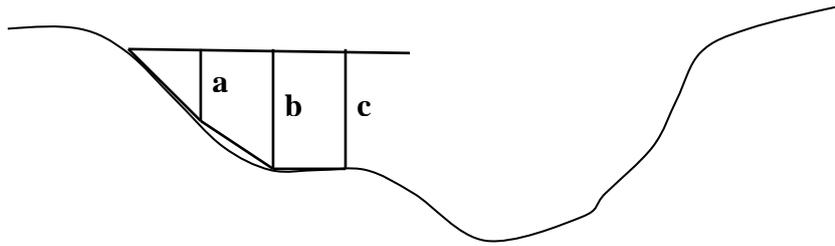
### 3.- medición del área de una sección transversal.

La determinación de la superficie mojada se realiza mediante sondeos, con una intensidad dependiente de la magnitud, irregularidad y precisión requerida. Se efectúa la medición con el auxilio de cables graduados, reglas, miras, etc.; y el sondeo en si se realizara de acuerdo a las posibilidades que ofrece el cauce. Si escurren aguas poco profundas, podrá vadearse el curso; de lo contrario se escurre a puentes, o se coloca un tablón entre márgenes. En ríos caudalosos y/o profundos, se utilizara un bote, o puede instalarse un cable guía del cual se suspende un carrito desde donde se opera. Los intervalos entre sondeos dependen del ancho del cauce, pudiéndose adoptar como regla general, los siguientes:

Ancho (m)	Espaciamento(m)
Hasta 1,2	0,2
1,2 a 2,1	0,3
2,1 a 4	0,5
4 a 8	1
8 a 15	1,5
15 a 25	2
25 a 50	3
50 a 100	4
más de 100	5

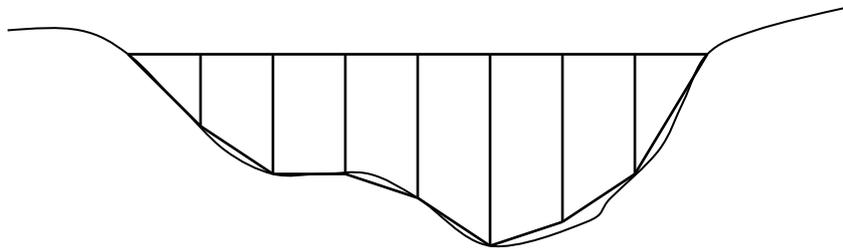
Las posiciones correctas de cada sondeo de los puntos intervalos entre ambos márgenes, pueden establecerse extendiendo un cable, soga, etc. Que indique claramente, mediante nudos, marcas, etc., los puntos escogidos de acuerdo al espaciamento. Si existe un puente o se caminara sobre un tablón, se materializara sobre estas estructuras. Una vez tomadas las medidas de profundidad, se grafica la sección mojada, identificándose las secciones parciales. Luego se elabora una planilla de áreas, con la cual se obtienen el área total resultante de la sumatoria de áreas parciales, que a su vez surgen del producto del intervalo seleccionado por la profundidad media.

$$h \text{ med} = \frac{a + 2b + c}{3}$$



También pueden promediarse cada par de sondeos sucesivos.

Otra posibilidad es asimilar las secciones parciales que integran el área total, a figuras geométricas regulares (rectángulo, triángulo, trapecio), compensando gráficamente subáreas irregulares que origina la solera del cauce. Generalmente las subsecciones adyacentes a las márgenes se consideran triángulos, y las centrales rectángulos o trapecios.



Una vez obtenidas las subáreas, se toman las velocidades en el o los puntos ya mencionados de cada vertical; se promedian entre las verticales de cada sección parcial (recordar que debe considerarse velocidad nula en el punto coincidente con las márgenes), y se obtienen caudales parciales, que sumados darán el caudal total.

Si se utilizan flotadores, el caudal total será el producto entre el área de la sección y la velocidad media, si se ha tomado únicamente una vertical. Hay métodos, por ejemplo el de Unwin, que determina varias velocidades superficiales, con la utilización simultánea de varios flotadores.

Cuando se trate de canales de área pequeña, acequias, desagües o drenes; una útil herramienta es una regla doble, que permite medir anchos y profundidades. Esta particularmente indicada para toda conducción en tierra, donde embanques, erosiones, desmoronamientos, alterara la sección.

La elección del tramo donde se determinara la sección transversal debe efectuarse cuidadosamente, evitando perturbaciones en el movimiento de la masa líquida, que lo aleje del tipo permanente uniforme. Para ello es necesario observar las ya dadas condiciones en oportunidad de las condiciones de velocidad.

#### 4.- Medición del nivel de agua. Limnimetros y Limnigrafos.

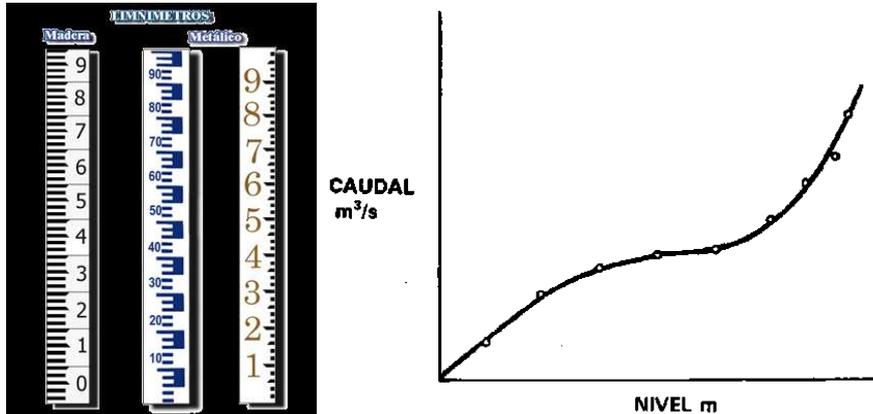
No es práctico ni económico efectuar mediciones continuas y directas del caudal de una corriente. Por lo tanto, generalmente las estaciones de aforo en ríos, realizan mediciones del nivel de agua, a partir del cual, una vez obtenida la curva de calibración que relaciona dicho nivel con un caudal que le corresponde; puede conocerse este último para cada registro de alturas de agua.

El nivel de un río es la elevación del agua en un lugar determinado, medida sobre un cero arbitrario de referencia (nivel del mar o generalmente un punto debajo del nivel para el cual el caudal es cero).

Es más sencillo lograr un registro continuo del nivel del agua, por consiguiente, la información primaria suministrada por las estaciones la constituyen datos de altura o tirante de la corriente.

El nivel de aguas se mide con escalas o miras limnimétricas, colocadas de tal manera que una parte de ellas estén siempre sumergidas.

La graduación típica es en metros y centímetros, con una marcación similar o igual a las miras topográficas.

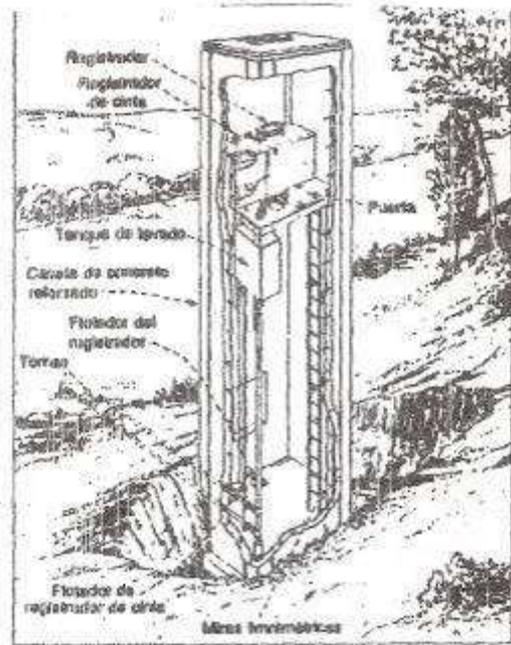


Velocidad en función de la profundidad

Las escalas pueden ser verticales o inclinadas, en este caso graduadas en término de equivalencia a medidas verticales. A su vez pueden ser únicas o instalarse varias (escalas seccionadas)

Las escalas indirectas están representadas generalmente por un cable que sostiene un peso, gancho o flotador; y registran el nivel del agua desde donde se suspenden (puente, viga, etc.) hasta el pelo de agua. Ambas escalas (directas e indirectas) se denominan limnímetros.

Los limnógrafos son aparatos que registran el movimiento de un flotador, ocasionado por el ascenso y descenso del nivel del agua, en forma continua, inscribiendo sobre una faja de papel enrollado en un tambor que gira por gravedad (contrapeso) o accionado por un mecanismo de relojería.



## 5.- Limnógrafo

Existen cartas de registro inscriptas por una pluma solidaria al cable del flotante, que permiten observaciones continuas, semanales, etc., y también cintas perforadas.

Básicamente, un limnógrafo consta de un sistema de flotador y cable que registre el nivel del agua del río sobre un pozo de quietamiento.

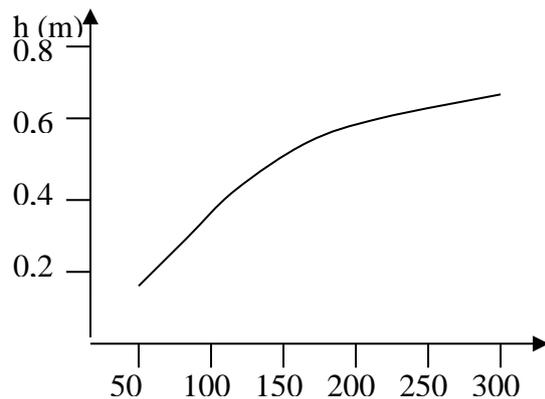
El agua es conducida sobre la toma del río hasta el pozo, por dos caños como mínimo.

El conjunto de flotante y aparatos registradores se protege mediante una casilla.

La instalación del limnógrafo debe hacerse en una sección de control del río, para eliminar la influencia de perturbaciones ocurridas aguas abajo, y mantener un régimen crítico que permite la verificación de la correspondencia entre tirantes y caudales.

Como ya se anticipó, mediante una curva de caudal o relación nivel-caudal, confeccionada una vez con los datos de nivel aportados por un limnómetro o limnógrafo y la determinación simultánea de caudales (por el método de medición de sección y velocidad), pueden obtenerse en lo sucesivo datos de caudal con solo el dato de nivel de agua.

La curva es aproximadamente parabólica y debe calibrarse periódicamente, pues las variaciones de la sección control (erosión, embanques) u otras irregularidades, podrían ocasionar errores sistemáticos.



Procedimiento practico para determinar caudales en distintas condiciones de escurrimiento de aguas. Elección del método.

Si no se posee experiencia para estimar gastos, conviene aforar previamente en forma expeditiva, mediante la elección directa de la velocidad y sección, o con métodos volumétricos si son posibles, a fin de conocer el orden de la magnitud del caudal que escurre, y la carga. Hay que considerar el rango de la variación estacional o posible del caudal, ya sea por el régimen de distribución, por las necesidades de riego, por la capacidad de conducción del elemento transportador, por el uso del canal o acequias, la posibilidad de captación de sobrantes superficiales, etc.

Se escoge el dispositivo apropiado de acuerdo a la consideración de factores de versatilidad, disponibilidad, facilidad de construcción, de medición, etc. Es necesario interrelacionar ventajas y desventajas de cada aforador para tomar una decisión. El dato básico lo darán las variaciones de carga y caudal y las dimensiones del caudal. La pendiente general de la zona y la nivelación efectuada en la propiedad será el primer condicionante, ya que la pérdida de carga inutilizaría el sistema. En términos generales, para pequeños caudales se escogerán orificios, sifones, volumétrica, y si existen pendientes suficientes, vertederos de Thompson. Para grandes a medianos caudales, vertederos y compuertas, siendo el aforador de Parshall el más indicado para escasas pendientes, es el más generalizado en zonas de propiedades y redes de distribución, como así también los aforadores de resalto. Una vez escogido el aforador, se instalara de acuerdo con las condiciones que lo caracterizan.

Conviene conocer la velocidad del curso, a fin de disminuirla convenientemente, según el tipo de dispositivo, aumentando la sección aguas arriba. Si el aforador a utilizar es un vertedero, es útil clavar una estaca a una distancia anterior de la pared de 4 a 5 veces el valor de la carga  $h$ , tal que coincida con el nivel del umbral del vertedero. Sobre la estaca se medirá la carga. También puede hincarse una reglilla milimetrada, cuyo cero esta nivelado con la cresta del vertedero. En condiciones ocasionales en un lugar determinado, puede medirse el tirante del canal aguas arriba a 4-5  $h$  con una regla, y luego descontar la profundidad del vertedero. Una consideración útil para escoger tamaño de vertederos, es el seguimiento de los siguientes criterios:

Conociendo la carga, la longitud de la cresta deberá ser tres veces  $h$  ( $b = 3h$ )

Conociendo el caudal, el ancho del vertedero se calcula según la fórmula:

$$b = \frac{(Q \text{ m}^3/\text{s}) * 0,4}{0,335}$$

Si la instalación es fija, conviene, para agilizar cálculos y estandarizar el método, establecer comparaciones con procedimientos volumétricos o mediante otras estructuras, para determinar coeficientes de gasto y, luego de efectuar repeticiones suficientes de medición de caudales con cargas variables, construir curvas de tirante vs. Caudal. De esta manera en lo sucesivo, directamente al medir la carga, se buscara el valor del caudal a que corresponde entrando en la curva. Este procedimiento es muy indicado en los casos en que las mediciones están a cargo directo del regante, ya que rápidamente, sin cálculos previos, tendrá idea de los caudales que maneja, en lo que a magnitud se refiere.

#### Límite de error de distintas aforaciones

Método	Condición	Error máximo en % del caudal medido
Orificios	Libre	3 – 5
Orificios	Sumergido	4 – 5
Vertederos	Libre	2 – 5
Vertederos	Sumergido	5 – 15
Parshall	Libre	3
Parshall	Sumergido	5
Flotadores		10
Molinetes		2 – 5
Sifones		2 – 3

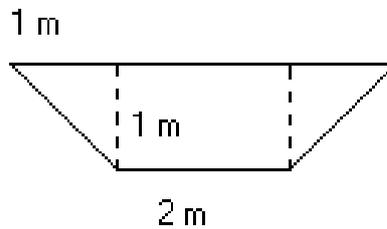
### **Ejercitación**

#### Hidrometría

- 1) En un depósito cilíndrico de 6 m de diámetro se aforó un grifo de 25,12 cm de perímetro interno, arrojando un caudal de 200 m<sup>3</sup>/h. Se desea conocer el tirante correspondiente al caudal así aforado, sabiendo que: c = 0,6 (coeficiente de gasto)
- 2) Se aforó un caño horizontal de 8" fluyendo lleno, mediante una regla graduada y una plomada. La distancia "a" medida fue de 0,40 m, siendo K de 77,94. El caudal es conducido por un canal de tierra a lo largo de una cierta distancia, en donde se instaló una compuerta. Durante el trayecto, las pérdidas por conducción fueron de 0,00196 m<sup>3</sup>/s. La compuerta, que trabaja libre, posee un coeficiente de gasto de 0,7, un tirante aguas arriba de 30 cm y una abertura de 10 cm. ¿Cuál es el ancho de la compuerta?

3) En un canal de sección trapezoidal con las dimensiones de A, se han determinado las distancias que una boya lastrada a 0,2 de h ha recorrido en un lapso de 30 seg.  $L_1 = 146$  m;  $L_2 = 137$  m;  $L_3 = 152$  m. Determinar el caudal que circula en dicho canal y expresarlo en litros por minuto.

boya lastrada a 0,2 de h = velocidad máxima



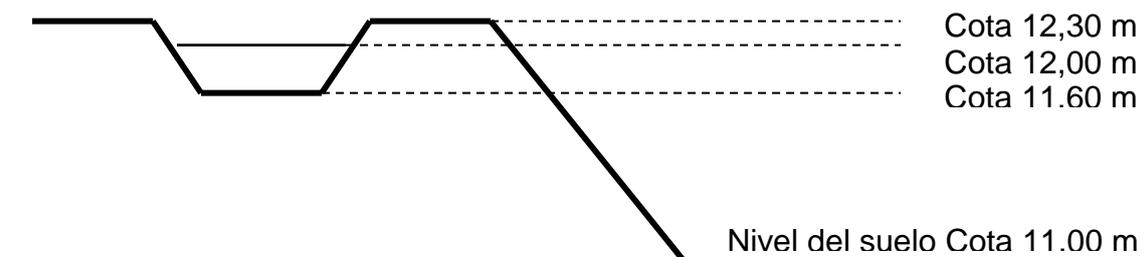
4) Una compuerta de 30 cm de ancho con un coeficiente de gasto de 0,64 eroga en una pileta de  $0,5 \text{ m}^2$  de base. Las alturas medidas en la pileta, para los diferentes tiempos fueron:

Tiempo (seg)	Altura (m)
25	0,69
35	0,97
45	1,34

Se desea conocer la abertura (a) de dicha compuerta cuando su carga (h) es de 17 cm.

5) Un orificio circular de 10 cm de diámetro permitió aforar un caudal de 20 l/s. Sabiendo que su coeficiente de gasto es de 0,63 ¿Cuál será su carga de velocidad y cual su velocidad de salida. Estimar también la velocidad teórica de salida, de no mediar pérdidas en el orificio.

6) Un productor riega simultáneamente 12 surcos de 120 m de largo, espaciados 80 cm en un suelo franco. Utiliza sifones de PVC de 1" de diámetro y coeficiente de gasto de 0,8 que instala en una acequia de cabecera que trabaja en las condiciones hidráulicas que el croquis ilustra. Los sifones descargan libremente sobre el fondo de los surcos, a una profundidad de 20 cm ¿Cuál es el caudal total requerido, en l / s, en la fuente de agua, para alimentar el conjunto de surcos descriptos asumiendo una eficiencia de conducción del 80%?



## **Bibliografía**

Tratado de hidrología aplicada. G. Remenieras . Ed. Técnicos Asociados S.A. Barcelona.1974

Hidrología moderna. Raphael G. Kazmann. Ed. CECSA. Mexico. 1974

Hidrología para ingenieros. Linaley, R. kohler, M y Paulus, J. Ed. Mac Graw- Hill; Latinoamericana SA. Colombia. 1977.

Medición del agua de riego. USDA. SCS. Ed. Diana. México. 1975.

Manual de Hidráulica. King, H y Brater, Ed. UTEMA. México.1962.

Manual de Hidráulica. Azevedo Netto, J y Acosta Alvarez, G. HARLA. México. 1975

Los distritos de riego. Espinosa Vicente, E. Ed. CECSA. México. 1975

Apuntes de aforo y caracterización de ríos y corrientes. Paloni, J inéditos. 1976. Cátedra de riego y drenaje. U.N.S.

Apuntes de hidrología agrícola. Leguizamon, A. Cátedra de hidrología Agrícola, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de la Plata. 1957.

Guía de Trabajos prácticos. Cátedra de Hidrología y Riego. Facultad de ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. 1972.

Determinación de caudales. Génova, L. Cátedra de Hidrología Agrícola Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de la Plata.1980.