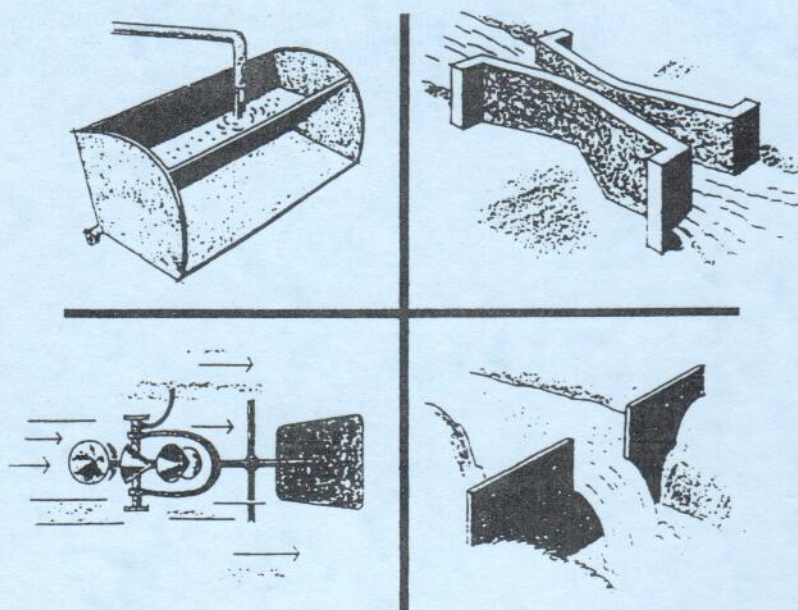




**UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
DIRECCION DE EXTENSION**

**FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA
CAMPUS CHILLAN**

**AFOROS DE AGUA
DE REGADIO**



**Autores : Luis Salgado S.
Ing. Agrónomo Ph.D.
Alejandro Valenzuela A.
Ing. Agrónomo Ph D.**

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

Boletín de Extensión N° 3

Octubre 1992

Chillán

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

A F O R O S D E A G U A D E R E G A D I O

Autores : Luis Salgado Seguel
Alejandro Valenzuela A.
Ing. Agrónomos Ph.D.

Octubre 1992

PROLOGO

Desde el momento que el agua se capta en bocatoma hasta que llega al predio, está afecta a una serie de pérdidas que son consecuencia de la falta de estructuras adecuadas de control y distribución. Esto significa que del total captado sólo una parte llega finalmente hasta el potrero donde es utilizado por la planta.

¿De cuánta agua efectivamente dispone entonces el agricultor para el riego?. Es constante el caudal que recibe? Coincide este caudal con los derechos de aprovechamiento que tiene?.

Probablemente la mayoría de los agricultores tendrían serias dificultades en responder estas preguntas. Este boletín pretende contribuir a despertar el interés por un tema de trascendental importancia en relación al riego, y al mismo tiempo, proveer algunas técnicas elementales que pueden ser aplicadas en terreno en forma simple y económica.

INDICE DE MATERIAS

<u>Capítulo</u>		<u>Página</u>
	Introducción.....	1
1	Métodos volumétricos.....	1
	1.1. Volumen por capacidad.....	1
	1.2. Volumen por pesada.....	2
	1.3. Medidores comerciales.....	2
2	Métodos de relación área-velocidad.....	2
	2.1. Método del flotador.....	3
	2.2. Método de trazadores.....	4
	2.3. Método del molinete.....	4
	2.4. Método de la trayectoria.....	5
	2.5. Tubo Pitot.....	6
3	Métodos que usan estructuras especiales.....	6
	3.1. Vertederos.....	6
	3.2. Canoa Parshall.....	9
	3.3. Medidor de flujo en tuberías.....	11

INDICE DE TABLAS

Número		Página
1	Area de un tubo parcialmente lleno en función del diámetro (D) y la altura de agua (d).....	14
2	Caudales para vertederos rectangulares expresados por m de ancho de cresta. (Deberá multiplicarse por (L 0.2H) cuando éste tenga dos contracciones laterales).....	15
3	Tabla para el cálculo del gasto en vertederos trapezoidales o cipollete. $Q = 1,859 L H^{3/2}$..	16
4	Tabla de gastos para vertederos triangulares de 90°.....	18
5	Dimensiones de canoa Parshall de 3, 6, 9, 12 y 24 pulgadas de garganta (Letra según figura 13).....	19
6	Coficiente "B" y "X" para la ecuación de cálculo de gastos de canoas Parshall.....	19
7	Tabla de caudales para canoa Parshall.....	20

INDICE DE FIGURAS

<u>Número</u>		<u>Página</u>
1	Medición volumétrica del caudal.....	22
2	Medidores comerciales de agua.....	22
3	Distribución de las velocidades de agua en un canal.....	23
4	Método del flotador para estimar la velocidad del agua en un canal.....	23
5	Método de trazadores para estimar la velocidad de agua en un canal.....	23
6	Molinetes hidráulicos.....	24
7	Formas de determinación de las velocidades en la sección transversal de un canal.....	25
8	Planilla de cálculo de caudal de agua en un canal.....	25
9	Trayectoria de la vena líquida desde una tubería completa y parcialmente llena.....	27
10	Diversos tubos pitot usados comúnmente en aforos de agua en cañerías.....	27
11	Sección transversal y partes de un vertedero.....	28
12	Vertederos para determinar el caudal de agua en un canal.....	28
13	Planta, corte y vista hipsométrica de una canoa Parshall.....	29
14	Diagramas para el cálculo del factor de corrección en canoas Parshall de 12, 9, 6 y 3 pulgadas de garganta.....	30
15	Tubo Venturi para medir gastos en cañerías...	31

INDICE DE FIGURAS

<u>Número</u>		<u>Página</u>
16	Medidor de boquilla.....	31
17	Disco de aforo.....	31

INTRODUCCION

El conocimiento de la cantidad de agua que transporta un canal, es fundamental en el proceso de administración eficiente de los recursos hídricos de un predio.

En Chile, lo tradicional es que la distribución del agua se haga en base a las acciones o derechos que cada agricultor tiene sobre un río o estero. Esto significa que la cantidad que llega al predio varía a lo largo del período de riego e incluso a lo largo del día, en la misma proporción en que varía el caudal de la fuente principal. Por consiguiente, no hay otra forma de saber cuánta agua hay disponible en un momento determinado, si no sea a través del proceso de medición.

A través de la medición o aforo de las aguas de riego el agricultor está en condiciones de conocer exactamente la cantidad de agua que ingresa al predio y la cantidad de agua que está aplicando al proterero en un momento determinado.

Además, sólo conociendo la cantidad de agua disponible en un canal será posible saber cuánto tiempo se debe regar para reponer la cantidad exacta que la planta requiere y para suplir el déficit que se ha producido a través del proceso de evapotranspiración.

1. METODOS VOLUMETRICOS

Estos métodos se basan esencialmente en medir el volumen de agua que sale de un conducto cerrado o tubería, durante un cierto tiempo.

1.1. Volumen por capacidad.

Se coloca un recipiente de capacidad conocida, de modo que recoja todo el caudal de agua que sale de la tubería. Mediante cronómetro o reloj de precisión se mide el tiempo en que se llena. El gasto o caudal es el cociente entre ambas mediciones.

Su principal aplicación se encuentra para determinar el rendimiento de bombas de regadío. Para determinar el gasto de conductos abiertos y canales pequeños, es necesario instalar un tubo que permita vaciar el total de volumen del agua del canal en la vasija de medición (Figura 1).

1.2. Volumen por pesada.

En este caso el recipiente se coloca sobre una balanza, se pesa y luego se recibe el agua directamente sobre la vasija. Por diferencia de pesada se obtiene el volumen. El tiempo se mide en igual forma que el caso anterior.

La aplicación práctica de este método es escasa. Debe tenerse presente la densidad del líquido, cuando se use con otros líquidos que no sea agua.

1.3. Medidores comerciales.

Designaremos así, a aquellos medidores similares a los que se usan para medir el agua de consumo de una casa habitación. Generalmente llevan un registro acumulativo del gasto. Esta no es una forma usual de medición del agua de riego pero eventualmente se usa asociado a métodos de riego como el goteo (Figura 2).

2. METODOS DE RELACION AREA-VELOCIDAD.

El caudal de agua que pasa en un canal o tubería, está dado por el producto del área o sección del conducto por la velocidad del agua, expresando ambos factores en las mismas unidades de medida. Preferentemente se acostumbra expresar el área en metros cuadrados y la velocidad en metros por segundo. El gasto resultante tendrá la expresión de metros cúbicos por segundo. Esta cantidad multiplicada por 1.000, expresará el gasto en litros por segundo.

Principal cuidado debe tenerse en la medición del área, especialmente cuando se trate de canales de sección irregular. El área medida debe ser perpendicular a las líneas de flujo.

Por otra parte, el valor de velocidad que se obtenga debe ser representativo, y en cada caso particular deberán efectuarse estas lecturas en tantos puntos como sea necesario, para encontrar un valor medio lo más aproximado al valor real, tal que (Figura 3):

$$V \text{ media} = \frac{V_{0.2y} + V_{0.8y}}{2}$$

2.1. Método del flotador.

Este método no entrega valores exactos de velocidad. Sólo se debe utilizar cuando se requiera "estimar" el gasto de un canal. Es un método sencillo y útil para el técnico o agricultor, que en una primera visita al terreno desea apreciar el caudal circulante.

Para ello se debe elegir un tramo de canal, de sección uniforme, recto y libre de obstáculos. Sobre él se marcan dos puntos separados de 10 a 30 metros. En los puntos elegidos se tiende, transversalmente al canal, una cuerda o varilla que sirve de referencia para medir el tiempo que un flotador demora en recorrer esa distancia (Figura 4).

El flotador se colocará sobre la superficie del agua, en el centro del canal, algunos metros aguas arriba de la primera referencia. Al transponer esta primera sección de referencia se anotará el tiempo mediante un reloj o cronómetro y se contabilizarán los segundos que demore en alcanzar la segunda sección de referencia aguas abajo. Se harán varias lecturas, para obtener un buen promedio de velocidad.

La velocidad se calcula dividiendo el espacio por el tiempo empleado por el flotador en recorrer esa distancia.

Es recomendable hacer varias determinaciones de la sección del canal. Para ello en varios puntos se mide transversalmente la profundidad y ancho del canal.

En atención a que, como se observa en la Figura 3, la velocidad superficial no es representativa de la velocidad media del canal, el flotador que se utilice debe tener una densidad tal que flote entre aguas y no superficialmente. Por tal razón, es recomendable que como flotador se utilice una fruta, un trozo de madera o una botella pequeña tapada ya medio llenar. Si el flotador es muy liviano, debe agregarse

un lastre para que éste no sea influenciado ni por la velocidad superficial ni por el roce con el viento.

Cuando se mide la velocidad superficial ésta debe multiplicarse por un factor de 0,8 para obtener la velocidad promedio.

2.2. Método de trazadores.

Basado e el mismo principio anterior, en reemplazo del flotador se puede usar un colorante, el que se vacia al agua y se sigue visualmente su trayectoria, registrando el tiempo de recorrido. La velocidad promedio se obtendrá cuando frente a la sección aguas abajo cruce la mayor porción del indicador. Algunos indicadores que pueden ser utilizados con éste propósito son la fluorescina y el permanganato de potasio (Figura 5).

Igualmente se puede arrojar al agua una solución salina, (NaCl), la que se registra mediante un instrumento que mide la conductividad eléctrica.

Este método es apropiado para determinar la velocidad del agua en surcos de riego. También se utilizan para estimar gastos en tuberías.

Al igual que en el método del flotador, el gasto se obtiene al multiplicar el área por la velocidad, ambas cantidades promedio y en unidades apropiadas y congruentes.

2.3. Método del molinete.

Es el método más apropiado para medir caudales en ríos, esteros y canales. La unidad básica del equipo llamado molinete hidráulico o correntómetro (Figura 6) son unas hélices, aspas o capachos, que giran a una velocidad proporcional a la velocidad del agua en que se les inserta. El operador entonces registra el número de revoluciones por unidad de tiempo. Cada instrumento ha sido calibrado por el fabricante de modo que la velocidad generalmente se calcula multiplicando el número de revoluciones por unidad de tiempo por un factor de conversión. Esta ecuación de cálculo viene anotada en la caja de cada equipo. A veces después de cierto uso será necesario recalibrar el equipo en un laboratorio de hidráulica.

Algunas versiones más modernas de estos instrumentos vienen equipados con medidores digitales y con un circuito integrado incorporado que permite obtener medidas directas de la velocidad, sin necesidad de hacer cálculos posteriores, ya sea fijando el tiempo o el número de revoluciones.

En el terreno se operará de la siguiente forma. En el río o canal se elegirá una sección uniforme, la que se dividirá en sectores no mayores del 10% del ancho total. En cada sector se determinará la profundidad, y leerán las velocidades a 0.2 y 0.8 veces la profundidad. Si el sector tiene una profundidad menor a 25 cm., se procederá a tomar una sola lectura en la vertical a 0.6 veces la profundidad. En caso que se trate de un cauce profundo, mayor de 1.0 metros se medirá la velocidad en varios puntos sobre la vertical. En la Figura 7, se indica un esquema general de operación y en la Figura 8, se señala un ejemplo de cálculo.

Observaciones a la hoja de cálculos.

1. Las velocidades han sido medidas a 0,6 veces "d", en profundidades menores a 0,25 m. y a 0,2 y 0,8 veces "d" en profundidades entre 0,25 y 1,0 metro.
2. En la parte central del canal, por tener más de 1 metro de profundidad, se tomaron varias lecturas de velocidad.
3. El método usado para calcular el gasto parcial se explica en la figura N° 8.

2.4. Método de la trayectoria.

El agua al salir de una tubería con una cierta velocidad describe una curva, la que es función de dos componentes, una horizontal y otra vertical. Considerando esta trayectoria de la vena líquida, se puede establecer que:

$$V = y \sqrt{\frac{g}{2H}}$$

y = distancia horizontal de la vena (Fig. 9)

g = aceleración de gravedad

H = distancia vertical de la vena (Fig. 9)

El gasto estará dado por la ecuación:

$$Q = A * V$$

En la que el área (A), es la sección de la vena líquida en el punto en que abandona la tubería. En la Tabla 1 se incluye el área cuando la tubería va parcialmente llena y se conoce los valores del diámetro (D) y la altura de agua dentro de la cañería (d).

2.5. Tubo Pitot.

Es un tubo en forma de "L". Para utilizar este instrumento, uno de sus extremos se coloca en el interior de la cañería, enfrentando la dirección de flujo, y el otro se conecta a un monómetro de mercurio abierto en "U".

La velocidad está dada por la expresión:

$$V = \sqrt{g h}$$

En la que "h" es la diferencia de altura manométrica. Esta deberá modificarse por un factor experimental "C", constante para cada instrumento. Para la mayor parte de los tubos Pitot este coeficiente es cercano a la unidad. Algunos tipos de tubos se señalan en la figura 10.

Para obtener una cifra lo más exacta posible de la velocidad, se recomienda realizar a lo menos 2 lecturas en dos puntos de la sección, de preferencia ubicados a los 2/5 del diámetro a cada lado del centro. En tuberías mayores y en las que se quiera tener una medida de gran precisión se pueden hacer 10 lecturas distribuidas a la largo del diámetro.

3. METODOS QUE USAN ESTRUCTURAS ESPECIALES.

3.1. Vertederos.

Los vertederos son estructuras que se colocan dentro de un canal de regadío, perpendicular al paso del agua. La

terminología que se usará más adelante se señala en la figura 11.

Los vertederos que más comúnmente se usan son los llamados de cresta viva en las que se produce un desprendimiento del agua de la pared aguas abajo del vertedero. Entre ellos se distinguen principalmente tres tipos:

- a) Rectangular
- b) Cipolletti
- c) Triangular

Instalación de los vertederos

Para cualquiera de los tres tipos de vertederos indicados, será necesario observar las siguientes recomendaciones en cuanto a su instalación y dimensiones.

- a) El vertedero debe instalarse perpendicular a las líneas de flujo del agua, y un sector del canal que a lo menos sea recto en una distancia de 10 veces el largo de su cresta. Esta debe quedar completamente horizontal. Se deben eliminar todos los impedimentos que provoquen alguna alteración del flujo aguas arriba.

- b) La cresta y las paredes por la que se derrame el agua debe ser aguda y de un grosor inferior a 1/8 pulgada.

La distancia entre la cresta y el fondo del canal en su cara aguas arriba, debe ser superior a 2 veces la carga de agua (H) que se prevee leer. La distancia desde las paredes del canal a la abertura de flujo del vertedero debe ser también superior a 2 veces la carga "H".

- c) La lectura "H" que se registre debe ser, en lo posible, superior a 6 cm e inferior a 1/3 del largo de la cresta del vertedero.
- d) La velocidad de aproximación del agua al vertedero debe ser inferior a 0.15 m/seg. Para obtener esto, a veces será conveniente construir una pozeta de reducción de velocidad aguas arriba del vertedero.

Es recomendable que el agua desborde siempre mediante una caída libre y evitar por todos los medios la sumergencia.

- e) La altura o carga de agua sobre el vertedero se tomará a una distancia superior a 2,5 veces la estimación de la lectura de dicha carga "H". Para ello, sobre el fondo del canal se coloca una estaca o punto de referencia de lectura, cuyo extremo superior quede al mismo nivel que la cresta del vertedero. La lectura de la carga "H" se puede tomar con una regla graduada en milímetros (Figura 11).

Cuando el vertedero sea una estructura fija, definitiva, es de mayor conveniencia colocar un pozo igualador auxiliar.

- f) Finalmente, para las condiciones usualmente existente en los canales de regadío del país, es conveniente observar que la instalación de un vertedero provoca una elevación del nivel del agua, por tanto habrá que preveer los posibles desbordes sobre las paredes del canal.

a) Vertedero Rectangular.

Es el que se indica en la Figura 12a; es fácil de construir y por tanto uno de los más usados. El error máximo es del orden del 3 a 5%. El gasto se calcula generalmente mediante la ecuación de Francis.

$$Q = 1.84 (L - 0.2H) H^{3/2}$$

Q = gasto (m³/seg)

L = largo de la cresta del vertedero (m)

H = carga de agua (m)

Existen varias otras ecuaciones, que para mayor información se pueden obtener de KING (3), TRUEBA (5). Conocida la carga (H) el gasto puede obtenerse también mediante la tabla 2.

b) Vertedero Cipolletti.

En este caso la escotadura del vertedero, tiene forma trapecial con una inclinación de las paredes 4 sobre la vertical de 1:4 (Figura 12b).

El gasto se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Q = 1.859 L.H^{3/2}$$

Q = Gasto (L/seg)
L = Largo cresta (m)
H = Carga (m)

La tabla 3, proporciona los gastos para diferentes cargas de agua.

c) Vertederos triangulares.

La escotadura de este tipo de vertedero es de forma triangular. El ángulo que forman sus paredes pueden ser de 90 a 60 grados (Figura 12c).

El caudal se calcula por a partir de:

$$Q = 1.40 H^{5/2} ; \text{ para vertedero de } 90^\circ$$

$$Q = 0.775 H^{2.47} ; \text{ para vertedero de } 60^\circ$$

El vertedero triangular es el más preciso para medir caudales pequeños. La tabla 4 da los gastos para un vertedero de 90° (el más usado).

3.2. Canoa Parshall.

La altura crítica del agua de un canal de regadío se puede obtener elevando el fondo del canal o bien reduciendo su ancho. Basado en este principio, en 1920 R.L. Parshall adoptó un medidor de caudal, que hoy se conoce como canoa o vertedero Parshall. Sus partes principales se señalan en la Figura 13.

La ventajas de este tipo de aforador son las siguientes:

- a) Por no necesitar caída libre, no produce elevación del nivel de agua, y por tanto se puede adaptar a canales poco profundos y de poca pendiente. No acumula sedimentos, y por eso su mantención es fácil.
- b) Su precisión es independiente de la velocidad de aproximación del agua a la estructura. Está adaptada para grandes caudales, según sea su capacidad. El error de lectura no pasa más allá de un 3%.

1. Contrucción.

Como se señala en la figura 13, la parte principal del medidor es la garganta, que es la unidad diferencial de las canoas y que a su vez define el resto de las dimensiones, como se indica en la tabla 5.

El piso de la sección anterior a la garganta es horizontal y sus paredes convergen con un ángulo (1:5) hacia la garganta. Las paredes de la garganta son paralelas y el piso inclinado hacia abajo. En la sección posterior las paredes son divergentes en un ángulo (1:6) y el piso inclinado hacia arriba.

2. Instalación.

La canoa Parshall es de muy sencilla instalación, ya que además de colocarse en la parte central del canal, el único requisito que necesita es que el piso de la sección anterior a la garganta esté completamente horizontal.

3. Lectura.

Será necesario tomar dos lecturas en el medidor. La lectura de carga H_a se toma a una distancia de "2/3 A" a partir de la garganta. Se mide desde el piso del medidor a la superficie del agua. Luego se hace una segunda lectura H_b , en la zona inmediatamente anterior a la unión de la garganta con la sección posterior. Para esta lectura se toma como nivel inferior de referencia el piso de la sección anterior a la garganta.

El gasto está dado por ecuación general.

$$Q = b x Ha^x$$

Q = caudal (m³/seg)
Ha = carga medida (m)

Los parámetros b y x son función del ancho de la garganta y se dan en la tabla 6. Conocido Ha, el caudal o gasto puede calcularse mediante la tabla 7. Los gastos se indican en la tabla 9.

Cuando el cociente entre Hb y Ha, es superior a 0,7 se dice que la canoa trabaja ahogada y por tanto el gasto calculado mediante la ecuación anterior debe corregirse según los valores que se obtienen a partir de la figura 14.

3.3. Medidores de flujo en tuberías.

1. Tubo Venturi.

El tubo Venturi consiste en un estrangulamiento de la tubería, con el propósito de producir aceleración del agua y una variación de la presión. La variación de presión producida en el medidor, está directamente relacionada con el caudal. Consta de un tubo de entrada cónica, suave, convergente hacia la garganta en un ángulo de 20°; una garganta corta de diámetro igual a 0.25 ó 0.50 veces del diámetro de la tubería y un cono disipador divergente en un ángulo de 5 a 7° (Figura 15).

El gasto se calcula de a partir de la siguiente expresión:

$$Q = \frac{C_v A^2}{\sqrt{1 - \frac{A^2}{a^2}}} \sqrt{2g(P + Z)}$$

Q = Gasto (m³/seg)
Cv = Coeficiente de corrección (Tabla siguiente)

A_1 = Sección de la tubería principal (m^2)
 A_2 = Sección de la garganta del Venturi (m^2)
 P = Lectura del manómetro (m de agua)
 Z = Diferencia de cota entre los puntos 1 y 2

Valores del coeficiente de corrección en función del número de Reynolds.

Nº Reynolds	Cv
5×10^2	0.82
1×10^3	0.87
2×10^3	0.92
5×10^3	0.94
1×10^4	0.95
1×10^5	0.98

2. Medidor de Boquilla.

Es una variación del tubo Venturi en el que se elimina el tubo disipador. Sus partes esenciales y dimensiones se señalan en la figura 16.

El gasto se calcula en forma similar que en el tubo Venturi y los valores del coeficiente Cv varían entre 0.98 a 0.99.

3. Disco de Aforo.

Consiste en un disco metálico con un orificio central que se inserta en el interior de una tubería (Figura 17). Se toman lecturas de variación de presión antes e inmediatamente después del disco, valores que reemplazados en la ecuación que se indica a continuación, permiten calcular el gasto. Como en esta situación se produce una contracción del área de la Vena líquida, es necesario incluir otro coeficiente C_c . En la tabla se han convertido todos los coeficientes y la relación de las áreas a un coeficiente "C", tal que la expresión final para el cálculo del caudal es:

$$Q = C A \sqrt{2g (P + Z)}$$

A = Sección del disco de aforo (m²)
 P = Diferencia manométrica (m de agua)
 Z = Diferencia de cota (m)
 g = Aceleración de gravedad (m/seg²)

Coefficiente para discos de Aforo, en función del número de Reynolds.

Nº Reynolds	d/D				
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
1 x 10 ³	0.67	0.69	0.73	0.78	0.94
2 x 10 ³	0.64	0.67	0.70	0.70	0.91
1 x 10 ⁴	0.63	0.64	0.65	0.67	0.74
1 x 10 ⁵	0.60	0.61	0.63	0.66	0.70

d = diámetro del disco
 D = diámetro de tubería

La mayor aplicación del disco de aforo es para medir el agua que está saliendo de una tubería que descarga libremente a la atmósfera. En ese caso la ecuación del cálculo del caudal queda como:

$$Q = C.A \sqrt{2g h}$$

TABLA 1. AREA DE UN TUBO PARCIALMENTE LLENO EN FUNCION DEL DIAMETRO (D)
Y LA ALTURA DE AGUA (d).

DIAMETRO		AREA (cm ²)									
		d/D									
Pg.	Cm	Lleno	9	8	7	6	5	4	3	2	1
			10	10	10	10	10	10	10	10	10
1	2.54	5	5	4	4	3	3	2	1	1	0.3
2	5.08	20	19	17	15	13	10	8	5	3	1
3	7.62	46	43	39	34	29	23	17	12	6	2
4	10.16	81	77	70	61	51	41	30	20	12	4
6	15.24	182	173	156	136	114	91	68	46	26	9
8	18.32	324	307	278	242	203	162	121	82	46	17
10	25.40	507	480	435	379	317	253	189	128	72	26
12	30.48	731	692	626	546	457	365	273	184	104	38
14	35.50	993	941	852	743	622	497	371	251	141	52
16	40.64	1.297	1.230	1.112	970	813	649	485	327	185	68
18	45.72	1.642	1.556	1.408	1.228	1.028	821	613	414	234	85
24	60.95	2.919	2.767	2.503	2.182	1.828	1.459	1.090	736	416	152
30	76.20	4.560	4.323	3.911	3.410	2.857	2.280	1.703	1.151	649	237
36	91.44	6.567	6.225	5.632	4.910	4.114	3.283	2.453	1.657	935	342
42	106.68	8.938	8.473	7.666	6.683	5.600	4.469	3.339	2.255	1.273	465

TABLA 2. CAUDALES PARA VERTEDEROS RECTANGULARES EXPRESADOS POR M DE ANCHO DE CRESTA. (DEBERA MULTIPLICARSE POR (L 0.2H) CUANDO ESTE TENGA DOS CONTRACCIONES LATERALES).

H. en cm.	Q. en l/seg	H. en cm.	Q. en l/seg
0.5	0.7	13.0	86.3
1.0	1.8	14.0	96.3
1.5	3.3	15.0	106.9
2.0	5.2	16.0	117.8
2.5	7.4	17.0	129.0
3.0	9.6	18.0	140.6
3.5	12.0	19.0	152.4
4.0	14.7	20.0	164.5
4.5	17.5	21.0	177.0
5.0	20.6	22.0	189.9
5.5	23.7	23.0	203.0
6.0	27.0	24.0	216.4
6.5	30.5	25.0	230.0
7.0	34.0	26.0	244.0
7.5	37.7	27.0	258.2
8.0	41.6	28.0	272.7
8.5	45.6	29.0	287.4
9.0	49.7	30.0	302.3
9.5	53.9	31.0	317.6
10.0	58.1	32.0	333.0
11.0	67.2	33.0	348.9
12.0	76.5		

TABLA 3. TABLA PARA EL CALCULO DEL GASTO EN VERTEDEROS TRAPEZOIDALES O CIPOLLETTI. $Q = 1,859 L. H^{3/2}$.

Carga en cm.	LONGITUD DE LA CRESTA DEL VERTEDERO				
	0.30 m	0.45 m	0.60 m	0.75 m	1.00 m
1	0.5	0.8	1.1	1.4	1.8
2	1.5	2.3	3.1	3.9	5.2
3	2.9	4.3	5.8	7.2	9.6
4	4.4	6.7	8.9	11.1	14.9
5	6.2	9.3	12.5	15.6	20.8
6	8.2	12.3	16.4	20.5	27.3
7	10.3	15.5	20.6	25.8	34.4
9	15.0	22.6	30.1	37.6	50.2
10	17.6	26.4	35.2	44.0	58.7
11	20.3	30.5	40.7	50.9	67.8
12	23.2	34.8	46.4	58.0	77.3
13	26.1	39.2	52.3	65.4	87.2
14	29.2	43.8	58.4	73.0	97.4
15	32.4	48.6	64.8	81.0	108.0
16	35.7	53.5	71.4	89.2	119.0
17	39.1	58.6	78.2	97.7	130.3
18	42.6	63.9	85.2	106.5	142.0
19	46.2	69.2	92.3	115.4	153.9
20	49.8	74.8	99.7	124.6	166.2
21	53.6	80.5	107.3	134.1	178.8
22	57.5	86.3	115.1	143.9	191.8
23	61.5	92.2	123.0	153.8	205.0
24	65.6	98.4	131.2	163.9	218.6
25	69.7	104.5	139.4	174.3	232.4
26	73.9	110.9	147.9	184.9	246.5
27	78.2	117.3	156.5	195.6	260.8
28	82.6	123.9	165.3	206.6	275.5
29	87.1	130.0	174.2	217.8	290.4
	(* 1)				
30	-	137.4	183.2	229.0	305.4
31	-	144.4	192.5	240.6	320.8
32	-	151.4	201.9	252.3	33.6.5
33	-	158.6	211.5	264.3	352.4
34	-	165.9	221.2	276.4	368.6
35	-	173.2	231.0	288.7	385.0
36	-	180.7	240.9	301.1	401.5

CONTINUACION TABLA 3.

Carga en cm.	LONGITUD DE LA CRESTA DEL VERTEDERO				
	0.30 m	0.45 m	0.60 m	0.75 m	1.00 m
37	-	188.3	251.1	313.8	418.4
38	-	195.9	261.2	326.5	435.4
39	-	203.8	271.7	339.6	470.3
40	-	211.6	282.2	352.7	488.0
41	-	219.6	292.8	366.0	488.0
42	-	227.7	303.6	379.5	506.0
43	-	235.9	314.5	393.1	524.2
44	-	244.2	325.6	406.9	542.6
45	-	(* 2)	336.7	420.9	561.2
46	-	-	348.0	435.0	580.0
47	-	-	359.4	449.2	598.9
48	-	-	370.9	463.6	618.1
49	-	-	382.6	478.2	637.6
50	-	-	394.4	493.0	657.3
51	-	-	406.2	507.7	677.0
52	-	-	418.3	522.8	697.1
53	-	-	430.3	537.9	717.2
54	-	-	442.6	553.2	737.6
55	-	-	455.0	568.7	758.3
56	-	-	467.4	584.3	779.1
57	-	-	489.9	599.9	799.9
58	-	-	492.7	615.8	821.1
59	-	-	505.5	631.8	842.5
			(* 3)		
60	-	-	-	648.0	864.0
61	-	-	-	664.2	885.6
62	-	-	-	680.6	907.5
63	-	-	-	697.1	929.5
64	-	-	-	713.8	951.8
65	-	-	-	730.5	974.1
65	-	-	-	747.6	996.8
67	-	-	-	764.6	1.019.5
68	-	-	-	781.7	1.042.3
69	-	-	-	799.1	1.065.6

x (1.2.3.) Lecturas de carga superior dan lecturas de gasto imprecisas.

TABLA 4. TABLA DE GASTOS PARA VERTEDERO TRIANGULAR DE 90°.

Carga H cm	Gasto 0.0	lt/seg 0.5	Carga H cm	Gasto 0.0	lt/seg 0.5	Carga H cm	Gasto 0.0	lt/seg 0.5
3	0.21	0.31	30	66.6	69.4	60	376.5	384.3
4	0.43	0.58	31	72.2	75.2	61	392.3	400.4
5	0.75	0.96	32	78.2	81.3	62	408.6	416.9
6	1.19	1.45	33	84.5	87.8	63	425.3	433.8
7	1.75	2.08	34	91.0	94.4	64	442.4	451.0
8	2.44	2.84	35	97.9	101.4	65	459.8	468.7
9	3.28	3.76	36	105.0	108.7	66	477.8	486.8
			37	112.5	116.2	67	496.0	505.3
10	4.3	4.80	38	120.2	124.2	68	514.8	524.3
11	5.4	6.1	39	128.3	132.4	69	533.9	543.6
12	6.8	7.4						
13	8.2	9.0	40	136.6	140.9	70	553.5	563.4
14	9.9	10.8	41	145.3	149.7	71	573.5	583.6
15	11.7	12.8	42	154.3	159.0	72	593.9	604.3
16	13.8	15.0	43	164.3	168.5	73	614.7	625.2
17	16.1	17.3	44	173.3	178.3	74	636.0	646.8
18	18.5	19.8	45	183.3	188.5	75	657.6	668.7
19	21.2	22.7	46	193.7	199.0	76	679.7	691.1
			47	204.4	209.9	77	702.4	713.9
20	24.2	25.7	48	215.5	221.1	78	725.4	737.1
21	27.3	28.9	49	226.9	232.7	79	748.9	760.7
22	30.6	32.4						
23	34.3	36.2	50	238.7	244.6	80	772.7	784.0
24	38.1	40.1	51	250.7	256.6	81	797.2	809.5
25	42.1	44.3	52	263.3	269.6	82	822.0	834.6
26	46.6	48.9	53	276.1	282.7	83	847.3	860.1
27	51.2	53.6	54	289.3	296.1	84	873.0	886.1
28	56.0	58.6	55	302.8	309.8	85	899.3	912.6
29	61.2	63.9	56	316.8	324.0	86	926.0	939.5
			57	331.2	338.4	87	953.1	966.9
			58	345.9	353.4	88	980.8	994.7
			59	361.0	368.7	89	1.008.0	1.023.0

TABLA 5. DIMENSIONES DE CANOA PARSHALL DE 3, 6, 9, 12 Y 24 PULGADAS DE GARGANTA (Letras según figura 13).

W	A	B	B	D	E	F	G	K	N	X	Y	Q _{min}	Q _{max}
Pulg.	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	l/seg	l/seg
3	46.6	45.7	17.8	25.8	38.1	15.2	30.5	2.5	5.7	2.5	3.8	0.85	34.0
6	62.2	61.0	39.3	39.3	45.7	30.5	61.0	7.6	11.3	5.1	7.6	1.40	110.4
9	88.0	82.6	56.4	55.0	61.0	30.5	45.7	7.6	11.3	5.1	7.6	2.56	249.2
12	137.2	134.3	61.0	84.6	91.4	61.0	91.4	7.6	22.6	5.1	7.6	9.91	453.0
24	152.4	149.5	91.4	120.7	91.4	61.0	91.4	7.6	22.6	5.1	7.6	21.6	900.0

TABLA 6. COEFICIENTE "B" Y "X" PARA LA ECUACION DE CALCULO DE GASTOS DE CANOAS PARSHALL.

Garganta en metros	"b"	"x"
0.15	0.281	1.580
0.30	0.680	1.522
0.50	1.161	1.542
0.75	1.774	1.558
1.00	2.400	1.570

TABLA 7. TABLA DE CAUDALES PARA CANOA PARSHALL.

ALTURA	ANCHO DE LA GARGANTA (cm)				
Ha. cm	7.5(3'')	15(6'')	22.5(9'')	30(12'')	61(24'')
3	0.78	1.4	2.0	-	-
4	1.20	2.3	4.0	-	-
5	1.60	3.1	5.4	-	-
6	2.3	4.5	7.3	9.8	18
7	2.9	5.7	9.0	12.0	23
8	3.5	7.1	11.0	15.0	28
9	4.3	8.6	13.0	18.0	35
10	5.0	10.0	15.0	21.0	41
11	5.8	12.0	18.0	24.0	46
12	6.5	13.0	21.0	27.0	52
13	7.5	15.0	24.0	32.0	61
14	8.5	17.0	27.0	35.0	68
15	9.6	19.0	29.0	38.0	75
16	10.3	21.0	32.0	42.0	82
17	11.0	23.0	35.0	47.0	92
18	12.0	25.0	38.0	51.0	100
19	13.0	27.0	42.0	55.0	108
20	14.0	29.0	45.0	59.0	117
22	17.0	35.0	52.0	69.0	136
23	18.0	37.0	56.0	73.0	145
24	19.0	40.0	60.0	78.0	155
25	21.0	43.0	64.0	84.0	166
26	22.0	45.0	68.0	89.0	176
27	23.0	48.0	72.0	94.0	186
28	25.0	51.0	76.0	100.0	199
29	26.0	54.0	80.0	105.0	209
30	27.0	57.0	84.0	110.0	220
31	28.0	60.0	89.0	116.0	232
32	30.0	63.0	93.0	122.0	244
33	-	67.0	98.0	128.0	257
34	-	70.0	103.0	134.0	270
35	-	73.0	107.0	140.0	280
36	-	76.0	110.0	146.0	290

BIBLIOGRAFIA

BOS, M. G. 1976. Discharge measurement structures. ILRI, Wageningen, Holland.

DOMINGUEZ S, FRANCISCO JAVIER, Hidráulica, Tercera edición. Santiago, Chile, Editorial Universitaria, 1959. 720 p.

ISRAELSEN ORSON W. Irrigation principles and practices. Second edition. New York, N.Y., John Wiley and Sons, 1950. 405 p.

KING, W.H. Manual de Hidráulica. UTEHA, 1° Ed. en Español, México, 1962. 536 p.

KRAATZ, D. B. and I. K. MAHAJAN. 1976. Pequeñas obras hidráulicas. FAO, Serie Estudio sobre Riego y Avenamientos N° 26/2.

SCOTT, H. V. Y HOUSTON E. C. Measuring irrigation Water Cal. Ag. Exp. Sta. University of California, Circular 473. 52 p.

TRUEBA C., S. Hidráulica. México 1959. Nurgis Ed. 4a. Ed. 430 p.

VENNARD K. J. Elementary Fluid Mechanics John Wiley Ed. 3a. New York 1954. 401 p.

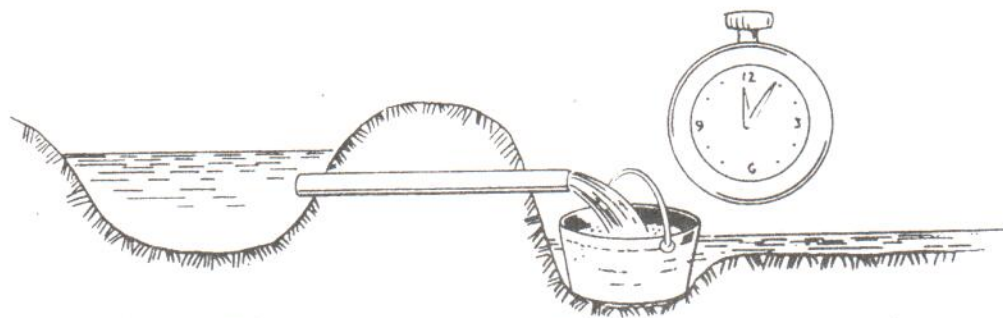


Figura 1. Medición volumétrica del caudal.

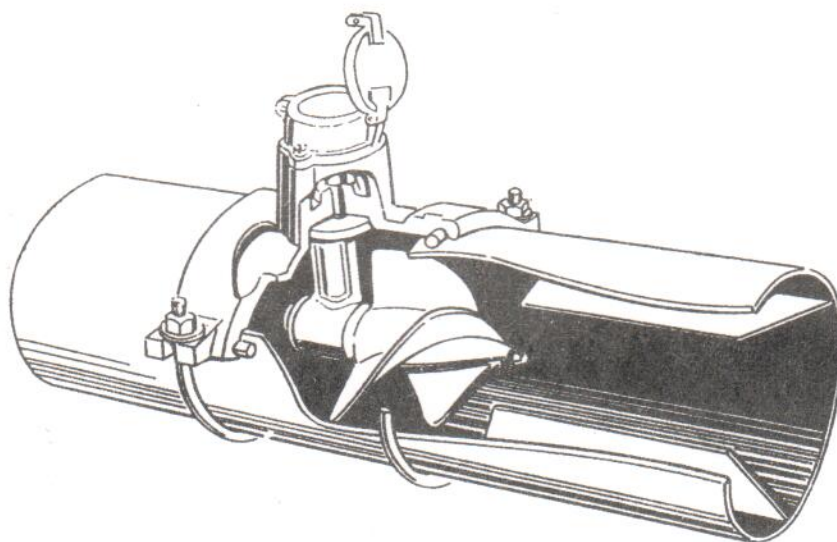
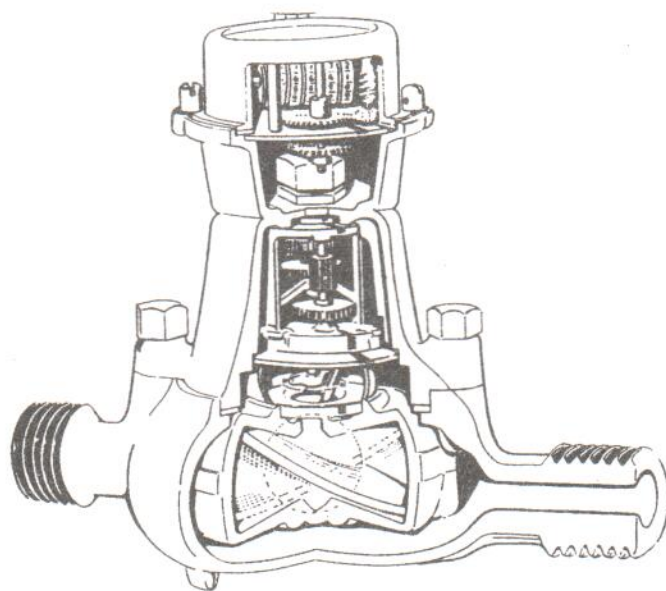


Figura 2. Medidores comerciales de agua

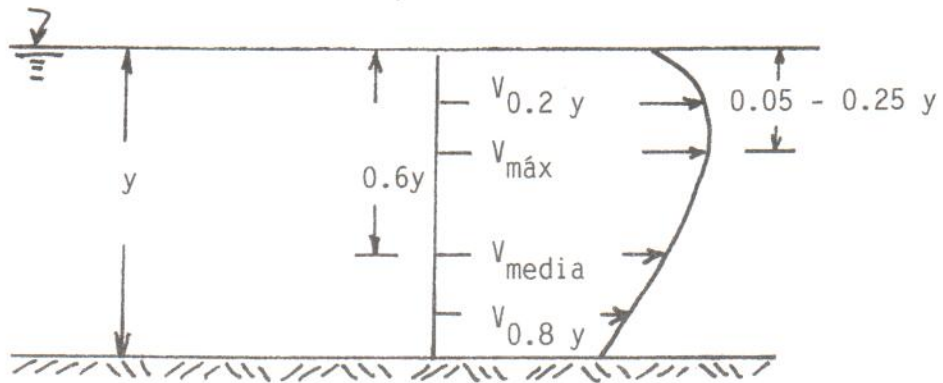


Figura 3. Distribución de las velocidades de agua en un canal

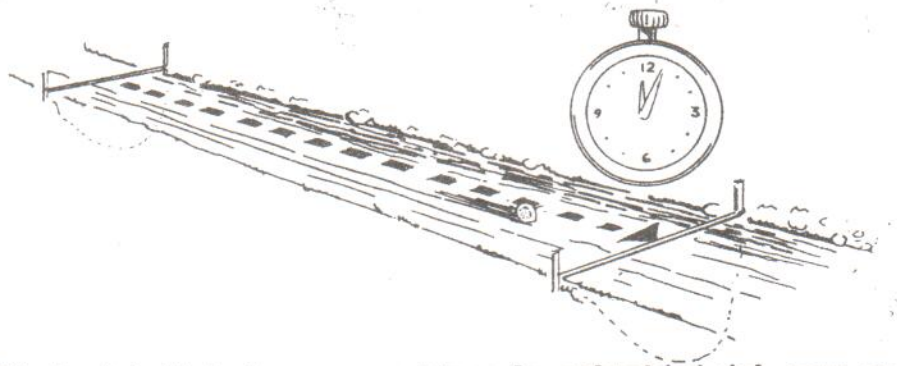


Figura 4. Método del flotador para estimar la velocidad del agua en un canal

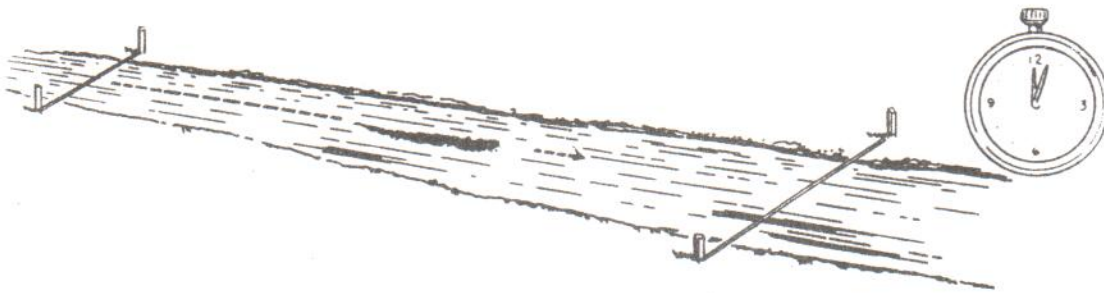
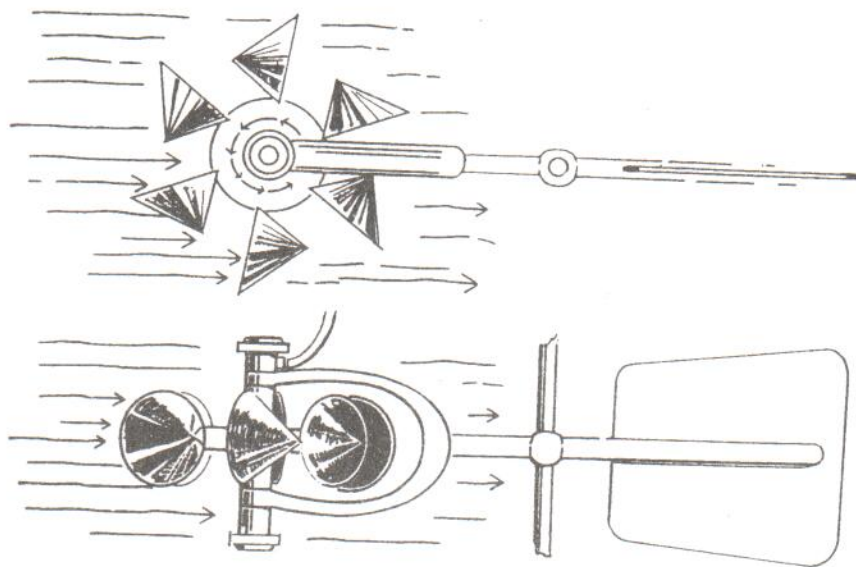
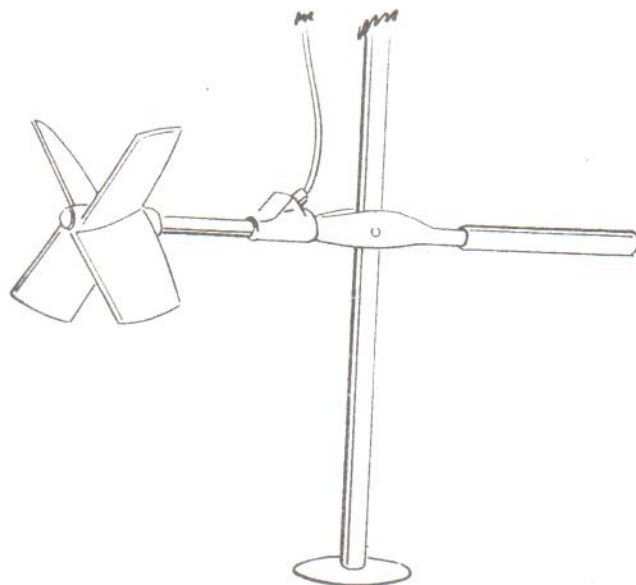


Figura 5. Método de trazadores para estimar la velocidad del agua en un canal.



a. Molinete tipo Price



b. Molinete tipo Hott.

Figura 6. Molinetes hidráulicos

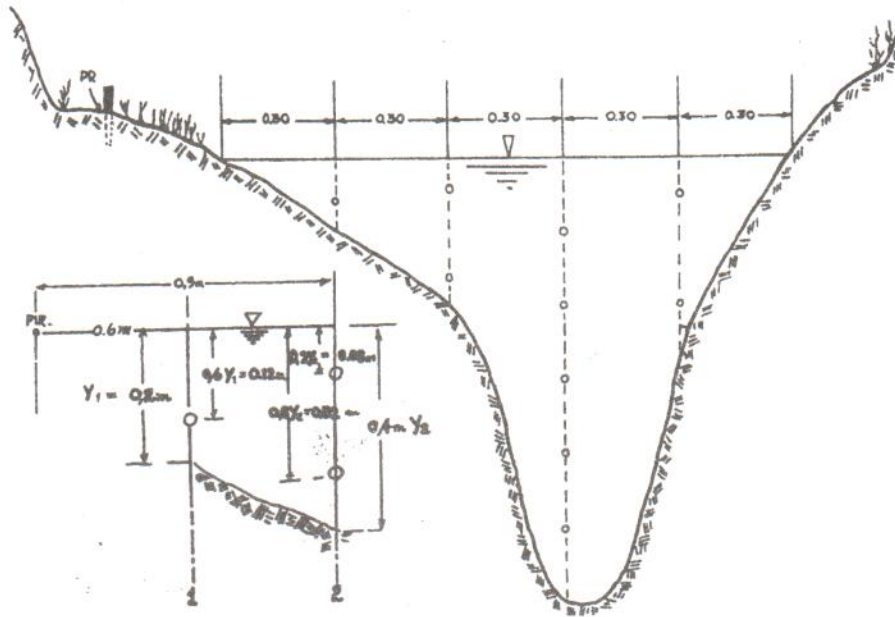


Figura 7. Formas de determinación de las velocidades en la sección transversal de un canal.

Corriente de Agua

COEF. ANGUL.	ABSCISA	ANCHO AREA DE CALCULO	PROFUNDIDAD		Nº VUELTAS	TIEMPO SEG.	VELOCIDAD			AREA	GASTO
			Total	de Observac.			Observada	Media	Corregida		
	0.00	0.15	0.0								• 0.85
	0.30	0.30	0.20	0.12	10	56	0.129	0.129	0.06	0.008	
	0.60	0.30	0.40	0.08	15	56	0.192	0.159	0.12	0.019	• 0.90
				0.32	10	57	0.127				• 0.92
	0.90	0.30	1.20	0.20	25	48	0.387	0.326	0.36	0.117	• 0.94
				0.40	30	53	0.376				• 0.96
				0.60	25	51	0.340				• 0.97
				0.80	20	47	0.294				• 0.98
				1.00	20	59	0.234				• 0.99
	1.20	0.30	0.50	0.10	10	60	0.121	0.123	0.15	0.018	• 1.00
				0.40	10	58	0.125				
	1.50	0.15	0.0								• 0.99
										$Q_{total} = 0.162$	• 0.98

Figura 8. Planilla de cálculo del caudal de agua en un canal

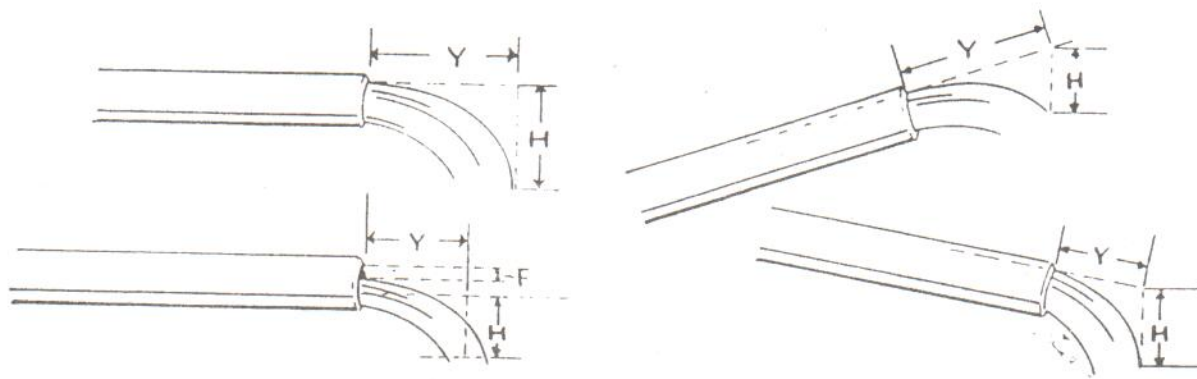


Figura 9. Trayectoria de la vena líquida desde una tubería completa y parcialmente llena.

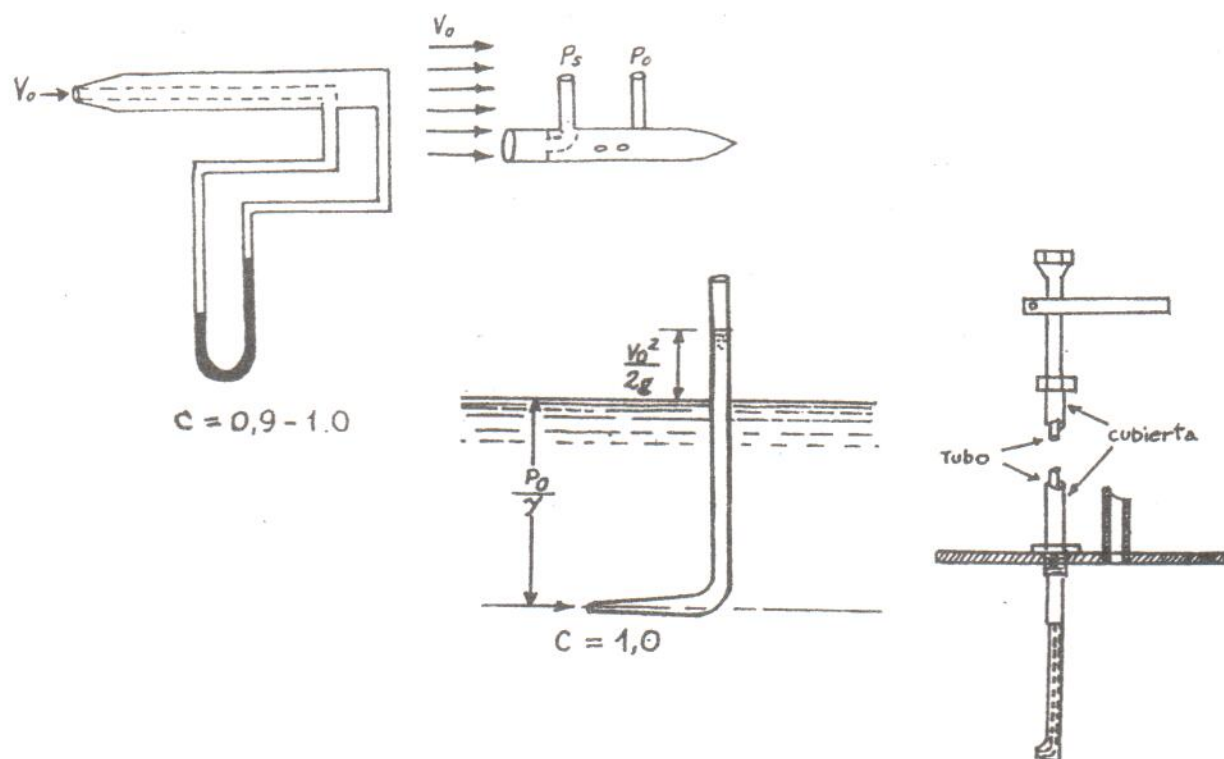


Figura 10. Diversos tubos pitot usados comúnmente en aforos de agua en cañerías.

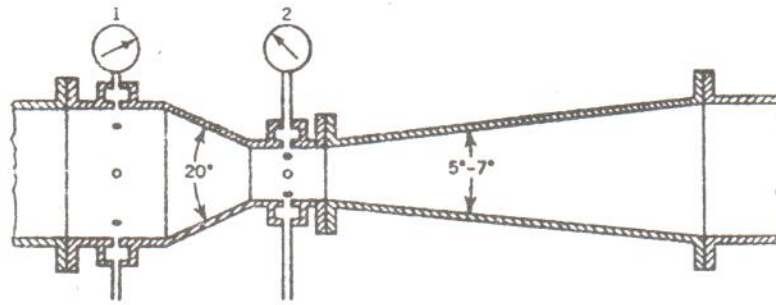


Figura 15. Tubo Venturi para medir gastos en cañerías

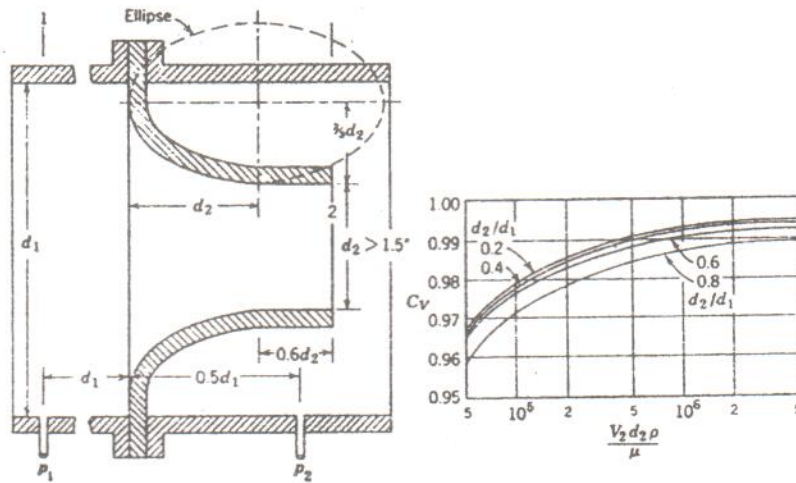


Figura 16. Medidor de boquilla

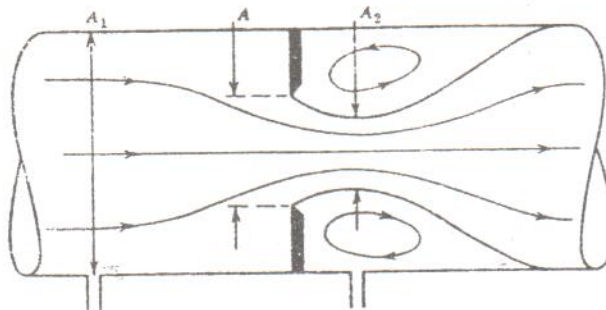


Figura 17. Disco de aforo

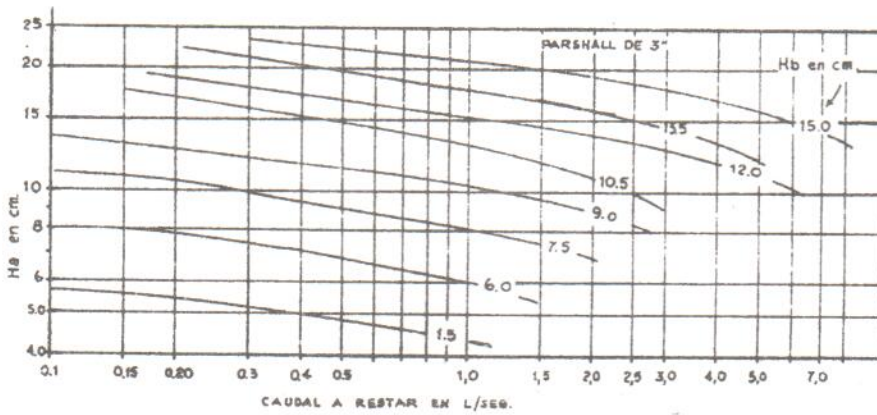
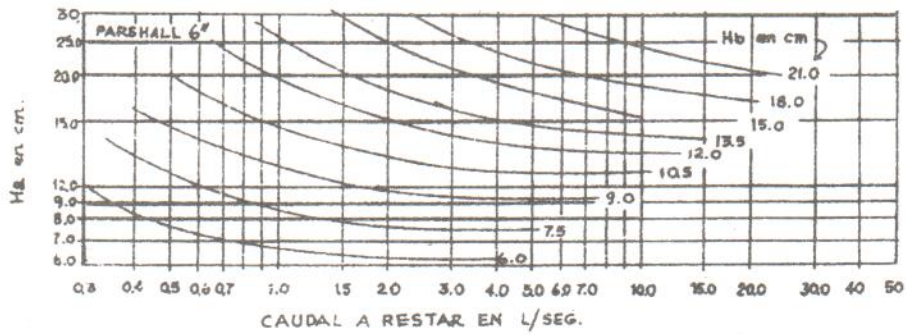
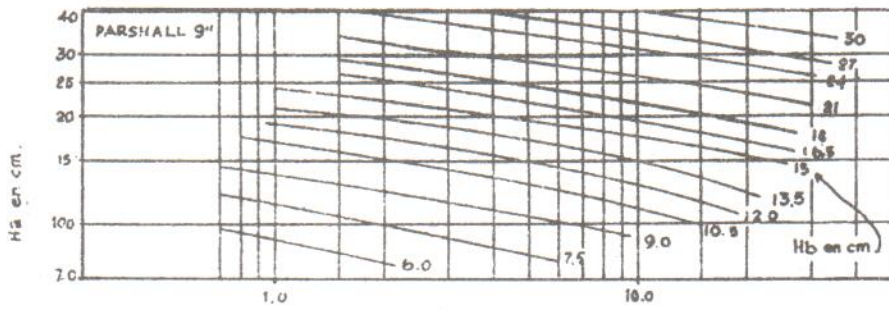
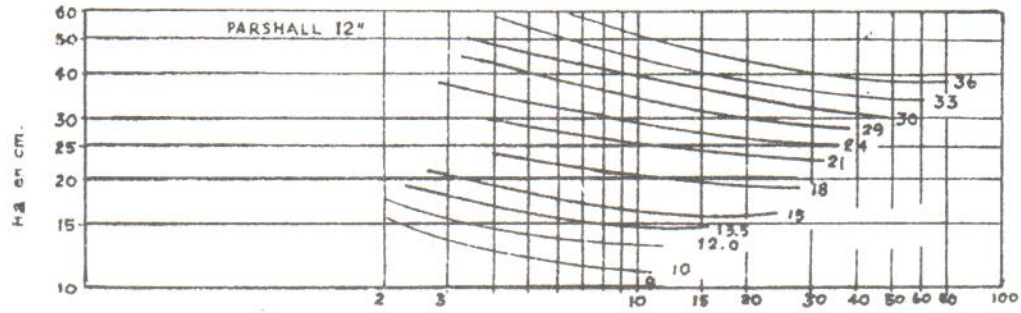


Figura 14. Diagramas para el cálculo del factor de corrección en caños Parshall de 12, 9, 6 y 3 pulgadas de garganta.

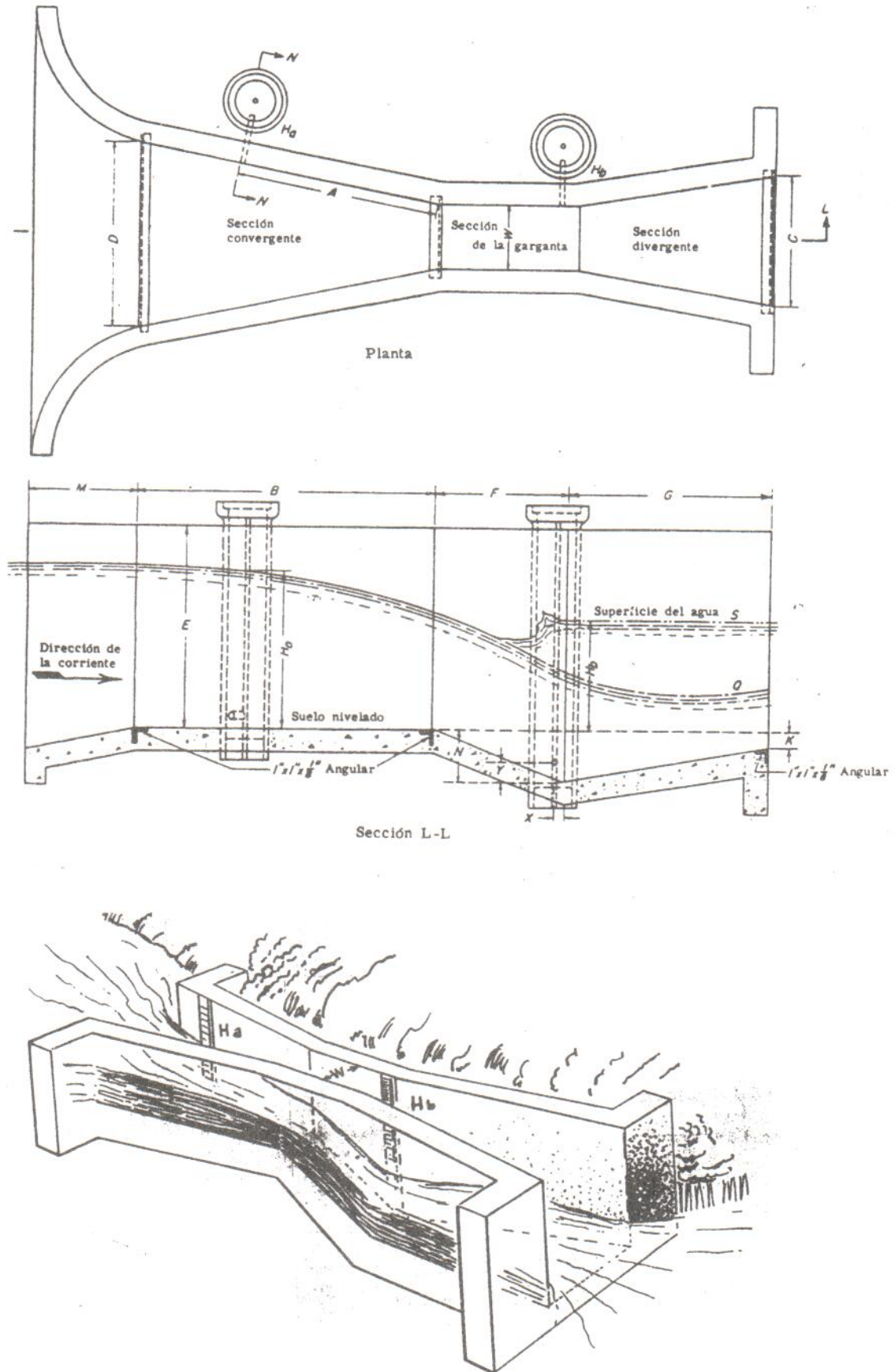


Figura 13. Planta, corte y vista hipsométrica de una canoa Parshall

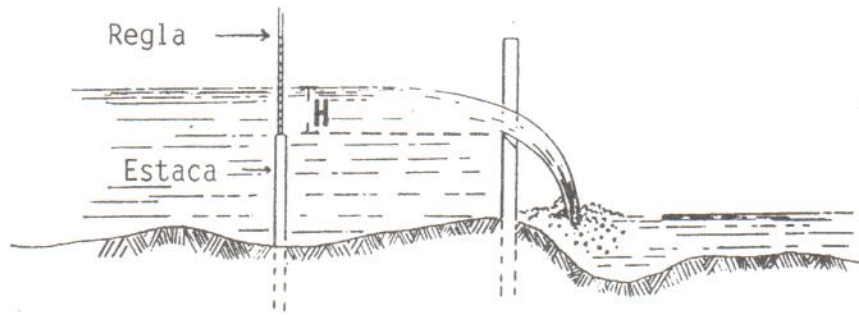


Figura 11. Sección transversal y partes de un vertedero

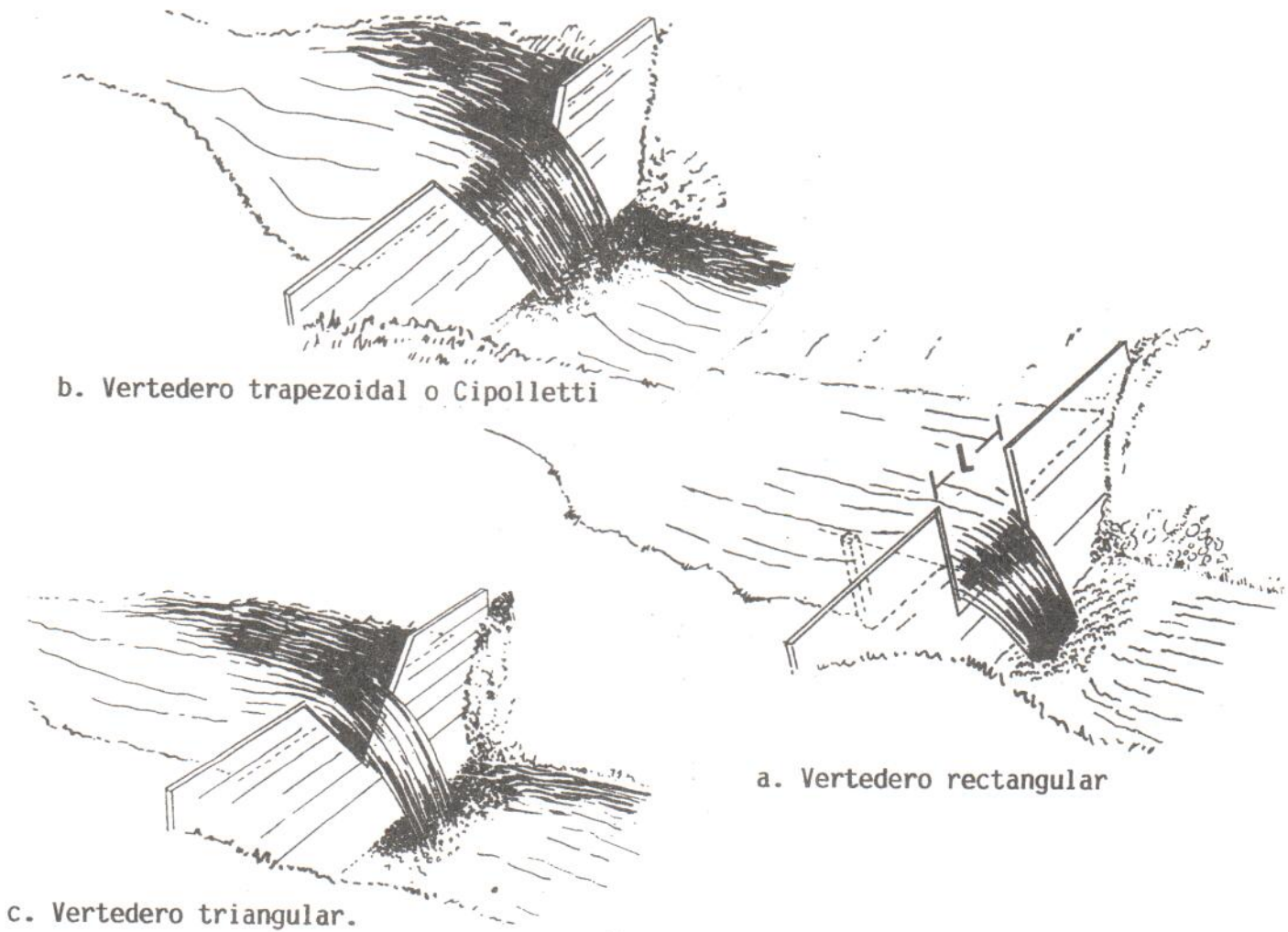


Figura 12. Vertederos para determinar el caudal de agua en un canal

Impreso en los Talleres de la
UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
CAMPUS CHILLAN