

---

[Métodos volumétricos](#)

[Método velocidad/superficie](#)

[Clasificación de una estación de aforo](#)

[Formulas empíricas para calcular la velocidad](#)

[Limnógrafos](#)

---

En el presente capítulo se analizan los métodos para medir los **caudales de escorrentía** en los canales, los arroyos y los ríos. En el Capítulo 7 se estudia la estimación de la **cantidad de escorrentía total** por métodos empíricos o a partir de modelos.

## Métodos volumétricos

La forma más sencilla de calcular los caudales pequeños es la medición directa del tiempo que se tarda en llenar un recipiente de volumen conocido. La corriente se desvía hacia un canal o cañería que descarga en un recipiente adecuado y el tiempo que demora su llenado se mide por medio de un cronómetro. Para los caudales de más de 4 l/s, es adecuado un recipiente de 10 litros de capacidad que se llenará en 2½ segundos. Para caudales mayores, un recipiente de 200 litros puede servir para corrientes de hasta 50 l/s. El tiempo que se tarda en llenarlo se medirá con precisión, especialmente cuando sea de sólo unos pocos segundos. La variación entre diversas mediciones efectuadas sucesivamente dará una indicación de la precisión de los resultados.

Si la corriente se puede desviar hacia una cañería de manera que descargue sometida a presión, el caudal se puede calcular a partir de mediciones del chorro. Si la cañería se puede colocar de manera que la descarga se efectúe verticalmente hacia arriba, la altura que alcanza el chorro por encima del extremo de la tubería se puede medir y el caudal se calcula a partir de una fórmula adecuada tal como se indica en la Figura 19. Es asimismo posible efectuar estimaciones del caudal a partir de mediciones de la trayectoria desde tuberías horizontales o en pendiente y desde tuberías parcialmente llenas, pero los resultados son en este caso menos confiables (Scott y Houston 1959).

## Método velocidad/superficie

Este método depende de la medición de la velocidad media de la corriente y del área de la sección transversal del canal, calculándose a partir de la fórmula:

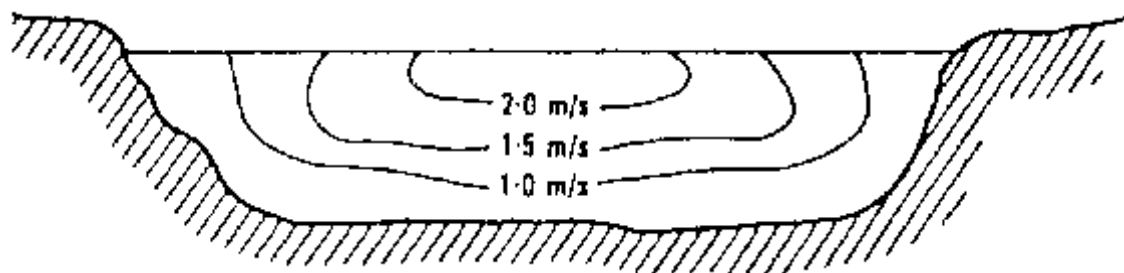
$$Q(\text{m}^3/\text{s}) = A(\text{m}^2) \times V(\text{m}/\text{s})$$

La unidad métrica es m<sup>3</sup>/s. Como m<sup>3</sup>/s es una unidad grande, las corrientes menores se miden en litros por segundo (l/s).

Una forma sencilla de calcular la velocidad consiste en medir el tiempo que tarda un objeto flotante en recorrer, corriente abajo, una distancia conocida. La velocidad no es

---

**FIGURA 20 - Variación de la velocidad en una corriente**



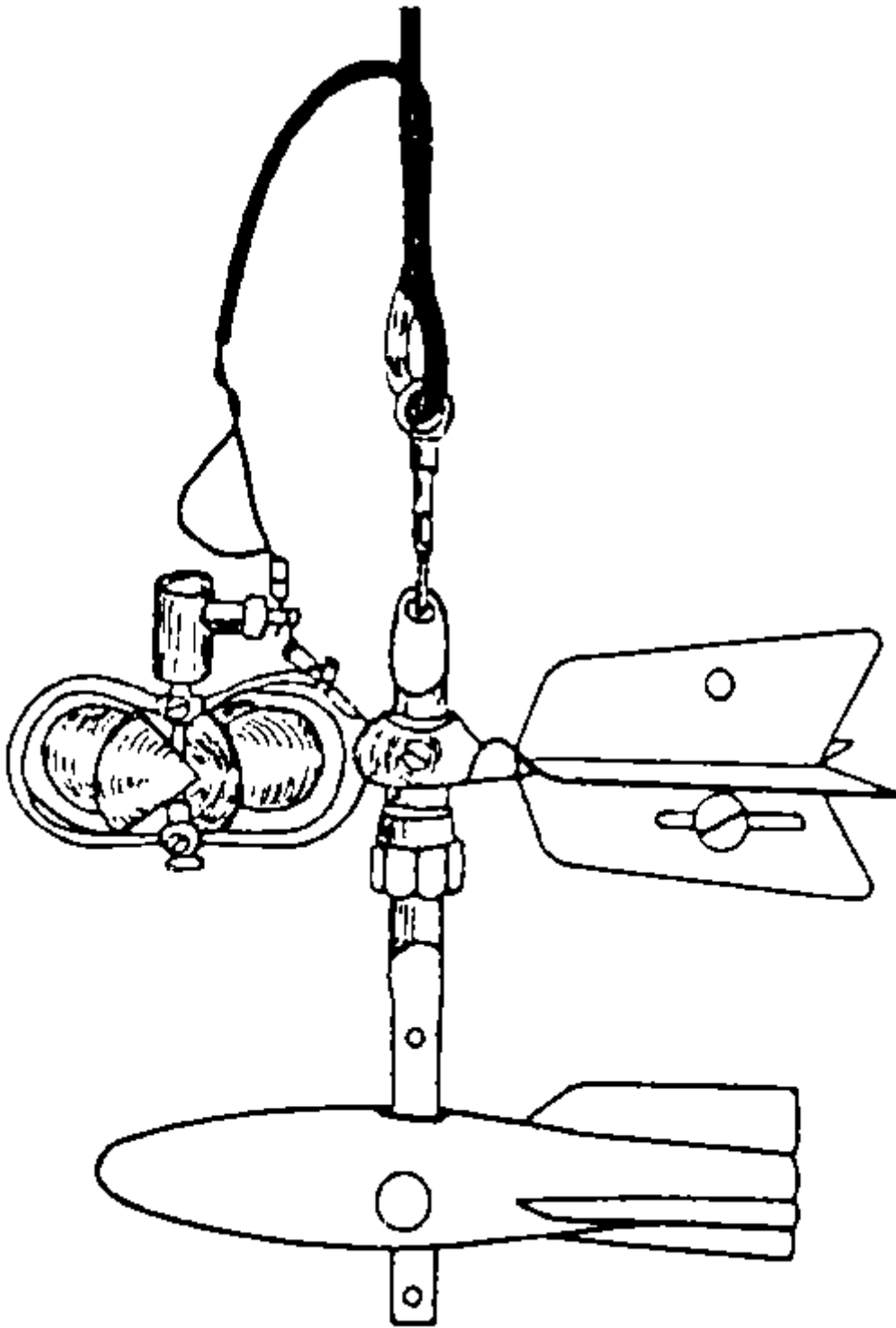
Otro método consiste en verter en la corriente una cantidad de colorante muy intenso y medir el tiempo en que recorre aguas abajo una distancia conocida. El colorante debe añadirse rápidamente con un corte neto, para que se desplace aguas abajo como una nube colorante. Se mide el tiempo que tarda el primer colorante y el último en llegar al punto de medición aguas abajo, y se utiliza la media de los dos tiempos para calcular la velocidad media.

En las corrientes turbulentas la nube colorante se dispersa rápidamente y no se puede observar y medir; es posible usar otros indicadores, ya sean productos químicos o radioisótopos; se conoce como el método de la dilución. Una solución del indicador de densidad conocida se añade a la corriente a un ritmo constante medido y se toman muestras en puntos situados aguas abajo. La concentración de la muestra tomada aguas abajo se puede comparar con la concentración del indicador añadido y la dilución es una función del caudal, la cual es posible calcular.

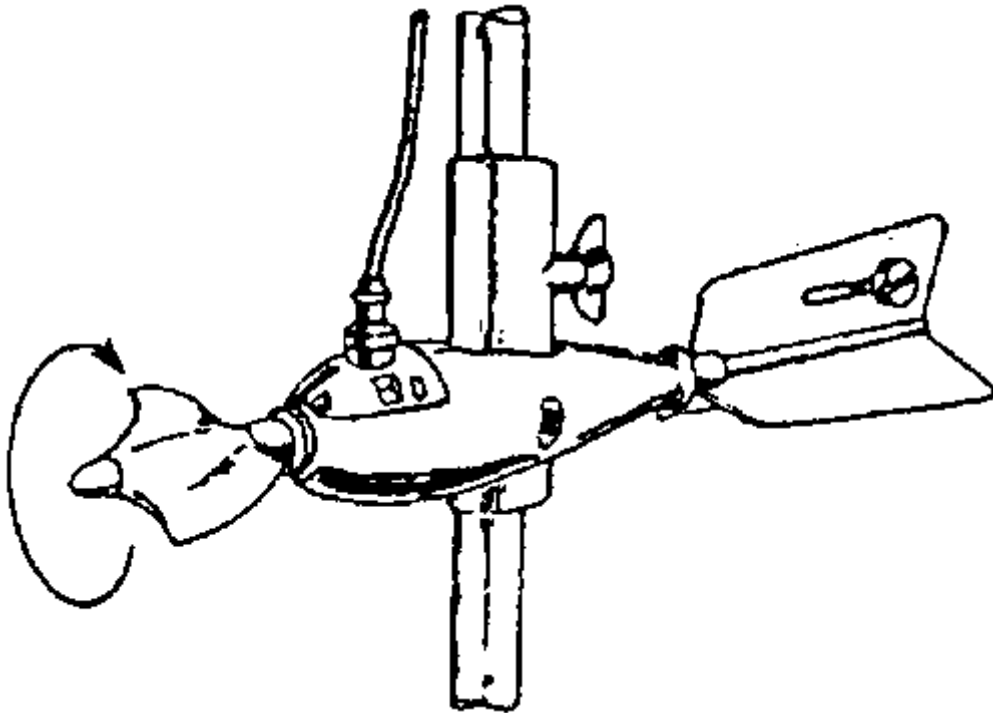
Una determinación más exacta de la velocidad se puede obtener utilizando un molinete. En la Figura 21 se ilustran los dos principales tipos de molinete. El de tipo de taza cónica gira sobre un eje vertical y el de tipo hélice gira sobre un eje horizontal. En ambos casos la velocidad de rotación es proporcional a la velocidad de la corriente; se cuenta el número de revoluciones en un tiempo dado, ya sea con un contador digital o como golpes oídos en los auriculares que lleva el operador. En las corrientes superficiales se montan pequeños molinetes sobre barras que sostienen operarios que caminan por el agua (Fotografía 23). Cuando hay que medir caudales de una avenida en grandes ríos, las lecturas se toman desde un puente o instalando un cable suspendido por encima del nivel máximo de la avenida; el molinete se baja por medio de cables con pesas para retenerlo contra la corriente del río.

FIGURA 21 - Dos tipos de molinete

a) tipo taza cónica



### b) tipo hélice

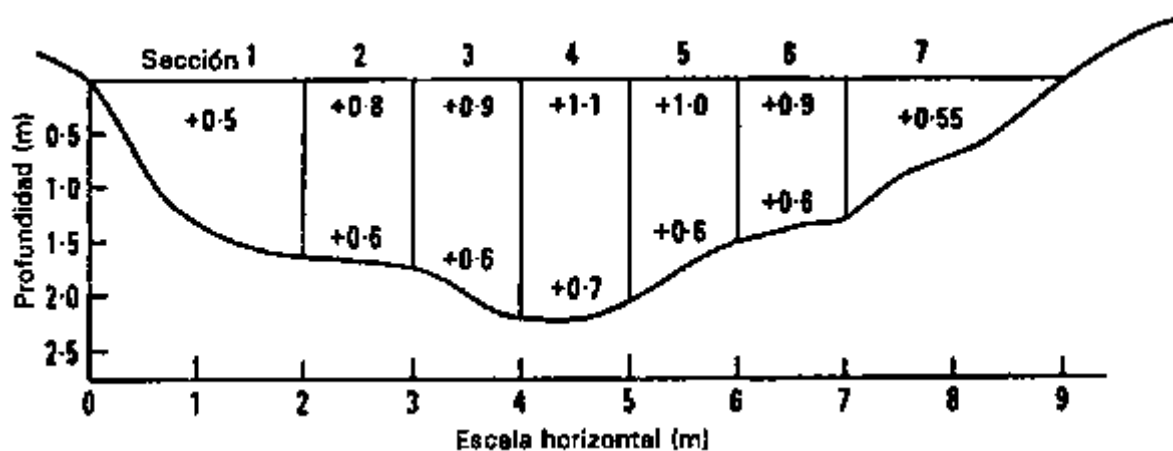


Un molinete mide la velocidad en un único punto y para calcular la corriente total hacen falta varias mediciones. El procedimiento consiste en medir y en trazar sobre papel cuadriculado la sección transversal de la corriente e imaginar que se divide en franjas de igual ancho como se muestra en la Figura 22. La velocidad media correspondiente a cada franja se calcula a partir de la media de la velocidad medida a 0,2 y 0,8 de la profundidad en esa franja. Esta velocidad multiplicada por la superficie de la franja da el caudal de la franja y el caudal total es la suma de las franjas.

El Cuadro 2 muestra cómo se efectuarán los cálculos con respecto a los datos indicados en la Figura 22. En la práctica, se utilizarían más franjas que el número indicado en la Figura 22 y en el Cuadro 2. Para aguas poco profundas se efectúa una única lectura a 0,6 de la profundidad en lugar de la media de las lecturas a 0,2 y 0,8.

A veces la información necesaria con respecto a las corrientes es el caudal máximo y se puede efectuar una estimación aproximada utilizando el método velocidad/superficie. La profundidad máxima del caudal en una corriente se puede a veces deducir de la altura de los residuos atrapados en la vegetación de los márgenes o de señales más elevadas de socavación o de depósitos de sedimentos en la orilla. También es posible instalar algún dispositivo para dejar un registro del nivel máximo. Para evitar lecturas falsas debidas a la turbulencia de la corriente, se utilizan pozas de amortiguación, normalmente una tubería con agujeros del lado aguas abajo. La profundidad máxima del agua se puede registrar sobre una varilla pintada con una pintura soluble en agua, o a partir de las trazas dejadas en el nivel superior de algún objeto flotante sobre la superficie del agua en la varilla. Entre otros materiales utilizados cabe mencionar corcho molido, polvo de tiza o carbón molido. Una vez que se conoce la profundidad máxima de la corriente, se puede medir el área de la sección transversal correspondiente del canal y calcular la velocidad por alguno de los métodos descritos, teniendo presente que la velocidad en un caudal elevado suele ser superior a la de un caudal normal.

**FIGURA 22 - Cálculo del caudal de una corriente a partir de las mediciones efectuadas con un molinete. Los cálculos correspondientes a este ejemplo figuran en el Cuadro 2**



**CUADRO 2 - Cálculo del caudal a partir de las lecturas en el molinete**

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

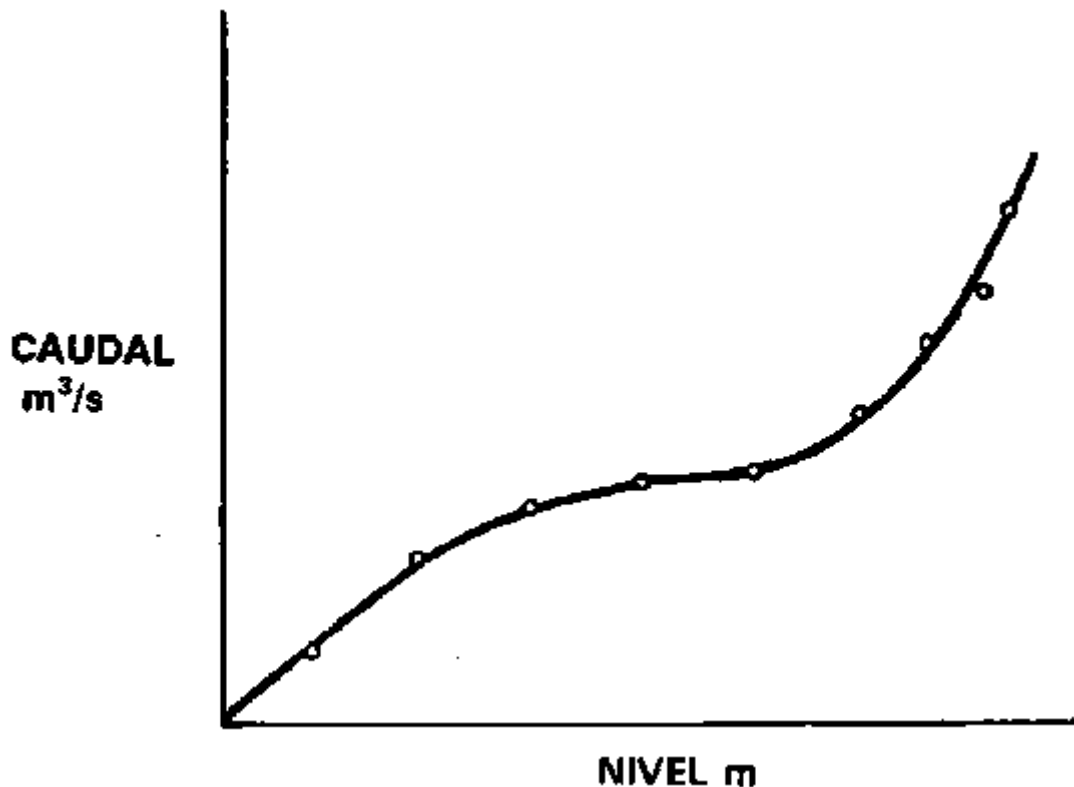
D es la profundidad de la corriente en el punto medio de cada sección.

### Clasificación de una estación de aforo

Si se efectúan mediciones del caudal por el método del molinete cuando el río fluye a profundidades diferentes, esas mediciones se pueden utilizar para trazar un gráfico del caudal en comparación con la profundidad de la corriente tal como se muestra en la Figura 23. La profundidad del flujo de una corriente o de un río se denomina **nivel de agua**, y cuando se ha obtenido una curva del caudal con relación al nivel de agua, la estación de aforo se describe como **calibrada**. Las estimaciones posteriores del caudal se pueden obtener midiendo el nivel en un punto de medición permanente y efectuando lecturas del caudal a partir de la curva de calibrado. Si la sección

transversal de la corriente se modifica a causa de la erosión o de la acumulación de depósitos, se tendrá que trazar una nueva curva de calibrado. Para trazar la curva, es necesario tomar mediciones a muchos niveles diferentes del caudal, con inclusión de caudales poco frecuentes que producen inundaciones. Es evidente que esto puede requerir mucho tiempo, particularmente si el acceso al lugar es difícil, por lo que es preferible utilizar algún tipo de vertedero o aforador que no necesite ser calibrado individualmente, como se analiza más adelante.

**FIGURA 23 - Ejemplo de la curva de calibrado de una corriente o río**



## Limnógrafos

Algunas veces una sola medición de la profundidad máxima del caudal basta para calcular el caudal máximo, como se describió en la sección relativa al método *velocidad/superficie*. Si hace falta un **hidrograma**, es decir, una gráfica del **caudal en función** del tiempo, es necesario un registro constante de los cambios del nivel del agua. Durante décadas el método común era un flotador cuyo ascenso y descenso en una poza de amortiguación registraba en un diagrama movido por un aparato de relojería. Esos registradores eran flexibles en el sentido de que se podía utilizar un engranaje que permitía abarcar variaciones de nivel grandes o pequeñas y la relación tiempo-velocidad de los diagramas podía también variar por medio del engranaje en el aparato de relojería. La desventaja era la sensibilidad a errores accidentales y a un mal funcionamiento; para indicar, por ejemplo, algunos de ellos, la cañería de la poza de amortiguación se bloqueaba, los insectos anidaban en la caja del registrador, la humedad o la aridez provocaban el desborde o la sequedad de la tinta del registrador, el diagrama podía estirarse o contraerse, el reloj se para, el observador no puede llegar al lugar para cambiar el diagrama, y muchos otros problemas. Las inspecciones diarias no son siempre posibles en lugares remotos o de difícil acceso. Además de las dificultades de obtener datos correctos, el análisis y la computación de los diagramas son laboriosos.

Afortunadamente la tecnología moderna ha mejorado considerablemente en lo que hace a la recopilación y el procesamiento de datos. Por ejemplo, los detectores no flotantes del nivel se pueden basar en la resistencia/capacidad eléctrica o en la presión sobre un bulbo herméticamente cerrado o en la descarga de burbujas de aire o en transductores acústicos. Los más comúnmente utilizados hoy son el transductor de presión en el que se capta eléctricamente la desviación de una membrana. Estos detectores se pueden conectar con ordenadores, relojes automáticos y almacenamiento de memoria para lograr cualquier tipo y frecuencia requeridos de registro y traspasar los datos almacenados a un ordenador para efectuar un análisis rápido.

---