

# XV

## Laboratorio n.º 15.

### Manejo de caudal con molinete

#### 15.1 Introducción

Se conoce como aforo a la actividad hidráulica que se desarrolla en el movimiento de un fluido de un punto a otro por una corriente que lo impulsa (Godoy, 2019, p. 20).

Marbello y Cárdenas (2012). Entre los puntos de estudio más relevantes que se encuentran cuando se quiere conocer un caudal está el levantamiento del perfil transversal del aforo, y las medidas de las distintas profundidades y velocidades del flujo y el canal que lo conduce, con las diferentes zonas de esta sección (p. 241).

Para realizar este estudio del caudal se toma como referencia una sección transversal del cauce del agua, para esto es necesario conocer aspectos físicos de la sección tomada, como eje de estudio, para lo que se debe realizar un levantamiento altimétrico de esta sección.

Cuando se utiliza el molinete hidrométrico existe una gran variedad de procedimientos que permiten medir los caudales de agua en las corrientes naturales y artificiales, aunque esto presenta limitación cuando el caudal es muy pequeño, o las direcciones del flujo

cambian, para estos casos se utilizan otros métodos de medición de caudal, como los vertederos, o por difusión de trazadores. La gran mayoría de estructuras hidráulicas de aforo necesitan de una calibración previa realizada con el molinete hidrométrico.

El molinete hidrométrico es un equipo que se utiliza en la medición de flujos de corrientes de agua; es el adecuado para explorar las diferentes velocidades dentro de una corriente, realizando muestras puntuales y recolectando datos de campo buscando obtener fácilmente el valor de caudal.

La corriente de agua cumple la función de entregar los resultados en cada una de las zonas que se determinaron para el estudio, al realizar el método de aforo y utilizar la gráfica para la expresión de los resultados que alcanza la corriente, se hace más fácil reconocer errores, y conocer si los puntos escogidos para el análisis fueron los adecuados. Además, se puede realizar una comparación de aforos y dar conclusiones sobre estos.

## 15.2 Marco teórico

Cuando se utiliza el molinete hidrométrico como el equipo de estudio para determinar un caudal se toma como referencia una corriente que contiene una velocidad y longitud en la cual se desplaza el fluido que en el equipo hidrométrico se define como una vuelta de hélice, por lo que se puede determinar la velocidad en un punto del caudal utilizando la siguiente fórmula para un movimiento uniforme:

$$v = \frac{s}{t}$$

v: velocidad (cm/s) (m/s)

s: recorrido por la hélice t: tiempo (s)

Luego:

$$v = \frac{N}{t}$$

v: velocidad (cm/s) (m/s)

N: número de rotaciones del molinete por segundo t: tiempo (s)

### 15.2.1 Métodos de aforo de corrientes con molinete

Existe una variedad de mecanismos que se pueden emplear para determinar el caudal de aforo con el molinete hidrométrico, algunos con más trabajo que otros y que definen su uso dependiendo de la exactitud que se requiera.

### 15.2.2 Método de la curva de distribución de velocidades

Es también conocido como *método de medición completa* y consta de tomar mediciones en al menos diez puntos verticales dentro de la corriente, estos deben situarse entre el fondo del fluido y la superficie. Cuando se han tomado todas las lecturas se dibuja una curva a escala que corresponda a la velocidad de la corriente (V), contra la profundidad a la que se encuentra (h). Luego se mide el área bajo la curva, el resultado se divide por el valor de la profundidad de la vertical, con lo que se obtiene la velocidad media de la corriente, este método es bastante exacto y requiere de un trabajo arduo y preciso, por lo que generalmente se utiliza como método de verificación de datos, o en secciones de la corriente que presenta irregularidades donde no se puede aplicar otro método.

### 15.2.3 Método de los cinco puntos

Este método lo que sugiere es tomar la velocidad superficial de la corriente, también la velocidad en un punto muy cercano al fondo y tres puntos intermedios que se deben encontrar a 0.8h, 0.6h y 0.2h, de diferencia con respecto al punto de superficie determinado y se obtendrá la velocidad media del flujo realizando la siguiente ecuación.

$$v_m = \frac{v_s + 3v_{0.2} + 2v_{0.6} + 3v_{0.8} + v_f}{10}$$

Donde:

$v_s$ : velocidad superficial  $v_{0.2}$ : velocidad a 0.2 h  $v_{0.6}$ : velocidad a 0.6 h  $v_{0.8}$ : velocidad a 0.8 h

$v_f$ : velocidad sobre el lecho o velocidad en el fondo

Esto entrega una muy buena aproximación de la velocidad del caudal aforado

#### 15.2.4 Método 0.2 - 0.8

Es el método más famoso y utilizado porque el desarrollo de este es simple y de fácil ejecución. Consiste en tomar las medidas de velocidad en dos puntos verticales de la corriente, a 0.2h, y 0.8h, de profundidad, y se toma la velocidad media por la ecuación:

$$v_m = \frac{v_{0.2} + v_{0.8}}{2}$$

El fundamento sobre el que se sostiene este método, si se suponen las velocidades en la longitud de un arco en parábola y su distribución, la velocidad media es el promedio de las abscisas 0.2114h, y 0.7886h, que aproximándolas corresponden a 0.2h y 0.8h desde la superficie.

En este método se permite un error de 0.5 con respecto a los métodos de mayor exactitud.

#### 15.2.5 Método 0.6

Este método consiste en efectuar una única medición de velocidad, la cual será realizada a 0.6h tomados desde la superficie libre del

caudal, pues se considera que a esta corta altura se obtiene la velocidad media de la vertical. Tomando como ejemplo el arco con parábola la abscisa media se encuentra situada entre 0.58h y 0.62h lo que al promediarlo nos entrega 0.6h, aunque este método no es de buena precisión, se recomienda su uso únicamente en los casos de estudio que no requiera demasiada exactitud en la determinación del caudal y en corrientes poco profundas que no permitan desarrollar el método anterior.

### 15.2.6 Método 0.2- 0.6 - 0.8

Este se encarga de combinar los dos métodos mencionados anteriormente, esto genera que sea más exacto, por lo general lo aplican cuando se presentan dudas en las velocidades de medida de 0.2h, y 0.8h. para obtener la velocidad media se aplica la ecuación:

$$V_m = \frac{V_{0.2} + V_{0.6} + V_{0.8}}{3}$$

En dado caso que la altura de la cual no se tiene seguridad sea la 0.8h, por turbulencias o fricciones en la corriente, la velocidad media se obtiene promediando las tres velocidades, pero dando una referencia principal a la velocidad de la altura 0.6h, así:

$$V_m = \frac{V_{0.2} + 2V_{0.6} + V_{0.8}}{4}$$

Los estadounidenses usan con frecuencia la siguiente fórmula:

$$V_m = \frac{V_{0.2} + 3V_{0.6} + V_{0.8}}{5}$$

### 15.2.7 Método de la integración en profundidad

En este método se obtiene la velocidad media de la corriente en vertical por medio de un desplazamiento continuo del molinete entre el fondo y la superficie, contabilizando el tiempo empleado en este movimiento y la cantidad de revoluciones que marca el equipo. Se procede a calcular la cantidad de reproducciones por segundo y con este número se reemplaza la ecuación de calibración teniendo la hélice empleada, así se halla la velocidad media de flujo en la vertical de estudio. Es utilizado en ríos de gran magnitud, con poca pendiente y bajas velocidades, por lo que reduce la cantidad de trabajo y produce resultados óptimos.

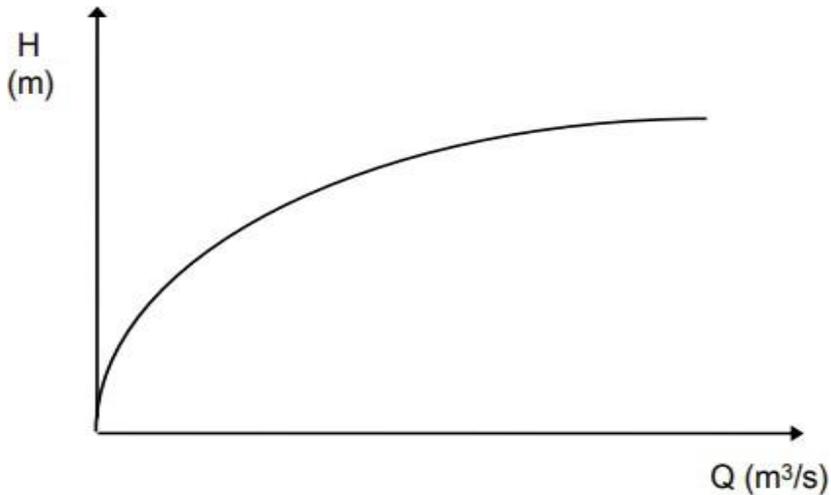
### 15.2.8 Curva de calibración de una sección de aforo

Esta curva se utiliza para conocer las diferentes velocidades que alcanza la corriente de agua en los puntos seleccionados como la base de estudio de cálculo de caudal, muy utilizada en las estaciones pluviométricas como base de registro.

Ningún método muestra la continuidad real de la corriente de agua, por diferentes factores, por lo que es necesario utilizar una relación entre los niveles de altura ( $h$ ) y los caudales ( $Q$ ). Esta ecuación matemática define la relación como  $Q = f(h)$ , la curva que define esta función es conocida como curva de gasto, curva de patronamiento, curva de caudales, curva de calibración, curva de dos cargas, entre otras.

Esta curva exige una serie de datos del caudal, entre los niveles de agua conocidos y los aumentos que entre más mediciones se tengan, mejores y más precisos serán los resultados y la curva definida. Como mínimo se considera tener diez datos por caudal.

Sabiendo que los niveles de los ríos cambian por distintos factores mecánicos y atmosféricos es necesario realizar el proceso de medición de caudal en distintas épocas y con cierta frecuencia.

**Figura 8.** *Curva de calibración de una sección de aforo*

Nota: elaboración propia.

### 15.2.9 Recomendaciones generales para el aforo de corrientes naturales

Cuando se está realizando el cálculo de velocidad con una corriente de agua es indispensable garantizar que esta no sufra alteraciones durante el proceso, pero esto no siempre es posible, en aforos simples la medición debe realizarse en los puntos 0.2h, 0.6h, y 0.8h, partiendo desde la superficie de la pared de agua, para mayor precisión los puntos de medición dependerán de la profundidad del aforo.

3 o 4 puntos si la altura es menor de un metro.

4 o 7 puntos si la altura se encuentra entre un metro y siete metros.

10 puntos si la altura es superior a los siete metros.

También se puede aplicar la regla

Entre 0 metros y 1 metro se deben tomar tres mediciones. Entre 1 y 3 metros se toman cuatro mediciones.

Entre 3 y 5 metros se toman cinco velocidades.

Cuando la profundidad del caudal supera los metros, las tomas de velocidad del caudal se deben realizar cada metro en la vertical hasta los 10 metros. Si la profundidad supera estos 10 metros estas tomas deben realizarse cada 1.5 metros.

## 15.3 Objetivos

### 15.3.1 Objetivo general

Realizar la medición del caudal de un río con el método de molinete para determinar el caudal real del cauce, realizando mediciones seccionadas según el ancho de este caudal y las distintas profundidades.

### 15.3.2 Objetivos específicos

- Conocer lo que es un correntómetro, su funcionamiento y la manera de tomar las mediciones de corrientes líquidas con este aparato.
- Determinar las características físicas del caudal ancho, las diferentes alturas y determinar las zonas de medición.
- Diferenciar las distintas velocidades de desplazamiento de una corriente de agua, dependiendo de la profundidad de esta y la variación que presenta con el caudal superficial.
- Realizar la batimetría del río donde se realizará la práctica para conocer la topografía de este y así realizar la curva de calibración de aforo.

## 15.4 Materiales

- Cinta métrica (50 m)

- Estacas
- Nivel de precisión (nivel topográfico)
- Mira (regla de medición topográfica)
- Trípode (para el equipo de topografía)
- Correntómetro
- Cronómetro

## 15.5 Procedimiento

Realice el armado del equipo topográfico y tome un punto como referencia BM o Bench Marck que es una señal permanente, a la cual se le ha determinado su posición y de la que realizará el amarre del equipo para la ejecución de la batimetría.

Clave una estaca en cada una de las orillas de la sección del río de la cual va a realizar el aforo de caudal con molinete.

Tome la cinta métrica y extiéndala por el ancho del cauce, atándola a las estacas de tal manera que quede perfectamente fija; esta será la guía para demarcar los puntos sobre los cuales se bajarán verticales virtuales de aforo a través de toda la sección transversal.

Tome la medida del ancho superficial de las aguas o sección transversal del cauce.

Divida este ancho en 5 partes iguales y demárquelas en la cinta métrica, de tal manera que se mantengan fijas; estas serán las verticales virtuales del aforo.

Enumere las verticales virtuales de aforo, comenzando por uno de los costados y terminando en el otro.

Tome la mira topográfica y halle las profundidades del río en cada

una de las verticales virtuales demarcadas, igualmente agarre las alturas de las orillas del cauce para coger estas como el punto de partida de profundidad del río.

Calcule las profundidades de 0.20m, 0.60m y 0.80m en las zonas de las verticales virtuales anteriormente seleccionadas.

Sitúe el correntómetro en las posiciones calculadas para cada vertical virtual, ponga en funcionamiento simultáneamente el cronómetro y el contador de revoluciones y mida el número de vueltas (N) dadas por la hélice en un tiempo preestablecido, igual para cada uno de los puntos.

Calcule la frecuencia de giro (N) de la hélice empleada correspondiente a cada profundidad de aforo en todas las verticales virtuales.

Calcule la velocidad de flujo,  $v_s, v_{0.2}, v_{0.6}, v_{0.8}, v_f$ , en cada vertical de aforo, se podrán emplear la velocidad superficial ( $v_s$ ) y la velocidad en el fondo ( $v_f$ ).

Calcule el valor de la velocidad media del flujo ( $v_m$ ) en cada una de las verticales de aforo, utilizando cualquiera de los métodos descritos en el marco teórico.

Calcule el área de afluencia en cada una de las subsecciones en que ha dividido el área del río, correspondiente a las áreas de las velocidades medias obtenidas en el paso anterior.

Efectúe los cálculos de los caudales parciales, correspondientes a cada subsección en la que dividió el área total del río, apliqué la siguiente ecuación.

$$qi = vmi * Ai$$

Teniendo el resultado de los caudales de las subsecciones halle el

caudal total del río, realizando la sumatoria de los mismos.

$$Q = \sum_{i=1}^k q_i$$

Halle el área total del perfil del río donde realizó el laboratorio, para esto realice las sumatorias de cada una de las subsecciones que utilizó para el desarrollo.

Por último, halle la velocidad media del caudal que aforó por medio del molinete, utilice la siguiente fórmula.

$$V_m = \frac{Q_{\text{total}}}{A_{\text{total}}}$$

## 15.6 Conclusiones

- Cuando se realiza el aforo de un cauce; es importante no quedarse solo con el caudal superficial, además de este existen distintas velocidades que se generan en un solo tramo del caudal.
- La topografía sobre la que se encuentra el caudal genera variaciones en la velocidad, pues se presentan cambios de pendiente y fricción con el suelo y las rocas que se encuentran en el cauce, además de pérdidas por el choque del fluido con objetos que encuentre.
- La mejor forma de hallar el caudal de un río es tomar diferentes medidas a distintas alturas y promediar los resultados obtenidos, pues entre cada espacio donde se tomen los caudales, rara vez tendrá la misma velocidad que en otra zona del cauce.

## 15.7 Informe de práctica de laboratorio

- El informe deberá presentar los siguientes puntos:
- Título del laboratorio
- Introducción
- Marco teórico (investigado por el estudiante)
- Objetivos (uno general y tres específicos)
- Procedimientos desarrollados
- Toma de datos
- Desarrollo de operaciones
- Entrega de la información
- Resultados del estudiante (lo que aprendió en el desarrollo del laboratorio)
- Conclusiones
- Bibliografía