

## TRABAJO PRÁCTICO N° 4

### **HIDROMETRÍA**

#### **1<sup>er</sup> Paso:**

Calcular el Caudal en la desembocadura de la Cuenca del Río en estudio sobre la base de la información del aforo realizado, cuyos datos de campaña figuran en la planilla adjunta, aplicando el Método de la Semisección. El aforo fue realizado utilizando Molinete Hidrométrico marca OTT, torno y cable graduado con contrapeso, en la estación hidrométrica de la cuenca, midiendo las progresivas entre verticales con cinta métrica. Para el cálculo de las velocidades medias deberán aplicarse dos criterios: **método de los cinco puntos y método del 60% de la profundidad total.**

Entendiendo como aforo al conjunto de operaciones necesarias para conocer el caudal - líquido o sólido que pasa por una determinada sección de un curso de agua, el mismo puede calcularse:

- utilizando la expresión Sección x Velocidad Media;
- como función de la carga hidráulica en dispositivos especialmente calibrados (vertederos o aforadores);
- aplicando Métodos Químicos.

El primero de ellos es el más utilizado en cauces naturales de ríos y arroyos y es el que aplicaremos en la resolución del presente trabajo.

El aforo, fundamentado en la expresión  $Q = A \times V$ ;

**Q:** caudal líquido, en  $m^3 /s$ ;

**A:** sección transversal de medición, en  $m^2$ ;

**V:** velocidad media de la corriente, en  $m/s$ .

al hacer uso del molinete hidrométrico para determinar la velocidad en distintos puntos de la sección, permite lograr la mejor aproximación a los valores reales de este parámetro. El equipo de medición cuenta las revoluciones que efectúa una hélice al sumergirla en la corriente a una profundidad prefijada. Midiendo el tiempo de trabajo de la hélice en cada punto se obtiene un valor de revoluciones/seg que a través de una ecuación de calibración permite obtener la velocidad en  $m/seg$ .

El procedimiento de campaña consiste en:

- Determinar sobre la sección de aforos una línea transversal al escurrimiento, materializada con un cable tensado de ambos extremos;
- A partir de la línea transversal determinar las verticales de medición separadas a distancias generalmente regulares entre sí;
- Medir en varios puntos de cada vertical la velocidad de la corriente utilizando el molinete hidrométrico;
- Desarrollar ese procedimiento hasta completar la sección total de medición.

Debe luego calcularse la velocidad media en cada vertical aplicando los dos criterios mencionados, partiendo de la concepción general de que la distribución de la velocidad en una vertical adopta - graficamente - forma parabólica con valores decrecientes hacia el fondo del cauce.

La profundidad en cada vertical se identifica con  $h$  y las mediciones se hacen en fracciones de la profundidad total, tomándolas desde la superficie hacia el fondo.

Método de los cinco (5) puntos.

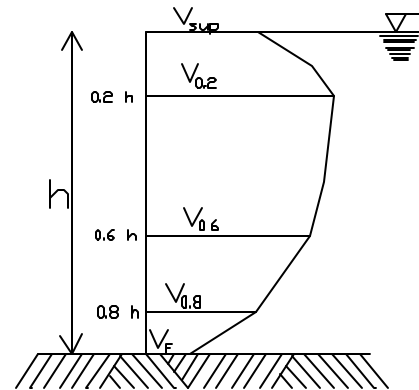
Se basa en tomar las mediciones de velocidad en los puntos siguientes:

- 1º) lo más cerca posible de la superficie ( $V_s$ ),
- 2º) a 0.2 ( $V_{0,2}$ ), a 0.6 ( $V_{0,6}$ ), y a 0.8 ( $V_{0,8}$ ) de la profundidad total  $h$
- 3º) en el fondo ( $V_f$ ),

calculándose la velocidad media en la vertical por la fórmula:

$$v_m = \frac{v_s + 3 \times v_{0,2} + 2 \times v_{0,6} + 3 \times v_{0,8} + v_f}{10}$$

Se utiliza cuando la distribución de velocidades es muy irregular y da muy buenos resultados.

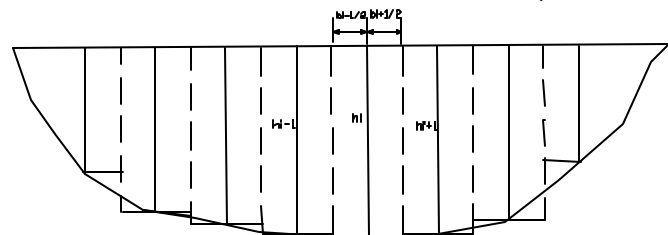


Método de 0,6 de la profundidad

En este caso se admite que la velocidad medida al 60% de la profundidad (0.6 h) es igual a la velocidad media en la vertical. Este método se emplea cuando hay bajas profundidades, cuando no hay tiempo para efectuar más mediciones - crecidas de rápida evolución o debido a obstrucciones que no permiten variar la profundidad de medición.

Para calcular el Caudal se divide a la sección de aforo en subsecciones que tienen por profundidad la de la vertical considerada y como ancho la suma de la mitad de la distancia (semidistancia) a las verticales adyacentes:

$$Q_i = V_i \times h_i \times \left( \frac{b_{i-1}}{2} + \frac{b_{i+1}}{2} \right)$$



El caudal será igual a la sumatoria de los caudales parciales señalados.

Para el procedimiento del cálculo del aforo, debe desarrollarse una planilla, según el siguiente esquema, por cada método:

Vertical N°	Progresiva (m)		Profundidad (m)		N° de Revolu- ción	Tiempo (seg.)	Velocidad		Area (m <sup>2</sup> )	Caudal parcial (m <sup>3</sup> /s)
	Parc.	Acumulado	Total	de medición			Puntual	Media (m/s)		
M.D.	0	0	0							
1	5	5	0.90	0.05 (sup)	30	60	0.14			
				0.18 (0.2h)	55	60	0.25			
				0.54 (0.6 h)	45	60	0.20	0,199	4.53	0.901
				0.72 (0.8 h)	40	60	0.18			
				0.85 (fond)	35	60	0.16			
2	5	10	0.95							
M.I.										
V = Q/A [ m/s ]									A [m <sup>2</sup> ]	
Q[m <sup>3</sup> /s]										

**2<sup>do</sup> Paso:**

Calcular el Caudal con los datos de campaña del aforo utilizado en el 1er. paso, aplicando el Método de DOBLE INTEGRAL.

Este método se basa en un procedimiento de integración gráfica que se desarrolla de la siguiente forma:

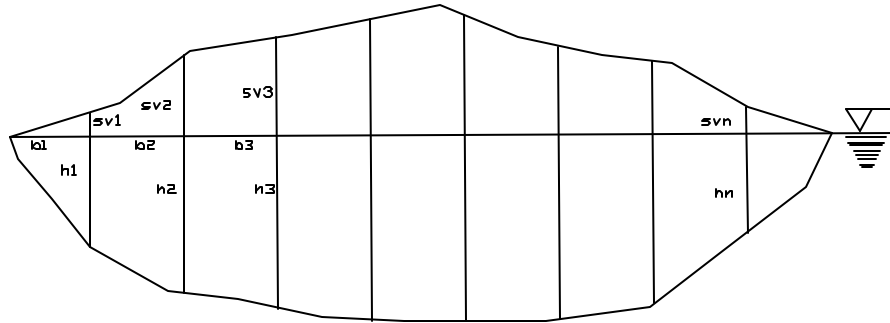
a) Dibujar en papel milimetrado, en una escala apropiada a los datos obtenidos, la curva de velocidad de cada una de las velocidad (profundidad h en ordenadas y velocidad puntual V en abcisas), representándose en otro gráfico la sección de aforo con profundidad h en ordenadas y progresivas de la línea transversal de medición en abcisas.

b) Se calcula luego el área comprendida entre la curva de velocidades y el eje vertical de referencia, denominada superficie de velocidades, expresada como Sv<sub>i</sub>. Al valor planimetrado, expresado en cm<sup>2</sup>, se lo multiplica por el factor de escala Fe = Esc. h x Esc. v; siendo:  
Esc h: módulo de la escala de profundidad  
Esc v: módulo de la escala de velocidad.

c) Junto a cada superficie de velocidades deben registrarse los valores obtenidos de:

- vertical a la que pertenece
- superficie en cm<sup>2</sup>
- factor de escala
- superficie real en m<sup>2</sup>/seg
- Velocidad media = sup. real / h (profundidad)
- distancia al punto de origen (margen derecha o izquierda)

d) Una vez calculadas todas las superficies Sv<sub>i</sub> se las representa en forma vectorial en escala conveniente, en la parte superior de la línea que materializa el pelo de agua del gráfico de la sección de aforos, ya mencionado en el punto a) ancho de la corriente - profundidad h.



e) Se unen con un trazo continuo los extremos de los vectores que representan las superficies de velocidades, se calcula el área encerrada entre dicha curva y el pelo de agua, la que multiplicada por el Factor de Escala del gráfico ( $Fe = Esc. Sv \times Esc. b$ ) nos da el caudal buscado expresado en  $m^3 / seg.$

Partiendo del concepto de que éste es el más preciso de los métodos aplicados con los datos de campo disponibles, debe calcularse el error, en %, cometido con la aplicación de los dos métodos desarrollados en el 1<sup>er</sup> paso.

3<sup>er</sup>. Paso: Realizar el trazado de la curva de descarga (relación **H-Q**) de la estación hidrométrica ubicada en la desembocadura de la cuenca en estudio, a partir de los datos presentados en la Tabla adjunta, aplicando los Métodos de STEVENS y LOGARITMICO.

El trazado de la curva de Descarga o de Calibración permite deducir la relación continua H - Q para el rango de caudales o alturas aforadas cuando el río tiene escurrimiento en régimen establecido, que por lo general resultan valores medios o bajos. La extrapolación de la curva de descarga significa establecer la relación en un rango de caudales que nunca han sido aforados (Q de crecientes) y que tienen posibilidad física de ocurrir sobre la estación hidrométrica analizada.

### Método de STEVENS

Está desarrollado sobre la aplicación de la ecuación de CHEZY para flujo en régimen permanente:

$$Q = A \times C \times R^{1/2} \times S^{1/2}$$

donde:

- A** : sección transversal del cauce, en  $m^2$
- C**: coeficiente de Chezy;
- R**: radio hidráulico de la sección **A**; en m;
- S**: pendiente hidráulica.

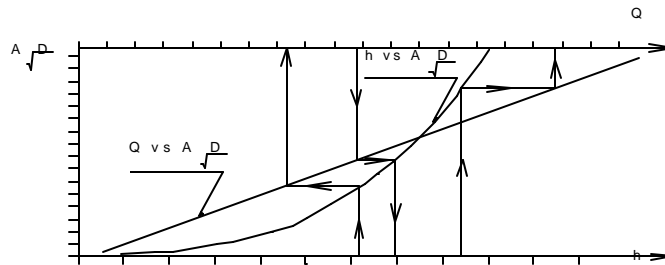
Este método ha demostrado una confiabilidad muy apreciable para extrapolación de caudales que nunca han sido aforados, considerando que al crecer el tirante el radio hidráulico (**R**) puede asimilarse al tirante medio de la sección (**D = A / b**). Considerando que la pendiente es constante resulta.

$$Q = K \times A \times \sqrt{D}$$

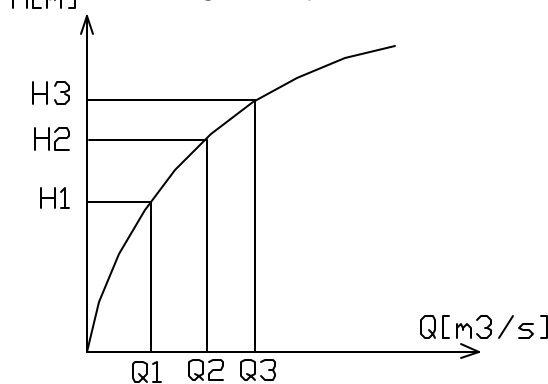
lo que significa que la representación gráfica de los caudales aforados respecto de la expresión  $A \times \sqrt{D}$  dará una línea recta.

Los valores de área y tirante medio para diversas alturas son fácilmente medibles en la sección de aforos para todas las alturas de las cuales se posean datos topográficos (relevamiento transversal del cauce), por lo tanto también es posible graficar la curva  $A \times \sqrt{D}$  vs  $A$ .

Entonces se hace la representación simultánea de las dos relaciones gráficas mencionadas, procediendo sobre las mismas de la forma representada en la figura adjunta, para obtener los valores **H-Q** en todo el rango posible de alturas. Finalmente, disponiendo de una adecuada cantidad de pares de valores **H-Q** hallados de este gráfico (por lo menos uno para cada variación del 10% de



la altura total de escala), se representa en gráfico aparte la curva de calibración **H-Q**.



Método LOGARÍTMICO.

El método Logarítmico se basa en la experiencia demostrada de que la Curva de Descarga queda representada por una parábola de orden superior, cuya expresión es la siguiente:

$$Q = K \times (H - H_0)^n$$

donde:

- H<sub>0</sub>**: altura de la escala hidrométrica para la cual  $Q = 0$ ;
- H**: altura de escala hidrométrica para el caudal que se quiere conocer;
- n, K**: constantes propias de la expresión analítica.

Los valores a obtenerse para el ajuste del método son los de **H<sub>0</sub>, K y n**.

El procedimiento se inicia estimando el valor de  $H_0$  si se dispone de datos de campo obtenidos en estiaje (valores de caudal y sus respectivas alturas, cercanos al valor nulo) y en los casos en que no se dispongan se aplican una serie de tanteos sucesivos, realizados en formas gráfica.

Para efectuar los tanteos se representan los valores  $H_i - Q_i$  en papel doble logarítmico, recurriéndose a este tipo de papel, debido a que la expresión parabólica antes mencionada puede transformarse en una recta, de la siguiente forma:

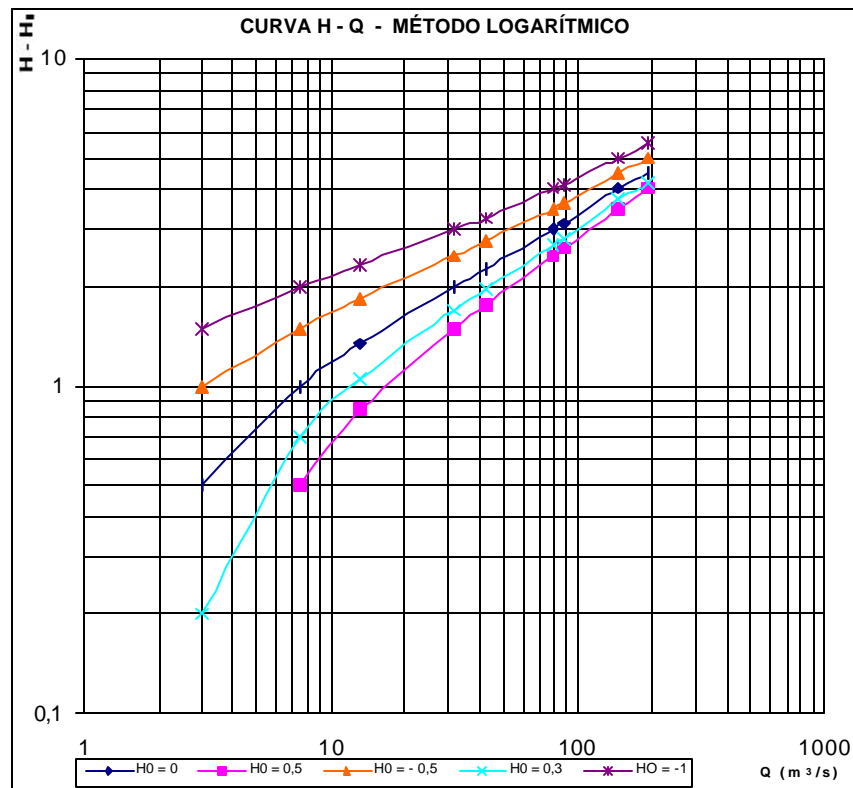
$$\log Q = \log K + n \cdot \log (H - H_0)$$

Esta es la expresión de la ecuación de una recta, donde  $n$  es el coeficiente angular de la recta y  $\log k$  actúa como constante. Si se poseen los valores correctos de esta expresión, su representación en papel bilogarítmico debe dar una recta.

En caso de no resultar un alineamiento que permita trazar la recta, las razones pueden ser:

- Los valores hallados de  $H_0$ ,  $K$  y  $n$  no corresponden a las características hidrológicas del curso en esta sección;
- No es posible trazar la expresión  $H-Q$  ajustándola por el método Logarítmico.

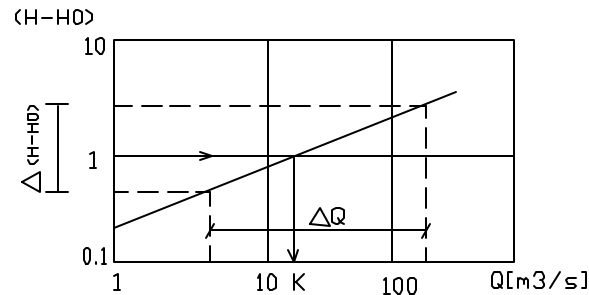
Para efectuar la representación gráfica, en el eje de ordenadas se representan los valores de  $(H_i - H_0)$  y en el eje horizontal los correspondientes de  $Q$ , efectuando varias representaciones (por lo menos 3) para diferentes valores de  $H_0$ , hasta encontrar aquellas que permite rectificar la relación gráfica.



Ubicada la recta, significa que se conoce el valor de **H<sub>0</sub>**, a partir del cual obtenemos la constante **n** despejando de la ecuación logarítmica:

$$n = \frac{\log Q - \log K}{\log(H - H_0)} = \frac{DQ}{D(H - H_0)}$$

Los valores para obtenerla se leen en el gráfico, calculándose para un tramo significativo de la recta, como se muestra en la figura.



Para conocer finalmente el valor de **K**, es el que corresponde gráficamente al punto en el que **(H - H<sub>0</sub>) = 1**, ya que en ese caso el **log 1 = 0**, de manera que la ecuación básica resulta **log Q = log K**

Obtenidas las tres incógnitas se puede aplicar la ecuación para realizar el trazado y extrapolación utilizando distintos valores de **H** (alturas hidrométricas), haciéndolos variar a intervalos regulares por ejemplo cada 10 % de la altura total, como en el 1er. método) para así hallar los caudales correspondientes. Los valores de **H<sub>i</sub> - Q<sub>i</sub>** hallados deben graficarse en papel milimetrado junto con los datos reales de aforos para poder comprobar la bondad del ajuste logrado.

Datos Trabajo Práctico N° 4 (ejemplo)

**Tabla N° 1:** Datos de campo para el aforo efectuado en el río ....., sección .....

Vertical	Progresiva (m)		Profundidad (m)		N° de rev.	Tiempo
	Parcial	Acumulado	Total	de Medic.		
MI	m	m	m	-	N°	seg
1	3	3.00	2.15	Sup. 0.2 h 0.6 h 0.8 h fondo		60 " " " "
2	5	8.00	2.41	Sup. 0.2 h 0.6 h 0.8 h Fondo		60 " " " "
3	5.50	13.50	2.33	Sup. 0.2 h 0.6 h 0.8 h Fondo		60 " " " "
4	5.50	19.00	2.40	Sup. 0.2 h 0.6 h 0.8 h Fondo		60 " " " "
5	5.50	24.50	2.35	Sup. 0.2 h 0.6 h 0.8 h Fondo		60 " " " "
6	5.50	30	2.20	Sup. 0.2 h 0.6 h 0.8 h Fondo		60 " " " "
7	5.50	35.50	2.27	Sup. 0.2 h 0.6 h 0.8 h Fondo		60 " " " "
8	4.30	39.80	2.15	Sup. 0.2 h 0.6 h 0.8 h Fondo		60 " " " "
MD	3.50	43.30	0	-	-	-

Ecuación de calibración del molinete OTT:

$$\text{para } n \text{ ( rev. / seg ) } < 0,80 \quad V = 0,2517 n + 0,014$$

$$n \text{ ( rev. / seg.) } \geq 0,80 \quad V = 0,2605 n + 0,007$$



**Tabla N° 2:** Aforos realizados en el río ....., sección ....., para el trazado y extrapolación de la Curva de Descarga (H -Q).

Altura (m)	Área A (m <sup>2</sup> )	Ancho b (m)	Caudal Q (m <sup>3</sup> /s)
1.08	3.43	6.64	0.30
1.62	8.40	11.25	0.97
2.16	15.04	13.34	2.24
2.70	22.78	15.31	4.03
3.24	31.85	19.91	5.95
3.78	44.43	25.38	
4.32	58.77	27.43	13.33
4.86	73.97	28.92	
5.39	89.97	30.41	24.86
5.93	106.78	31.91	31.79
6.47	124.40	33.40	
7.01	143.05	35.81	47.55
7.55	163.04	38.27	
8.09	184.35	40.83	66.46
8.63	207.19	43.83	77.17
9.17	231.81	48.82	
10.25	290.79	58.00	

Para ambos métodos calcular el caudal que corresponde a un H = ..... metros y la altura que alcanza un caudal de ..... m<sup>3</sup>/seg.