



**UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI**

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y  
ARQUITECTURA**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**CAUDALES, AFOROS Y CÁLCULO**

**DE LAS PERSISTENCIAS**

**PRESENTADO POR**

**BACHILLER VICTOR JUAN GUALBERTO ROMERO MONTES**

**ASESOR:**

**ING. ABRAHAN SANTOS RIVERA PAYE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO CIVIL**

**MOQUEGUA-PERÚ**

**2021**

## **CONTENIDO**

	<b>Pág.</b>
PORTADA	
PAGINA DE JURADO .....	i
DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
CONTENIDO .....	iv
CONTENIDO DE TABLAS .....	vii
CONTENIDO DE FIGURAS.....	viii
CONTENIDO DE ECUACIONES.....	xi
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv

### **CAPITULO I**

#### **INTRODUCCIÓN**

### **CAPITULO II**

#### **OBJETIVOS**

2.1 Objetivo General .....	3
2.2 Objetivos Específicos.....	3

## CAPÍTULO III

### DESARROLLO DEL TEMA

3.1 Marco Teórico.....	4
3.1.1 Conceptos básicos para aforo.....	4
3.1.1.1 Caudal. ....	4
3.1.1.2 ¿Qué es aforar?.....	5
3.1.1.3 Sección de aforo.....	5
3.1.1.4 Características de la Sección de aforo.....	6
3.1.2 Descripción de los Métodos de Aforo.....	7
3.1.2.1 Método Volumétrico. ....	7
3.1.2.2 Método gravimétrico.....	10
3.1.2.3 Aforador Parshall. ....	11
3.1.2.4 Aforador sin cuello.....	26
3.1.2.5 Aforo por el método del correntómetro. ....	37
3.1.2.6 Aforo por el método del flotador. ....	47
3.1.3 Las persistencias.....	50
3.2 Caso práctico.....	58
3.2.1 Aforo con el método del correntómetro.....	58
3.2.2 Aforo con el método del flotador.....	70

3.2.3 Análisis de la persistencia.....	76
3.3 Presentación de resultados .....	80

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

4.1 Conclusiones .....	82
4.2 Recomendaciones.....	83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85

## CONTENIDO DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 Valores de C y n para diferentes anchos de la garganta (W) .....	15
Tabla 2 Medidas estándar de los aforadores Parshall .....	16
Tabla 3 Descarga libre y descarga ahogada .....	19
Tabla 4 Valores permitidos de sumergencia S en los aforos Parshall.....	20
Tabla 5 Valores de m y n, para la Ecuación 14 en unidades métricas .....	25
Tabla 6 Parámetros para aforadores sin cuello .....	31
Tabla 7 Espaciamientos de sondeo según el ancho del cauce.....	40
Tabla 8 Hoja de cálculo para determinar el caudal .....	45
Tabla 9 Factores de ajuste. Método de aforo por Flotador .....	49
Tabla 10 Niveles de persistencia.....	50
Tabla 11 Caudales medios mensuales para cada año.....	54
Tabla 12 Análisis de Persistencia.....	55
Tabla 13 Volúmenes de descargas medias mensuales ((Hm <sup>3</sup> ) .....	56
Tabla 14 Velocidades y velocidad promedio de cada sección .....	63
Tabla 15 Áreas de cada sección en las que se ha dividido la sección del cauce .....	67
Tabla 16 Velocidades en cada tramo y velocidad promedio de cada sección .....	68
Tabla 17 Áreas parciales de los diferentes tramos de la sesión del río Tumilaca.....	73
Tabla 18 Tiempo del recorrido del flotador por el cauce del río .....	75
Tabla 19 Descarga media mensual (m <sup>3</sup> /s), registro histórico completado Río Tumilaca - Estación Chivaya.....	77

## CONTENIDO DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. División de la sección en franjas .....	6
Figura 2. Instalación Para la Medición Volumétrica en Surcos .....	8
Figura 3. Partes de un Aforador Parshall. ....	12
Figura 4. La Sumergencia .....	18
Figura 5. Grafica de corrección de gasto para aforadores de 3,048 m. a 15,9878 m... 21	21
Figura 6. Grafica de corrección de gasto para aforadores de 3,048 m. a 15,9878 m... 21	21
Figura 7. Aforador sin cuello .....	27
Figura 8. Partes de un Aforador sin cuello Fuente: Alfaro, 1973 .....	28
Figura 9. Geometría de la sección del aforador sin cuello. ....	28
Figura 10. Medición de las longitudes L y W del aforador sin cuello .....	30
Figura 11. Medición de los Valores de Ha y Hb y B del aforador.....	30
Figura 12. Relación entre el coeficiente de longitud para flujo libre, k, y el exponente de flujo libre, n, con respecto a la longitud, L, del aforador “ sin cuello” .....	32
Figura 13. Relación entre el coeficiente de longitud para flujo sumergido ks, y el exponente de flujo sumergido, ns, con respecto a la longitud de, L, del aforador “sin cuello” .....	33
Figura 14. Molinete de eje horizontal o de hélice .....	39
Figura 15. Secciones parciales de un cauce. ....	41
Figura 16. Mediciones de profundidad para cada sección del cauce .....	41

Figura 17: Partes de un molinete.....	42
Figura 18. Calculo del caudal empleando un correntómetro .....	46
Figura19. a) Flotador simple b) Flotador doble c) Bastón flotador. ....	47
Figura 20. Curva de duración o curva de persistencia. Fuente: Chereque, s.f. ....	51
Figura 21. Comparación de dos Corrientes Fuente: Chereque, s.f.....	53
Figura 22. Variación mensual de los volúmenes de descargas medias (HM3) Fuente: Manco & Paucar, 2015 .....	57
Figura 23. Pantalla software3000 y varilla con yardas cada 20 cm Nota: Equipo del Proyecto especial Regional Pasto Grande - Moquegua. ....	59
Figura 24.Muestra de materiales empleado en el aforo .....	60
Figura 25.Muestra de la barra y del Molinete del correntómetro 3000. ....	60
Figura 26.Medición de la sección del canal .....	61
Figura 27. Midiendo la sub sección 1 del canal .....	61
Figura 28. Midiendo la velocidad de la sub sección 2 del canal.....	62
Figura 29.Medición de la velocidad con el correntómetro .....	63
Figura 30. Lugar de aforo (el Sifón) en el rio Tumilaca – Moquegua.....	65
Figura 31. Traslado del equipo y materiales para aforar en el rio Tumilaca – Moquegua .....	65
Figura 32. Longitud del ancho del rio.....	66
Figura 33. Aforamiento con el correntómetro en el rio Tumilaca .....	68
Figura 34. Medición de la velocidad con el correntómetro .....	69
Figura 35. Zona de aforo en el rio Tumilaca.....	72
Figura 36. Verificación de las alturas de los tramos .....	72

Figura 37. Obtención del área de la sección del río .....	73
Figura 38. Vista del lanzamiento del flotador .....	74
Figura 39. Medición del tiempo de recorrido del flotador .....	75
Figura 40. Caudales medios mensuales al 75% y 95% de persistencia del río Tumilaca-Estación Chivaya.....	79

## CONTENIDO DE ECUACIONES

	<b>Pág.</b>
ECUACIÓN 1 .....	4
ECUACIÓN 2 .....	9
ECUACIÓN 3 .....	9
ECUACIÓN 4 .....	10
ECUACIÓN 5 .....	10
ECUACIÓN 6 .....	10
ECUACIÓN 7 .....	11
ECUACIÓN 8 .....	13
ECUACIÓN 9 .....	18
ECUACIÓN 10 .....	22
ECUACIÓN 11 .....	23
ECUACIÓN 12 .....	24
ECUACIÓN 13 .....	24
ECUACIÓN 14 .....	24
ECUACIÓN 15 .....	25
ECUACIÓN 16 .....	25
ECUACIÓN 17 .....	25
ECUACIÓN 18 .....	28
ECUACIÓN 19 .....	29
ECUACIÓN 20 .....	29

ECUACIÓN 21 .....	33
ECUACIÓN 22 .....	34
ECUACIÓN 23 .....	34
ECUACIÓN 24 .....	37
ECUACIÓN 25 .....	38
ECUACIÓN 26 .....	38
ECUACIÓN 27 .....	38
ECUACIÓN 28 .....	38
ECUACIÓN 29 .....	41
ECUACIÓN 30 .....	44
ECUACIÓN 31 .....	47
ECUACIÓN 32 .....	48
ECUACIÓN 33 .....	56
ECUACIÓN 34 .....	58
ECUACIÓN 35 .....	63
ECUACIÓN 36 .....	67
ECUACIÓN 37 .....	69
ECUACIÓN 38 .....	70
ECUACIÓN 39 .....	74
ECUACIÓN 40 .....	74
ECUACIÓN 41 .....	75

## RESUMEN

La Hidrometría es la ciencia que trata de los métodos de medición de la velocidad y cálculo de las fuerzas de los líquidos en movimiento. En hidrología superficial, en ocasiones se necesita medir desde pequeños caudales (unos pocos litros/seg.), hasta grandes ríos con caudales de centenares o miles de  $m^3/seg.$ , en consecuencia, aforar, es medir un caudal; en el trabajo actual se trató de demostrar como calcular el caudal y la obtención de la persistencia para diferentes porcentajes en las series históricas de años de avenidas de agua. También se efectuó el aforo con correntómetro en el canal de captación de la planta de tratamiento de agua potable - EPS Moquegua en la zona de Chen Chen, luego se hizo el aforo en el río Tumulaca, primero empleando el correntómetro y después se aplicó el método de aforo con flotador, obteniendo un caudal de 85 l/s y 87 l/s respectivamente, llegando a la conclusión de que, si no contamos con un correntómetro, podemos emplear el método del flotador, efectuando, el mayor número de mediciones o repeticiones posibles, para que el resultado sea similar al resultado obtenido con un correntómetro. En conclusión, se mostró el cálculo de las persistencias de los caudales para algunos porcentajes de la serie histórica de descargas medias mensuales del año 2018 del río Tumulaca, datos obtenidos del ALA Moquegua – Estación Chivaya.

*Palabras clave:* Caudal, aforo, persistencia.

## ABSTRACT

Hygrometry is the science that deals with the methods of measuring velocity and calculating the forces of moving liquids. In surface hydrology, it is sometimes necessary to measure from small flow rates (a few liters / sec.), To large rivers with flow rates of hundreds or thousands of  $\text{m}^3 / \text{sec}$ . therefore, scoring is measuring a flow; The present work tries to show how to calculate the flow and obtain the persistence for different percentages in the historical series of years of flooding water. A flow meter was also used in the intake channel of the drinking water treatment plant - EPS Moquegua in the Chen Chen area, then the flow meter was increased in the Tumulaca river, first with the flow meter and then with the float flow meter method, obtaining a flow rate of 85 l / s and 87 l / s respectively, concluding that, if we do not have a current meter, we can use the float method, making as many measurements or repetitions as possible, so that the result is similar to the result obtained with a current meter. In conclusion, we show the calculation of the persistence of the flows for some percentages of the historical series of average monthly discharges of the year 2018 from the Tumulaca River, data obtained from ALA Moquegua - Chivaya Station.

*Keywords:* Flow, capacity, persistence

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

La hidrosfera es una de las capas de la tierra que se extiende desde unos pocos kilómetros por debajo de la superficie terrestre hasta unos 15 kilómetros por encima de la atmósfera, (Peñalba, 2008). El agua se mueve o circula en la hidrosfera en sus diferentes formas, siguiendo procesos aleatorios o accidentales, formando así el conocido ciclo hidrológico. Hay que recordar que, este es un proceso cíclico que no tiene principio ni fin, ocurre constantemente.

Ordoñez (2011) concluye que en el Ciclo del Agua, el agua se evapora de los océanos, ríos, lagos, embalses y la superficie de la tierra y se convierte en parte de la atmósfera; el vapor de agua también circula en la atmósfera hasta que se condensa y se deposita en la superficie de la tierra y el océano; algunas precipitaciones son interceptadas por la vegetación y algunas formas en el suelo, parte del agua superficial fluye hacia el suelo, atravesando el suelo en forma de flujo subterráneo, y el agua restante fluye hacia ríos y otros arroyos para formar agua natural y formar escorrentías superficiales.

La escorrentía superficial es exactamente lo que debe medirse en algunos estudios, y su tecnología de medición será el objeto de este trabajo. En el concepto de ingeniería hidráulica o ingeniería civil, como centrales hidroeléctricas, presas, embalses, áreas de captación, puentes, sistemas de riego y sistemas de suministro de agua, es necesario realizar investigaciones hidrológicas en la cuenca para comprender el régimen de flujo de la cuenca, el flujo natural, determine el perfil longitudinal y transversal de su cauce, mida el nivel del agua y la llanura aluvial.

El tema, “ caudales, aforos y cálculos de las persistencias”, título del presente trabajo es parte de la hidrometría que lo desarrollaremos con el aforo o la medida del caudal de agua que recorre por la sección transversal de un cauce en un tiempo dado, luego se hará el cálculo de la persistencia para el diseño de obras hidráulicas, mediante la distribución de probabilidades del registro de carga media anual con la que obtendremos el porcentaje de probabilidades de tener descargas o lluvias medias anuales. El trabajo realizado, aplicando la medición del caudal aplicando los métodos de aforo con el flotador y el empleo del correntómetro en el río Tumilaca y en el canal de captación de la planta de tratamiento de agua potable de la EPS Moquegua, se concluirá calculando la persistencia de los caudales para diferentes porcentajes de la serie histórica de la estación Chivaya en el río Tumilaca otorgada por el ALA.

## **CAPITULO II**

### **OBJETIVOS**

#### **2.1 Objetivo General**

- Calcular un caudal y demostrar cómo se efectúa el cálculo de la persistencia.

#### **2.2 Objetivos Específicos**

- Conocer los métodos más usuales, en la medición de velocidades y caudales en canales y corrientes naturales.
- Calcular el caudal del canal de captación de la Planta de tratamiento de agua potable de Chen Chen, de la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento Moquegua – EPS, mediante el empleo de un correntómetro.
- Comparar los resultados obtenidos en el río Tumulaca en la zona denominada el Sifón, empleando los dos métodos de medición de caudales.
- Determinar el cálculo de las persistencias respecto a la información obtenida de la estación Chivaya en el río Tumulaca, para diferentes porcentajes de su serie Histórica.

## CAPÍTULO III

### DESARROLLO DEL TEMA

#### 3.1 Marco Teórico

##### 3.1.1 Conceptos básicos para aforo.

###### 3.1.1.1 Caudal.

Es el torrente de agua o líquido que lleva un canal o curso de agua, medido en volumen por unidad de tiempo.

“Se define caudal volumétrico al volumen de fluido que atraviesa una sección (superficie) durante una unidad de tiempo “(Arregui, Cabrera, Cobacho, Gómez, & Soriano, 2017, p.63).

$$Q = v * A \dots\dots\dots [Ecuación 1]$$

Siendo:

Q: Caudal (m<sup>3</sup> /s).

v: Velocidad media, del flujo perpendicular a la sección transversal (m/s).

A: área de la sección transversal del cauce ( $m^2$ ).

Algunas unidades de caudal son: l/s,  $m^3/s$ ,  $pie^3/s$ , gal/min

### ***3.1.1.2 ¿Qué es aforar?***

Según Basán (2008), aforar es determinar el volumen de agua que discurre por un acueducto o una torrentera; en consecuencia y precisamente, el cálculo de este volumen o caudal de agua es importante para decidir en proyectos hidráulicos, proyectos de consumición de agua potable, también para proyectar y construir muchas obras civiles como los puentes, acueductos, presas, instalaciones hidroeléctricas, obras de limpieza y defensa riverena, carreteras etc.

### ***3.1.1.3 Sección de aforo.***

También conocida como estación de medición, es una sección transversal del canal de medición de flujo. Por su parte, Chereque (s.f.) dijo: Después de seleccionar la sección correcta del río, se establece la sección de capacidad y se mide la descarga diaria, teniendo en cuenta las elevaciones del nivel del agua. (p.99)

“Para iniciar un aforo es necesario dividir la sección transversal (área mojada) en franjas, como indica la figura 1, usando verticales “(Chereque, s.f., p.100).

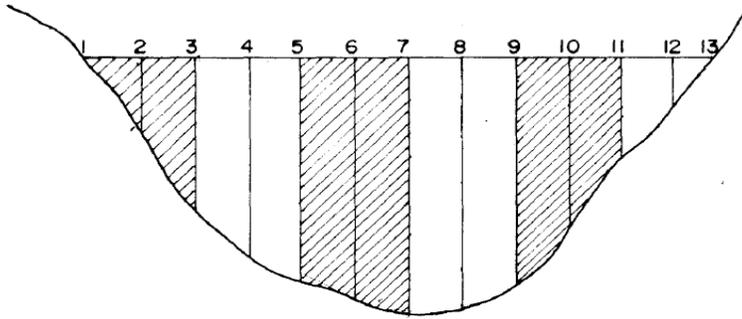


Figura 1. División de la sección en franjas

Fuente: Chereque, s.f.

#### **3.1.1.4 Características de la Sección de aforo.**

Marbello (sf), afirma que: Las características de la sección transversal medida son las siguientes:

- Situada en un perfil fluvial que a menudo se caracteriza por planicies altas, es decir, la regularidad de los tramos longitudinales y transversales del cauce del río, asegurando un caudal suave y uniforme. Sin vórtice, se puede utilizar para medir caudal específico o continuo.
- Consiste en un tramo recto y uniforme de al menos siete veces el ancho del río, organizado de la siguiente manera: aguas arriba, al menos cinco veces el ancho, y aguas abajo, al menos dos veces el ancho. Cabe aclarar que, teniendo en cuenta las características de la cama, es imposible encontrar la rectitud y uniformidad de esta parte.
- El cauce del río debe ser plano y estar libre de vegetación, rocas u otros obstáculos, ya que su tamaño puede afectar la medición de la velocidad del agua.

- Evitar secciones cercanas a pilares de los puentes. (p.245)

### **3.1.2 Descripción de los Métodos de Aforo.**

Entre los diferentes métodos adoptados para conocer un caudal de agua, los más adoptados en proyectos rurales pueden ser los métodos volumétricos y de velocidad – área. El primero es utilizado para estimar caudales hasta con un máximo de 10 lt/seg. y el segundo para caudales mayores a 10 lt/s. (CONAGUA, 2015, p. 30).

#### **3.1.2.1 Método Volumétrico.**

Según, Ministerio de agricultura (2004), el método volumétrico, el argumento más utilizado para medir el caudal es la iniciativa práctica de contar pequeñas cantidades de agua en periodos de tiempo determinado. Este método está diseñado para medir pequeños caudales. (p. 95)

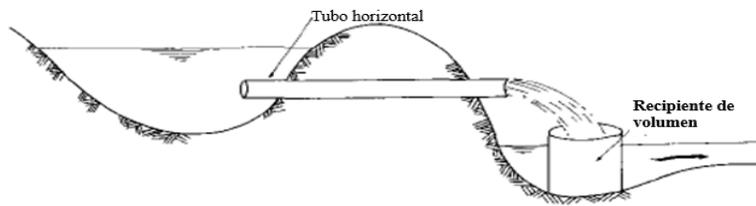
##### *a. Características y aplicaciones del aforo volumétrico.*

Según el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (1992), en los sistemas de riego, el método volumétrico se utiliza principalmente para medir el caudal de agua en los campos agrícolas, aplicándose a la medición del caudal de agua en el grifo de salida de la bomba del sistema de riego tecnificado (p. 108)

Marbello (s.f) afirma que: El aforo volumetrico, es aplicable en laboratorios de hidraulica, puesto que funciona solo con caudales pequeños, pero tambien puede usarse en pequeños torrentes naturales de agua, (p.255).

En proyectos de regadío, es empleado para definir el aforo de un reservorio nocturno, para recopilar el agua de los manantiales.

Para medir el agua de un surco, ésta debe de fluir a través de un tubo de diámetro pequeño colocado casi a nivel del fondo del surco como se observa en la Figura 2. El aforo volumétrico, es adecuado para la comprobación en surcos, pero también se emplea para evaluar sifones, aspersores, micro aspersores y goteros (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 1992).



*Figura 2.* Instalación Para la Medición Volumétrica en Surcos

Fuente: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 1992

*b. Materiales.*

Los materiales requeridos son: Un recipiente de capacidad conocida, un tubo de diámetro pequeño y un cronometro para medir el tiempo de llenado. Este método es preciso y requiere poco equipo. Se usa para medir gastos pequeños de hasta 3 l/s, pero si se tiene un depósito apropiado puede usarse para gastos mayores. (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 1992, p. 108).

*c. Procedimiento para realizar el aforo volumétrico.*

La Universidad Tecnológica de Panama (2006), sugiere los siguientes pasos:

- Hacer el reconocimiento del lugar de aforo.

- El operador de aforo debe mantener en cero el cronómetro, luego colocar un recipiente de volumen conocido en el sitio para el llenado del caudal, seguidamente se tomará el tiempo de llenado del recipiente.
- Se realizan de 3 a 5 repeticiones, teniendo cuidado en cada proceso. Con los cuales se calcula un tiempo promedio, en el cual disminuye el rango de error del procedimiento manual y se obtiene mejor precisión en el valor final calculado.
- Con el valor que se ha obtenido del tiempo promedio, procedemos a calcular el caudal, para esto aplicamos la fórmula general de caudal.

d. *La fórmula del caudal es la siguiente.*

$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo}} = \frac{V}{t} \dots\dots\dots [\text{Ecuación 2}]$$

$$Q = \frac{\text{Volumen.de.líquido}}{\text{Unida.de.tiempo}} \dots\dots\dots [\text{Ecuación 3}]$$

Q = Caudal o gasto, (m<sup>3</sup>/s,l/s).

V= Volumen conocido del recipiente aforador (m<sup>3</sup>, l).

t = Tiempo(s).

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (1992), muestra como ejemplo lo siguiente: Si se mide la cantidad de agua que entra en un surco, mediante un recipiente de 30 litros. Como el tiempo de llenado es de ocho segundos, entonces el volumen de agua que entra al surco será:

$$Q = \frac{30}{8} = 3,75 \dots l/s$$

e. *Recomendaciones generales.*

- Si el caudal es bajo, puede configurarlo en la unidad más recomendada “l/s”.
- Se recomienda desarrollar un formato para llevar los datos.
- El programa de hoja de cálculo de Microsoft Excel puede calcular automáticamente varios valores.

### 3.1.2.2 Método Gravimétrico.

Los métodos gravimétricos incluyen determinar el peso del agua almacenada en un recipiente (W) durante un período de tiempo predeterminado. En el caso de un recipiente lleno de agua y pesado vacío, el peso del agua se convierte en volumen por la diferencia de peso dividido entre el peso específico del agua ( $\gamma$ ) a temperatura ambiente.

$$\text{Peso Especifico } \gamma = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Volumen ocupado}} = \frac{W}{V} \dots \dots \dots \quad [\text{Ecuación 4}]$$

Determinación del caudal aforado:

$$V = \frac{W}{\gamma} \dots \dots \dots \quad [\text{Ecuación 5}]$$

Por lo tanto, el caudal es :

$$Q = \frac{W}{\gamma * t} \dots \dots \dots \quad [\text{Ecuación 6}]$$

También:

$$Q = \frac{(\text{Peso del agua} + \text{Peso del recipiente}) - \text{Peso del recipiente}}{\text{Peso específico} * \text{Tiempo de llenado}} \dots\dots\dots [\text{Ecuación 7}]$$

### **3.1.2.3 Aforador Parshall.**

El aforador Parshall, es una estructura hidráulica utilizada para estimar el caudal, gasto o volumen de agua que pasa por la sección transversal de un canal (Pedroza, 2001). Ralph L. Parshall, ingeniero de servicios de irrigación del departamento de agricultura de los Estados Unidos, fue el creador del medidor de régimen crítico (Lux, 2010, p.21).

Según Pedroza (2001) : El aforador Parshall consta de cuatro partes principales, observar en la Figura 3:

- Transición de entrada: El piso aquí es más alto que el fondo original del canal, la pendiente es suave y las paredes se cierran, en el límite recto o circular.
- Parte convergente: El fondo es horizontal y el ancho se reduce.
- Garganta: En cualquier parte Aquí el suelo vuelve a descender y acaba con otra cuesta arriba en la parte divergente.
- Parte divergente.
- En cualquier parte del medidor entre la entrada y la salida, el medidor tiene una sección transversal regular.

Básicamente, el aforador es la reducción de la sección que obliga al agua a subir o asentarse y volver a bajar a la altura sin el aforador. En este proceso, se propone la relación matemática entre la elevación del nivel del agua y el gasto.

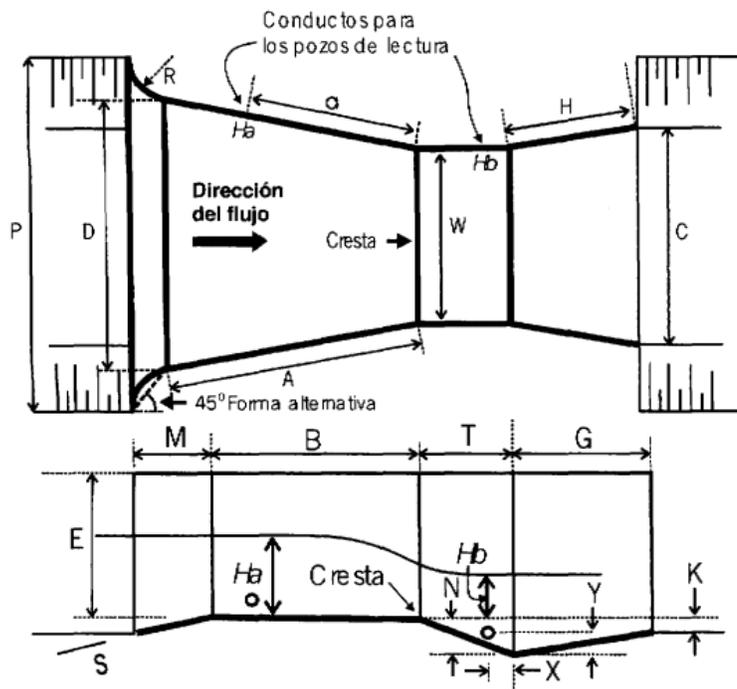


Figura 3. Partes de un Aforador Parshall.

Fuente: Pedroza, 2001.

*a. Nomenclatura de las partes del aforador Parshall.*

Según Pedroza (2001), son las siguientes:

W= Ancho de la garganta.

A = Sección convergente.

a= Ubicación del punto de medición  $H_a$ .

B= Longitud de la sección convergente.

C= Ancho de la salida.

D= Ancho de la entrada a la sección convergente.

E= Profundidad total.

T= Longitud de la sección divergente.

H= Sección divergente.

K= Elevación de la cresta desde la salida

M= Longitud de la transición de entrada.

N= Profundidad de la cubeta.

P= Ancho de la entrada de la transición.

R= Radio de curvatura.

X= Abscisa del punto de medición Hb.

Y= Ordenada del punto de medición.

G= Longitud de la sección divergente.

El gasto y la profundidad en el aforador Parshall según Pedroza (2001), se pueden representar con la siguiente ecuación:

$$Q = C * (H_a)^n \dots\dots\dots [Ecuación 8]$$

Donde:

Q= Caudal (m<sup>3</sup>), para condiciones de descarga libre

Ha = Profundidad del agua

C y n son valores diferentes según el tamaño de aforador

Las unidades de la ecuación anterior, pueden ser en l/s o en m<sup>3</sup>/s para el gasto (depende del tamaño del aforador) y en milímetros o metros para la profundidad Ha (Pedroza, 2001).

Con base en la información proporcionada en las Tabla 1 y Tabla 2, los medidores Parshall se pueden diseñar a las dimensiones deseadas, dependiendo del caudal y el espacio disponible para instalar el medidor. Para acceder a dichas tablas, basta con conocer el ancho de garganta, para obtener las dimensiones del aforador.

Como al diseñar unas estructuras, se basa en fórmulas empíricas derivadas en condiciones ideales de funcionamiento se cambia a medida que la estructura opera en condiciones reales y se construye o instala, puesto que se necesitara calibrarla para tener una relación confiable.

**Tabla 1***Valores de C y n para diferentes anchos de la garganta (W)*

Ancho de Garganta	Valores de C y n	
	C	n
(W y Ha en mm, Q en l/s)		
25,40	0,001352	1,55
50,80	0,002702	1,55
76,20	0,003965	1,55
152,40	0,006937	1,58
228,60	0,013762	1,53
(W y Ha en m, Q en m <sup>3</sup> /s )		
0,3048	0,69	1,52
0,4572	1,06	1,54
0,6096	1,43	1,55
0,9144	2,18	1,57
1,2192	2,95	1,58
1,5240	3,73	1,59
1,8288	4,52	1,60
2,1336	5,31	1,60
2,4384	6,11	1,61
3,0480	7,46	1,60
3,6580	8,86	1,60
4,5720	10,96	1,60
6,0960	14,45	1,60
7,6200	17,94	1,60
9,1440	21,44	1,60
12,1920	28,43	1,60
15,2400	35,41	1,60

Fuente: Pedroza, 2001

*Nota:* Las aplicaciones que se quieran realizar deberán ajustarse a un diseño estándar particular, respetando las dimensiones señaladas (ver Tabla 4). De otra forma la precisión se verá afectada.

**Tabla 2***Medidas estándar de los aforadores Parshall*

W	A	a	B	C	D	E	T	G	K	M	N	P	R	X	Y
Dimensiones en mm															
25,4	363	242	356	93	167	229	76	203	19	...	29	...	...	8	13
50,8	414	276	408	135	214	254	114	254	22	...	43	...	...	16	25
76,2	467	311	457	178	259	457	152	305	25	...	57	...	...	25	38
152,4	621	414	610	394	397	610	305	610	76	305	114	902	406	51	76
228,6	879	587	864	381	575	762	305	457	76	305	114	1080	406	51	76
Dimensiones en m															
0,3048	1,372	0,914	1,343	0,610	0,845	0,914	0,610	0,914	0,076	0,381	0,229	1,492	0,508	0,051	0,076
0,4572	1,448	0,965	1,419	0,782	1,026	0,914	0,610	0,914	0,076	0,381	0,229	1,676	0,508	0,051	0,076
0,6086	1,524	1,016	1,495	0,914	1,206	0,914	0,610	0,914	0,076	0,381	0,229	1,854	0,508	0,051	0,076
0,9144	1,676	1,118	1,645	1,219	1,572	0,914	0,610	0,914	0,076	0,381	0,229	2,222	0,508	0,051	0,076
1,2192	1,829	1,219	1,794	1,524	1,937	0,914	0,610	0,914	0,076	0,457	0,229	2,711	0,610	0,051	0,076
1,5240	1,981	1,321	1,943	1,829	2,302	0,914	0,610	0,914	0,076	0,457	0,229	3,030	0,610	0,051	0,076
1,8288	2,134	1,422	2,092	2,134	2,667	0,914	0,610	0,914	0,076	0,457	0,229	3,442	0,610	0,051	0,076
2,1336	2,286	1,624	2,242	2,438	3,032	0,914	0,610	0,914	0,076	0,457	0,229	3,810	0,610	0,051	0,076
2,4384	2,438	1,626	2,391	2,743	3,397	0,914	0,610	0,914	0,076	0,457	0,229	4,172	0,610	0,051	0,076
3,0430	2,7432	1,829	4,267	3,658	4,756	1,219	0,914	1,829	0,152	...	0,343	...	...	0,305	0,229
3,6580	3,0480	2,032	4,877	4,470	5,607	1,524	0,914	2,438	0,152	...	0,343	...	...	0,305	0,229
4,5720	3,5052	2,337	7,620	5,588	7,620	1,829	1,219	3,048	0,229	...	0,457	...	...	0,305	0,229
6,0960	4,2672	2,845	7,620	7,315	9,144	2,134	1,829	3,658	0,305	...	0,686	...	...	0,305	0,229
7,6200	5,0292	3,353	7,620	8,941	10,668	2,134	1,829	3,962	0,305	...	0,686	...	...	0,305	0,229
9,1440	5,7912	3,861	7,925	10,566	12,315	2,134	1,829	4,267	0,305	...	0,686	...	...	0,305	0,229
12,1920	7,3152	4,877	8,230	13,818	15,481	2,134	1,829	4,877	0,305	...	0,686	...	...	0,305	0,229
15,2400	8,8392	5,893	8,230	17,272	18,525	2,134	1,829	6,096	0,305	...	0,686	...	...	0,305	0,229

Fuente: Pedroza, 2001.

*Nota:* Los valores en M, P y R faltan por que es posible que se realice una transición entre el canal y el aforador con una pared vertical a 45°, respecto del eje horizontal del aforador, como se observa en la Figura 3.

*b. Ventajas de los medidores Parshall.*

Además de las ventajas con sus propias características hidráulicas como son:

- Puede funcionar con pérdidas de altura relativamente pequeñas.
- Una sola medición es suficiente para determinar el caudal.
- No tiene problemas de interferencia de elementos arrastrados por la corriente.
- Permite el uso con profundidades relativamente bajas canales de perfil plano.
- La velocidad del flujo es lo suficientemente alta como para eliminar eficazmente la depositación de sedimentos durante el funcionamiento.
- Larga vida útil.
- También se tiene la facilidad de construcción.

*c. Desventajas de los medidores Parshall.*

- Las estructuras son más caras porque se requiere precisión geométrica en las mediciones.
- No se debe usar cerca a derivaciones, dispositivos de control y dispositivos de control y aforo.
- El flujo en la entrada debe ser uniforme y la superficie de entrada debe ser relativamente lisa.

d. La Sumergencia.

Es un índice que clasifica la descarga en libre o ahogada. "Para definir el caudal se dispone de dos mediciones de altura de agua ( $H_a$  y  $H_b$ ). Ambas escalas se calibran colocando el cero a la altura de la cresta del aforador" (Basán, 2008, p. 23

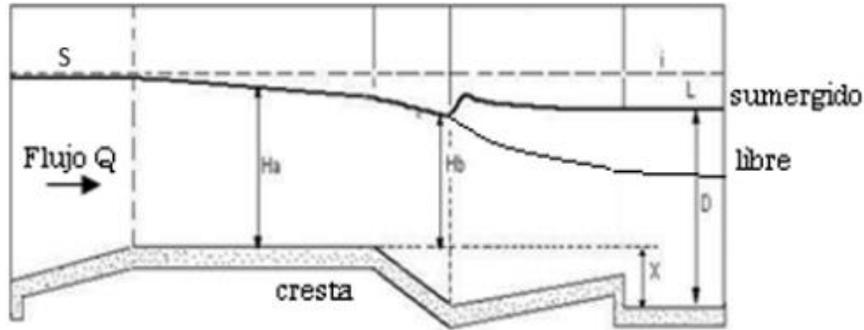


Figura 4. La Sumergencia

Fuente: Méndez & Ortega, 2012

Nota:  $H_a$  y  $H_b$  se miden a partir de la cresta

El grado o índice de sumergencia ( $S$ ), se calcula con la Ecuación 9:

$$S = \frac{H_b}{H_a} \dots\dots\dots [Ecuación 9]$$

Si  $S > 0,95$  no sirve.

Si  $S < 0,95$  son datos confiables".

La sumergencia permitida, para cada tipo de aforador, se presenta en la Tabla 4.

**Tabla 3***Descarga libre y descarga ahogada*

<b>W(m)</b>	<b>Descarga libre</b>	<b>Descarga ahogada</b>
W<0,3	S<0,60	0,6<S<0,95
0,30<W<2,50	S<0,70	0,7<S<0,95
2,50<W<15,00	S<0,80	0,8<S<0,95

Fuente: Basán , 2008

*Nota:* Ambas escalas se calibran colocando el cero a la altura de la cresta del aforador

**Tabla 4**

*Valores permitidos de sumergencia S en los aforos Parshall*

<b>Ancho de la garganta, W (mm)</b>	<b>Sumergencia máxima permitida, S (%)</b>
25,40	50
50,80	50
76,20	50
152,40	60
228,60	60
<b>(m)</b>	<b>(%)</b>
0,3048	70
0,4572	70
0,6096	70
0,9144	70
1,2192	70
1,5240	70
1,8288	70
2,1336	70
2,4384	70
3,0480	80
3,6580	80
4,5720	80
6,0960	80
7,6200	80
9,1440	80
12,1920	80
15,2400	80

Fuente: Pedroza, 2001

*Nota:* Cuando el valor de sumergencia se rebasa, el gasto en el aforador sufre una disminución.

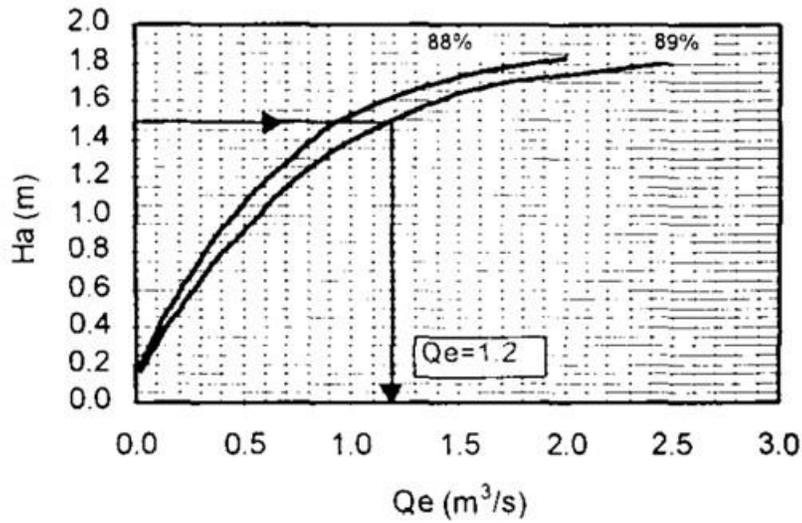


Figura 5. Grafica de corrección de gasto para aforadores de 3,048 m. a 15,9878 m.

Fuente: Pedroza, 2001

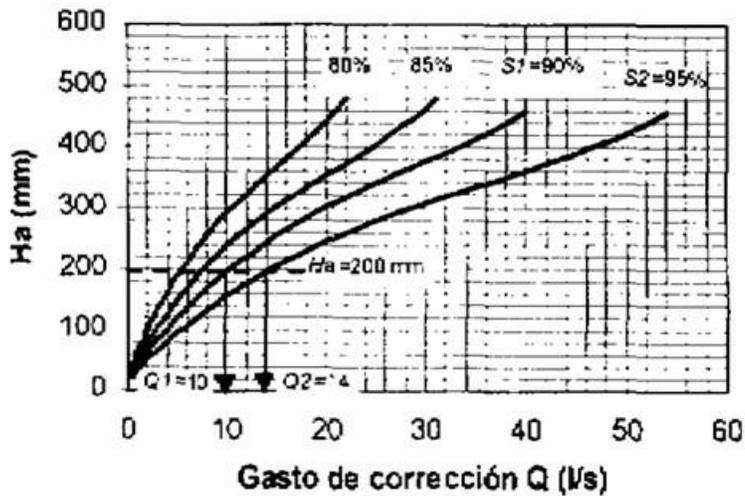


Figura 6. Grafica de corrección de gasto para aforadores de 3,048 m. a 15,9878 m.

Fuente: Pedroza, 2001

En el caso en que la sumergencia es rebasada, se debe emplear la ecuación 10, para calcular el gasto o caudal.

$$Q_s = Q * Q_e \dots\dots\dots [Ecuación 10]$$

$Q_s$  = Caudal bajo condiciones de sumergencia mayor a la permitida (ver tabla 4)

$Q$  = Caudal calculado con la ecuación 1 o tabla 3 (sin sumergencia)

$Q_e$  = Caudal o gasto de corrección, también puede calcularse con la figura 5.

Ejemplo del cálculo para conocer el caudal: Si un aforador Parshall, tiene un ancho de garganta de 6,10 m, con un grado de sumergencia del 89% y con un nivel de agua de 1,50 m de altura ( $H_a$ ), ¿Cuál es el caudal?

Datos: Formula: si  $Q = C * (H_a)^n$

$W = 6,10$  m  $Q = 14,5 Ha^{1,6}$  (de la tabla 1)

$H_a = 1,50$  m  $Q_s = Q - Q_e$

Solución:

Para descarga libre.

$$Q = 14,45 (1,50 \text{ m})^{1,6} = 27,64 \text{ m}^3/\text{s}$$

Empleando la gráfica de la figura 5, se determina el caudal o gasto de corrección.

$$Q_e = 1,20 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para descarga sumergida:

$$Q_s = 27,64 \text{ m}^3/\text{s} - 1,20 \text{ m}^3/\text{s} = 26,44 \text{ m}^3/\text{s}$$

*e. Derrame libre.*

La condicion de derrame libre, depende de la longitud de la garganta W y la profundidad del agua en el punto del limnimetro Ha. Por lo tanto, si el caudal es solo funcion de la carga (Ha), diremos que trabaja a descarga libre, por el contrario, si el nivel aguas arriba se ve afectado por el nivel de aguas abajo, entonces se denomina descarga sumergida.

Marbello (s.f.), indica que: Si  $H_b \ll H_a$ , Stiene un valor relativamente bajoy menor quela unidad, la canaleta funciona con descarga libre. Al contrario si  $H_b$  es menor, pero comparable con  $H_a$ ,S toma un valor relativamente altoy cercano a la unidad, entonces la canaleta opera con descarga ahogada o sumergida. (p.88)

*f. Derrame sumergido.*

Si el grado de sumersión S del aforador es sobre pasado, ocurrirá la condición de derrame sumergido.

La Autoridad Nacional del Agua, 2010, afirma que: Si empleamos unidades inglesas con valores comprendidos entre 1 y 8 pies, emplearemos las siguientes ecuaciones que expresan la relación entre la anchura de la garganta W, la descarga Q y la lectura del limnómetro Ha, fueron empleadas en unidades métricas en la Tabla 1 y Tabla 2, pero si empleamos unidades inglesas, en este caso con valores comprendidos entre 1 y 8 pies es como sigue:

$$Q = 4 * W * H_a * 1,522 * W^{0,026} \dots\dots\dots [Ecuación 11]$$

Donde Q está en pies cubicos por segundo, por eso W y Ha tambien estan en pies.

Para la conduccion elevada Parshall de 9 pulgadas (22,9 cm) la ecuacion :

$Q = 4 * W * Ha * 1,522 * W^{0,026}$  es como sigue:

$$Q = 3,07 * Ha^{1,53} \dots\dots\dots [Ecuación 12]$$

La ecuación para la conduccion elevada Parshall de 6 pulgadas (15,25 cm) se obtiene de la ecuacion:  $Q = 4 * W * Ha * 1,522 * W^{0,026}$ , es como sigue:

$$Q = 2,06 * Ha^{1,58} \dots\dots\dots [Ecuación 13]$$

Para descarga ahogada, el Instituto Mexicano de Tecnologia del Agua (1992), afirma que: Para descarga ahogada las fórmulas anteriores generan un gasto mayor que el real. En consecuencia, cuando un medidor trabaja bajo estas condiciones es necesario aplicar una correccion sustractiva (C) al gasto, que aumenta a medida que lo hace el grado de sumercion. (p.82)

$$Q = m * Ha^n - C \dots\dots\dots [Ecuación 14]$$

Donde:

C: Corrección en función de W, Ha y Hb.

m: Coeficiente de descarga.

n: Exponente de descarga.

**Tabla 5**

*Valores de m y n, para la Ecuación 14 en unidades métricas*

W(m)	m	n	W(m)	m	n
0,15	0,3812	1,580	4,50	10,7900	1,600
0,30	0,6800	1,522	5,00	11,9370	1,600
0,50	1,1610	1,542	6,00	14,2290	1,600
0,75	1,7740	1,558	7,00	16,5220	1,600
1,00	2,4000	1,570	8,00	18,8150	1,600
1,25	3,0330	1,579	9,00	21,1070	1,600
1,50	3,6730	1,588	10,00	23,4000	1,600
1,75	4,3160	1,593	11,00	25,6920	1,600
2,00	4,9680	1,599	12,00	27,9850	1,600
2,50	6,2770	1,608	13,00	30,2780	1,600
3,00	7,3520	1,600	14,00	32,5700	1,600
3,50	8,4980	1,600	15,00	34,8630	1,600
4,00	9,6440	1,600			

Fuente: Ministerio de agricultura, 2004

El instructivo técnico del Ministerio de agricultura (2004), indica lo siguiente:

El valor de C es obtenido con las siguientes ecuaciones:

Si  $W = 0,15$  emplear la ecuación 15:

$$C = \frac{0,0285 * Ha^{2,22}}{\left(\frac{Ha+3,05}{3,05} - S\right)^{1,44}} - \frac{Ha-0,056}{87,94} \dots\dots\dots [Ecuación 15]$$

Si W está en el rango entre 0,3 – 2,5, emplear la ecuación 16:

$$C = 0,0746 * \left(\frac{3,38Ha}{\left(\frac{1,8}{S}\right)^{1,8} - 2,45}\right)^{4,57-3,14S} + 0,093S * W^{0,815} \dots\dots\dots [Ecuación 16]$$

Si W está en el rango entre 2,5 – 15, emplear la Ecuación 17:

$$C = 69,671 * (S - 0,71)^{3,333} * Ha^2 * W \dots\dots\dots [Ecuación 17]$$

En tal caso, la calibración bajo la condición de flujo sumergido requiere realizar más cálculos que cuando el flujo es libre; para lo cual se necesita conocer lo siguiente:

Cuando el grado de sumergencia  $S$  está por encima del valor máximo especificado en la Tabla 4, el flujo es sumergido.

Conociendo la dimensión de la garganta ( $W$ ), se ingresa a la Tabla 5, para obtener los valores de  $m$  y  $n$ , que reemplazados en la Ecuación 14 nos proporciona la descarga del aforador.

El valor de  $C$ , que se encuentra en la Ecuación 14, se calcula empleando las ecuaciones (15, 16 ó 17), según el ancho  $W$ , (P.44).

#### ***3.1.2.4 Aforador sin cuello.***

El Programa de servicios agrícolas provinciales(s.f.), de San Juan Argentina, indica que el aforado sincuello es una forma simplificada del medidor Parshall, no tiene garganta y la parte inferior del medidor es plana, lo que permite una construcción más fácil que el medidor Parshall. Cabe señalar que las lecturas en los medidores sin cuello no son muy sencillas, por lo que se debe tener mucho cuidado en su operación y mantenimiento para asegurar mediciones precisas, (ver Figura 7).

"Los medidores sin cuello pueden ser de madera, metal u hormigón, con formas relativamente simples, se puede tener medidores portátiles, es decir, pueden llevarse al campo para medir el flujo de corrientes en el canal o usarlos como herramientas de calibración".(Ministerio de Agricultura, 2004, p. 47)



*Figura 7. Aforador sin cuello*

El aforador sin cuello que se muestra en la Figura 8, consta de una sección de entrada convergente, un ancho de cuello en "W" y una sección de salida divergente. El medidor sin cuello, a diferencia del medidor Parshall, tiene un fondo plano. Para obtener la descarga, se debe medir la profundidad del flujo, o la altura de la caída,  $H_b$  aguas arriba y  $H_b$  aguas abajo de la garganta, con escalas en las ubicaciones que se muestran en la figura 8, posiblemente con pozos tranquilizadores.

En el manual técnico, el Ministerio de Agricultura (2004) afirma: "La característica de este medidor es que la parte de entrada coincide con la parte de salida y ambas están denotadas por la variable B". (p. 48).

$$B = W + \frac{L}{4,5} \dots\dots\dots [Ecuación 18]$$

L = Longitud del aforador.

La = Longitud de ubicación del limnómetro Ha.

Lb = Longitud de ubicación del limnómetro Hb en la Figura 8.

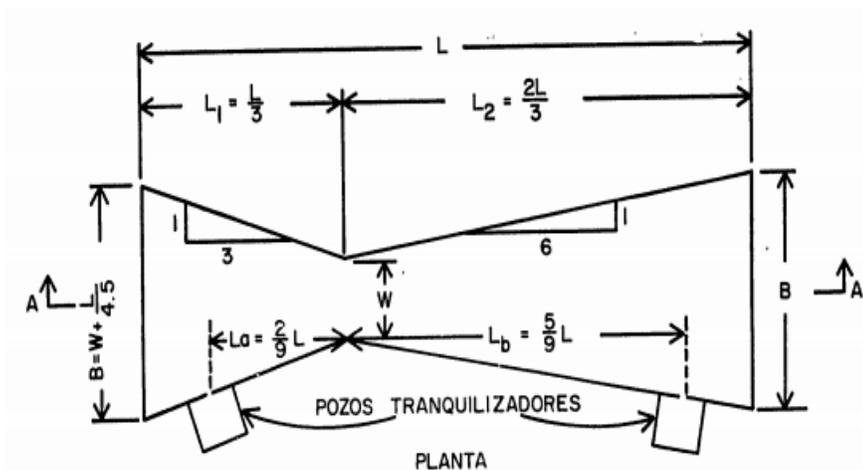


Figura 8. Partes de un Aforador sin cuello

Fuente: Alfaro, 1973

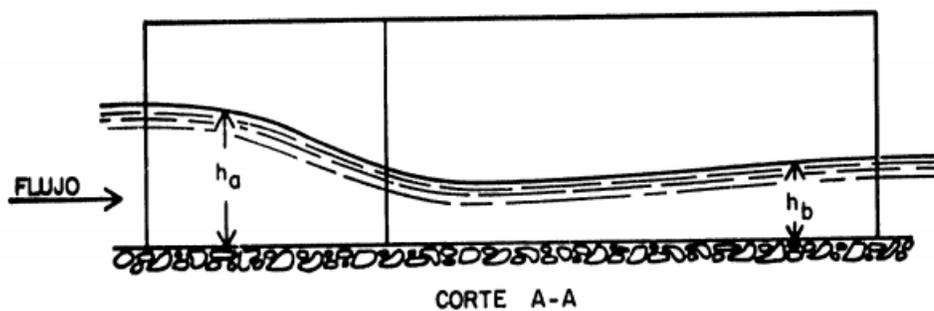


Figura 9. Geometría de la sección del aforador sin cuello.

Fuente: Alfaro, 1973

a. *Flujo libre.*

Según Alfaro (1973), el caudal en un medidor sin cuello en flujo libre depende únicamente de la profundidad "Ha" aguas arriba, en estas condiciones la profundidad crítica se produce en las proximidades de la constricción del aforador sin cuello, el flujo no se ve afectado por oscilaciones que pueden ocurrir aguas abajo del medidor.

El derrame libre por el aforador sin cuello, se calcula con las siguientes ecuaciones:

$$Q = C * Ha^n \dots\dots\dots [Ecuación 19]$$

Donde:

Q = Caudal en m<sup>3</sup>/s

Ha = Profundidad aguas arriba (medida a una distancia 2L/9 de la garganta, véase la Figura 8 )

n = Exponente del flujo libre

C = Coeficiente del flujo libre

Los valores de n y k se obtienen de la Tabla 6, o mediante los diagramas de las Figura 12 y 13 para una longitud L de conducción dada. El valor del coeficiente de flujo libre, C, depende de la longitud y el ancho W del cuello y el valor de C viene dado por la Ecuación 20:

$$C = KW^{1,025} \dots\dots\dots [Ecuación 20]$$



*Figura 10.* Medición de las longitudes L y W del aforador sin cuello



*Figura 11.* Medición de los Valores de H<sub>a</sub> y H<sub>b</sub> y B del aforador

**Tabla 6***Parámetros para aforadores sin cuello*

<b>L(m)</b>	<b>St(%)</b>	<b>Flujo (n)</b>	<b>Libre (K)</b>	<b>Flujo (ns)</b>	<b>Sumergido (Ks)</b>
0,5	60,7	2,080	6,15	1,675	3,50
0,6	62,0	1,989	5,17	1,600	2,90
0,7	63,0	1,932	4,63	1,550	2,60
0,8	64,2	1,880	4,18	1,513	2,35
0,9	65,3	1,843	3,89	1,483	2,15
1	66,4	1,810	3,60	1,456	2,00
1,2	68,5	1,756	3,22	1,427	1,75
1,4	70,5	1,712	2,93	1,407	1,56
1,6	72,0	1,675	2,72	1,393	1,45
1,8	73,8	1,646	2,53	1,386	1,32
2	75,5	1,620	2,40	1,381	1,24
2,2	77,0	1,600	2,30	1,378	1,18
2,4	78,4	1,579	2,22	1,381	1,12

Fuente: Ochoa, s.f.

La Autoridad Nacional del Agua (2010) establece que, el procedimiento para instalar una conducción elevada de garganta corta, que funcione en condiciones de descarga libre se puede resumirse de la siguiente manera:

- Determinar el flujo máximo que se va a medir.
- En la ubicación que se elija para la instalación elevada, ubicar la línea de aguas altas sobre la margen del canal y encontrar la profundidad de agua máxima permitida.
- Utilizarla ecuación 19, para calcular la profundidad del agua correspondiente a la capacidad máxima de descarga del canal en cuestión.
- Colocar el piso de la conducción elevada a una profundidad (Hb) no mayor que “Ha”, y multiplicada por la inmersión de transición St, llamada sumersión transitoria ( $Hb \leq Ha St$ ). En general el fondo de la conducción elevada debe

ubicarse a tanta altura en el canal como la pendiente y otras condiciones lo permitan para asegurar el derrame libre,

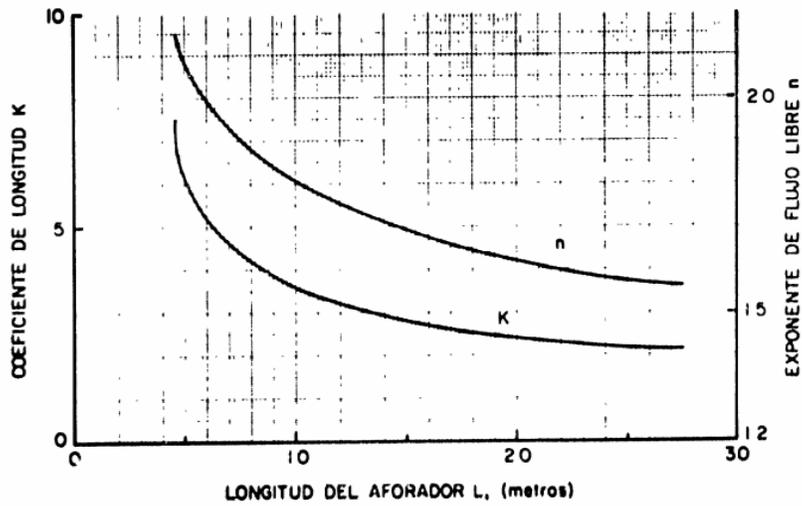


Figura 12. Relación entre el coeficiente de longitud para flujo libre,  $k$ , y el exponente de flujo libre,  $n$ , con respecto a la longitud,  $L$ , del aforador “sin cuello”

Fuente: Alfaro, 1973

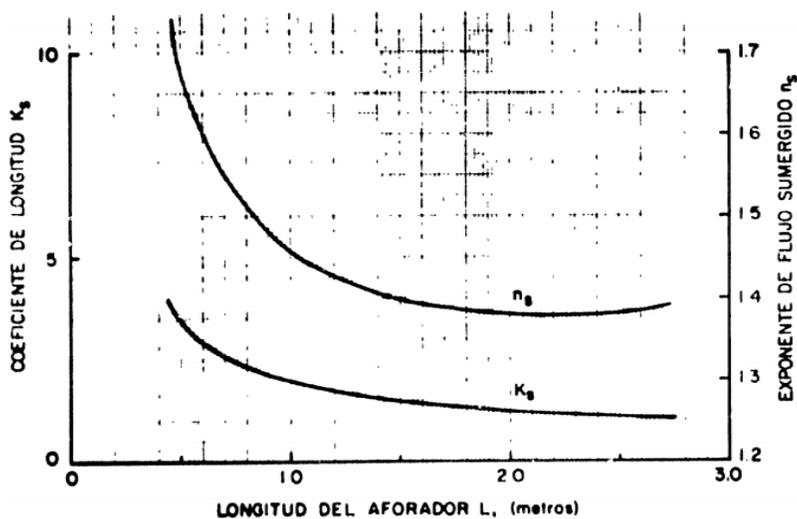


Figura 13. Relación entre el coeficiente de longitud para flujo sumergido  $k_s$ , y el exponente de flujo sumergido,  $n_s$ , con respecto a la longitud de,  $L$ , del aforador “sin cuello”

Fuente: Alfaro, 1973

*b. Flujo sumergido.*

Alfaro (1973), sugiere que cuando el medidor "sin cuello" está operando en condiciones de flujo inundado, primero se deben medir las profundidades aguas arriba,  $H_a$ , y aguas abajo,  $H_b$ , determinando estas condiciones el caudal, empleando:

$$Q = \frac{C_s(H_a - H_b)^n}{(C_{log S})^{n_s}} \dots\dots\dots [Ecuación 21]$$

En la cual:

$Q$  = Descarga en m /seg.

$H_a$  =Profundidad aguas arriba en m.

$H_b$  = Profundidad aguas abajo en m.

$n$  = Exponente de flujo libre.

$n_s$  = Exponente de flujo sumergido.

$S$  = La sumersión  $H_b/H_a$  en forma decimal.

$C_s$  = Coeficiente de flujo sumergido.

$$C_s = K_s * W^{1,025} \dots\dots\dots [Ecuación 22]$$

La Tabla 6 da los valores de  $K_s$  y  $n_s$ , también puede obtenerse directamente del grafico mostrado en la Figura 13 para cualquier longitud de aforador deseada, también en la Tabla 6 se muestra un  $S_t$  que es la sumersión transitoria o sea el límite de sumersión entre el flujo libre y el flujo sumergido.

Ochoa (s.f.), nos muestra, cómo se determina el caudal en un aforador sin cuello usando los siguientes ejemplos:

1.  $W = 20$  cm,  $L = 180$  cm

$H_a = 0,25$  m,  $H_b = 0,10$  m

$$S = \frac{H_b}{H_a} * 100 \dots\dots\dots [Ecuación 23]$$

$$S = \frac{H_b}{H_a} * 100 = \left( \frac{0,10}{0,25} \right) * 100 = 40\%$$

Entonces, en la Tabla 6, si el valor de  $S_t = 73,7\%$ , y como  $S$  es menor que  $S_t$ , hay flujo libre en el aforador y se pueden usar las ecuaciones siguientes para obtener la descarga, según la ecuación 20:  $C = K * W^{1,025}$

Entonces se tiene  $C = 2,53 (0,20)^{1,025} = 0,486$

De la Tabla 6 el valor del exponente "n" es 1,65 y el caudal se calcula por la ecuación 19:  $Q = C * (H_a)^n$

$$Q = 0,486 * (0,25)^{1,65} = 0,0493 \text{ m}^3/\text{seg}$$

2.  $W = 10 \text{ cm}, \quad L = 90 \text{ cm}$

$H_a = 30 \text{ cm}, \quad H_b = 27 \text{ cm}$

La sumersión:

$$S = \frac{H_b}{H_a} * 100 = \left( \frac{0,27}{0,30} \right) * 100 = 90\%$$

De la Tabla 6, se tiene  $S_t = 65,3\%$ , como  $S$  es mayor que  $S_t$  tenemos flujo sumergido y se calcula la descarga por medio de las ecuaciones:

$$Q = \frac{C_s(H_a - H_b)}{(\text{colog } S)^{n_s}} \quad C_s = K_s W^{1,025}$$

De la Tabla 6, el valor de  $K_s = 2,15$ ,  $n = 1,843$  y  $n_s = 1,483$  entonces

$$C = 2,15 (0,10)^{1,025} = 0,203$$

Cabe mencionar que el colog  $S = -\log S$  o en nuestro caso el colog  $(0,9) = 0,0458$

$$Q = \frac{0,203 * (0,30 - 0,27)^{1,843}}{(0,0458)^{1,483}} = \frac{0,0003}{0,0103} = 0,0307 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Ochoa (s.f.), recomienda que el aforador se instale en una sección recta del canal, cerca de la toma del agua, a una distancia suficiente para evitar que el agua ingrese al aforador sin perturbaciones. Siempre es deseable que los aforadores sin cuello funcionen en condiciones de flujo libre. Se medirán los datos de los flujos máximos y mínimos con sus respectivos tirantes y las dimensiones del canal.

Después de la instalación del aforador, el tirante aguas abajo será esencialmente lo mismo, pero la profundidad aguas arriba aumentará en función de las pérdidas de carga. Estas pérdidas se consideran igual a la diferencia de nivel entre el agua de entrada y salida del aforador. Al igual que con el proceso para el aforador Parshall se deben determinar las dimensiones del aforador y deben considerarse estas pérdidas y su efecto en el borde libre del canal. Si exceden, se elige un tamaño mayor o dejarlo trabajar en condiciones de flujo sumergido. Se recomienda que la relación ancho /largo de garganta sea entre 0,1 y 0,4 o sea  $W/L = 0,1$  hasta  $0,4$ .

### 3.1.2.5 Aforo por el método del correntómetro.

Para aforar corrientes superficiales de agua, se emplea el método Sección - Velocidad, de lo cual, el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (2017), sugiere el método, en el cual se mide la velocidad en diferentes puntos de la sección transversal de la línea. Asimismo, través de la medición de profundidades del río, se determina la sección transversal, para el posterior cálculo del caudal utilizando la siguiente ecuación de continuidad:

$$Q = A * V \dots\dots\dots [Ecuación 24]$$

Donde:

Q = Caudal del agua, en m<sup>3</sup>/s

A = Área de la sección transversal, en m<sup>2</sup>

V = Velocidad media del agua, en m/s

La única dificultad es determinar la velocidad media, ya que varía en diferentes puntos de la parte hidráulica; respecto al aforo con molinete o correntómetro, motivo por el cual, Rosas (s.f.), sugiere que en la medición de velocidad con molinete (correntómetro), supóngase la hélice está en un punto con una corriente de velocidad V. La longitud S es la trayectoria de la partícula líquida que se mueve a lo largo del contorno completo de la línea que determina una vuelta de la hélice (ver Figura 14). La situación es similar a la suposición de que el agua está quieta y el molinete se mueve a través del agua una velocidad V. Para un desplazamiento S, la hélice también dará una vuelta.

$$V = \frac{S}{t} \dots\dots\dots [Ecuación 25]$$

Si analizamos para un movimiento uniforme, el espacio, S, recorrido por la hélice, o por la partícula líquida que pasa a través de la hélice, se expresa como el número de revoluciones N dado por el contador de corriente en t segundos a través de ésta, se representa por el número de rotaciones,” N “, dadas por el molinete en t segundos.

Luego:

$$V = \frac{N}{t} \dots\dots\dots [Ecuación 26]$$

Pero, por la fricción en las partes mecánicas del aparato, se necesita emplear un coeficiente de corrección, b.

En consecuencia:

$$V = b * \frac{N}{t} \dots\dots\dots [Ecuación 27]$$

Y haciendo  $n = \frac{N}{t}$ , la frecuencia de giro, se tiene  $V=b * n$

Además, dada la sensibilidad del dispositivo, lo percibiremos a partir de una cierta velocidad mínima "a", generalmente con un paso de 1 cm / s, por debajo del cual el dispositivo no se mueve, entonces la ecuación del dispositivo se convierte en:

$$V = a + b * n \dots\dots\dots [Ecuación 28]$$

La ecuación corresponde a una línea recta. Pero los dispositivos tienen sus respectivas ecuaciones de calibración, según el tipo de molinete y la empresa de fabricación, las velocidades se tabulan en revoluciones por minuto.

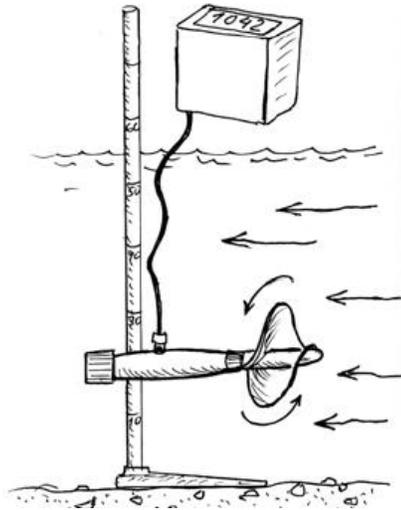


Figura 14. Molinete de eje horizontal o de hélice

Fuente: Sanchez, s.f.

Pero en la metodología de capacidad adoptada por el Instituto privado de investigación sobre cambio climático (2017) se establece que, antes de estimar el área transversal y la velocidad, es necesario tener en cuenta aspectos como la determinación del área de la sección.

Por lo tanto, el método para determinar el área de la sección transversal depende del estado del lecho del río o de los canales sin revestimiento. Para canales variables donde el nivel del agua sufre cambios significativos durante la medición, se recomiendan mediciones sucesivas de profundidad y velocidad, a medida que se recorre de un extremo al otro de la sección. (Ver Figura 16).

Se utiliza una vara de escala métrica o un tubo graduado para determinar la profundidad de la sección transversal.

- El área de la sección fue determinada de la siguiente manera:
- Después de determinar el área a medir, se colocan dos estacas a cada lado y se asegura que la línea que las conecta sea perpendicular a la dirección del río para determinar el ancho.
- Divido el ancho del cauce en secciones, como se muestra en la tabla 7.

**Tabla7**

*Espaciamientos de sondeo según el ancho del cauce*

<b>Ancho del Cauce (m)</b>		<b>Espaciamiento (m)</b>
<b>De:</b>	<b>A:</b>	
0	1	0,20
1	2	0,25
2	4	0,50
4	8	1,00
8	15	1,50
15	25	2,00
25	50	3,00
50	75	4,00
75	125	5,00

Fuente: Instituto privado de investigación sobre cambio climático, 2017.

*Nota:* Los datos de esta tabla son un ejemplo de la toma de datos del sondeo en un cauce.

Se debe obtener la profundidad al principio y al final de cada tramo como se muestra en la y

Figura15 y ecuación 29, obtener la profundidad media y ancho de cada sección para generar el área por cada tramo medido de la sección transversal.

$$A1 = \frac{a+b}{2} * L + A2 = \frac{a+b}{2} * L \dots A9 \dots \dots \dots [Ecuación 29]$$

Donde:

A1: Es el área de la sección, en m<sup>2</sup>

a: profundidad inicial del tramo, en m

b: profundidad final del tramo, en m

L: Ancho de la sección, en m

$$Areatotal = \Sigma A1 + A3 \dots A8 + A9$$

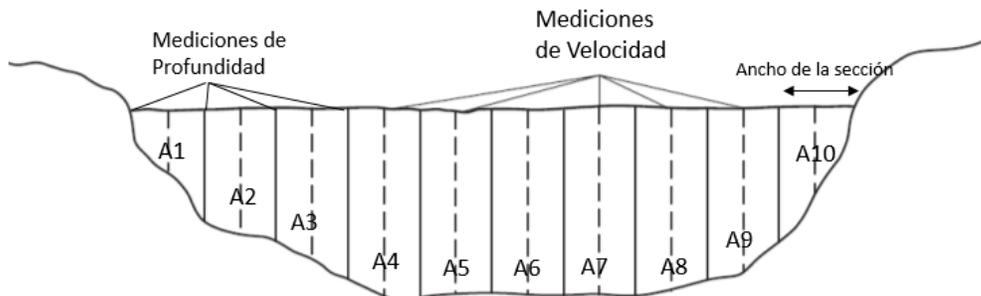


Figura15. Secciones parciales de un cauce.

Fuente: Instituto privado de investigacion sobre cambio climatico, 2017.



Figura 16. Mediciones de profundidad para cada sección del cauce

Para determinar la velocidad por medio del molinete debe tenerse en cuenta que: “Los correntómetros son aparatos provistos de una hélice o una rueda de copas, la cual gira al chocar el agua de la corriente sobre ella. El movimiento de rotación de la hélice es más rápido cuanto mayor sea la velocidad de la corriente de agua”. (Instituto privado de investigacion sobre cambio climatico, 2017,p.11)

El molinete está compuesto básicamente como lo muestra la figura 17: Por su hélice, barra, cables de conexión y contador.

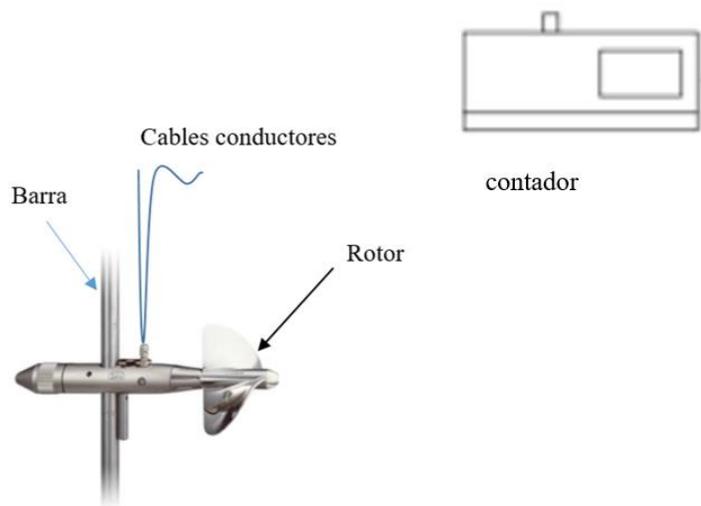


Figura 17: Partes de un molinete

Según el Instituto privado de investigacion sobre cambio climatico, 2017, indica que: La velocidad es medida según el número de revoluciones o vueltas que da la hélice del molinete cuando está dentro del agua, lo cual es registrado por el contador, el cual en forma automática muestra la velocidad en metros/segundo.

Hay métodos para obtener la velocidad media de un molinete, en cada área parcial, los cuales se diferencian por la profundidad a la cual se hacen las mediciones de la velocidad en la vertical (Instituto privado de investigación sobre cambio climático, 2017).

Los métodos más empleados para obtener la velocidad media de un molinete, según el Instituto privado de investigación sobre cambio climático (2017) son:

*a. Método de los 6/10.*

Es el método más empleado y práctico por lo que se lo adoptó para el cálculo de velocidad.

Dicho método consiste en colocar el molinete a un 60 % de la profundidad del punto sondeado (0,6 H), contando a partir de la superficie del agua hacia abajo. Este método se basa en que, a esta profundidad, la velocidad del agua es casi igual a la velocidad media en la vertical del punto en que se está haciendo la observación.

*b. Método de los 2/10 y 8/10.*

Se emplea cuando se requiere una mayor aproximación, es el llamado método de los dos puntos, es este se efectúan dos medidas de la velocidad uno a 20 % (0,2 H) de la profundidad y otro a 80 % (0,8 H), contados a partir de la superficie del agua. El promedio de las dos velocidades será la velocidad en el área parcial.

*c. Método de varios puntos.*

Se emplea cuando se requiere gran precisión del caudal y la profundidad de corriente es mayor a 3 m, y las condiciones de la corriente lo permitan.

Generalmente se hace una medición superficial y una cerca del fondo, intercalando mediciones adicionales entre estas dos a intervalos comprendidos entre 20 y 80 % (0,2H, 0,6H, 0,8H) de la profundidad. El promedio de las velocidades será la velocidad buscada.

*d. Método de la superficie.*

Cuando la velocidad del agua es mayor a 2,5 m/s, es preferible prescindir de las observaciones profundas, debido a la dificultad de mantener el molinete en posición vertical, por el peligro de que sufra desperfectos al ser golpeado por los objetos que transporta la corriente. En este caso se recomienda mediciones a 0,15 m de la profundidad, la velocidad media se obtiene a partir de la velocidad superficial:

Donde:

$$V_m = 0,90 * V_s \dots\dots\dots [Ecuación 30]$$

V<sub>m</sub>: Velocidad media, en m/s

V<sub>s</sub>: Velocidad superficial a 0,15 m de la profundidad, en m/s

Ejemplos del aforo por el método de sección-velocidad, calculado con molinete:

Ejemplo 1:

El aforo se realizó en las cercanías de un Poblado. El ancho del río es de 32 metros, por lo que le correspondería realizar las mediciones a cada tres metros, se utilizara el

método de un punto (0,6H) para la determinación de la velocidad.

Después de realizar el levantamiento de datos en campo, se trabaja en gabinete para determinar el caudal mediante una hoja de Excel (ver Tabla 8), la cual da como resultado la cantidad de agua que lleva la corriente del Río en ese momento específico del día.

**Tabla 8**

*Hoja de cálculo para determinar el caudal*

N°.	Profundidad (a)	Profundidad (b)	Sector (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Vel (m/s)	Caudal Q (m <sup>3</sup> /s)
1	0,05	0,40	3,00	0,68	0,10	0,07
2	0,40	0,50	3,00	1,35	0,07	0,10
3	0,50	0,61	3,00	1,67	0,23	0,38
4	0,61	0,80	3,00	2,12	0,33	0,70
5	0,80	1,05	3,00	2,78	0,52	1,44
6	1,05	1,20	3,00	3,38	0,59	1,99
7	1,20	1,30	3,00	3,75	0,75	2,81
8	1,30	1,20	3,00	3,75	0,75	2,81
9	1,20	0,80	3,00	3,00	0,12	0,37
10	0,80	0,40	3,00	1,80	0,11	0,20
11	0,40	0,20	2,00	0,60	0,10	0,06
Ancho río:			32,00	Total, m <sup>3</sup> /s		10,93
						Total, gal/m 173293,07

Fuente: Instituto privado de investigación sobre cambio climático, 2017

Basán (2008), sugiere: Cuando se efectúa un aforo, en campo se obtiene para cada vertical determinada su progresiva (distancia horizontal al punto fijo de la margen izquierda), su profundidad y los valores obtenidos del molinete (dependiendo del método que se ha elegido para calcular las velocidades medias verticales: un punto, tres puntos, etc.) Ahora se deben trabajar esos datos en gabinete, para poder obtener el caudal que pasaba en el momento que se hizo el aforo (p. 53).

Ejemplo2:

Calcular el caudal que pasa por una acequia, habiéndose aforado con seis verticales, adoptándose el método de tres puntos para calcular la velocidad media vertical (midiendo a 0,2 a 0,6 y a 0,8 de la profundidad) cuyos valores de campo y los calculados en gabinete se especifican en la Figura.

Vertical	Dist. (m)	Prof. (m)	Prof. media (m)	Ancho (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Revoluciones	Tiempo (seg)	Prof. de Obs.	Vel. puntual (m/seg)	Vel. Media Vertical (m/seg)	Vel. media del área	Caudal (m <sup>3</sup> /seg)	
1	0,15	0,00							0,00	0,00			
			0,105	0,10	0,011						0,255	0,003	
2	0,25	0,21				136	60	0,2	0,578	0,510			
						122	60	0,6	0,518				
						102	60	0,8	0,433				
			0,235	0,20	0,047						0,590	0,028	
3	0,45	0,26				169	60	0,2	0,719	0,669			
						162	60	0,6	0,689				
						141	60	0,8	0,599				
			0,250	0,20	0,050						0,635	0,032	
4	0,65	0,24				159	60	0,2	0,676	0,601			
						137	60	0,6	0,582				
						128	60	0,8	0,544				
			0,205	0,20	0,041						0,528	0,022	
5	0,85	0,17				132	60	0,2	0,561	0,454			
						102	60	0,6	0,433				
						86	60	0,8	0,367				
			0,085	0,10	0,009						0,227	0,002	
6	0,95	0,00							0,00	0,00			
					Área total = 0,158		Caudal total = 0,087						

Figura 18. Cálculo del caudal empleando un correntómetro

Fuente: Basán , 2008

Nota: Los valores de campo se especifican con color negro y los valores calculados en gabinete se escriben con color azul.

Siendo la velocidad media en la sección total:

$$V_{\text{media sección}} = \frac{Q_{\text{total}}}{A_{\text{reata total}}} \dots\dots\dots [Ecuación 31]$$

$$V_{\text{media sección}} = \frac{Q_{\text{total}}}{\text{Area total}} = \frac{0,100 \frac{m^3}{\text{seg}}}{0,146 m^2} = 0,57 \frac{m}{\text{seg}}$$

**3.1.2.6 Aforo por el método del flotador.**

El método del flotador, es un método sencillo y prácticamente no requiere equipo especial alguno. Se utiliza para medir la velocidad superficial del flujo, no el caudal directamente, y se utiliza en el aforo de surcos, acequias, canales, ríos, diques, etc.

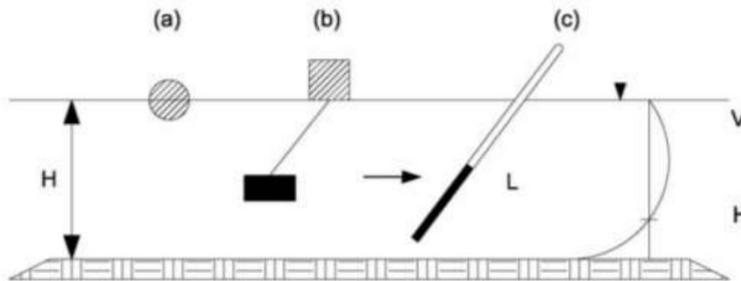


Figura19. a) Flotador simple b) Flotador doble c) Bastón flotador.

Fuente: Morales, 2014

Para la aplicación de este método solo se necesita un objeto que flote, que sea arrastrado por la corriente del agua y no por el viento, puede ser una pelota de plástico, una botella de plástico pequeña, un trozo de rama de un árbol, un trozo de madera que flote libremente en el agua, pero que no deben ser muy livianos. Se recomienda que este objeto vaya sumergido la mitad por debajo de la lámina de agua de manera que el viento no afecte su trayectoria.

Los materiales e instrumentos a utilizarse con este método son un flotador, un reloj (cronometro), cinta métrica y regla graduada para medir las distancias y áreas hidráulicas necesarias.

Mejia & Rosas (2016), afirma: Las etapas para medir el caudal de una corriente por medio de flotadores pueden ser las siguientes:

1. Se selecciona un tramo de medida de curso y sección lo más derecho y parejo posibles.
2. Se determina la longitud (L), la sección transversal del tramo de medida (A) y el perímetro húmedo (P).
3. Se prepara el flotador (Trozo de madera o mejor aún una botella que se llenará de agua de manera que flote aproximadamente en sus 2/3).
4. Se coloca el flotador a algunos metros antes del tramo elegido y se cronometra el tiempo que utiliza para atravesar (p.32).

Según el Instituto nacional de recursos naturales (Ministerio de Agricultura) (s.f.) se determina el caudal según la expresión:

$$Q = \frac{(y * a) * l}{t} * 1000 * f \dots\dots\dots [Ecuación 32]$$

Donde

Q: Caudal del riachuelo en litros por segundo (l/s)

y: Tirante promedio del tramo de control (m)

a: Ancho promedio del tramo de control (m)

l: Longitud de tramo (m)

t: Tiempo de recorrido del flotador (seg)

f: Factor de ajuste, se asume en función a las características del cauce (p. 5)

En la Tabla 9 se muestran los factores de ajuste para el método del flotador.

**Tabla 9**

*Factores de ajuste. Método de aforo por Flotador*

<b>Característica del tramo de control</b>	<b>Factor de ajuste</b>
Alineamiento recto. Lecho uniforme limo-arenoso y de cantos rodados pequeños. (Diámetro < 5 cm)	0,70
Alineamiento recto. Lecho ondulado de cantos rodados medianos (diámetro 5-10 cm)	0,65
lineamiento sinuoso. Lecho uniforme limo-arenoso y de cantos rodados pequeños. (Diámetro < 5 cm)	0,60
lineamiento sinuoso. Lecho ondulado de cantos rodados medianos (diámetro 5-10 cm).	0,55
lineamiento sinuoso. Lecho ondulado de cantos rodados grandes (diámetro 10-20 cm).	0,50

Fuente: Instituto nacional de recursos naturales, s.f.

### 3.1.3 Las persistencias.

Se refiere a la probabilidad de que un caudal determinado sea igualado o superado. El caudal tradicionalmente utilizado en la costa, se utiliza para estimar la asignación a los usuarios, correspondiente al 75 por ciento de persistencia (Autoridad Nacional del Agua, 2010, citado en Manco & Paucar, 2015, p.16).

Guevara (s.f.), afirma: El análisis de las sequías (períodos secos), se orienta a demostrar la persistencia de los eventos hidrológicos y meteorológicos. La persistencia se refiere a la tendencia que existe que un período seco (año, día, etc.) sea seguido por otro seco y que un período húmedo ocurra después de otro húmedo, de acuerdo a un comportamiento similar al de cualquier variable aleatoria. (p. 7)

El registro de precipitación interesa para determinar probabilidades de ocurrencia. “Para proyectos de irrigación, se utilizan valores de precipitación con probabilidad de ocurrencia o persistencia correspondiente al 75% y para proyectos hidroenergéticos, se utiliza el 95%. A continuación, se muestra los niveles de persistencia para diferentes usos” (Bustamante, 2018,p.52).

**Tabla 10**

*Niveles de persistencia*

<b>Oferta Hídrica</b>	
<b>Uso</b>	<b>Nivel Persistencia</b>
Agrícola - Pecuario	75%
Doméstico - Poblacional	80%
Industrial	90%
Hidroenergéticos	95%

Fuente: Bustamante, 2018

a. *La Curva de Duración (CD).*

También conocida como curva de persistencia o curva de Intensidad Media Máxima, ha sido ampliamente utilizada en estudios previos de aprovechamiento de un río ya que muestra el porcentaje del tiempo durante el cual los caudales han sido igualados o excedidos. Para dibujarla, los gastos medios diarios, semanales o mensuales, se ordenan por su magnitud y luego se calcula el porcentaje de tiempo durante el cual ellos fueron igualados o excedidos (ver

Figura 20), se puede ver que los caudales mayores tienen menos probabilidad de ocurrencia durante un año. Así el caudal de persistencia 75% es el caudal que es igualado o excedido el 75% del tiempo, por ejemplo, 9 de los 12 meses del año (Chereque, s.f, p.107).

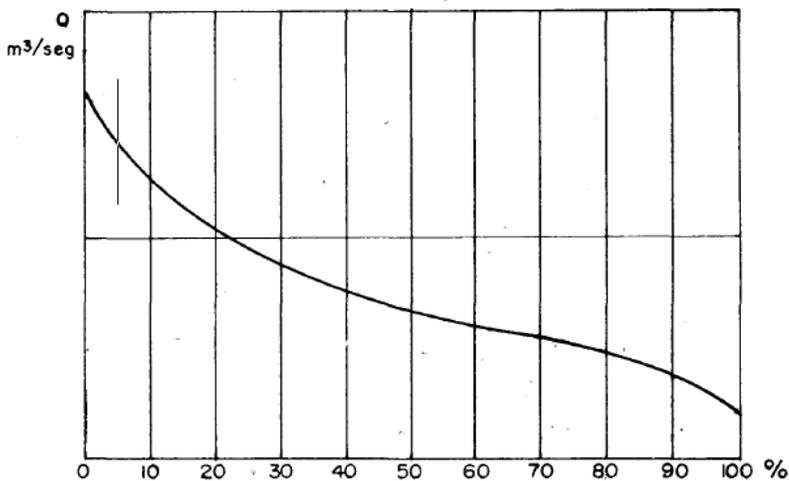


Figura 20. Curva de duración o curva de persistencia.

Fuente: Chereque, s.f.

La curva de duración se puede utilizar para estudiar las características de la escorrentía de los ríos. Su principal inconveniente como herramienta de diseño es que no presenta una secuencia natural de escorrentía; es imposible decir si el caudal menor se descarga en un período continuo o distribuido a lo largo del registro. “La curva de duración es más útil para estudios preliminares y comparaciones entre corrientes” (Chereque, s.f., p.107).

La Figura 21 compara las curvas de duración de los dos ríos P y R. El río P tiene características de escorrentía más estables; el río R no permite ningún desvío permanente y el río P puede proporcionar al menos un desvío directo de  $10 \text{ m}^3 / \text{s}$ . Para estas dos corrientes, se requiere almacenamiento para satisfacer la demanda de, por ejemplo,  $15 \text{ m}^3 / \text{s}$ , pero el volumen requerido para P (ABC) es mucho menor que R (EBD). Finalmente, el río R produce mucha más escorrentía que el río P, y si el almacenamiento de agua es suficiente, proporcionará un rendimiento mayor. Sin embargo, la demanda exacta de almacenamiento de agua depende de la secuencia de escorrentía real y no se puede estimar con precisión a partir de la curva de duración (Chereque, s.f., p.108).

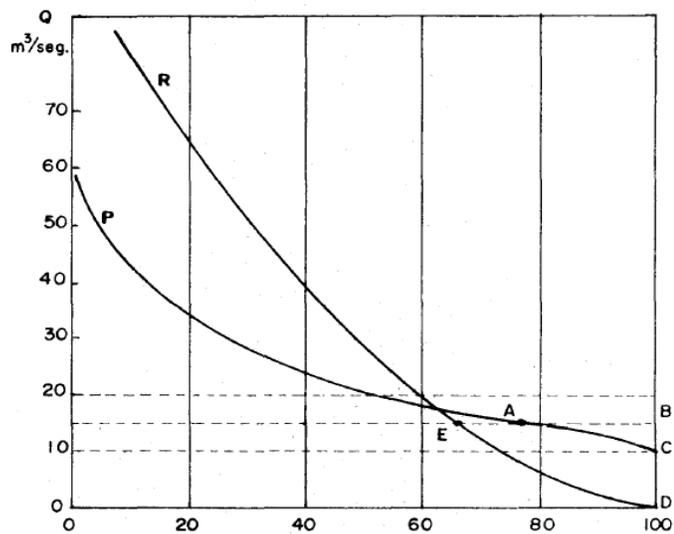


Figura 21. Comparación de dos Corrientes

Fuente: Chereque, s.f.

*b. Construcción de la curva de duración.*

El método del año calendario, es el método de construcción de la curva de duración.

El caudal mensual promedio anual se clasifica en orden descendente y se le asigna un número de orden, luego, se promedian los caudales del mismo número de orden.

Finalmente, en el gráfico: la ordenada es el flujo y la abscisa es el número de orden o probabilidad de excedencia.

**Tabla 11***Caudales medios mensuales para cada año*

<b>N° de orden</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>.....</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
Año							
1972	4,2	3,9	3,6			0,3	0,1
1973	13,8	13,7	13,3			0,2	0,1
1974	4,5	4,1	3,8			0,4	0,2
1975	12,8	10,6	9,9			0,5	0,3
:							
1987							
1988							
Promedio	15,7	12,2	11,6			0,4	0,2
%	8,3	16,7				91,7	100,0

Fuente: Chereque, s.f.

*c. Análisis de persistencia.*

Manco & Paucar (2015) afirman que, se debe de utilizar información consistente y confiable para el análisis de persistencia de las emisiones promedio mensuales en el lugar o estación. Con la información sobre emisiones promedio, aplicar las fórmulas correspondientes para realizar análisis de persistencia al 50%, 60%, 75%, 90% y 95% de probabilidad, los resultados se muestran en la tabla 12 y 13.

**Tabla 12***Análisis de Persistencia*

N°	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Med anual	Frec.
1	22,86	31,91	30,27	19,87	10,14	6,65	4,48	5,12	4,88	6,72	10,69	16,46	14,17	2,17
2	22,4	28,38	25,6	19,04	9,09	5,96	4,27	4,43	4,75	5,96	10,21	15,28	12,93	4,35
3	19,39	28,24	24,87	18,38	9,05	5,16	4,24	3,93	4,62	5,45	9,86	15,2	12,37	6,52
4	18,19	27,12	24,82	18,07	8,82	5,15	4,14	3,7	4,58	5,15	7,25	12,62	11,63	8,7
5	17,92	26,5	24,33	16,43	8,82	5,09	4,07	3,45	4,33	4,85	7,03	12,43	11,27	10,87
6	17,75	24,38	24,25	15,26	7,82	5,07	4	3,44	4,02	4,78	6,88	11,41	10,76	1304
7	17,44	23,33	23,38	14,81	7,75	4,82	3,97	3,31	3,82	4,67	6,37	9,92	10,3	15,22
8	16,9	22,19	21,66	14,53	7,66	4,79	3,89	3,18	3,79	4,64	6,23	9,91	9,95	17,39
9	16,76	21,87	21,39	14,14	7,29	4,74	3,87	3,17	3,58	4,29	6,12	9,87	9,76	19,57
10	16,28	20,82	21,29	13,92	7,07	4,67	3,81	3,11	3,49	4,26	6,11	9,75	9,55	21,74
11	15,91	20,29	20,52	13,9	7,06	4,55	3,62	3,07	3,39	4,12	5,67	9,18	9,27	23,91
12	15,16	20,04	20,44	13,75	6,9	4,54	3,48	3,03	3,28	3,93	5,61	8,87	9,09	26,09
13	14,91	19,7	20,33	13,48	6,87	4,49	3,46	3	3,26	3,89	5,27	8,78	8,95	28,26
14	14,71	18,92	19,94	13,32	6,86	4,37	3,4	3	3,26	3,78	5,07	8,63	8,77	30,43
15	14,49	18,81	19,59	13,18	6,83	4,36	3,36	2,97	3,19	3,77	5,04	8,53	8,68	32,61
16	14,22	18,46	19,46	13,05	6,66	4,31	3,3	2,95	3,15	3,71	4,94	8,38	8,55	34,78
17	14,2	17,98	18,83	12,52	6,61	4,29	3,27	2,91	3,08	3,56	4,9	8,15	8,36	36,96
18	13,64	17,7	17,79	12,4	6,26	4,14	3,2	2,79	2,92	3,42	4,86	7,64	8,15	39,13
19	13,45	17,54	18,56	12,19	6,1	4,13	3,18	2,78	2,85	3,3	4,81	7,28	8,01	41,3
20	12,79	17,35	18,27	12,07	5,98	4,12	3,15	2,7	2,77	3,17	4,41	6,91	7,81	43,48
21	10,34	17,31	18,04	11,83	5,85	3,99	3,13	2,68	2,71	3,16	4,17	6,82	7,5	45,65
22	10,03	17,22	17,82	10,92	5,62	3,95	3,12	2,63	2,68	3,11	4,13	6,62	7,32	47,83
23	9,88	16,72	17,58	10,57	5,61	3,62	3,08	2,63	2,65	3,05	4,01	6,49	7,16	50
24	9,67	16,4	17,14	10,31	5,5	3,6	3,02	2,6	2,6	3,03	3,84	6,42	7,01	52,17
25	9,64	16,25	16,99	9,91	5,2	3,43	3	2,55	2,52	2,96	3,63	6,41	6,87	54,35
26	9,23	16,19	16,85	9,68	4,99	3,31	2,99	2,52	2,48	2,95	3,57	6,38	6,76	56,52
27	8,72	15,07	15,86	9,6	4,98	3,3	2,94	2,5	2,46	2,94	3,57	6,19	6,51	58,7
28	8,35	15,04	15,34	9,46	4,87	3,19	2,86	2,38	2,46	2,86	3,55	6,15	6,38	60,87
29	8,3	14,8	13,34	9,34	4,86	3,17	2,83	2,3	2,42	2,83	3,54	5,98	6,14	63,04
30	8,28	14,74	13,02	9,29	4,72	3,13	2,8	2,27	2,34	2,82	3,4	5,62	6,04	65,22
31	8,22	13,4	12,89	9,23	4,64	3,09	2,75	2,27	2,33	2,82	3,3	5,46	5,87	67,39
32	7,78	12,98	12,89	8,83	4,62	3,01	2,71	2,25	2,3	2,79	3,25	4,81	5,69	69,57
33	7,68	12,83	12,73	8,78	4,57	2,95	2,69	2,19	2,26	2,76	3,19	4,67	5,61	71,74
34	7,61	12,1	12,65	8,32	4,57	2,91	2,66	2,07	2,23	2,72	2,92	4,57	5,44	73,91
35	7,51	11,39	11,64	8,27	4,4	2,88	2,64	2,06	2,22	2,67	2,83	4,18	5,22	76,09
36	5,99	10,99	11,46	8,27	4,37	2,82	2,61	1,88	2,15	2,66	2,67	4,15	5	78,26
37	5,74	9,33	10,89	7,98	4,15	2,77	2,53	1,79	1,97	2,59	2,66	4,12	4,71	80,43
38	5,68	8,69	10,76	6,08	4,14	2,59	2,28	1,72	1,91	2,55	2,27	3,94	4,38	82,61
39	5,64	8,32	10,68	5,99	4,09	2,52	2,2	1,71	1,71	2,41	2,24	3,6	4,26	84,78
40	5,4	8,09	10,56	5,99	3,72	2,28	2,11	1,71	1,6	2,34	2,16	3,29	4,1	86,96
41	4,67	6,96	9,94	5,87	3,68	2,24	2,0+9	1,68	1,53	2,25	2,01	3,13	3,84	89,13
42	4,56	5,43	9,6	5,5	3,55	2,12	1,93	1,41	1,24	2	1,87	3,08	3,52	91,3
43	4,12	5,04	8,1	5,49	3,27	2,04	1,72	1,33	1,07	1,78	1,7	3,03	3,22	93,48
44	3,08	3,98	8,05	4,5	2,78	1,97	1,54	1,26	1,04	1,31	1,48	1,98	2,75	95,65
45	2,79	2,94	5,91	4,11	1,78	1,71	1,46	1,17	0,89	1,25	1,41	0,92	2,2	97,83

Fuente: Manco &amp; Paucar, 2015

Para el análisis de persistencia de caudales, el método estandarizado es el método de Weibull.

Para estimar una probabilidad basada en datos medidos o asumidos, el análisis de Weibull es la técnica mayormente escogida:

$$P(X > X_m)_{emp} = \frac{m}{n+1} \dots\dots\dots [Ecuación 33]$$

Donde **n** es el número total de datos y **m** es la posición del valor en el orden decreciente de los valores de flujos correspondientes, referenciados por la probabilidad **P** de exceder.

Los resultados mostrados en la Tabla 13, se obtuvieron empleando las funciones de promedio y percentil del programa Microsoft Excel.

**Tabla 13**

*Volúmenes de descargas medias mensuales ((Hm<sup>3</sup>))*

<b>Persistencia</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Media Anual.</b>
Promedio	7,00	7,19	9,05	11,56	19,24	30,24	39,45	45,08	28,71	15,49	9,68	8,20	230,87
Q50	7,04	6,87	8,17	10,39	17,38	26,46	40,45	47,09	27,40	15,03	9,38	8,25	223,91
Q60	6,50	6,38	7,75	9,22	16,52	22,76	36,41	41,64	24,67	13,16	8,38	7,75	201,14
Q75	5,53	5,77	7,22	7,45	11,72	20,25	28,41	32,53	21,50	12,01	7,50	7,10	166,99
Q90	4,21	3,67	5,76	5,06	8,33	12,39	15,36	26,26	14,83	9,72	5,68	5,43	116,69
Q95	3,43	2,72	3,89	4,01	6,15	9,09	10,40	21,60	12,43	7,84	5,16	4,27	90,98

Fuente: Manco & Paucar, 2015

**VARIACIÓN MENSUAL DE LOS VOLÚMENES DE  
DESCARGAS MEDIAS (HM<sup>3</sup>) - ESTACIÓN SHEQUE**

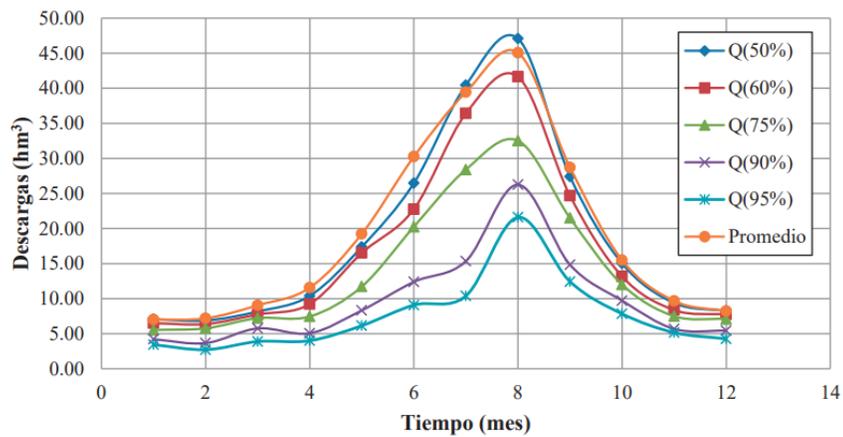


Figura 22. Variación mensual de los volúmenes de descargas medias(HM<sup>3</sup>)

Fuente: Manco & Paucar, 2015

En prácticamente todos los fenómenos meteorológicos se refleja un efecto de persistencia. Las observaciones meteorológicas de un día determinado, no suelen ser independientes de lo ocurrido en días anteriores y especialmente, de lo ocurrido en las vísperas.

Se han desarrollado muchas fórmulas de probabilidades de excedencia, una medida utilizada como indicativa de la mayor o menor persistencia de la lluvia en un observatorio, es el caso del coeficiente del meteorólogo francés Besson.

Si llamamos  $p$  a la probabilidad general de lluvia, es decir, a la razón del número de días lluviosos habidos en la serie estudiada entre el número total de días de la serie y  $p'$  a la probabilidad condicionada de que llueva en un día habiendo llovido también el precedente, la fórmula ideada por Besson es la siguiente:

$$RB = \frac{p' - p}{1 - p} \dots\dots\dots [Ecuación 34]$$

Siendo RB el coeficiente de persistencia.

Ya que lo normal en el caso de la lluvia es que p sea siempre mayor que p', el coeficiente de persistencia de Besson adopta valores que van desde cero hasta uno. Cuando la persistencia es grande p' tiende a uno y por lo tanto RB también tiende a uno. Pero cuando no existe persistencia, cuando apenas importa el tiempo meteorológico del día precedente, p' se asemeja a la probabilidad no condicionada p y el coeficiente RB tiende a cero (Uriarte, 1986, p. 91).

**3.2 Caso práctico**

**3.2.1 Aforo con el método del correntómetro.**

La medición del caudal con correntómetro se realizó en el canal de recolección de la planta de tratamiento de agua potable del proveedor de servicios - EPS Moquegua.

En la Figura 26. Medición de la sección del canal, se muestra el empleo del correntómetro software 3000:



*Figura 23.* Pantalla software3000 y varilla con yardas cada 20 cm

*Nota:* Equipo del Proyecto especial Regional Pasto Grande - Moquegua.

#### Procedimiento a seguir:

1. Reconocimiento del lugar en el cual se va a realizar el aforo.
2. Equipo y materiales a emplear en el aforo (ver Figura 24 y Figura 25) :
  - Un correntómetro.
  - Varilla marcada cada 10 cm para medir la profundidad a la que se colocara el correntómetro.
  - Goniómetro o flexómetro, para medir las distancias a la que se colocará la varilla con el correntómetro.
  - Hoja de registro de los aforos.



*Figura 24.*Muestra de materiales empleado en el aforo



*Figura 25.*Muestra de la barra y del Molinete del correntómetro 3000.

3. Cálculo de la sección transversal del canal de la EPS – Moquegua.

El ancho del canal es de 1 m



Figura 26. Medición de la sección del canal

El tirante de agua es de 0,18 m a las 2:30 horas, el ancho del canal se ha dividido en 3 secciones de 0,333 m cada una.



Figura 27. Midiendo la sub sección 1 del canal

4. Cálculo de las áreas de las secciones que conforman el área hidráulica de la sección del canal.

$$A1 = 0,333 \text{ m} \times 0,18 \text{ m.}$$

$$A1 = 0,060 \text{ m}^2$$

$$A2 = 0,060 \text{ m}^2$$

$$A3 = 0,060 \text{ m}^2$$

5. Empleo del correntómetro para medir la velocidad del agua en cada uno de los puntos en el canal.



*Figura 28.* Midiendo la velocidad de la sub sección 2 del canal

**Tabla 14**

*Velocidades y velocidad promedio de cada sección*

	V1 (m/s)	V2 (m/s)	V3 (m/s)	Vprom. (m/s)
A1	0,581	0,574	0,582	0,579
A2	0,629	0,627	0,619	0,619
A3	0,418	0,436	0,417	0,424
Velocidad promedio				0,541 m/s

El aforo en el canal es al 60% del tirante de agua.

0,18 m x 0,6 = 0,108 m

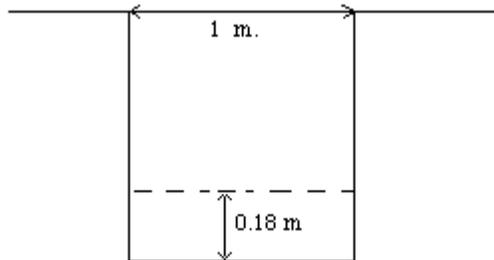
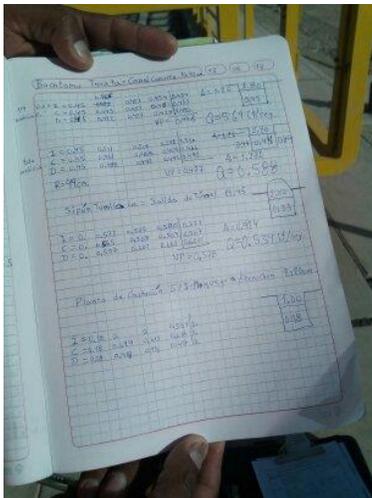


Figura 29. Medición de la velocidad con el correntómetro

6. Determinación del caudal total final

$$Q = A * V_m \dots\dots\dots [Ecuación 35]$$

$$A1= 0,06 \text{ m}^2$$

$$Q1= 0,060*0,579= 0,035 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A2= 0,06 \text{ m}^2$$

$$Q2= 0,06*0,619= 0,037 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A3=0,06 \text{ m}^2$$

$$Q3= 0,06*0,424= 0,025 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo del caudal total:

$$Q= 0,035+0,037+0,025$$

$$Q=0,097 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q= 97 \text{ l/s}$$

También se efectuó el aforo con el correntómetro modelo 3000 de propiedad del Proyecto especial pasto grande de Moquegua, en el río Tumilaca, zona del Sifón, en Samegua.

A continuación, se muestra el empleo del correntómetro software 3000 (ver Figura 32 y Figura 33):

Procedimiento a seguir:

a. *Reconocimiento del lugar en el cual se va a realizar el aforo.*



Figura 30. Lugar de aforo (el Sifón) en el río Tumilaca – Moquegua

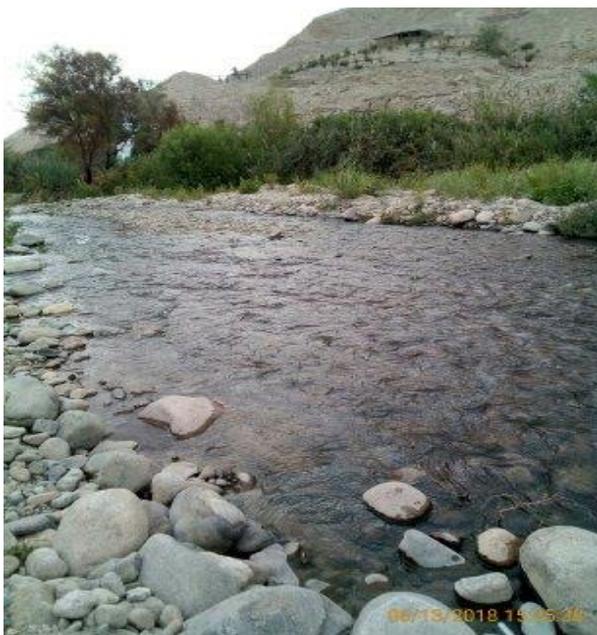


Figura 31. Traslado del equipo y materiales para aforar en el río Tumilaca – Moquegua

*b. Traslado de los accesorios para el aforo con correntómetro.*

- Un correntómetro.
- Varilla marcada cada 10 cm para medir la profundidad a la que se colocara el correntómetro.
- Goniómetro o flexómetro, para medir las distancias a la que se colocará la varilla con el correntómetro.
- Hoja de registro de los aforos.
- Botas de jebe para ingresar al agua.

*c. Medición de la sección transversal del rio (verFigura 32).*

El ancho del espejo de agua del rio es de 5,60 m.



*Figura 32.* Longitud del ancho del rio

El ancho del canal se ha dividido en 6 secciones de 1 m. cada una.

d. *Cálculo del área hidráulica de las secciones en las que se ha dividido la sección del río.*

$$A = \left( \frac{bxB}{2} \right) xh \dots\dots\dots [Ecuación 36]$$

L= h (longitud en la superficie del agua)

**Tabla 15**

*Áreas de cada sección en las que se ha dividido la sección del cauce*

	<b>b m</b>	<b>B m</b>	<b>h m</b>	<b>Área m<sup>2</sup></b>
A1	0,12	0,15	1	0,135
A2	0,15	0,24	1	0,195
A3	0,24	0,21	1	0,225
A4	0,21	0,19	1	0,200
A5	0,19	0,18	1	0,185
A6	0,18	0,13	1	0,155
Área de la sección del cauce				1,160 m <sup>2</sup>

e. *Medición de la velocidad del agua en cada uno de los puntos en el canal, medidos con el correntómetro.*



*Figura 33. Aforamiento con el correntómetro en el río Tumilaca*

**Tabla 16**

*Velocidades en cada tramo y velocidad promedio de cada sección*

<b>Distancia</b>	<b>V1 (m/s)</b>	<b>V2 (m/s)</b>	<b>V3 (m/s)</b>	<b>Vprom. (m/s)</b>
0,5	0,254	0,264	0,265	0,261
1,50	0,308	0,310	0,311	0,3097
2,50	0,564	0,574	0,578	0,572
3,50	0,788	0,791	0,793	0,791
4,50	0,482	0,485	0,488	0,485
5,50	0,388	0,392	0,390	0,390
Velocidad promedio				0,4681 m/s

El aforo es al 60% del tirante de agua del río.

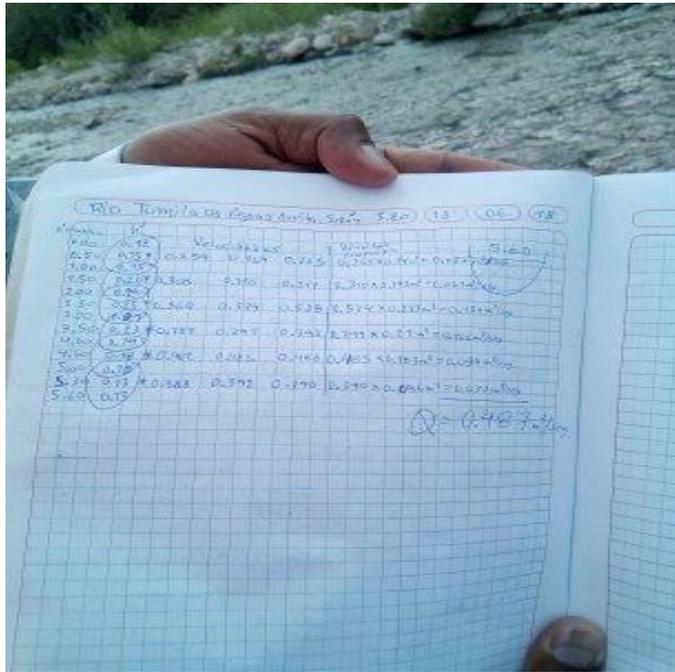


Figura 34. Medición de la velocidad con el correntómetro

f. *Determinación del caudal total final.*

$$Q = A * V_m \dots\dots\dots [Ecuación 37]$$

$$A1 = 0,135 \text{ m}^2$$

$$Q1 = 0,135 \times 0,264 = 0,03564 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A2 = 0,195 \text{ m}^2$$

$$Q2 = 0,195 \times 0,3097 = 0,060 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A3 = 0,225 \text{ m}^2$$

$$Q3 = 0,225 \times 0,572 = 0,1287 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A4 = 0,200 \text{ m}^2$$

$$Q4 = 0,200 \times 0,791 = 0,158 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A5 = 0,185 \text{ m}^2$$

$$Q5 = 0,185 \times 0,485 = 0,0897 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A6 = 0,155 \text{ m}^2$$

$$Q6 = 0,155 \times 0,390 = 0,060 \text{ m}^3/\text{s}$$

Calculando el caudal total se tiene:

$$Q = 0,035 + 0,060 + 0,1287 + 0,158 + 0,0897 + 0,060$$

$$Q = 0,5314 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 531,4 \text{ l/s}$$

### 3.2.2 Aforo con el método del flotador.

Los aforos con flotadores son los más fáciles de implementar, pero también son los más imprecisos. Por tanto, su uso se limita a los casos en los que no se requiera una mayor precisión. En este método, se necesita conocer la velocidad promedio, multiplicarla por el área y obtener el caudal de la sección transversal empleando la ecuación 38.

$$Q = A * Vm \dots\dots\dots [Ecuación 38]$$

Para la realizar una medición o aforo, se sigue estos pasos (véase la Figura 38):

Se toma un tramo del cauce de río de longitud  $L$ ; se mide el área  $A$  de la sección, transversal, se lanza un cuerpo que flote aguas arriba del primer punto de control y al paso del cuerpo por este punto, se inicia la toma del tiempo que dura el viaje hasta el punto de control, corriente abajo.



*Figura 35. Zona de aforo en el río Tumilaca*



*Figura 36. Verificación de las alturas de los tramos*

La longitud del ancho del río es de 5,60 m.

Se verifican las alturas de los tramos en cada 1 m, que conforman la sección de aforo (ver figura 36 tabla 17)

Áreas parciales de los diferentes tramos de la sección del río Tumilaca.

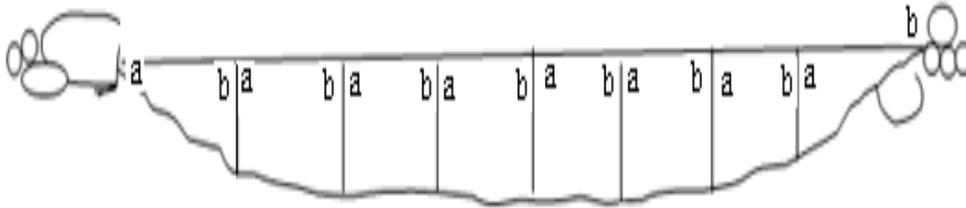


Figura 37. Obtención del área de la sección del río

**Tabla 17**

*Áreas parciales de los diferentes tramos de la sección del río Tumilaca*

	<b>b m</b>	<b>B m</b>	<b>h m</b>	<b>Área m<sup>2</sup></b>
A1	0,00	0,05	0,8	0,020
A2	0,5	0,18	0,8	0,092
A3	0,18	0,22	0,8	0,160
A4	0,22	0,24	0,8	0,184
A5	0,24	0,21	0,8	0,180
A6	0,21	0,20	0,8	0,164
A7	0,20	0,16	0,8	0,144
A8	0,16	0,0	0,8	0,064
Área de la sección del cauce				1,00 m <sup>2</sup>

Determinación del área según la ecuación 39, sabiendo la profundidad al inicio y al final de cada tramo como se muestra en la Figura 37. Obtención del área de la sección del río, para generar el área por cada tramo medido de la sección transversal.

$$A1 = \frac{a+b}{2} * d + A2 = \frac{a+b}{2} * d \dots A10 \dots \dots \dots [Ecuación 39]$$

Donde:

A1: Área de la sección, en m<sup>2</sup>.

a: Profundidad inicial del tramo, en m.

b: Profundidad final del tramo, en m.

d: Longitud del tramo en m.

$$Area\ Sección\ del\ cauce = \Sigma A1 + A3 \dots A9 + A10 = 1\ m^2$$

La velocidad superficial Vs de la corriente, se considera como la velocidad del cuerpo flotante y se calcula como la relación entre el espacio recorrido L y el tiempo de viaje t.

$$V_s = \frac{L}{t} \dots \dots \dots [Ecuación 40]$$



Figura 38. Vista del lanzamiento del flotador



Figura 39. Medición del tiempo de recorrido del flotador

Para calcular la velocidad superficial empleamos la ecuación 41.

$$V_s = \frac{L}{t_p} \dots\dots\dots [Ecuación 41]$$

**Tabla 18**

*Tiempo del recorrido del flotador por el cauce del río*

	<b>t (s)</b>	<b>L (m)</b>
1	15,00	14,10
2	14,75	14,10
3	12,9	14,10
4	16,35	14,10
5	13,14	14,10
6	14,19	14,10
7	13,44	14,10
Prom	14,25	14,10

$$V_s = \frac{14,10}{14,25} = 0,98947 .m / s$$

Empleando el factor de corrección 0,65, según la tabla 8

$$V_m = V_s \times 0,65$$

$$V_m = 0,9895 \times 0,650 = 0,6432 .m / s$$

$$A_{\text{total}} = 1 \text{ m}^2$$

$$Q = V_m \times A$$

$$Q = 0,6432 \times 1 = 0,6432 .m^3 / s$$

$$Q = 643,2 \text{ l/s}$$

### **3.2.3 Análisis de la persistencia.**

La Tabla 19, tiene las descargas medias mensuales ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) del río Tumilaca - Moquegua, en la estación de Chivaya del periodo 1956– 2018, es información brindada por la (Autoridad nacional del agua, 2018).

**Tabla 19***Descarga media mensual (m<sup>3</sup>/s), registro histórico completado Rio Tumilaca - Estación Chivaya*

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom anual
1	1956	1,243	2,551	1,345	1,193	1,085	0,967	1,039	0,951	1,062	1,074	1,401	0,962	1,239
2	1957	0,861	1,431	2,166	1,029	1,068	1,018	0,952	0,855	0,830	0,921	0,821	1,175	1,094
3	1958	1,670	1,658	2,552	0,978	1,028	1,005	0,938	0,876	0,788	1,102	1,035	1,012	1,220
4	1959	0,644	3,004	1,918	1,264	1,311	1,154	1,138	1,079	0,942	0,817	0,795	0,761	1,236
5	1960	1,998	0,930	1,042	0,971	0,911	0,882	0,807	0,703	0,784	0,663	0,608	0,696	0,916
6	1961	11,708	8,861	2,789	1,672	1,149	14,028	0,936	0,825	0,760	0,739	0,689	0,754	3,743
7	1962	1,625	2,805	2,220	1,480	1,062	0,953	0,879	0,792	0,736	0,716	0,664	0,737	1,222
8	1963	1,333	6,556	3,414	1,652	1,140	1,020	0,930	0,821	0,757	0,737	0,687	0,753	1,650
9	1964	1,017	1,231	1,538	1,068	0,861	0,799	0,760	0,722	0,686	0,667	0,614	0,701	0,889
10	1965	0,995	1,517	1,230	0,969	0,809	0,734	0,710	0,691	0,664	0,646	0,594	0,686	0,854
11	1966	0,844	1,007	0,913	0,689	0,649	0,595	0,603	0,623	0,613	0,909	0,922	1,220	0,799
12	1967	1,205	3,291	5,276	6,277	1,545	1,431	1,435	1,345	0,784	0,883	0,998	0,991	2,122
13	1968	3,815	3,152	4,719	4,858	4,405	3,877	3,063	1,378	1,170	0,971	1,142	0,986	2,795
14	1969	0,984	2,206	2,537	2,568	1,373	1,222	1,085	0,906	0,816	0,794	0,453	0,798	1,312
15	1970	0,813	1,384	2,579	1,345	1,088	1,025	1,025	0,913	0,571	0,610	0,560	0,655	1,047
16	1971	0,844	2,545	1,678	0,867	0,596	0,450	0,453	0,601	0,587	0,526	0,536	0,583	0,856
17	1972	3,272	4,203	3,087	1,697	1,071	0,832	0,733	0,612	0,664	0,546	0,634	0,768	1,510
18	1973	2,940	4,771	3,926	1,415	1,265	1,031	0,945	0,945	0,805	0,746	0,589	0,682	1,672
19	1974	2,923	2,672	3,731	1,501	1,072	0,961	1,140	0,935	0,836	0,814	0,777	0,814	1,515
20	1975	1,125	2,674	1,315	0,649	0,870	0,940	0,821	0,759	0,713	0,694	0,641	0,720	0,993
21	1976	3,458	3,358	2,171	0,958	0,845	0,852	0,818	0,721	0,740	0,650	0,582	0,602	1,314
22	1977	1,104	2,325	4,179	1,073	0,809	0,714	0,795	0,743	0,701	0,679	0,549	0,488	1,181
23	1978	1,176	1,467	0,713	0,760	0,671	0,699	0,570	0,650	0,611	0,553	0,530	0,687	0,757
24	1979	0,682	0,536	1,404	0,657	0,581	0,589	0,550	0,590	0,554	0,532	0,446	0,563	0,640
25	1980	0,635	0,671	1,146	0,726	0,633	0,628	0,662	0,538	0,538	0,302	0,521	0,500	0,625
26	1981	0,781	2,619	1,530	1,227	0,855	0,754	0,694	0,671	0,650	0,564	0,499	0,614	0,955
27	1982	0,623	0,680	0,808	0,791	0,598	0,467	0,467	0,542	0,5789	0,653	0,687	0,547	0,620
28	1983	0,450	0,508	0,496	0,513	0,573	0,564	0,579	0,552	0,458	0,420	0,376	0,528	0,501
29	1984	1,082	1,986	1,993	0,959	0,581	0,585	0,526	0,553	0,490	0,426	0,486	0,541	0,851
30	1985	0,539	2,504	1,198	0,970	0,649	0,337	0,484	0,501	0,435	0,445	0,405	0,637	0,759
31	1986	2,115	2,630	1,879	1,051	0,580	0,510	0,473	0,486	0,545	0,462	0,393	0,730	0,988
32	1987	2,620	1,765	0,688	0,471	0,406	0,437	0,490	0,425	0,358	0,359	0,354	0,369	0,729
33	1988	0,891	0,836	0,872	0,725	0,505	0,466	0,463	0,305	0,362	0,393	0,356	0,360	0,545
34	1989	0,746	1,698	0,917	0,915	0,860	0,699	0,598	0,583	0,543	0,481	0,416	0,413	0,739
35	1990	0,441	0,475	1,169	0,513	0,499	0,600	0,580	0,521	0,498	0,433	0,497	1,213	0,620
36	1991	1,966	1,978	2,524	1,726	1,057	0,721	0,650	0,572	0,614	0,475	0,474	0,427	1,099
37	1992	0,414	0,508	0,557	0,529	0,545	0,481	0,442	0,454	0,390	0,363	0,391	0,632	0,476
38	1993	1,765	0,399	1,366	0,383	0,417	0,399	0,400	0,438	0,358	0,317	0,295	0,343	0,590
39	1994	0,585	1,817	0,810	0,484	0,420	0,390	0,382	0,361	0,319	0,295	0,294	0,322	0,540
40	1995	0,032	0,379	2,014	0,483	0,499	0,445	0,441	0,431	0,427	0,425	0,416	0,412	0,534
41	1996	0,583	1,422	0,887	0,683	0,514	0,431	0,434	0,417	0,383	3,963	0,371	0,423	0,876
42	1997	1,921	4,238	5,010	0,767	0,526	0,412	0,399	7,000	0,713	0,550	0,526	0,622	1,890
43	1998	8,011	4,772	0,953	0,683	0,672	0,684	0,645	0,645	0,598	0,555	0,596	0,677	1,624
44	1999	0,801	4,356	3,342	0,918	0,665	0,679	0,673	0,838	0,638	0,695	0,596	0,677	1,240
45	2000	0,487	7,518	7,674	0,577	0,371	0,305	0,286	0,201	0,120	0,150	0,231	0,386	1,526
46	2001	0,584	2,888	2,887	0,805	0,361	0,273	0,332	0,200	0,496	0,650	0,588	0,410	0,873
47	2002	0,340	0,456	1,020	0,435	0,345	0,292	0,283	0,019	0,011	0,177	0,071	0,046	0,283
48	2003	0,504	2,648	1,318	0,982	0,795	0,800	0,785	0,791	0,691	0,560	0,558	0,609	0,920
49	2004	1,330	1,474	1,135	0,925	0,777	0,779	0,687	0,618	0,747	0,559	0,499	0,692	0,852
50	2005	1,291	2,832	3,758	2,173	0,914	0,839	0,659	0,523	0,470	0,487	0,511	0,513	1,248
51	2006	1,178	1,815	3,002	1,204	1,002	0,925	0,823	0,777	0,762	0,705	0,712	0,787	1,141
52	2007	3,368	1,705	1,517	0,977	0,740	0,699	0,651	0,595	0,523	0,495	0,440	0,494	1,017

**Tabla 20**

*Descarga media mensual (m<sup>3</sup>/s), registro histórico completado Rio Tumilaca - Estación Chivaya*  
(continuación)

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom anual
53	2008	3,368	1,705	1,517	0,977	0,740	0,699	0,651	0,595	0,523	0,495	0,440	0,494	1,017
54	2009	0,655	2,274	2,919	1,122	0,841	0,372	0,543	0,469	0,480	0,420	0,408	0,484	0,936
55	2010	0,716	2,257	1,169	0,792	0,679	0,621	0,655	0,622	0,598	0,544	0,532	0,513	0,808
56	2011	1,618	7,266	1,908	1,027	0,853	0,727	0,686	0,661	0,619	0,607	0,554	1,105	1,469
57	2012	2,821	6,653	2,901	1,822	1,071	0,847	0,783	0,694	0,610	0,585	0,565	1,140	1,710
58	2013	2,195	2,216	2,478	1,187	1,155	0,876	0,698	0,621	0,562	0,559	0,567	0,641	1,146
59	2014	1,376	0,536	0,519	0,568	0,585	0,571	0,548	0,550	0,539	0,529	0,522	0,479	0,610
60	2015	0,578	3,023	3,860	1,821	1,243	0,956	0,753	0,645	0,554	0,495	0,454	0,411	1,233
61	2016	0,389	1,603	1,064	0,908	0,709	0,588	0,538	0,482	0,445	0,402	0,363	0,335	0,652
62	2017	2,298	1,357	3,716	1,690	0,853	0,746	0,689	0,627	0,507	0,400	0,395	0,392	1,139
63	2018	0,936	1,419	1,604	0,772	0,595								
	PROM	1,608	2,425	2,137	1,177	0,855	0,977	0,720	0,751	0,602	0,635	0,558	0,641	1,096
	DESVEST	1,791	1,831	1,384	0,923	0,533	1,749	0,379	0,840	0,194	0,472	0,215	0,240	0,556
	MAX	11,708	8,861	7,676	6,277	4,405	14,028	3,063	7,000	1,170	3,963	1,401	1,220	3,743
	MIN	0,032	0,379	0,496	0,435	0,245	0,273	0,283	0,019	0,011	0,150	0,071	0,046	0,283
	Q50%	1,082	1,986	1,530	0,915	0,672	0,654	0,622	0,593	0,550	0,528	0,499	0,544	0,928
	Q75%	0,650	1,402	1,141	0,726	0,583	0,566	0,529	0,527	0,497	0,449	0,422	0,485	0,758
	Q95%	0,417	0,478	0,691	0,487	0,407	0,340	0,383	0,308	0,358	0,303	0,298	0,344	0,534

Fuente: Autoridad nacional del agua, 2018

Empleando las descargas medias mensuales, el ANA realizó el análisis de las persistencias al 50%, 75% y 95%, empleando el programa Microsoft Excel y su comando percentil.

En la Figura 40, se observa el grafico de los caudales medios mensuales al 75% y 95% de persistencia del Rio Tumilaca – Estación Chivaya.

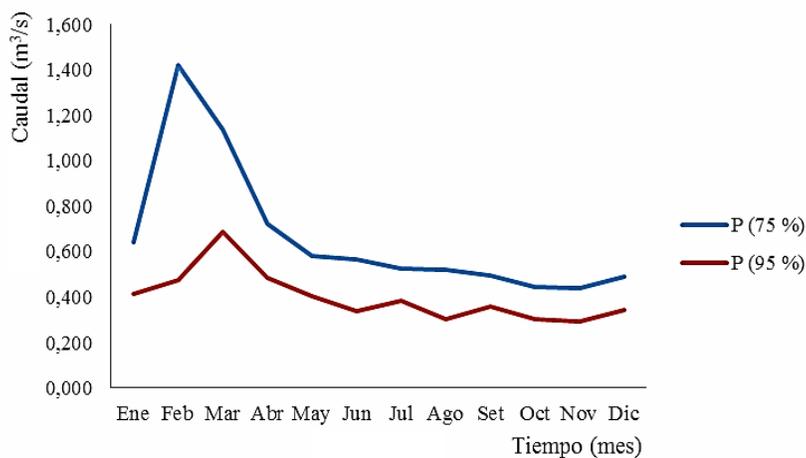


Figura 40 .Caudales medios mensuales al 75% y 95% de persistencia del río Tumulaca - Estación Chivaya.

Fuente: Autoridad nacional del agua, 2018

Como se pudo apreciar, los mínimos de persistencia tanto al 75% como al 95% es menor en el mes de noviembre, mientras que en el mes de febrero y marzo alcanza los máximos respectivamente.

El caudal más bajo con una persistencia al 75% del río, se da en el mes de noviembre según nuestro análisis, con un caudal de  $Q= 0,422 \text{ m}^3/\text{s}$ , en consecuencia, si la demanda de agua es de un caudal de  $0,20 \text{ m}^3/\text{s}$ , para alguna irrigación, en consecuencia, nuestra oferta de agua es mayor que la demanda de  $0,20 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Incluso, con una persistencia del 95%, el caudal más bajo se da en el mes de noviembre cuyo caudal fue de  $Q= 0,298 \text{ m}^3/\text{s}$ , que, aun así, es mayor que la demanda de agua.

### 3.3 Presentación de resultados

En los dos métodos de aforo, tanto el aforo con correntómetro como el aforo con el flotador, se debe de obtener el área de la sección transversal del Rio, en ambos se debe de hallar la velocidad del agua.

El método de aforo con el correntómetro nos da resultados de la velocidad del agua en los diferentes tramos y una velocidad media del cauce, cuya probabilidad de error es mucho menor que el método del flotado, puesto que con el método del flotador la obtención de datos depende de la pericia y habilidad del aforado, de repente se tiene resultados menos precisos, entonces se requerirá un mayor número de repeticiones del aforo en el mismo tramo del rio. Como practica se obtuvo el caudal  $Q=97$  l/s en el canal de captación de la planta de tratamiento de agua potable de la Empresa Prestadora de Servicios - EPS Moquegua empleando el correntómetro del Proyecto especial Pasto grande de Moquegua.

El resultado obtenido por el método del correntómetro en el Rio Tumilaca fue de  $Q=531,4$  l/s ( correntómetro software 3000), equipo prestado del Proyecto especial Regional Pasto Grande, a diferencia del caudal obtenido con el método del flotador en el Rio Tumilaca y en el mismo lugar, el caudal fue de  $Q= 643,2$  l/s, probablemente, por la cantidad de piedras en el fondo del rio, lo cual causa una serie de pequeñas ondulaciones en la superficie del agua lo cual impide el libre tránsito del flotador por la superficie del agua, a pesar del empleo del factor de la Tabla 9 por los cantos rodados en el fondo del rio.

Los resultados obtenidos con el correntómetro son más realistas y aceptables, además, con el método del correntómetro, se mide la velocidad directamente y luego

solo se calcula el caudal una vez hallada el área de la sección transversal de la sección del río o canal.

En la información entregada por el ALA respecto del registro de caudales del Río Tumilaca a lo largo de 62 años (1956 – 2018) se calculó la persistencia al 75% y 95%, empleando el programa Microsoft Excel y su comando percentil, obteniéndose como resultados los caudales medios máximos que se dan en los meses de diciembre a marzo.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

- Primera.** Los aforos de los caudales empleando los diferentes métodos de aforo conocidos, consisten en determinar el área de una sección transversal de la corriente y la velocidad del agua a través de ésta; la primera por medio de sondeos y la velocidad por cualquiera de los métodos existentes.
- Segunda.** El medidor Parshall, es una estructura hidráulica antigua empleada para medir el caudal de agua, en un determinado lugar, hay construcciones muy grandes hechas de concreto armado y también se pueden fabricar de otros materiales como latón y madera dependiendo del tamaño del canal o riachuelo en el que se va a emplear.
- Tercera.** Con el método del correntómetro pueden obtenerse mediciones de la velocidad instantánea real en comparación con los resultados obtenidos con el método del flotador. Según la experiencia en campo, resulta más práctico y sencillo obtener la velocidad de la corriente de agua con un

Correntómetro que el aforo con flotadores.

- Cuarta.** Con el método de aforo con correntómetro y del aforo con flotador, se obtienen resultados similares, con el método del flotador deberán realizarse un mayor número de repeticiones de aforo para aproximarlos más, al aforo con correntómetro, el método del flotador es una buena alternativa cuando no se cuenta con un correntómetro.
- Quinta.** Se obtuvo de parte del ANA, el cálculo y la evaluación de la persistencia de las descargas medias mensuales del río Tumilaca-Estación Chivaya, para la serie histórica de los años 1956 -2018, se ha desarrollado el análisis al 75% y 95% de persistencia del río en estudio con el método del comando percentil, de Excel.

#### **4.2 Recomendaciones**

- Primera.** Se recomienda que la localización del sitio de aforo, sea un tramo recto, de sección uniforme y estable en una longitud de alrededor de 10 veces la carga máxima que se pueda registrar. Es conveniente seleccionar, cuando sea posible, varios lugares.
- Segunda.** El Método ideado por Ralph Parshall (1920), se utiliza en el aforo de canales y pequeños ríos, se recomienda para canales de riego de poca pendiente, en drenes, donde no es conveniente instalar estructuras como vertederos que alteren el régimen del escurrimiento.

- Tercera.** Cuando se proceda a tomar lecturas de carga  $H$ , en un canal Parshall, se debe esperar a que se estabilice el flujo de agua en el canal hidrodinámico, para obtener medidas precisas.
- Cuarta.** Para el empleo del método del flotador se recomienda seleccionar en el río o canal un tramo recto y uniforme, de preferencia sin piedras grandes, ni troncos de árboles, en el que el agua fluya libremente, sin turbulencias, ni impedimentos, que sea recto y de sección transversal uniforme, cuya longitud debe ser alrededor de 5 a 10 metros de largo.
- Quinta.** La aplicación del correntómetro, es adecuada en ríos o canales cuya velocidad no sea excesiva y que la presencia de cuerpos extraños sea nula preferentemente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfaro , J. (1973). *Medidas de aguas en canales por medio del Aforador sin cuello*. Recuperado de [https://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/PNAAA812.pdf](https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNAAA812.pdf)
- Arregui, F., Cabrera, E., Cobacho, R., Gómez, E., & Soriano, J. (2017). *Apuntes de mecánica de fluidos*. Valencia, España: Universitat Politècnica de València. Recuperado de <https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/78258/PDF-Arregui%3BCabrera%3BCobacho%20-%20Apuntes%20de%20mec%C3%A1nica%20de%20fluidos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Autoridad Nacional del Agua. (2010). *Manual: Criterios de diseño de obras hidráulicas*. Lima, Perú. Recuperado de [https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/manual-disenos-1\\_0\\_2.pdf](https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/manual-disenos-1_0_2.pdf)
- Autoridad nacional del agua. (2018). *Registro histórico Rio Tumulaca - Estación Chivaya*. ANA, Moquegua, Moquegua. Recuperado el junio de 2018
- Basán, M. (2008). *Aforadores de corrientes de agua*. Santiago del Estero. Recuperado de [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-\\_curso\\_aforadores\\_de\\_agua.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-_curso_aforadores_de_agua.pdf)
- Bustamante, E. (2018). *Disponibilidad de agua de escorrentía en la captación Huacaríz del río Mashcón, generada a partir de información climática*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca. Recuperado de <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/2052/TESIS.pdf?sequen>

ce=1&isAllowed=y

Chereque, W. (sf). *Wendor* (Vol. 236). Lima, Perú. Recuperado de <http://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/28689/hidrologia.pdf>

CONAGUA. (2015). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Libro 31*. Mexico, Mexico. Recuperado de [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/CONAGUA%202015a.%20Zonas%20Rurales%2C%20Periurbanas%20y%20Desarrollos%20Economicos%20ADsticos%2031.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA%202015a.%20Zonas%20Rurales%2C%20Periurbanas%20y%20Desarrollos%20Economicos%20ADsticos%2031.pdf)

Guevara, E. (s.f.). Metodos Hidrologicos para el analisis de sequias. *Ingenieria Universidad de Carabobo*, 1-16. Recuperado de <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/a1n1/ing5.pdf>

Instituto Mexicano de Tecnologia del Agua. (1992). *Manual de aforos* (Primera Edición ed.). Mexico. Recuperado de [http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/971/IMTA\\_028.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/971/IMTA_028.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Instituto nacional de recursos naturales (Ministerio de Agricultura). (s.f.). *VOLUMEN I - Repositorio Digital de Recursos Hídricos*. Recuperado de [https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/3896/ANA0002397\\_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/3896/ANA0002397_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Instituto privado de investigacion sobre cambio climatico. (2017). *Manual de Medicion de Caudales*. Guatemala, Guatemala: ICC. Recuperado de <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2018/02/Manual-de-medici%C3%B3n->

de-caudales-ICC.pdf

- Lux, M. (2010). *Medidores de flujo en canales*. (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_3165\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3165_C.pdf)
- Manco, R., & Paucar, J. (2015). *Propuesta de estrategias para la gestión integrada de los recursos hídricos en la unidad hidrográfica Santa Eulalia* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Peru. Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2167/P10-%20M355-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Marbello, R. (s.f.). 4. Medidores en régimen crítico. En Marbello, *Manual de practicas de laboratorio de Hidráulica*. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co>:  
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/21725/3353962.2005.Parte%208.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Marbello, R. (s.f.). 9. Hidrometría y aforo de corrientes naturales. En *Manual de prácticas de laboratorio de hidráulica*. Medellín, Colombia. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/21725/3353962.2005.Parte%2013.pdf?sequence=11&isAllowed=y>
- Mejia, E. J., & Rosas, G. P. (2016). *Calculo de la velocidad media y el caudal con base en la velocidad superficial del agua en pequeñas corrientes*. (Tesis de pregrado). Universidad distrital Francisco Jose de Caldas, Facultad Tecnológica de Ingeniería Civil, Bogotá. Recuperado de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/3208/GISSEL%20>

PAOLA%20ROSAS%20AYALA%20-  
%202016.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Méndez, R. D., & Ortega, K. M. (2012). *PDFslide*. Recuperado de CURSO:  
hidraulica (diapositivas): <https://pdfslide.net/documents/canaleta-parshall.html>

Ministerio de agricultura. (2004). *Calibracion de estructuras hidráulicas de medición*. Lima, Perú. Recuperado de [http://www.psi.gob.pe/docs/%5Cbiblioteca%5Cmanuales%5Ccalibracion\\_estructuras.pdf](http://www.psi.gob.pe/docs/%5Cbiblioteca%5Cmanuales%5Ccalibracion_estructuras.pdf)

Morales, N. (2014). *Aforo del caudal conducido en la acequia del Ejido*. (Tesis de pregrado). Univeridad Autonoma Agraria, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Ochoa, J. A. (s.f.). *Obras hidraulicas*. Recuperado de [https://books.google.com.pe/books?id=JRXSztJQh2oC&pg=PA23&lpg=PA23&dq=Ochoa,+Jos%C3%A9+Alfredo,+obras+hidraulicas&source=bl&ots=VKUqpkQs2L&sig=ACfU3U1GxK5C2g9xJZIMBM8LCLHDuMlh\\_g&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiar5iKoJL1AhV5J7kGHXTjAWEQ6AF6BAGKEAM#v=onepage&q=Ochoa](https://books.google.com.pe/books?id=JRXSztJQh2oC&pg=PA23&lpg=PA23&dq=Ochoa,+Jos%C3%A9+Alfredo,+obras+hidraulicas&source=bl&ots=VKUqpkQs2L&sig=ACfU3U1GxK5C2g9xJZIMBM8LCLHDuMlh_g&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiar5iKoJL1AhV5J7kGHXTjAWEQ6AF6BAGKEAM#v=onepage&q=Ochoa)

Ordoñez, J. J. (2011). Cartilla Tecnica: Ciclo Hidrologico. *Ciclo Hidrologico, Primera*. (Z. I. Novoa Goicochea, Ed.) Lima, Perú: Cociedad Geográfica de Lima. Recuperado de [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/ciclo\\_hidrologico.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/ciclo_hidrologico.pdf)

Pedroza, E. (2001). *Canal Parshall*. Mexico, Mexico. Recuperado de [http://201.116.60.182/CONAGUA07/Noticias/canal\\_parshall.pdf](http://201.116.60.182/CONAGUA07/Noticias/canal_parshall.pdf)

Peñalba, C. (2008). *La Litosfera*. Mexico: UNAM. Recuperado de

<http://www.erno.geologia.unam.mx/uploads/nuestra-tierra/archivos/9/primavera2008.pdf>

Programa de servicios agrícolas provinciales. (s.f.). *Manual de capacitación en medición del agua de riego*. San Juan, San Juan, Argentina. Recuperado de [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_manual\\_medicion\\_del\\_agua\\_de\\_riego.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_medicion_del_agua_de_riego.pdf)

Rosas, M. (s.f.). <https://es.slideshare.net>. Recuperado de <https://es.slideshare.net/MiguelRosas4/practica-3-hidrologia>

Sanchez, J. (s.f.). Medida de caudales. En S. S. Javier, *Hidrología*. Recuperado de <https://hidrologia.usal.es/>

Universidad Tecnológica de Panamá. (2006). *Procedimiento para la prueba de aforo volumétrico*. Recuperado de <https://utp.ac.pa/documentos/2011/pdf/PCUTP-CIHH-AH-103-2006.pdf>

Uriarte, A. (1986). La persistencia de la lluvia según el coeficiente de Besson. En A. Uriarte Cantolla, *geografía teórica y cuantitativa* (pp. 91-96). Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=eG6wIpL4hZkC&pg=PA91&lpg=PA91&dq=anton+uriarte+y+la+persistencia+de+la+lluvia+segun+el+coeficiente+de+Besson&source=bl&ots=4BPx195Izb&sig=ACfU3U1MVOmjKIfx6diAHG29GmNWM-s0sg&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjPxvnHt8vxAhUqGbkGHaoHA>