



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**CAUDALES, AFOROS Y CÁLCULOS DE LAS
PERSISTENCIAS**

PRESENTADO POR

BACHILLER PAMELA TANIA TORRES RAMOS

ASESOR: ING. RENE HERADIO FLORES PAURO

PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO CIVIL

MOQUEGUA – PERÚ

2018

CONTENIDO

	Pág.
PORTADA	
Página de jurado	i
Dedicatoria	ii
Contenido	iii
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras.....	vi
Índice de apéndices	viii
Índice de ecuaciones	ix
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO II OBJETIVOS

2.1. Objetivos generales	3
2.2. Objetivos específicos	3

CAPÍTULO III DESARROLLO DEL TEMA

3.1. Marco teórico	4
3.1.1. Conceptos para aforos	4
3.1.2. Descripción de métodos de aforos	6
3.1.3. Cálculos de las persistencias	43
3.2. Caso práctico	47
3.2.1. Aforo con el método del correntómetro	47
3.2.2. Aforo con el método de los flotadores	53

3.2.3. Análisis de persistencia de las descargas medias mensuales (m ³ /s) del río Tumilaca - Estación de Chivaya en el periodo 1956 – 2016.....	57
3.3. Representación de resultados	62

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones	64
4.2. Recomendaciones.....	66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
APÉNDICES	72
AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN	77

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Capacidades de descarga de los aforadores Parshall según su geometría	14
Tabla 2. Dimensiones de aforadores Parshall	15
Tabla 3. Valores de m y n, para la ecuación 10 en unidades métricas.....	20
Tabla 4. Relación entre la longitud del aforador (L), la sumersión transitoria (St) y los coeficientes y exponentes para el cálculo de la descarga en condiciones de flujo libre y sumergido	26
Tabla 5. Las profundidades sugeridas en las cuales se mide las velocidades	32
Tabla 6. Espaciamiento de las verticales de aforo	34
Tabla 7. Coeficiente K o factor de corrección (FC).....	41
Tabla 8. Caudales medios mensuales al 75 % de persistencia (Weibull)	58
Tabla 9. Caudales medios mensuales al 95 % de persistencia (Weibull)	58
Tabla 10. Caudales medios mensuales al 75 % de persistencia (comando percentil) ..	60
Tabla 11. Caudales medios mensuales al 95 % de persistencia (comando percentil) ..	60

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Sección transversal de una sección de aforo.....	5
Figura 2. Construcción de un dique temporal para aforo volumétrico	7
Figura 3. Planta del aforador Parshall	11
Figura 4. Geometría de un canal aforador Parshall.....	11
Figura 5. Flujo libre y flujo sumergido	17
Figura 6. Perfil hidráulico del aforador Parshall	21
Figura 7. Planta del aforador sin cuello	22
Figura 8. Geometría de la sección del aforador sin cuello.....	23
Figura 9. Medición de la longitud total del aforador	24
Figura 10. Medición de la garganta "w" del aforador	24
Figura 11. Determinación de los valores de H_a y H_b del aforador	24
Figura 12. Molinete de eje horizontal o de hélice.....	29
Figura 13. Molinete de eje vertical o cazoletas.....	30
Figura 14. Ubicación del correntómetro a medir la velocidad.....	32
Figura 15. Pantalla swoffer 3 000 con varillas combinadas métricas	33
Figura 16. Correntómetro swoffer 3 000.....	33
Figura 17. Materiales utilizados para el aforo con flotadores	38
Figura 18. Medición del ancho del río	39
Figura 19. Medimos la longitud total donde recorrerá el flotador	39
Figura 20. Esquema de la sección transversal para el cálculo del caudal	42
Figura 21. Muestra de materiales que se va a utilizar en el aforo	47
Figura 22. Medición de la sección del canal	48
Figura 23. Determinación del tirante de agua	48

Figura 24. Subsecciones del canal	49
Figura 25. Midiendo la velocidad de la subsección 1 del canal.....	50
Figura 26. Midiendo la velocidad de la subsección 2 del canal.....	51
Figura 27. Midiendo la velocidad de la subsección 3 del canal.....	51
Figura 28. Medición de la longitud del canal.....	54
Figura 29. Determinación del tirante de agua	55
Figura 30. Medición del tiempo recorrido del flotador.....	55
Figura 31. Caudales medios mensuales al 75 % y 95 % de persistencia del río Tumilaca - Estación Chivaya (m^3/s) por el método de Weibull	59
Figura 32. Caudales medios mensuales al 75 % y 95 % de persistencia del río Tumilaca-Estación Chivaya (m^3/s) por el comando percentil	61

ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Tabla A 1. Serie original de descargas promedios mensuales del río Tumilaca - Estación Chivaya (m ³ /s)	72
Tabla A 2. Ejemplo de cálculos de las persistencias del río Tumilaca-Estación Chivaya.....	74
Tabla A 3. Formato de aforo con correntómetro.....	75
Tabla A 4. Formato de aforo con flotadores	76

ÍNDICE DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1. Ecuación para determinar el caudal	4
Ecuación 2. Ecuación para determinar el caudal mediante el aforo volumétrico ...	8
Ecuación 3. Ecuación para determinar el peso específico	10
Ecuación 4. Ecuación para determinar el volumen de agua.....	10
Ecuación 5. Ecuación para determinar el caudal mediante el aforo gravimétrico	10
Ecuación 6. Ecuación para determinar el grado de sumergencia.....	17
Ecuación 7. Ecuación para determinar el caudal en condiciones de flujo libre....	19
Ecuación 8. Ecuación para determinar el caudal en condiciones de flujo sumergido ..	19
Ecuación 9. Ecuación para determinar la corrección del caudal para $w=0,15$ m .	20
Ecuación 10. Ecuación para determinar la corrección del caudal para $w=0,3-2,5$ m ...	20
Ecuación 11. Ecuación para determinar la corrección del caudal para $w=2,5-15$ m....	21
Ecuación 12. Ecuación para determinar el grado de sumergencia mediante el aforador sin cuello	25
Ecuación 13. Ecuación para determinar el caudal en condiciones de flujo libre..	26
Ecuación 14. Ecuación para determinar el coeficiente de descarga para flujo libre	27
Ecuación 15. Ecuación para determinar el caudal para flujo sumergido mediante el aforador sin cuello.....	28
Ecuación 16. Ecuación para determinar el coeficiente de descarga para flujo sumergido	28
Ecuación 17. Ecuación para determinar la velocidad con correntómetro versión antigua.....	31
Ecuación 18. Ecuación para determinar el número de vueltas de la hélice	31

Ecuación 19. Ecuación para determinar el caudal para el aforo con correntómetro.....	36
Ecuación 20. Ecuación para determinar el tiempo promedio	40
Ecuación 21. Ecuación para determinar la velocidad superficial	40
Ecuación 22. Ecuación para determinar la altura promedio	42
Ecuación 23. Ecuación para determinar el área de la sección transversal	42
Ecuación 24. Ecuación para determinar el caudal para el aforo con flotadores ...	43
Ecuación 25. Ecuación propuesta por California 1923	44
Ecuación 26. Ecuación propuesta por Hazen 1930	44
Ecuación 27. Ecuación propuesta por Weibull 1939	44
Ecuación 28. Ecuación propuesta por Chegodayev 1955	44
Ecuación 29. Ecuación propuesta por Blom 1958	44
Ecuación 30. Ecuación propuesta por Tukey 1962	45
Ecuación 31. Ecuación propuesta por Gringorten 1963.....	45

RESUMEN

La medición del caudal tiene gran importancia para saber la disponibilidad del agua con que contamos y poder distribuir el agua en la cantidad deseada a los usuarios. La hidráulica cuenta con diferentes métodos de aforo que se utilizan para la medición de caudales ya sea en corrientes naturales y artificiales con el fin de uso de los seres humanos para el abastecimiento de agua. El presente trabajo tiene como finalidad demostrar cómo se calcula un caudal y se obtiene la persistencia para diferentes porcentajes en una serie histórica de varios años, se describe diferentes métodos de aforos más conocidos para poder determinar el caudal y también se explica el procedimiento de cómo se realiza el cálculo de las persistencias, además se hizo la comparación con el método de aforo con correntómetro y el método de aforo con flotadores en el canal de captación de planta de tratamiento Chen Chen EPS Moquegua, con los métodos de aforo mencionados se determinaron resultados en el orden de 85 l/s obtenido con el método de aforo con correntómetro y obteniendo un caudal de 87 l/s mediante el método de aforo con flotadores. Los resultados determinados mediante el método de aforo con correntómetro son mucho más real a comparación del aforo con flotadores. Entonces se recomienda utilizar el método de aforo con flotadores, cuando no se cuente con un correntómetro, y realizar la mayor cantidad de repeticiones para que se asemeje al resultado con el aforo con un correntómetro. Finalmente se hará la demostración de los cálculos de las persistencias de los caudales para diferentes porcentajes de la serie histórica de descargas medias mensuales del río Tumilaca-Estación Chivaya.

Palabras clave: Caudales, aforos, persistencias.

ABSTRACT

The flow measurement has great importance to know the availability of water that we have and to distribute the water in the desired amount to users. Hydraulics has different gauging methods that are used for the measurement of flows in natural and artificial flows for the purpose of human use for water supply. The purpose of this work is to demonstrate how a flow is calculated and persistence is obtained for different percentages in a historical series of several years, different methods of better known gauging are described to determine the flow rate, and the procedure of how to determine the flow rate is also explained. In addition, the comparison was made with the gauging method with current meter and the gauging method with floats in the catchment channel of the Chen Chen EPS Moquegua treatment plant, with the aforementioned gauging methods the order of 85 l/s obtained with the gauging method with current meter and obtaining a flow rate of 87 l/s through the gauging method with floats. The results determined by the gauging method with current meter are much more real compared to the capacity with floats. Then it is recommended to use the gauging method with floats, when there is no current meter, and perform the most repetitions so that it resembles the result with the gauging with a current meter. Finally, there will be a demonstration of the calculations of the persistence of the flows for different percentages of the historical series of monthly average discharges of the Tumilaca - Chivaya Station.

Keywords: Flows, gauging, persistence.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo corresponde al desarrollo del tema "Caudales, aforos y cálculos de las persistencias"; la relación de los términos en mención surge la hidrometría la cual es una parte esencial de la hidrología, nos permite la medición del caudal de agua que circula por una sección de un conducto en un tiempo dado.

Tomando desde el punto de vista de la carrera de Ingeniería Civil, observaremos que la medición de caudales a través de diferentes métodos que son los aforos es un elemento muy esencial para el diseño de obras hidráulicas como es el caso de represas, canales, acueductos, etc. De la misma importancia de los caudales y aforos para el diseño de obras hidráulicas son el cálculo de persistencias, para ello se necesita conocer la distribución de probabilidades de un registro de descarga media anual, esta se utilizará para obtener el porcentaje de la probabilidad de tener lluvias anuales o descargas medias anuales.

El trabajo realizado está conformado por el desarrollo de conceptos básicos para poder realizar la medición del caudal, complementada por gráficos, procedimientos; también se desarrolló los aforos las diversas formas o métodos que existen profundizando en los más importantes y utilizados. Finalizando se realizó un ejemplo aplicativo de medición de caudal mediante dos métodos de aforo, en el canal de captación de agua en la planta de tratamiento Chen Chen EPS Moquegua, donde se hará la comparación de los mismos y por último se hará demostración del cálculo de persistencias de los caudales para diferentes porcentajes de la serie histórica de descargas mensuales del río Tumulaca-Estación Chivaya.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

2.1. Objetivos generales

Demostrar cómo se calcula un caudal y se obtiene la persistencia para diferentes porcentajes en una serie histórica de varios años.

2.2. Objetivos específicos

Estimar el caudal del canal de captación de la Planta de tratamiento Chen Chen EPS Moquegua mediante los métodos de aforo del correntómetro y del flotador.

Comparar los resultados obtenidos de los dos métodos de medición de caudales utilizados en la práctica.

Determinar el cálculo de las persistencias para diferentes porcentajes de la serie histórica de descargas medias mensuales del río Tumulaca - estación Chivaya.

CAPÍTULO III
DESARROLLO DEL TEMA

3.1. Marco teórico

3.1.1. Conceptos para aforos

3.1.1.1. Caudal

“También llamado gasto o descarga, es la medida del volumen de líquido que fluye o atraviesa normalmente la sección transversal del cauce de una corriente, en la unidad de tiempo” (Marbello, p. 240).

La ecuación [1] muestra la fórmula para el cálculo del caudal de agua que es la siguiente:

$$Q = A \times V \dots\dots\dots \text{Ecuación [1]}$$

Donde:

Q = Caudal o gasto (m³).

A = Área de la sección transversal (m²).

V = Velocidad, (m/s).

3.1.1.2. Aforo

“Aforo es la operación de campo que tiene con finalidad realizar el cálculo del caudal que escurre por una sección de un canal o río” (Autoridad Nacional del Agua, 2015, p. 8).

3.1.1.3. Sección de aforo

Es la sección transversal del cauce de la corriente de agua que se desea aforar, es determinar su área de la sección, (ver figura 1).

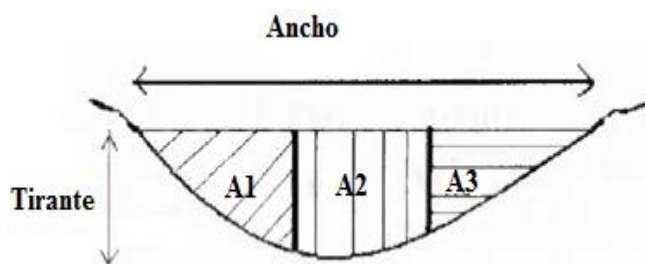


Figura 1. Sección transversal de una sección de aforo
Fuente: Rojas, 2006

3.1.1.4. Longitud del tramo de aforo

La longitud del tramo de aforo es la distancia a lo largo del conducto, entre dos puntos referenciales del punto inicial “A” y del punto final “B”, que siguen la dirección del flujo o corriente de agua.

3.1.1.5. Hidrometría

“La Hidrometría se encarga de medir, registrar, calcular y analizar los volúmenes de agua que circulan en una sección transversal de un río, canal o tubería en la unidad de tiempo” (Ministerio de agricultura, 2005, p. 1).

3.1.2. Descripción de métodos de aforos

3.1.2.1. Método volumétrico

El método de aforo volumétrico se utiliza por lo general para caudales muy pequeños y se requiere de un recipiente o un balde para coleccionar el agua.

“Consiste en determinar el tiempo que tarda una corriente de agua en llenar un recipiente de volumen conocido. El caudal resulta de dividir el volumen de agua que se recoge en el recipiente entre el tiempo” (Ministerio de Agricultura y Riego, 2015, p.42).

“Para tener una mayor exactitud se deberá repetir la operación 5 veces y se tomara el promedio del tiempo obtenido” (Barreto, 2009, p.3).

a. Características y aplicaciones del aforo volumétrico

Este método de aforo es sencillo de realizar, su precisión es alto, y se requiere de pocos materiales, con flujos relativamente lento, es recomendable utilizar este método para caudales menores, como pequeñas acequias, y como son los que escurren en surcos de regadío.

“Al ser aplicado en canales y cauces pequeños, muchas veces se hace necesaria la construcción de un dique temporal, que obligue a que toda el agua del cauce pase a través de una tubería” (Hidalgo, 2017, p.100), (ver figura 2).

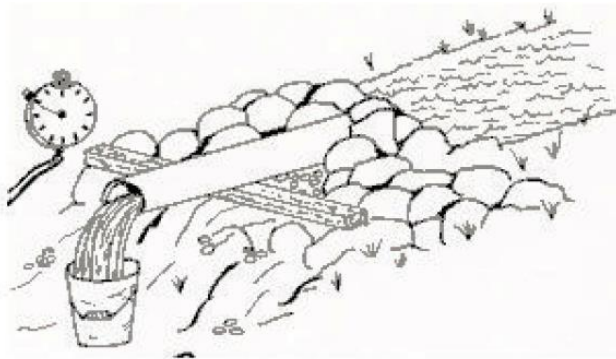


Figura 2. Construcción de un dique temporal para aforo volumétrico
Fuente: Canyon Hydro, s.f.

El método de aforo volumétrico es utilizado en aforos de corrientes pequeñas, como surcos de regadío, escorrentías que afloran lentamente la superficie y acequias.

b. Materiales

Los materiales necesarios para este tipo de aforo volumétrico según Hidalgo (2017), son los siguientes:

- ✓ Recipiente de volumen conocido
- ✓ Cronómetro
- ✓ Tubo pvc , “2” ,de 1 m de largo
- ✓ Herramienta para nivelar el terreno como pala, pico, etc.

- ✓ Formato para el registro de datos
- ✓ Ropa adecuada
- ✓ Cámara fotográfica
- ✓ Calculadora

c. Procedimiento para realizar el aforo volumétrico

- ✓ Se debe realizar el reconocimiento de la zona donde se realizará el 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, después procedemos a tomar el tiempo en que tarda en llenarse el recipiente.
- ✓ Se realizan por 3 a 5 repeticiones, teniendo cuidado en cada proceso. Con los cuales se calcula un tiempo promedio, 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

Se utiliza la ecuación [2] para el obtener el caudal se escribe de la siguiente manera:

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

Donde:

Q = Caudal o gasto, (m^3/s , l/s).

V = Volumen conocido del recipiente aforador, (m^3 , l).

t = Tiempo, (s).

e. Recomendaciones generales

- ✓ Cuando los caudales son bajos se pueden dejar en las unidades de “ l/s ” es lo más recomendable.
- ✓ La elaboración de un formato para el registro de datos es muy útil.
- ✓ Una hoja electrónica en Excel se podría calcular automáticamente los diferentes valores.

3.1.2.2. Aforo gravimétrico

“Para este método de aforo gravimétrico se sigue un procedimiento similar al anterior método de aforo, pero el volumen colectado de agua en el intervalo de tiempo cronometrado, en lugar de medirse se pesa” (Blog del Ingeniero Civil, s.f).

Y el peso de agua obtenido se divide entre el peso específico lo cual es transformado en volumen.

El recipiente o balde debe ser pesado vacío y una vez se encuentre lleno el recipiente. Mediante este método de aforo gravimétrico, el caudal se determina con las siguientes ecuaciones [3], [4] y [5]:

Peso específico:

$$\gamma = \frac{W}{V} \dots\dots\dots \text{Ecuación [3]}$$

Donde:

$$V = \frac{W}{\gamma} \dots\dots\dots \text{Ecuación [4]}$$

O también:

$$Q = \frac{(\text{peso del agua} + \text{peso del recipiente}) - \text{peso del recipiente}}{\text{peso específico} \times \text{tiempo de llenado}} \dots\dots \text{Ecuación [5]}$$

3.1.2.3. Medidor Parshall

“El medidor Parshall es una de las estructuras más antiguas y usadas para la medición de caudales en canales abiertos; puede ser construido de madera, metal y de concreto, según la magnitud de los canales y caudales a medir” (Minag, 2004, p.40).

Este aforador Parshall funciona a flujo libre y a flujo sumergido, tiene una precisión muy buena y cada una tiene diferente manera de calcular el caudal.

Las partes del aforador Parshall se describe a continuación (ver figura 3 y 4):

- ✓ **Zona de entrada.** Está formada por dos paredes verticales simétricas y convergentes, con el fondo horizontal.
- ✓ **La garganta.** La garganta de ancho “w” está formada por dos paredes verticales y paralelas, y con el fondo inclinado hacia abajo.
- ✓ **Zona de salida.** La zona de salida está formada también por dos paredes verticales pero divergentes, pero con el fondo ligeramente inclinado hacia arriba.

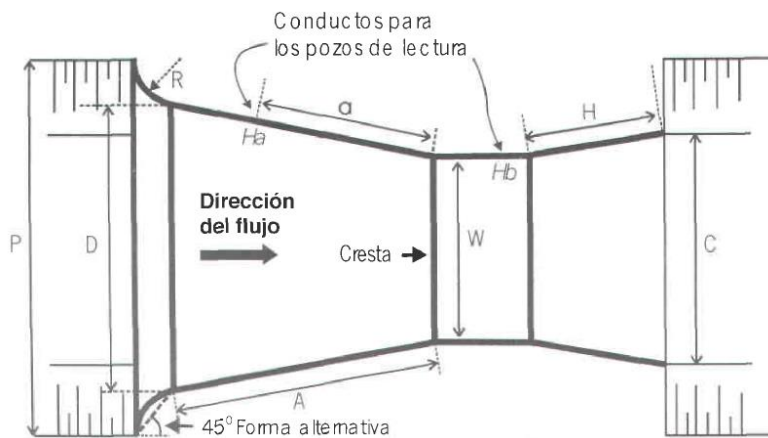


Figura 3. Planta del aforador Parshall
Fuente: Pedroza ,2001

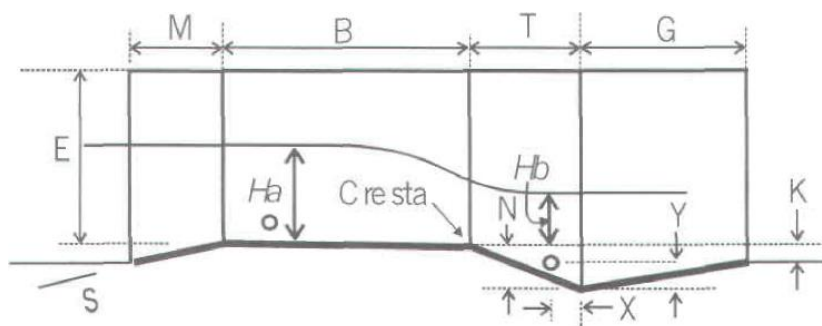


Figura 4. Geometría de un canal aforador Parshall
Fuente: Pedroza, 2001

a. Nomenclatura del aforador Parshall

W = Ancho de la garganta

A = Longitud de las paredes de la 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 de la sección convergente

E = Profundidad total

T = Longitud de la sección divergente

H = Longitud de las paredes de la sección divergente

K = Diferencia de elevación entre la salida y la cresta

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 H_b

Y = Ordenada del punto de medición

G = Longitud de la sección divergente

Para su instalación del medidor Parshall se procede de la siguiente manera:

- ✓ La dirección de la corriente del agua en el canal, debe estar alineada al eje de la estructura. El fluido debe llegar de forma suave, debe estar libre de turbulencia y debe estar uniformemente distribuido a través de la sección del canal.
- ✓ El aforador Parshall se instala para operar en condiciones de flujo libre y esto ocurre cuando la elevación de la superficie del agua a la salida de la garganta no es lo suficientemente alta como para generar remanso.
- ✓ En la mayoría de los casos el aforador está fijado al piso, elevado respecto al nivel del fondo del canal, para prevenir sumergencia excesiva.
- ✓ El aforador Parshall está fijado tal que la elevación del agua en la profundidad del flujo aguas arriba " H_a " es mayor al nivel normal de la del agua a la salida del aforador, en una cantidad igual a la pérdida de carga.

En la tabla 1 podemos observar las capacidades de descarga de los aforadores Parshall y en la tabla 2 las dimensiones o geometría de los aforadores Parshall.

Tabla 1
Capacidades de descarga de los aforadores Parshall según su geometría

Ancho de la garganta W (cm)	Intervalo de descarga		Coeficientes de la fórmula $Q=K \times H_a^n$ (m ³ /s)		Intervalo de carga hidráulica		Grado de sumergencia
	Q _{min} (l/s)	Q _{máx} (l/s)	k	n	H _{amin} (m)	H _{amáx} (m)	S=H _b /H _a
2,5	0,09	5,4	0,0604	1,55	0,015	0,21	0,50
5,0	0,18	13,2	0,1207	1,55	0,015	0,24	0,50
7,5	0,77	32,1	0,1771	1,55	0,03	0,33	0,50
15,0	1,50	111,1	0,3812	1,58	0,03	0,45	0,60
22,5	2,50	251,0	0,5354	1,53	0,03	0,61	0,60
30,5	3,32	457,0	0,6909	1,52	0,03	0,76	0,70
45,5	4,80	695,0	1,056	1,538	0,03	0,76	0,70
61,0	12,10	937,0	1,428	1,550	0,046	0,76	0,70
91,5	17,60	1427,0	2,184	1,566	0,046	0,76	0,70
122,0	35,80	1923,0	2,953	1,578	0,06	0,76	0,70
152,5	44,10	2424,0	3,732	1,587	0,076	0,76	0,70
183,0	74,10	2929,0	4,519	1,595	0,076	0,76	0,70
213,5	85,80	3438,0	5,312	1,601	0,076	0,76	0,70
244,00	97,20	3949,0	6,112	1,607	0,076	0,76	0,70
m	m³/s	m³/s					
3,05	0,16	8,28	7,463	1,60	0,09	1,07	0,80
3,66	0,19	14,68	8,859	1,60	0,09	1,37	0,80
4,58	0,23	25,04	10,96	1,60	0,09	1,67	0,80
6,10	0,31	37,97	14,45	1,60	0,09	1,83	0,80
7,63	0,38	47,14	17,94	1,60	0,09	1,83	0,80
9,15	0,46	56,33	21,44	1,60	0,09	1,83	0,80
12,20	0,6	74,7	28,43	1,60	0,09	1,83	0,80
15,25	0,75	93,04	35,41	1,60	0,09	1,83	0,80

Nota: A partir de la dimensión de 3.05 m el caudal está en m³/s
Fuente: Skertchly, 1988

Tabla 2
Dimensiones de 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	406	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	0,61	0,845	0,914	0,61	0,914	0,076	0,381	0,229	1,492	0,508	0,051	0,076
0,4572	1,448	0,965	1,419	0,762	1,026	0,914	0,61	0,914	0,076	0,381	0,229	1,676	0,508	0,051	0,076
0,6096	1,524	1,016	1,495	0,914	1,206	0,914	0,61	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	0,61	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	0,61	0,914	0,076	0,457	0,229	2,711	0,61	0,051	0,076
1,5240	1,981	1,321	1,943	1,829	2,302	0,914	0,61	0,914	0,076	0,457	0,229	3,08	0,61	0,051	0,076
1,8288	2,134	1,422	2,092	2,134	2,667	0,914	0,61	0,914	0,076	0,457	0,229	3,442	0,61	0,051	0,076
2,1336	2,286	1,524	2,242	2,438	3,032	0,914	0,61	0,914	0,076	0,457	0,229	3,81	0,61	0,051	0,076
2,4384	2,438	1,626	2,391	2,743	3,397	0,914	0,61	0,914	0,076	0,457	0,229	4,172	0,61	0,051	0,076
3,0480	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	3,048	2,032	4,877	4,47	5,607	1,524	0,914	2,438	0,152	-	0,343	-	-	0,305	0,229
4,5720	3,5052	2,337	7,62	4,588	7,62	1,829	1,219	3,048	0,229	-	0,457	-	-	0,305	0,229
6,0960	4,2672	2,845	7,62	7,315	9,144	2,134	1,829	3,658	0,305	-	0,686	-	-	0,305	0,229
7,6200	5,0292	3,353	7,62	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	12,313	2,134	1,829	4,267	0,305	-	0,686	-	-	0,305	0,229
12,1920	7,3152	4,877	8,23	13,818	15,481	2,134	1,829	4,877	0,305	-	0,686	-	-	0,305	0,229
15,2400	8,8392	5,893	8,23	17,272	18,529	2,134	1,829	6,096	0,305	-	0,686	-	-	0,305	0,229

Fuente: Pedroza ,2001

b. Ventajas de los medidores Parshall

Se puede mencionar las siguientes ventajas del medidor Parshall como:

- ✓ Con una sola medida de la carga o el tirante del agua es suficiente para determinar el caudal.
- ✓ Podemos estimar el caudal con una muy buena precisión, cuando funciona o trabaja a flujo libre el error es menor al 3 %, y cuando funciona a flujo sumergido el error no pasa del 5 %.
- ✓ La pérdida de carga es mínima.
- ✓ Su forma del medidor Parshall no permite acumular sólidos en ninguna parte del aforador, ya que en la transición de salida aumenta la velocidad.

c. Desventajas de los medidores Parshall

- ✓ Generalmente son más caros debido a su construcción.
- ✓ Sus mediciones son satisfactorias siempre y cuando su construcción es cuidadosa y exacta.
- ✓ Su construcción e instalación es crítica para que funcionen como se debe.
- ✓ No puede combinarse fácilmente con otras estructuras.

d. Condiciones para el cálculo del caudal

Los aforadores Parshall pueden funcionar bajo dos condiciones diferentes de flujo (ver figura 5):

- ✓ Flujo libre. En que la vertiente es independiente de las condiciones de aguas abajo.
- ✓ Flujo sumergido. Cuando el nivel de aguas abajo es suficientemente elevado para influir y retardar el flujo a través del medidor.

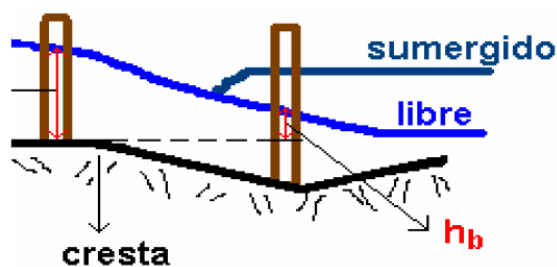


Figura 5. Flujo libre y flujo sumergido
Fuente: Basán, 2008

Como se mencionó las dos condiciones para la determinación del caudal de aforo, por flujo o descarga libre y por flujo sumergido, ambas condiciones tienen su forma de trabajar y medir el caudal distinto es por eso que hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

El grado de sumergencia “S”, está definido en la ecuación [6] según Marbello:

$$S = \frac{H_b}{H_a} \dots \dots \dots \text{Ecuación [6]}$$

Donde:

H_a = Profundidad del flujo en la sección, aguas arriba de la garganta.

H_b = Profundidad del flujo en la sección, situada justo al final de la garganta.

Si $H_b < H_a$, el grado de sumergencia “S” toma un valor relativamente bajo y menor que la unidad, se dice que el aforador Parshall funciona como flujo libre (p.88).

Contrariamente, si “ H_b ” es menor, pero comparable con “ H_a ,” esto es $H_b = H_a$, el grado de sumergencia “S” toma un valor relativamente alto y cercano a la unidad, y se dice que la canaleta opera con descarga sumergida (p.88).

e. Funcionamiento como flujo libre

Cuando el aforador Parshall funciona a flujo libre, solo se requiere conocer el valor de la profundidad de flujo aguas arriba “ H_a ” para obtener el caudal, siendo éste el caso, se realiza según los siguientes pasos:

- ✓ Se toma la lectura de la carga o profundidad aguas arriba “ H_a ”; conociendo la dimensión del ancho de la garganta “W” se recurre a la tabla 1 capacidades de descarga de los aforadores Parshall según su geometría y se obtiene la ecuación de descarga para el aforador.
- ✓ Se reemplaza el valor de H_a , K y n sobre la ecuación [7] y se calcula el caudal Q.

$$Q = K \times H_a^n \dots\dots\dots \text{Ecuación [7]}$$

Donde:

Q = Caudal, (m³/s).

H_a = Profundidad del aguas arriba.

K, n = Son valores diferentes para cada tamaño de aforador.

f. Funcionamiento como flujo sumergido

Minag (2004), define que “Cuando el aforador funciona a flujo sumergido, es decir cuando el grado de sumersión “S” de cada aforador es sobrepasado, es necesario hacer una corrección al caudal” (p.43).

Para ello se emplea la siguiente ecuación [8]:

$$Q = m \times H_a^n - C \dots\dots\dots \text{Ecuación [8]}$$

Donde:

C = Corrección en función de W, H_a y H_b.

m = Coeficiente de descarga.

n = Exponente de descarga.

La tabla 3 de valores de m y n se utiliza para reemplazar a la ecuación [8] para condiciones de flujo sumergido.

Tabla 3
Valores de m y n, para la ecuación 10 en unidades métricas

W (m)	m	n	W (m)	m	n
0,15	0,3812	1,58	4,5	10,79	1,6
0,3	0,68	1,522	5	11,937	1,6
0,5	1,161	1,542	6	14,229	1,6
0,75	1,774	1,558	7	16,522	1,6
1	2,4	1,57	8	18,815	1,6
1,25	3,033	1,579	9	21,107	1,6
1,5	3,673	1,588	10	23,4	1,6
1,75	4,316	1,593	11	25,692	1,6
2	4,968	1,599	12	27,985	1,6
2,5	6,277	1,608	13	30,278	1,6
3	7,352	1,6	14	32,57	1,6
3,5	8,498	1,6	15	34,863	1,6
4	9,644	1,6			

Fuente: Minag, 2004

Los valores de corrección “C” son obtenidos según las siguientes ecuaciones (p.43):

Para un rango W = 0,15m se utiliza la siguiente ecuación [9]:

$$C = \frac{0,0285 H_a^{2,22}}{\left(\frac{H_a+3,05}{3,05} - S\right)^{1,44}} - \frac{H_a - 0,056}{87,94} \dots\dots\dots \text{Ecuación [9]}$$

Para un rango W = 0,3 - 2,5m se utiliza la siguiente ecuación [10]:

$$C = 0,0746 \left(\left(\frac{3,28 H_a}{\left(\frac{1,8}{S}\right)^{1,8}} \right)^{4,57 - 3,14 S} + 0,093 S \right) W^{0,815} \dots \text{Ecuación [10]}$$

Para un rango $W = 2,5 - 15$ m se utiliza la siguiente ecuación [11]:

$$C = 69,671 (S - 0,71)^{3,333} H_a^2 W \dots \dots \dots \text{Ecuación [11]}$$

Se recomienda que el aforador Parshall siempre funcione a flujo libre, sin embargo en caso trabaje a flujo sumergido la medición del caudal tiene buena aproximación, siempre y cuando el grado de sumergencia sea menor a 0,95; para valores mayores la medición del caudal se torna incierta.

A continuación se presenta el esquema del perfil hidráulico de los aforadores Parshall; donde la profundidad de aguas arriba “ H_a ” es el nivel del agua a la entrada del aforador y la profundidad de aguas abajo “ H_b ” es el nivel del agua a la salida de la del aforador (ver figura 6).

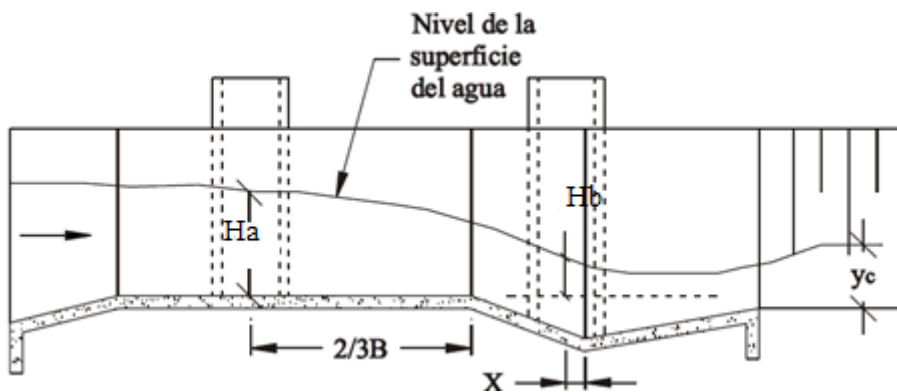


Figura 6. Perfil hidráulico del aforador Parshall
Fuente: Minag, 2004

3.1.2.4. Aforador sin cuello

“El aforador sin cuello consiste principalmente de la sección de entrada, la sección de salida, la garganta y el fondo del aforador” (Alfaro, 1980, p.3).

El aforador sin cuello puede ser construido de madera, metal o concreto según la magnitud del canal y caudal a aforarse.

El caudal se obtiene midiendo las profundidades de flujo o carga, aguas arriba “ H_a ” y aguas abajo “ H_b ”, de la garganta. Estas cargas se pueden medir con escalas en las posiciones indicadas en el aforador. A continuación observamos la planta del aforador sin cuello (ver figura 7) y la geometría de la sección del aforador donde indica la profundidad de aguas arriba “ H_a ” y la profundidad de aguas abajo “ H_b ” (ver figura 8).

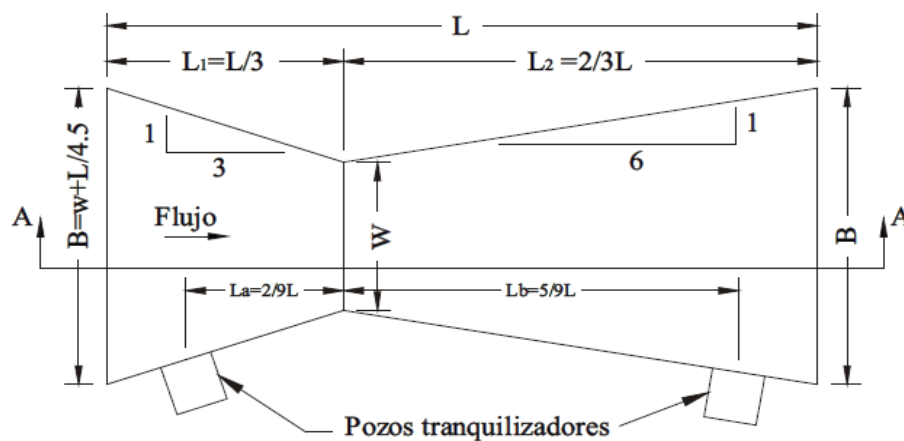


Figura 7. Planta del aforador sin cuello
Fuente: Minag, 2004

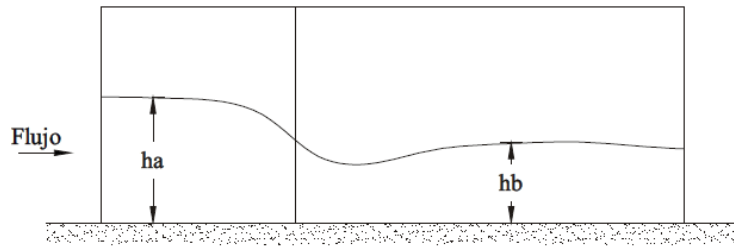


Figura 8. Geometría de la sección del aforador sin cuello
Fuente: Minag, 2004

Partes del aforador sin cuello:

- ✓ **Canal de entrada.** El canal de entrada está constituida por un canal con paredes verticales, converge horizontalmente hacia una sección estrecha llamada garganta “w”, este a su vez es el inicio del canal de salida.
- ✓ **Garganta.** La garganta de ancho “w” es la sección contraída del aforador que se encuentra ubicada entre el canal de entrada y el canal de salida.
- ✓ **Canal de salida.** El canal de salida es la zona divergente del canal del aforador.
- ✓ **Fondo del aforador.** El nivel del fondo del aforador siempre es horizontal y permite definir si este funciona a flujo libre o a flujo sumergido.

a. Cuando es flujo libre

Primero. Una vez seleccionado el lugar de aforo se debe estabilizar el aforador sin cuello.

Segundo. Medimos el ancho de la garganta “w” y la longitud total “l” del aforador, (ver figura 9 y 10).



Figura 9. Medición de la longitud total del aforador



Figura 10. Medición de la garganta "w" del aforador

Tercero. Posteriormente se obtiene los valores de profundidad aguas arriba " H_a " y la profundidad de aguas abajo " H_b ", leídas directamente de las reglas que se ubican en las paredes del aforador (ver figura 11).



Figura 11. Determinación de los valores de H_a y H_b del aforador

Cuarto. Para un valor determinado de sumersión “S” el caudal en el aforador empieza a disminuir, valor denominado sumersión transitoria “S_t” y conociendo la longitud total del aforador, la sumersión transitoria “S_t” se obtiene mediante la tabla 4 y debe cumplir las siguientes condiciones para determinar si es flujo libre o sumergido.

Calculamos el grado de sumergencia según Alfaro (1980) como se muestra en la ecuación [12]:

$$S = \frac{H_b}{H_a} \times 100 \dots \dots \dots \text{Ecuación [12]}$$

Condición:

Si $S < S_t$ La canaleta trabaja a flujo libre.

Si $S > S_t$ La canaleta trabaja a flujo sumergido.

La tabla 4 muestra la longitud del aforador, la sumersión transitoria y los coeficientes para flujo libre y flujo sumergido.

Tabla 4

Relación entre la longitud del aforador (L), la sumersión transitoria (St) y los coeficientes y exponentes para el cálculo de la descarga en condiciones de flujo libre y sumergido

L(m)	St (%)	Flujo libre		Flujo sumergido	
		n	K	ns	Ks
0,5	60,7	2,08	6,15	1,675	3,5
0,6	62	1,989	5,17	1,6	2,9
0,7	63	1,932	4,63	1,55	2,6
0,8	64,2	1,88	4,18	1,513	2,35
0,9	65,3	1,843	3,89	1,483	2,15
1	66,4	1,81	3,6	1,456	2
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	1,675	2,72	1,393	1,45
1,8	73,8	1,646	2,53	1,386	1,32
2	75,5	1,62	2,4	1,381	1,24
2,2	77	1,6	2,3	1,378	1,18
2,4	78,4	1,579	2,22	1,381	1,12
2,6	79,5	1,568	2,15	1,386	1,08
2,7	80,5	1,562	2,13	1,39	1,06

Fuente: Alfaro ,1980

Quinto. En condiciones de flujo libre el caudal está en función directa de la profundidad de aguas arriba “H_a”. La ecuación [13] permite obtener el caudal que pasa por el medidor.

$$Q = C \times H_a^n \dots\dots\dots \text{Ecuación [13]}$$

Donde:

Q = Caudal que pasa por el aforador, (m³/s ó l/s).

H_a = Profundidad del flujo aguas arriba, (m).

n = Exponente para descarga a flujo libre.

C = Coeficiente de descarga para flujo libre.

Sexto: El valor del coeficiente “K” depende de la longitud “l” del aforador y se obtiene de la tabla 4 .El valor del coeficiente de flujo libre, “C”, depende de la longitud y el ancho de la garganta, “W “. Y esta expresada por la siguiente ecuación [14]:

$$C = K \times W^{1,025} \dots\dots\dots \text{Ecuación [14]}$$

b. Cuando es flujo sumergido

Primero. Una vez seleccionado el lugar de aforo se debe estabilizar el aforador sin cuello.

Segundo. Medimos la garganta “W” y la longitud total “L” del aforador.

Tercero. Posteriormente se obtiene los valores de profundidad de aguas arriba “H_a” y profundidad de aguas abajo “H_b” leídas directamente de las reglas que se ubican en el aforador.

Cuarto. Cuándo el aforador sin cuello opera en condiciones de flujo sumergido, se tiene que el grado de sumergencia es mayor a la sumersión transitoria $S > S_t$. En este caso el caudal está en función de la profundidad aguas arriba “H_a” y de la profundidad aguas abajo “H_b”.

Quinto. Según Alfaro afirma para hallar el caudal bajo esta condición se utiliza la siguiente ecuación [15]:

$$Q = \frac{C_s (H_a - H_b)^n}{(\text{colog}(s))^{n_s}} \dots\dots\dots \text{Ecuación [15]}$$

Donde:

Q = Caudal que pasa por el aforador, (m³/s).

H_a = Profundidad del flujo aguas arriba, (m).

H_b = Profundidad del flujo aguas abajo, (m).

n = Exponente para descarga a flujo libre.

n_s = Exponente para descarga a flujo sumergido.

S = Grado de sumergencia.

C_s=Coeficiente de descarga para flujo sumergido.

Cabe mencionar que el colog S = - log S

Sexto. El coeficiente de descarga “C_s” está en función del coeficiente “K_s”, así como del ancho de la garganta “W”, y los valores de “K_s” se obtiene de la tabla 4 que está en función de “L” del aforador. La ecuación [16] para obtener el coeficiente de descarga “C_s” es la siguiente:

$$C_s = K_s \times W^{1,025} \dots\dots\dots \text{Ecuación [16]}$$

3.1.2.5. Aforo por el método del correntómetro

Este método de aforo es también llamado molinete, es el aparato para determinar la velocidad de una corriente de agua, tales como en canales, ríos y lagos.

“El elemento giratorio puede ser una hélice o un sistema de cazoletas; cuando se utiliza una hélice esta gira sobre un eje tipo horizontal (ver figura 12) y si se utiliza el sistema de cazoletas, el giro se realiza sobre un eje vertical (ver figura 13)” (Mejía & Rosas, 2016, p.21).

Mayormente se utiliza el sistema de hélice por que presenta mayor precisión y versatilidad para las diferentes condiciones de flujo; la turbulencia y la presencia de sedimentos en el agua esto afectan en menor grado al molinete de hélice a comparación con el molinete de cazoletas.

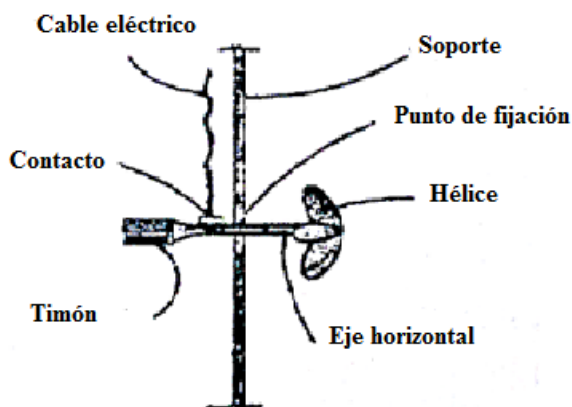


Figura 12. Molinete de eje horizontal o de hélice
Fuente: Mejía & Rosas, 2016

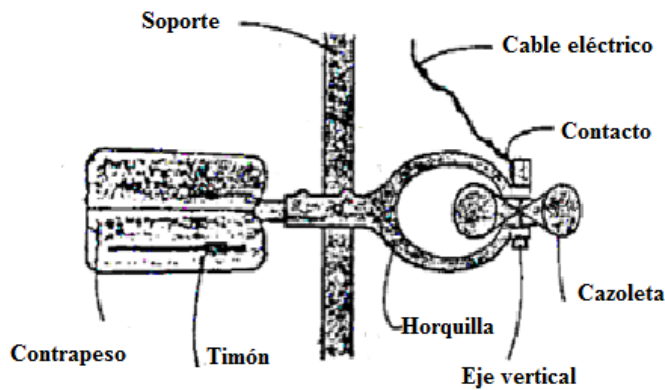


Figura 13. Molinete de eje vertical o cazoletas
Fuente: Mejía & Rosas, 2016

Como ya se mencionó que existen tipos de correntómetro, y siendo el más empleado el molinete de hélice que hay de diferentes tamaños; cuando más grandes sean los caudales o más altas sean las velocidades, mayor debe ser el tamaño del correntómetro. Los modelos más antiguos tienen un dispositivo que cuenta el número de vueltas o revoluciones de la hélice por segundo y con un cronómetro se determina el tiempo de exposición en la corriente y después calculamos el número de giros por unidad de tiempo.

Cabe mencionar que para el aforo en el canal de captación de agua en la planta de tratamiento Chen Chen EPS Moquegua se utilizó el correntómetro o molinete swoffer 3000 que con un contador electrónico mide directamente la velocidad del flujo.

“Cada correntómetro debe tener un certificado de calibración en el que figura la fórmula para calcular la velocidad; que son calibrados en laboratorios de hidráulica” (Minagri, 2005, p.6).

La ecuación [17] para el cálculo de la velocidad con correntómetro es la siguiente:

$$V = a \times n + b \dots \dots \dots \text{Ecuación [17]}$$

Donde:

V = Velocidad del agua, (m/s).

n = Número de vueltas de la hélice por segundo.

a = Paso real de la hélice, (m).

b = Velocidad de frotamiento, (m/s).

La ecuación [18] se utiliza para poder hallar el número de vueltas de la hélice por segundo y poder reemplazar en la ecuación [17].

$$n = \frac{N}{t} \dots \dots \dots \text{Ecuación [18]}$$

Donde:

N = Número de giros de la hélice.

t = Tiempo, (s).

En la tabla 5 se observa las profundidades sugeridas en las cuales se mide las velocidades que es la siguiente:

Tabla 5

Las profundidades sugeridas en las cuales se mide las velocidades

Tirante de agua (d) (cm)	Profundidad de lectura del correntómetro (cm)
< 15	d/2
15 < d < 45	0,6 d
> 45	0,2 d y 0,8 d ó 0,2 d , 0,6 d y 0,8 d

Fuente: Minagri, 2005

Las profundidades en las cuales se mide las velocidades con el correntómetro están en función de la altura del tirante de agua. Conocidas las profundidades se calcula el área de la sección transversal.

Cuando la sección del canal a aforar no es muy grande, no es necesario dividir en subsecciones. Para secciones anchas y profundas es más conveniente dividir la sección en subsecciones de ancho constante (ver figura 14), y obtener la velocidad media en cada subsección, que se calculará como el promedio de las velocidades medidas.

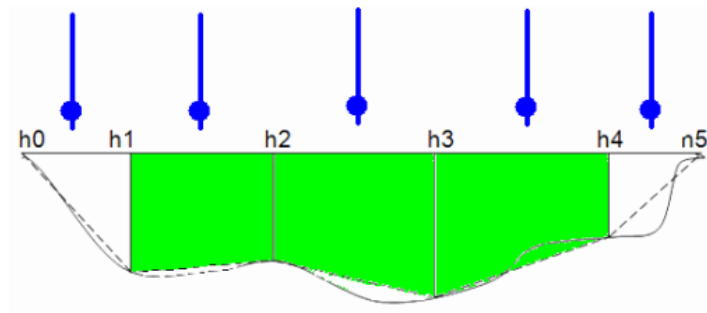


Figura 14. Ubicación del correntómetro a medir la velocidad
Fuente: Mendieta, 2014

Las mediciones con el método del correntómetro swoffer 3000 se utilizan para la determinación precisa de la velocidad directa, siempre que no haya demasiada materia suspendida que pueda obstruir el medidor. Utilizando este modelo de

correntómetro el cálculo del caudal en campo es en menor tiempo, también existen otros modelos de correntómetro más actualizados donde nos indica el caudal directamente.

A continuación se muestra el modelo de correntómetro swoffer 3000 (ver figura 15 y 16):



Figura 15. Pantalla swoffer 3000 con varillas combinadas métricas
Nota: Equipo prestado de Proyecto especial Regional Pasto Grande



Figura 16. Correntómetro swoffer 3000
Nota: Equipo prestado de Proyecto especial Regional Pasto Grande

El espaciamiento de las verticales, se asume de acuerdo a la tabla 6 siguiente:

Tabla 6
Espaciamiento de las verticales de aforo

Ancho de la sección (m)	Ancho de la subsección (m)
0,00 – 1,20	0,1
1,20 – 3,00	0,2
3,00 – 5,00	0,3
5,00 - 8,00	0,4
8,00 – 12,0	0,5
12,0 – 18,0	0,8
18,0 – 25,0	1,0
25,0 – 35,0	1,5
35,0 – 50,0	2,0
50,0 – 70,0	2,5
70,0 – 100,0	3,0
100 En adelante	4,0

Fuente: Ministerio de agricultura, 2004

Las condiciones que debe cumplir para utilizar el método de aforo del correntómetro es la siguiente:

- ✓ El tramo o sección a medir debe ser un canal abierto, más o menos recto, de fácil acceso, sin turbulencia.
- ✓ Se deberá seleccionar un tramo uniforme sin interferencia del curso de agua por piedras o algún otro material.

Equipos y materiales que se utilizan en campo son:

- ✓ Correntómetro
- ✓ Wincha
- ✓ Formato de aforo
- ✓ Calculadora

a. Procedimiento a seguir

“En un canal o río para conocer el caudal que pasa por su sección, se requiere determinar el caudal que pasa por cada una de las subsecciones en que se divide la sección transversal del canal” (Minagri, 2013, p.18).

El procedimiento a seguir con el método de aforo con correntómetro es la siguiente:

- ✓ Al iniciar el aforo se anotará la fecha, hora y lugar donde se realizará el aforo.
- ✓ Se mide el ancho del canal o río.
- ✓ La sección transversal del río o canal donde se va a realizar el aforo se divide en varias subsecciones según el ancho del canal o río donde se vaya a realizar el aforo.
- ✓ Medimos el tirante de agua.
- ✓ En cada tramo hallar el área parcial, se calcula midiendo la profundidad del agua de cada tramo por su anchura.
- ✓ La velocidad media se mide en el centro de cada área parcial a una distancia 60 % para profundidades menores .Si es mayor, se hacen mediciones a 20 % y 80 % de la profundidad según tabla 5. Se halla la velocidad en cada área como mínimo tres repeticiones para tener un resultado más exacto. Las profundidades en las cuales se mide las velocidades con el correntómetro están en función de la altura del tirante de agua. Si se utiliza modelos antiguos de correntómetro, para el cálculo de la velocidad se utilizará la ecuación [17].

- ✓ Se multiplica el área del tramo correspondiente por la velocidad media y se obtiene el caudal parcial. La suma de todos los caudales parciales proporciona el caudal total final.

Con este método de aforo del correntómetro, el caudal se halla con la siguiente ecuación [19]:

$$Q = A \times V \dots\dots\dots \text{Ecuación [19]}$$

Donde:

V = Velocidad medida con el correntómetro, (m/s).

A = Área de la sección transversal, (m²).

Q = Caudal, (m³/s).

Formato para el método de aforo con correntómetro (ver apéndice A 3).

3.1.2.6. Aforo por el método del flotador

El método de aforo del flotador se utiliza cuando no se tiene equipos de medición y para este fin se tiene que conocer el área de la sección y la velocidad del agua.

Para medir la velocidad en la trayectoria que recorren se emplean objetos flotantes, puede ser una botella plástica pequeña, latitas de leche, etc. Se utiliza en canales, ríos y da solo una medida aproximada del caudal.

“Con este método se calcula las velocidades superficiales de la corriente de un canal o río, utilizando materiales sencillos como son los flotadores” (Chamorro, 2011, p.5).

El método de flotador se puede utilizar cuando:

- ✓ En periodo de máximas avenidas o crecidas de los ríos.
- ✓ Cuando exista excesiva velocidad del agua que dificulta el uso del correntómetro.
- ✓ Cuando los niveles de agua son muy bajos y no permite medir con el correntómetro.
- ✓ Cuando pelagra la vida del que efectúa el aforo.
- ✓ Cuando hay presencia de algas o sedimentos que impide que se haga mediciones con otros equipos.

a. Características de un flotador

Se menciona las características que deben cumplir un flotador según Chamorro. (2011):

- ✓ El flotador puede ser trozos de ramas, pequeños troncos, botellas de plástico pequeña, latas de leche, etc.
- ✓ En caso de utilizar botellas como flotadores éstos serán tapados herméticamente y parcialmente llenas de agua ($\frac{3}{4}$ partes de la botella).
- ✓ Es importante que el flotador quede sumergido una gran parte de ellos y emergente lo necesario, esto permitirá que el flotador no sea influenciado por

el viento y cambie de dirección fácilmente, lo que implicaría velocidades inexactas.

- ✓ Los flotadores deben ser similares en forma y peso.
- ✓ A cada flotador se le debe colocar un distintivo de color a fin de que sean observados durante su trayectoria.

b. Materiales

Materiales que se utilizan para el aforo con flotadores (ver figura 17) es la siguiente:

- ✓ Calculadora
- ✓ Formato para aforo con flotadores
- ✓ Cronómetro
- ✓ Wincha
- ✓ Flotadores
- ✓ Varilla para medir las profundidades

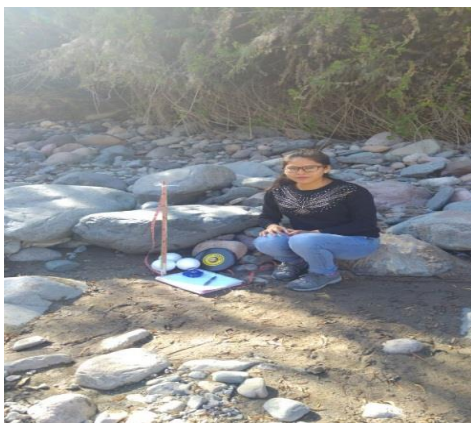


Figura 17. Materiales utilizados para el aforo con flotadores

c. Procedimiento

Paso N° 1. Seleccionar un lugar adecuado para realizar el aforo.

- ✓ Medir el ancho del río o canal, (ver figura 18).



Figura 18. Medición del ancho del río

- ✓ Medir la distancia que recorrerá el flotador (ver figura 19) desde el punto inicial A hasta el punto final B.



Figura 19. Medimos la longitud total donde recorrerá el flotador

Paso N° 2. Cálculo del tiempo promedio.

- ✓ Se toma en cuenta el tiempo que demoran los flotadores de llegar del punto inicial hasta el punto final, y se debe contar con un formato de aforo donde se realizará las anotaciones del tiempo.
- ✓ Se deben lanzar como mínimo tres veces los flotadores en el margen derecho, en el centro y en el margen izquierdo de la sección del río. En el caso de canales como su sección es pequeña se lanza el flotador en el centro de la sección.
- ✓ Para calcular el tiempo promedio se utiliza la siguiente ecuación [20]:

$$t_p = \frac{t_{f1} + t_{f2} + t_{f3} + t_{f4} + t_{f5} + t_{f6} + t_{f7} + t_{f8} + t_{f9}}{N} \dots\dots\dots \text{Ecuación [20]}$$

Donde:

t_p = Tiempo promedio , (s).

t_f = tiempo que transcurre cada flotador , (s).

N = Número de veces lanzados los flotadores.

Paso N° 3. Cálculo de la velocidad superficial del río o canal.

- ✓ Cálculo de la velocidad superficial del flotador se da en la siguiente ecuación [21]:

$$V_s = \frac{d}{t_p} \dots\dots\dots \text{Ecuación [21]}$$

Donde:

V_s = Velocidad superficial, (m/s).

d = Distancia recorrida del flotador, (m).

t_p = Tiempo promedio que recorre los flotadores, (s).

Paso N° 4. Cálculo de la velocidad media (V_m).

- ✓ Este valor es la velocidad corregida es igual a la velocidad superficial multiplicada por un coeficiente. Para los diferentes tipos de cauces el coeficiente o factor de corrección se selecciona de acuerdo a la tabla 7 y se muestra a continuación:

Tabla 7
Coeficiente K o factor de corrección (FC)

Tipo de cauce	Coeficiente k
Canal revestido en concreto, profundidad del agua > 15 cm	0,8
Canal de tierra, profundidad del agua > 15 cm	0,7
Río o riachuelo, profundidad del agua > 15 cm.	0,5
Ríos o canales de tierra, profundidad del agua < 15 cm.	0,25 – 0,50

Fuente: Minagri, 2014

Paso N° 5. Cálculo del área de la sección transversal.

Consiste en dividir el ancho del río o canal, en partes iguales y medir la profundidad en cada punto para luego calcular la altura promedio utilizando la ecuación [22], para así poder calcular el área, esto en caso para ríos (ver figura 20).

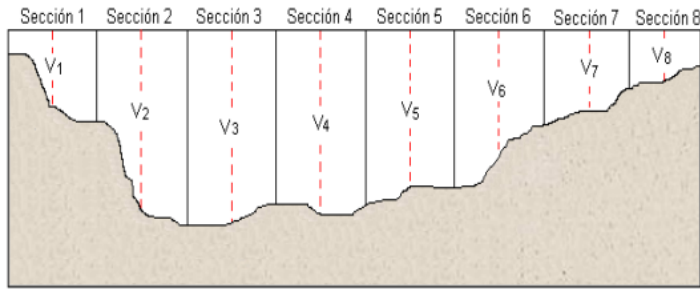


Figura 20. Esquema de la sección transversal para el cálculo del caudal
Fuente:Rojo ,s.f

$$h_p = \frac{h_1 + h_2 + h_3}{n} \dots\dots\dots \text{Ecuación [22]}$$

Donde:

h_p = Altura promedio, (m).

n = Cantidad de líneas verticales de la sección.

Para calcular el área de la sección transversal del cauce, se expresa mediante la ecuación [23] siguiente:

$$A = h_p \times a \dots\dots\dots \text{Ecuación [23]}$$

Donde:

A = Área, (m²).

h_p = Altura promedio, (m).

a = Ancho del río, (m).

Paso N° 6. Cálculo del caudal.

Con los datos obtenidos se procede a calcular el caudal, con la siguiente ecuación

[24]:

$$Q=A \times V_m \dots\dots\dots \text{Ecuación [24]}$$

Donde:

Q = Caudal, (m^3/s).

A = Área de la sección, (m^2).

V_m = Velocidad media, (m/s).

Formato del método de aforo con flotadores (ver apéndice A 4).

3.1.3. Cálculos de las persistencias

El análisis de distribución de probabilidades tiene como propósito asignar a cada caudal una probabilidad de que la descarga sea igualada o excedida. Estas probabilidades emergen de los registros históricos.

A través del tiempo diferentes autores han desarrollado fórmulas de probabilidades de excedencia ,pero de todos esos métodos propuestos la que mejor aprobación a tenido es la fórmula de Weibull.

A continuación se menciona diferentes métodos propuestos según (Chereque,1989,p.163):

California 1923: Ecuación [25] propuesta es:

$$\frac{m}{n} \dots\dots\dots \text{Ecuación [25]}$$

Hazen 1930: Ecuación [26] propuesta por es:

$$\frac{2 m-1}{2 n} \dots\dots\dots \text{Ecuación [26]}$$

Weibull 1939: Ecuación [27] que tiene mejor justificación estadística y su probabilidad de excedencia (P) es:

$$\frac{m}{n+1} \dots\dots\dots \text{Ecuación [27]}$$

Chegodayev 1955: Ecuación [28] propuesta es:

$$\frac{m - 0,30}{n + 0,40} \dots\dots\dots \text{Ecuación [28]}$$

Blom 1958: Ecuación [29] propuesta es:

$$\frac{m - \frac{3}{8}}{n + \frac{1}{4}} \dots\dots\dots \text{Ecuación [29]}$$

Tukey 1962: Ecuación [30] propuesta es:

$$\frac{3m - 1}{3n + 1} \dots\dots\dots \text{Ecuación [30]}$$

Gringorten 1963: Ecuación [31] propuesta es:

$$\frac{m - 0,44}{n + 0,12} \dots\dots\dots \text{Ecuación [31]}$$

Donde:

n = Número total de valores de la muestra.

m = Número de orden de cada dato.

“La fórmula más utilizada universalmente para el cálculo de persistencias es la de Weibull” (Chereque, 1989, p.162).

El procedimiento a seguir es el siguiente:

- ✓ Ordenar la serie de datos de caudales medias mensuales en columnas, donde cada columna, representa los datos correspondientes a un mes específico.
- ✓ En una columna a la izquierda de las series de datos, se coloca el número de orden de cada dato es denotada por (m), empezando desde 1 hasta “n”, donde “n” es el número total de valores de la muestra.
- ✓ En otra columna a la derecha con el número de orden y el número total de muestra, calculamos la probabilidad o frecuencia con la ecuación [27] de Weibull.

- ✓ En las siguientes columnas se coloca los datos de las descargas medias mensuales en una columna por mes.
- ✓ Se ordena en cada columna con datos de caudales medios de mayor a menor.
- ✓ Finalmente se calcula los datos que corresponden a un análisis de persistencia del 75 % y 95 % de probabilidad, en la columna de probalidades si no se encuentra el valor exacto del 75 % y 95 % ,se deberá interpolar con los valores adyacentes para calcular el valor. También se utiliza el programa Microsoft Excel para calcular directamente la persistencia mediante el comando percentil que generalmente se utiliza.
- ✓ En el gráfico se colocan en el eje de las abscisas los meses y en ordenadas el valor de la variable en estudio, dibujándose los puntos representativos del cuadro, uniéndose aquellos que tienen igual probabilidad.

“La persistencia de un determinado porcentaje, viene a ser las probabilidades de que el caudal sea igualado o superado” (Paucar y Manco, 2015, p.16).

El caudal empleado sin regulación (solo considera bocatomas de captación y no presas) en irrigaciones para efectos de estimar la asignación a los usuarios, es la que corresponde al 75 % de persistencia.

En el caso de proyectos sin regulación (solo considera bocatomas de captación y no presas), de abastecimientos de agua potable y centrales hidroeléctricas, se considera un porcentaje de persistencia del 95 % que en términos de caudal es más conservador que en el caso de irrigaciones, puesto que para la población y energía se necesita contar con una mayor seguridad.

3.2. Caso práctico

3.2.1. Aforo con el método del correntómetro

El aforo con correntómetro se desarrolló en el canal de captación de la planta de tratamiento de Chen Chen EPS Moquegua con fecha 6/11/2017 a horas: 5:22 pm.

Procedimiento a seguir:

Paso N° 1. Reconocimiento del lugar donde se va a realizar el aforo.

Paso N° 2. Muestra de materiales que se va a utilizar en el aforo (ver figura 21).

- ✓ Correntómetro
- ✓ Barra metálica
- ✓ Wincha
- ✓ Formato de registro

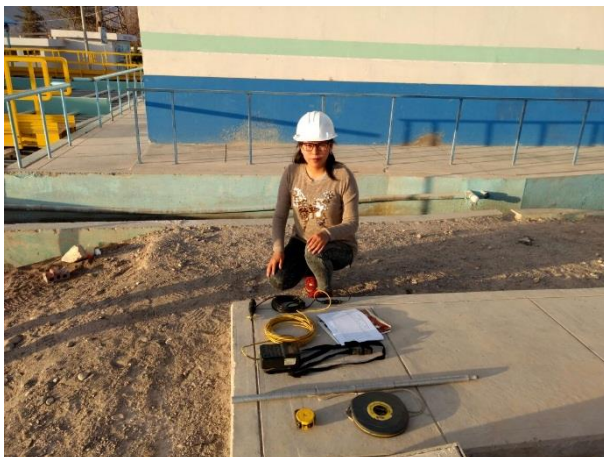


Figura 21. Muestra de materiales que se va a utilizar en el aforo

Paso N° 3. Medimos la sección del canal (ver figura 22).



Figura 22. Medición de la sección del canal

Ancho del canal: 1 m

Paso N° 4. Determinamos el tirante de agua (ver figura 23).



Figura 23. Determinación del tirante de agua

H = 0,18 m

Paso N° 5. Dividimos el ancho del canal en por lo menos en tres partes iguales según el ancho del canal (ver figura 24), para el cálculo de la velocidad en este caso se dividió a cada 0,333 m.



Figura 24. Subsecciones del canal

Paso N° 6. Determinamos el área hidráulica para sección dividida del canal.

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

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

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

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

Paso N° 7. El aforo con correntómetro deberá ser sumergido al 60 % del tirante de agua del canal.

$$18 \text{ cm} \times 0,6 = 10,8 \text{ cm}$$

Paso N° 8. Mediante el correntómetro medimos la velocidad en cada subsección en la parte central (ver figura 25,26 y 27), la cual se determinará tres veces la velocidad en cada punto de la sección del canal.

Sección 1 del canal:

$$V_{m1} = 0,371 \text{ m/s}$$

$$V_{m2} = 0,363 \text{ m/s}$$

$$V_{m3} = 0,387 \text{ m/s}$$



Figura 25. Midiendo la velocidad de la subsección 1 del canal

Sección 2 del canal:

$$V_{m1} = 0,539 \text{ m/s}$$

$$V_{m2} = 0,568 \text{ m/s}$$

$$V_{m3} = 0,592 \text{ m/s}$$



Figura 26. Midiendo la velocidad de la subsección 2 del canal

Sección 3 del canal:

$$V_{m1} = 0,485 \text{ m/s}$$

$$V_{m2} = 0,503 \text{ m/s}$$

$$V_{m3} = 0,482 \text{ m/s}$$



Figura 27. Midiendo la velocidad de la subsección 3 del canal

Paso N° 9. Sacamos promedio de la velocidad media de cada subsección.

Sección 1:

$$V_{\text{prom 1}} = \frac{(0,371 + 0,363 + 0,387)}{3}$$

$$V_{\text{prom 1}} = 0,374 \text{ m/s}$$

Sección 2:

$$V_{\text{prom 2}} = \frac{(0,539 + 0,568 + 0,592)}{3}$$

$$V_{\text{prom 2}} = 0,566 \text{ m/s}$$

Sección 3:

$$V_{\text{prom 3}} = \frac{(0,485 + 0,503 + 0,482)}{3}$$

$$V_{\text{prom 3}} = 0,49 \text{ m/s}$$

Paso N° 10. Cálculo del caudal parcial.

$$Q_1 = 0,374 \times 0,060$$

$$Q_1 = 0,22 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_2 = 0,566 \times 0,060$$

$$Q_2 = 0,034 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_3 = 0,49 \times 0,060$$

$$Q_3 = 0,029 \text{ m}^3/\text{s}$$

Paso N° 11. Cálculo del caudal total final.

$$Q = 0,022 + 0,034 + 0,029$$

$$Q = 0,085 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 85 \text{ l/s}$$

3.2.2. Aforo con el método de los flotadores

Se desarrolló en el canal de captación de la planta de tratamiento de Chen Chen EPS Moquegua con fecha 6/11/2017 a horas: 5:45 pm para realizar la comparación del cálculo del caudal con el método de aforo del correntómetro.

Procedimiento:

Paso N° 1. Reconocimiento del canal donde se va a aforar.

Paso N° 2. Se utilizó los siguientes materiales:

- ✓ Calculadora
- ✓ Wincha
- ✓ Formato de registro
- ✓ Cronómetro
- ✓ Botella
- ✓ Varilla para medir la profundidad

Paso N° 3. Medimos la longitud del canal por donde recorrerá el flotador (ver figura 28).

$$L = 3,25 \text{ m.}$$



Figura 28. Medición de la longitud del canal

Paso N° 4. Medimos el ancho inicial y final del canal.

Ancho inicial del canal:

$$A = 0,96 \text{ m}$$

Ancho final del canal:

$$A = 1,12 \text{ m}$$

Paso N° 5. Determinar el ancho promedio.

$$A = \frac{0,96 + 1,12}{2}$$

$$A = 1,04 \text{ m}$$

Paso N° 6. Determinar el tirante de agua (ver figura 29).

$$h = 0,18 \text{ m}$$



Figura 29. Determinación del tirante de agua

Paso N° 7. Determinamos el tiempo en que demora el flotador en llegar hasta el punto final B en el canal, realizamos tres repeticiones como mínimo, para después calcular el tiempo promedio (ver figura 30).



Figura 30. Medición del tiempo recorrido del flotador

$$t_1 = 5 \text{ s}$$

$$t_2 = 6,44 \text{ s}$$

$$t_3 = 5,31 \text{ s}$$

$$t_p = \frac{5 + 6,44 + 5,31}{3}$$

$$t_p = 5,582 \text{ s}$$

Paso N° 8. Cálculo del área de la sección del canal.

$$A = 1,04 \times 0,18$$

$$A = 0,187 \text{ m}^2$$

Paso N° 9. Cálculo de la velocidad superficial.

$$V_s = \frac{d}{t_p}$$

$$V_s = \frac{3,25}{5,583}$$

$$V_s = 0,582 \text{ m/s}$$

Paso N° 10. Determinamos la velocidad media, multiplicando por el factor de corrección.

$$V_m = V_s \times 0,80$$

$$V_m = 0,582 \times 0,80$$

$$V_m = 0,466 \text{ m/s}$$

Paso N° 11. Cálculo del caudal.

$$Q = V_m \times A$$

$$Q = 0,466 \times 0,187$$

$$Q = 0,087 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 87 \text{ l/s}$$

3.2.3. Análisis de persistencia de las descargas medias mensuales (m^3/s) del río Tumilaca - Estación de Chivaya en el periodo 1956 – 2016.

Para calcular la persistencia al 75 % y 95 % se realiza mediante el uso del programa Microsoft Excel es posible calcular directamente la persistencia mediante el comando percentil.

También se puede calcular la persistencia mediante interpolación (Weibull) con valores adyacentes, para calcular el valor.

Utilizando la información de las descargas medias mensuales, se ha realizado el análisis de persistencia al 75 % y 95 % de probabilidad. En la tabla A 1 siguiente se muestra la serie original de las descargas medias mensuales del río Tumilaca- Estación Chivaya y en la tabla A 2 se muestra el procedimiento del cálculo de las persistencias por el método de Weibull (ver apéndice A), también se ilustra los caudales medios mensuales al 75 % y 95 % de persistencia por interpolación (ver figura 31) como también se muestra los caudales medios mensuales al 75 % y 95% de persistencia por medio del comando percentil (ver figura 32) del río Tumilaca - Estación Chivaya.

Resultados obtenidos por el método de Weibull (interpolación), se muestra a continuación:

Caudales medios mensuales al 75% y 95% de persistencia.

Tabla 8
Caudales medios mensuales al 75 % de persistencia (Weibull)

Caudal	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
P (75 %)	0,640	1,403	1,100	0,707	0,581	0,537	0,508	0,522	0,493	0,439	0,428	0,486

Tabla 9
Caudales medios mensuales al 95 % de persistencia (Weibull)

Caudal	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
P (95 %)	0,392	0,458	0,570	0,483	0,375	0,308	0,337	0,211	0,323	0,296	0,294	0,336

A continuación se muestra el gráfico de los caudales medios mensuales al 75 % y 95 % de persistencia del río Tumilaca - Estación Chivaya (ver figura 31).

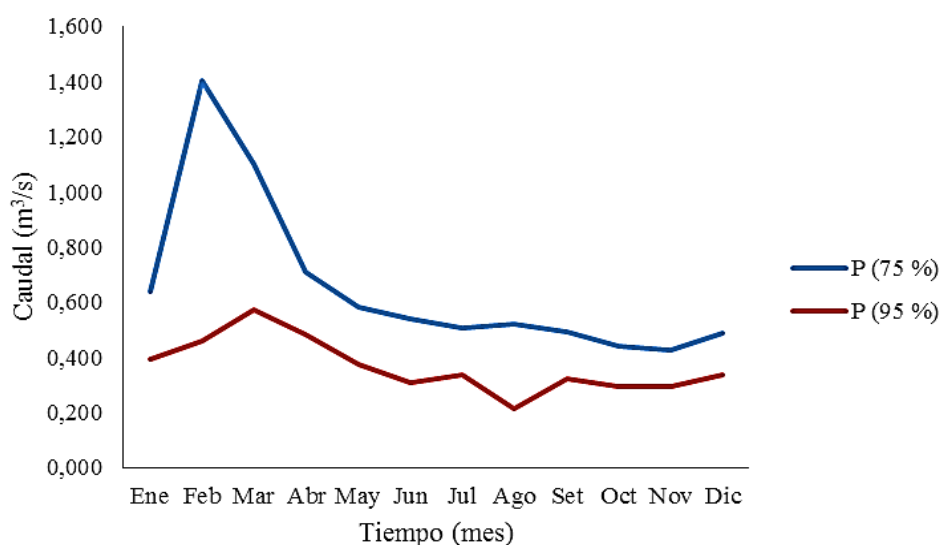


Figura 31. Caudales medios mensuales al 75 % y 95 % de persistencia del río Tumulaca - Estación Chivaya (m³/s) por el método de Weibull

Ahora por ejemplo si tenemos una demanda de agua de 0,10 m³/s, para una irrigación el caudal de diseño es el de una persistencia al 75 % el caudal más bajo del río Tumulaca según nuestro análisis se da en el mes de noviembre con un caudal de 0,428 m³/s, entonces quiere decir que nuestra oferta de agua es mayor que la demanda de los 0,10 m³/s.

Para el 95 % de persistencia que es recomendado para el diseño de abastecimientos de agua potable y centrales hidroeléctricas, el caudal más bajo se daría en el mes de agosto con un caudal de 0,211 m³/s que también es mayor a la demanda de agua. Este cálculo nos da un acercamiento de que es poco probable que se requiera de regulación en la cuenca.

A continuación se muestra los resultados obtenidos utilizando el comando percentil de caudales medios mensuales al 75 % y al 95 % de persistencia del río Tumilaca como se muestra en la tabla 10 y 11:

Tabla 10

Caudales medios mensuales al 75 % de persistencia (comando percentil)

Caudal	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
P (75 %)	0,644	1,422	1,135	0,725	0,581	0,564	0,526	0,523	0,496	0,445	0,440	0,488

Tabla 11

Caudales medios mensuales al 95 % de persistencia (comando percentil)

Caudal	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
P (95 %)	0,414	0,475	0,688	0,484	0,406	0,337	0,382	0,305	0,358	0,302	0,295	0,343

A continuación se muestra el gráfico de los caudales medios mensuales al 75 % y 95 % de persistencia del río Tumilaca - Estación Chivaya (ver figura 32).

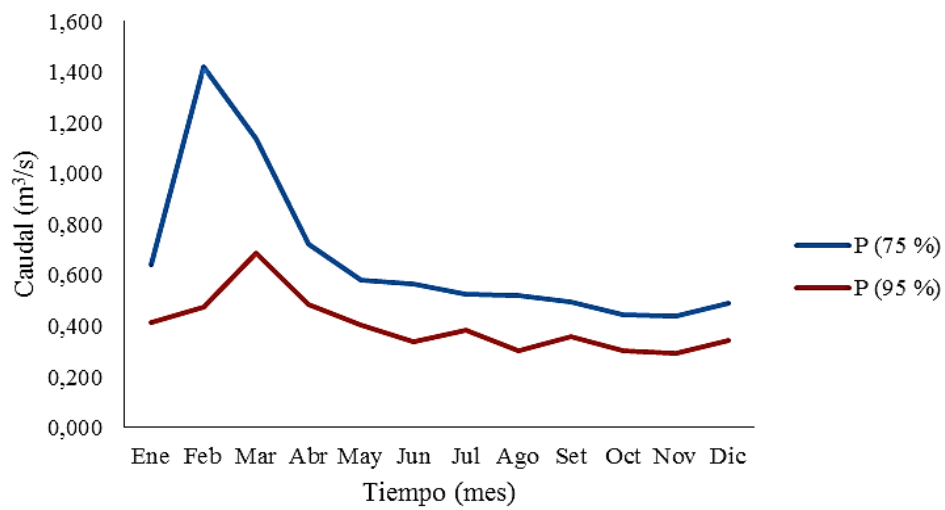


Figura 32. Caudales medios mensuales al 75 % y 95 % de persistencia del río Tumulaca-Estación Chivaya (m^3/s) por el comando percentil

3.3. Representación de resultados

Para determinar ambos datos el operador de aforo debe calcular el área de la sección transversal, las diferencias entre ambos deben hallarse en las velocidades que el operador de aforo y el instrumento de aforo obtienen.

El método de aforo con flotadores nos puede dar un buen resultado comparándolo con el método de aforo del correntómetro, el aforo con flotadores tiene más probabilidad de error ya que muchos datos dependen de la capacidad de quien efectúa el aforo, obteniéndose un resultado no tan exacto y entonces se deben realizar repeticiones consecutivas para poder tener un nivel de confiabilidad aceptable y así obtener un caudal con mayor precisión. El caudal que se obtuvo mediante el aforo con flotadores fue $Q = 87 \text{ l/s}$ que se realizó en el canal de captación de la planta de tratamiento de Chen Chen EPS Moquegua.

El resultado obtenido por el método del correntómetro es más real y aceptable con este método se halla el caudal más rápido ya que la velocidad se mide directamente para luego calcular el caudal una vez hallado el área de la sección transversal del canal . Se obtuvo un caudal de $Q = 85 \text{ l/s}$ que se realizó en el canal de captación de la planta de tratamiento de Chen Chen EPS Moquegua.

En el ejemplo del cálculo de las persistencias que muestra el registro de los caudales promedios mensuales del río Tumilaca-Estación Chivaya, se puede observar los promedios anuales a lo largo del registro de 61 años (1956 - 2016), y las respectivas persistencias al 75 % y 95 %. En el ejemplo aplicativo se utilizó dos formas de como calcular las persistencias por medio del método de Weibull (interpolación) y también por medio del comando percentil obteniéndose resultados similares y

generalmente en la práctica se utiliza el comando percentil como es en el caso de PERPG y ANA por ser un método práctico y sencillo de realizar.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Primera. Existen diferentes métodos de aforo de medición de caudales en cauces naturales o canales abiertos, cuya selección dependerá de las condiciones naturales de los cauces y de los instrumentos de medición con que se cuente. El cálculo de la persistencia es muy esencial para determinar la probabilidad de que el caudal sea igualado o superado, dependiendo del tipo de proyecto se determinará el porcentaje a utilizar.

Segunda. Con el método del correntómetro se pueden obtener mediciones instantáneas y más reales, a comparación del método de aforo con flotadores. Según la experiencia en campo, se concluye que el método de aforo con correntómetro es mucho más práctico y sencillo que el método de aforo con flotadores, dado que el tiempo que requiere para el cálculo

del caudal con el método de aforo con correntómetro es menor a comparación del método de aforo con flotadores.

Tercera. Con ambos métodos de aforo se obtienen resultados relativamente similares sin olvidar que el método de aforo con correntómetro es más pragmático y efectivo, por lo que se concluye que el método de aforo con flotadores es una buena alternativa cuando no se cuente con un correntómetro para la medición del caudal.

Cuarta. En la evaluación del cálculo de persistencias de las descargas medias mensuales del río Tumilaca - Estación Chivaya y para la serie histórica de los años 1956-2016, se ha desarrollado el análisis al 75 % y 95 % de persistencia del río en estudio con los métodos del comando percentil y el método de Weibull (Interpolación).

4.2. Recomendaciones

Primera. Las consideraciones a tener para la medición del caudal y obtener resultados efectivos es que el conducto del tramo a aforar debe estar libre de malezas, piedras grandes, para así evitar imprecisiones en la medición del caudal.

Segunda. Razones para no usar el correntómetro son cuando existe una excesiva velocidad del agua, presencia de muchos cuerpos extraños, cuando peligra el operador de aforo, o corre riesgo de daño el correntómetro; y siendo una buena opción el método de aforo con flotadores para determinar el caudal en dichas circunstancias.

Tercera. Cuando se utilice el método de los flotadores se requiere que la zona o el lugar donde se va a aforar sea recta para poder determinar las áreas de manera más exacta, así también se recomienda realizar la mayor cantidad de repeticiones con flotadores para tener una mayor confiabilidad y así se asemeje al resultado obtenido del caudal con el método de aforo con correntómetro.

Cuarta. Se recomienda trabajar con el método de Weibull siendo este método con resultados más exactos y universalmente utilizados en el análisis de las persistencias de descargas medias mensuales y con resultados similares al

método por el comando percentil siendo un método práctico y sencillo de realizar que también es un método recomendable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfaro, J. (1980). *Medidas de Agua en Canales por Medio del Aforador Sin Cuello*. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Santo Domingo. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=tM4qAAAAYAAJ&pg=PA27&lpg=PA27&dq=Pozos+tranquilizadores&source=bl&ots=Zt-AC4xpmN&sig=qzb04OAIorJSRA0I9ZcZw0KGIYI&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjQrpHyrKvYAhXNk-AKHWHIAjQQ6AEINzAH#v=onepage&q=Pozos%20tranquilizadores&f=false>
- Autoridad Nacional del Agua. (2015). *Resolución Jefatural n°250-2015-ANA Medición del agua en los sistemas hidráulicos comunes ubicados en el ámbito de las administraciones locales del agua*. Lima, Perú.
- Barreto, P. (2009). *Instructivo de medición del caudal*. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Ancash, Perú. Recuperado de http://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/research/protocols/INSTRUCTUVO_DE_MEDICI%C3%93N_DE_CAUDAL.pdf
- Basán, M. (2008). *Aforadores de corrientes de agua*. Santiago del Estero, Argentina.

Blog del Ingeniero Civil. *Aforo Gravimétrico*. Recuperado de
<http://www.ingenierocivilinfo.com/2010/05/aforo-gravimetrico.html>

Canyon Hydro. *Guide to Hydropower*. Recuperado de
http://www.canyonhydro.com/guide_sp/HydroGuide08_sp.html

Chamorro, G. (2011). *Estimación del Caudal por el Método de Flotadores*.
Dirección Regional de Lima, Perú.

Chereque, W. (1989). *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil*. Lima, Perú.
Recuperado de
<http://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/28689/hidrologia.pdf>

Hidalgo, L. (2017). *Guía Práctica para Aforar en canales y cauces Naturales, Utilizando instrumentación Básica y de Bajo costo*. Escuela Politécnica Nacional, Quito. Recuperado de
<http://bibdigital.epn.edu.ec/browse?type=author&value=Hidalgo+Tamayo%2C+Luis+Alfonso>

Marbello, R. (s.f). *Medidores en Régimen Crítico* .Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Recuperado de
<http://www.bdigital.unal.edu.co/12697/43/3353962.2005.Parte%208.pdf>

Mejía, E. & Rosas, G. (2016). *Cálculo de la velocidad media y el caudal con base en la velocidad superficial del agua en pequeñas corrientes*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas Facultad Tecnológica Ingeniería Civil Bogotá d.c. Recuperado de

<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3208/1/GISSEL%20PAOLA%20ROSAS%20AYALA%20-%202016.pdf>

Mendieta, J. (2014). *Medición del caudal, en acequia dentro del establo ecológico la Ponderosa en Villa el Salvador*. Universidad Peruana de Integración Global. Lima, Perú.

Ministerio de Agricultura. (2005). *Manual de Hidrometría*. Recuperado de <https://www.fing.edu.uy/imfia/cursos/hidrometria/material/hidrometria.pdf>

Ministerio de Agricultura. (2004). *Programa de Entrenamiento en Servicio (PES), Calibración de estructuras hidráulicas de medición*. PSI Proyecto subsectorial de Irrigación. Lima, Perú. Recuperado de http://www.psi.gob.pe/docs/%5Cbiblioteca%5Cmanuales%5Ccalibracion_estructuras.pdf

Ministerio de Agricultura y Riego. (2013). *Hidrometría, guía de capacitación y entrenamiento a las ouas*. Recuperado de <http://www.psi.gob.pe/wp-content/uploads/2017/01/Guia-de-Capacitacion-Entrenamiento-Hidrometria.pdf>

Ministerio de Agricultura y Riego. (2014). *Medición de agua*. Lima, Perú. Recuperado de <http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual5.pdf>

Ministerio de Agricultura y Riego. (2015). *Manual del Cálculo de Eficiencia para Sistema de Riego*. Lima, Perú.

Paucar, J. & Manco, R. (2015). *Propuesta de estrategias para la gestión integrada de los recursos hídricos en la unidad hidrográfica Santa Eulalia (Trabajo de Titulación para optar el título profesional de Ingeniero Agrícola)*. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú. Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2167/P10-M355-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Pedroza, E. (2001). *Serie autodidáctica de Medición Canal Parshall*. Comisión Nacional del Agua, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Recuperado de https://www.academia.edu/6210311/Canal_Parshall

Proyecto Especial Regional Pasto Grande. Equipo prestado correntómetro swoffer 3000. Moquegua, Perú.

Proyecto especial Regional Pasto Grande. *Descargas promedios mensuales del río Tumilaca-Estación Chivaya (m^3/s)*. Moquegua, Perú.

Rojas, Ó. (2006). *Manual básico para medir caudales*. Recuperado de <http://www.bivica.org/upload/medir-caudales-manual.pdf>

Rojo, J. (s.f). *Estudio Hidrológico e Hidráulico para Diseño de Punte*. Recuperado de http://julianrojo.weebly.com/uploads/1/2/0/0/12008328/modelacion_hidraulica.pdf

Skertchly, L. (1988). *Manual de Diseño de Estructuras de aforo*. Instituto Mexicano de Tecnología del agua. Recuperado de http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/825/IMTA_013.pdf?sequence=1&isAllowed=y