

# DETERMINACION DE CAUDAL Y TECNICAS DE MUESTREO EN AGUA SUPERFICIAL

Por Ferdinand Quiñones-Márquez  
y Senén Guzmán-Ríos

---

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY

Open-File Report 85-89

TECNICAS DE INVESTIGACION DE RECURSOS DE AGUA



San Juan, Puerto Rico  
1986

**DEPARTAMENTO DEL INTERIOR DE LOS ESTADOS UNIDOS**

**DONALD PAUL HODEL, Secretario**

**U.S. GEOLOGICAL SURVEY**

**Dallas L. Peck, Director**

---

**Para información adicional  
escriba a:**

**Chief, Caribbean District, WRD  
U.S. Geological Survey  
GPO Box 4424  
San Juan, Puerto Rico 00936  
(Teléfono: (809) 753-4414)**

## CONTENIDO

	Página
Introducción.....	1
Objetivo.....	1
Organización.....	1
Determinación del caudal.....	2
Objetivo.....	2
Medidores para determinar caudal.....	2
Medidor vertical.....	2
Medidores horizontales.....	5
Cuidado y mantenimiento de los medidores de velocidad Price.....	5
Equipo de suspensión.....	7
Varilla de suspensión.....	7
Accesorios.....	9
Contrapesos.....	9
Carretes de sondeo.....	10
Líneas de sondeo manuales.....	12
Líneas para medir ancho de secciones.....	13
Accesorios para determinar velocidad desde cables de suspensión y botes.....	13
Accesorios para aforos desde puentes .....	13
Metodología.....	17
Conceptos generales para determinar velocidad.....	17
Método de 6 décimas.....	17
Método de dos (2) puntos.....	18
Método de tres (3) puntos.....	18
Método de 2 décimas.....	19
Velocidad superficial.....	20
Selección de secciones transversales.....	20
Aforación.....	21
Vado.....	21
Determinación del ancho de la sección.....	21
Determinación del número de subsecciones.....	23
Preparación del equipo de aforo.....	23
Preparación de las notas del aforo.....	23
El aforo.....	25
Puentes y cables suspendidos.....	29
Aforación desde cables suspendidos.....	33
Aforación desde botes.....	38
Cómputo del caudal.....	40
Formulario de cómputos.....	44
Métodos para la recogida y análisis de muestras para calidad de agua superficial.....	45
Objetivo.....	45
Procedimiento en el campo.....	46
Selección del lugar.....	46
Ríos y quebradas.....	47
Lagos y embalses.....	48
Frecuencia de muestreos.....	49
Agua superficial.....	49
Equipos y materiales.....	50
Colectores de muestras integradores de profundidad.....	50
Colector de punto.....	50

## CONTENIDO

Equipos y materiales (Continuación)	
Colectores especiales.....	52
Envases.....	54
Documentación.....	54
Recogida de muestras y tratamiento.....	56
Método de recogida.....	56
Método de Incrementos Iguales de Caudal (IIC).....	56
Muestras en un punto.....	57
Método de Incrementos Iguales de Amplitud, IIA.....	58
Determinación del número de verticales necesarias.....	59
Preparación de muestras en el campo.....	60
Determinaciones en el laboratorio.....	60
Muestra 1.....	60
Muestra 2.....	61
Muestra 3.....	61
Muestra 4.....	61
Filtración.....	62
Preservación de muestras.....	63
Referencias.....	65

## ILUSTRACIONES

Figura 1. Fotografía ilustrando medidores de velocidad de flujo tipo Price.....	3
2. Dibujo ilustrando componentes del medidor de velocidad Price AA.....	4
3. Dibujo ilustrando componentes del medidor de velocidad Price Pígnico.....	4
4. Fotografía de tabla demostrando relación de calibración de tiempo, revoluciones y velocidad para un medidor modelo Price AA.....	6
5. Fotografía ilustrando varillas calibradas usadas para suspender los medidores de velocidad Price (A-varilla circular: B-varilla de ajuste vertical).....	7
6. Fotografía ilustrando contrapesos modelo "Columbus" en tamaños de 100, 75, 50, 30, y 15 libras (45.2, 33.9, 22.6, 13.6, y 6.8 kilogramos)..	9
7. Fotografía ilustrando conectores metálicos utilizados para suspensión de contrapesos.....	10
8. Fotografía ilustrando carrete de sondeo modelo "A"..	10
9. Fotografía ilustrando carrete de sondeo modelo "B-56".....	11
10. Fotografía ilustrando indicador automático de profundidad usado en carretes modelo "B".....	11
11. Fotografía ilustrando línea de sondeo manual en uso suspendiendo un medidor Price y el contrapeso.....	12
12. Fotografía ilustrando línea de sondeo manual.....	12
13. Fotografía ilustrando línea calibrada, regla plegadiza y cinta métrica utilizadas para medir el ancho de secciones transversales.....	13

## ILUSTRACIONES

14.	Diagrama ilustrando detalles del diseño y uso de la tabla de suspensión.....	14
15.	Fotografía ilustrando grúa de suspensión de tres ruedas modelo "A".....	15
16.	Fotografía ilustrando grúa de suspensión de cuatro ruedas modelo "E".....	15
17.	Fotografía ilustrando grúa de suspensión adaptada para uso en un vehículo motorizado utilizando energía eléctrica para operar el carrete de sondeo.....	16
18.	Gráfica ilustrando relación entre punto de observación de velocidad en una sección vertical y velocidad observada comparada con velocidad real.....	17
19.	Gráfica ilustrando método de dos puntos.....	18
20.	Gráfica ilustrando relación de las velocidades a 2 décimas de la profundidad total al promedio de 2 y 8 décimas de la profundidad total en el Río Grande de Manatí, cerca de Manatí, Puerto Rico.....	19
21.	Diagrama ilustrando técnica para medir el ancho de una sección transversal.....	21
22.	Dibujo ilustrando técnica para estimar el ángulo correcto entre la dirección del flujo y la sección transversal.....	22
23.	Fotografía ilustrando cubierta del formulario para anotar datos del aforo utilizado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos....	24
24.	Dibujo ilustrando sección transversal con profundidad cero en la orilla del agua.....	25
25.	Dibujo ilustrando distancia del punto inicial y profundidad anotadas en el formulario de aforos.....	26
26.	Dibujo ilustrando sección transversal con profundidad en la orilla distinta a cero y anotaciones en formulario de aforos.....	26
27.	Dibujo ilustrando formulario simplificado de aforos, ilustrando anotación de distancia, profundidad, método, revoluciones y tiempo.....	27
28.	Dibujo ilustrando observaciones de distancia (D), profundidad (P), revoluciones (R) y tiempo (T), obtenidos durante un aforo.....	28
29.	Dibujo ilustrando flujo en ángulo relativo a la sección transversal.....	29
30.	Fotografía y dibujo ilustrando formulario para anotaciones de aforo y su uso para estimar ángulos de corrección.....	30
31.	Dibujo ilustrando sección de entrada de un puente..	31
32.	Dibujo ilustrando uso de marcas en la línea de suspensión.....	33

## ILUSTRACIONES

Página

Figure 33.	Dibujo ilustrando desplazamiento del medidor de velocidad y contrapeso, resultando en medidas incorrectas de profundidad.....	34
34.	Dibujo ilustrando factores a considerar en la determinación de correcciones a la profundidad obtenida por una línea de sondeo sujeta a desplazamiento.....	35
35.	Dibujo ilustrando aforo desde un bote sostenido por una línea transversal.....	38
36.	Dibujo ilustrando técnica para aforos en ríos caudalosos utilizando métodos de tránsito y sextante.....	39
37.	Dibujo ilustrando conceptos básicos para el cómputo del caudal en una sección transversal.....	40
38.	Dibujo ilustrando subsecciones utilizadas para el cómputo del aforo.....	41
39.	Dibujo ilustrando determinación de distancias desde el punto inicial.....	41
40.	Dibujo ilustrando ejemplo de anotaciones en la primera subsección del aforo.....	42
41.	Dibujo ilustrando ejemplo de las primeras dos subsecciones de un aforo.....	41
42.	Dibujo ilustrando ejemplo de las últimas tres subsecciones de un aforo.....	43
43.	Fotografía ilustrando modelo del formulario de anotaciones y cómputos del aforo.....	44
44.	Fotografía ilustrando colectores de muestras manuales integradores de profundidad.....	51
45.	Fotografía ilustrando colectores manuales de punto. A, colector de fondo; B, colector de válvula de bola; C, colector modelo Foerst; D, colector modelo Río Colorado.....	51
46.	Fotografía ilustrando equipo y envase para muestreo en cuerpos de agua que contengan gases disueltos sujetos a aereación.....	53
47.	Fotografía ilustrando etiqueta para muestra de agua superficial.....	55
48.	Gráfica ilustrando por ciento acumulativo del caudal como función de la distancia desde el punto inicial del aforo en la sección transversal.	56
49.	Dibujo ilustrando sección transversal dividida equitativamente.....	58
50.	Gráfica ilustrando relación para determinar el número de verticales requeridas para obtener resultados dentro de un error estándar relativo aceptable. (Modificado de Jordan, 1968 y Hubbell, 1960.).....	59
51.	Fotografía ilustrando equipo usado en el filtrado A. trípode, B. bomba peristáltica.....	62

## TABLAS

	Página
Tabla 1. Profundidades mínimas y punto de suspensión para distintos contrapesos modelo "C".....	32
2. Relación entre velocidad vertical promedio en la vecindad de pilastras y velocidad promedio a una distancia $\underline{P}$ .....	32
3. Factores para corrección de la línea expuesta al aire, en pies, y la diferencia entre el largo vertical y largo inclinado para el ángulo indicado.....	36
4. Factores para corrección de la línea sumergida, en pies. Diferencia entre la distancia vertical y el largo inclinado para el ángulo indicado.....	37
5. Corrección a ser añadida al ángulo vertical en grados debido a desviación horizontal del flujo.....	38
6. Técnicas de conservación sugeridas.....	64

**GLOSARIO (Glossary)**

1. SERVICIO GEOLOGICO DE LOS ESTADOS UNIDOS - U.S. Geological Survey.
2. ESTADOS UNIDOS DE AMERICA - United States of America.
3. DEPARTAMENTO DEL INTERIOR - Department of the Interior.
4. DIVISION DE RECURSOS DE AGUA - Water Resources Division.
5. DISTRITO DEL CARIBE - Caribbean District.
6. INFORME DE INVESTIGACION DE RECURSOS DE AGUA - Water-Resources  
Investigations Report.
7. CAUDAL, FLUJO - Flow.
8. TECNICAS - Techniques.
9. DESCARGA, ESCORRENTIA - Discharge.
10. AFORO, MENSURA - Measurement.
11. CONTENIDO - Contents.
12. ILUSTRACIONES - Illustrations.
13. TABLAS - Tables.
14. MEDIDORES DE VELOCIDAD TIPO AA - Current Type AA METER.
15. MEDIDORES DE VELOCIDAD PRICE PIGMEO - Current Price Pigmy Meter.
16. VARILLA PARA SUSPENDER MEDIDOR DE VELOCIDAD A VADO - Wading rod.
17. CONTRAPESOS MODELO COLUMBUS - Counter Weights - Columbus Type.
18. CARRETE DE SONDEO - Sounding reel.
19. LINEA DE SONDEO MANUAL - Handline.
20. LINEA CALIBRADA - Tag-line reel.
21. GRUA DE SUSPENSION - Suspension crane.
22. COLECTORES DE MUESTRAS DE AGUA - Water samplers.

# DETERMINACION DE CAUDAL Y TECNICAS DE MUESTREO EN AGUAS SUPERFICIALES

Por  
**Ferdinand Quiñones-Márquez**  
y **Senén Guzmán-Ríos**

## INTRODUCCION

### Objetivo

El objetivo de este manual es presentar instrucciones detalladas sobre procedimientos para la determinación del caudal o flujo del agua en canales naturales y artificiales. Igualmente, se presentan técnicas para la recogida de muestras en cuerpos de agua superficial (ríos, quebradas y lagos).

La necesidad de documentar esas técnicas en un manual simple y práctico es evidente. Existe un sinnúmero de publicaciones y manuales que describen esas técnicas, pero desafortunadamente pocos en idioma español. El desarrollo de América Latina, el Caribe, y otros países de habla hispana, redundará en el uso acelerado de los recursos hidráulicos. La optimización del uso de los recursos de agua dependerá en parte de información básica relativa a la cantidad y calidad de las aguas. La validez de dicha información depende a su vez de las técnicas utilizadas para su recogida.

Las técnicas aquí presentadas han sido definidas a través de más de 100 años por científicos e hidrólogos del Servicio Geológico

de los Estados Unidos de América, así como por otras organizaciones tales como el Servicio de Conservación de Suelos, el Cuerpo de Ingenieros del Ejército, la Agencia de Protección Ambiental, y el Servicio Forestal Federal.

## ORGANIZACION

Este manual está organizado en dos secciones. La primera, cubre las técnicas utilizadas en el campo para la determinación del flujo o caudal, así como procedimientos para el cómputo matemático del caudal de agua. En adición, se ilustran instrumentos, equipos y materiales utilizados en la determinación del caudal. La segunda sección describe los procedimientos, los instrumentos, materiales y equipos utilizados para la recogida de muestras de agua representativas del caudal. En esta fase, no se describen las pruebas físicas y químicas que deben llevarse a cabo inmediatamente después de la recogida de muestras. Dichas pruebas y procedimientos serán incluidas en un volumen futuro.

Se incluye una lista de referencias que contiene detalles adicionales de los procedimientos descritos. El lector interesado puede dirigirse a las fuentes de información incluidas al final de este manual.

## DETERMINACION DEL CAUDAL

### Objetivo

El caudal, o flujo de agua, se define como el volumen por unidad de tiempo. Unidades típicas de medida incluyen: pies cúbicos por segundo ( $\text{p}^3/\text{s}$ ); galones por minuto ( $\text{gal}/\text{m}$ ); litros por segundo ( $\text{l}/\text{s}$ ); y metros cúbicos por segundo ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

El caudal puede medirse o determinarse en cualquier punto de un canal natural o artificial. Sin embargo, es importante que el punto o sección transversal para medir el flujo sea seleccionado cuidadosamente, de acuerdo a los criterios descritos más adelante.

Existen métodos directos e indirectos para determinar el caudal. Este manual se limita a describir el método directo utilizando medidores de velocidad del flujo. El lector es referido a Rantz y otros (1982), si su interés incluye otros métodos directos o indirectos. El medidor de velocidad de flujo es la práctica convencional utilizada bajo diversas condiciones del caudal. Los resultados obtenidos con los medidores de velocidad del flujo son generalmente excelentes, excepto cuando el flujo es extremadamente turbulento. En esos casos, representados por velocidades que normalmente exceden 8-10 pies por segundo ( $\text{p}/\text{s}$ ), la turbulencia produce errores significativos.

### Medidores Para Determinar Caudal

Los medidores o molinetes de aforo típicos para medir velocidad de la corriente se basan en la relación entre la velocidad del agua y la rotación del instrumento en torno a un eje central. Cuando

se coloca un medidor de flujo en un punto del río o quebrada, éste rotará en proporción a la velocidad del agua. Si contamos el número de revoluciones en un período de tiempo definido (usualmente de 40 a 60 segundos), puede determinarse la velocidad del agua en el punto de observación.

El número de revoluciones puede determinarse de varios modos:

1. Visualmente, si el agua es transparente y marcando un punto de referencia en el rotor del instrumento.

2. Eléctricamente, a través de un circuito que se cierra cada vez que el rotor completa una revolución. Los puntos de contacto en la cámara del rotor completan el circuito eléctrico en cada revolución (algunos instrumentos vienen adaptados para que el circuito se complete cada 5 revoluciones).

El cierre del circuito puede determinarse a través de un sistema de audífonos conectados al instrumento. El número de revoluciones en el tiempo deseado puede contarse mentalmente o grabarse en un instrumento electrónico. El tiempo transcurrido se mide con un cronómetro.

Existen dos categorías generales de medidores de flujo a base de la posición del eje del rotor: verticales y horizontales.

Medidor vertical: El modelo más común de medidor de flujo vertical es el "Price". El medidor es generalmente utilizado por el Servicio Geológico. Existen dos submodelos dentro de la categoría Price, de los cuales el más común es el Price AA (fig. 1).



































































































































