

# 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 Pígameo.....	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).

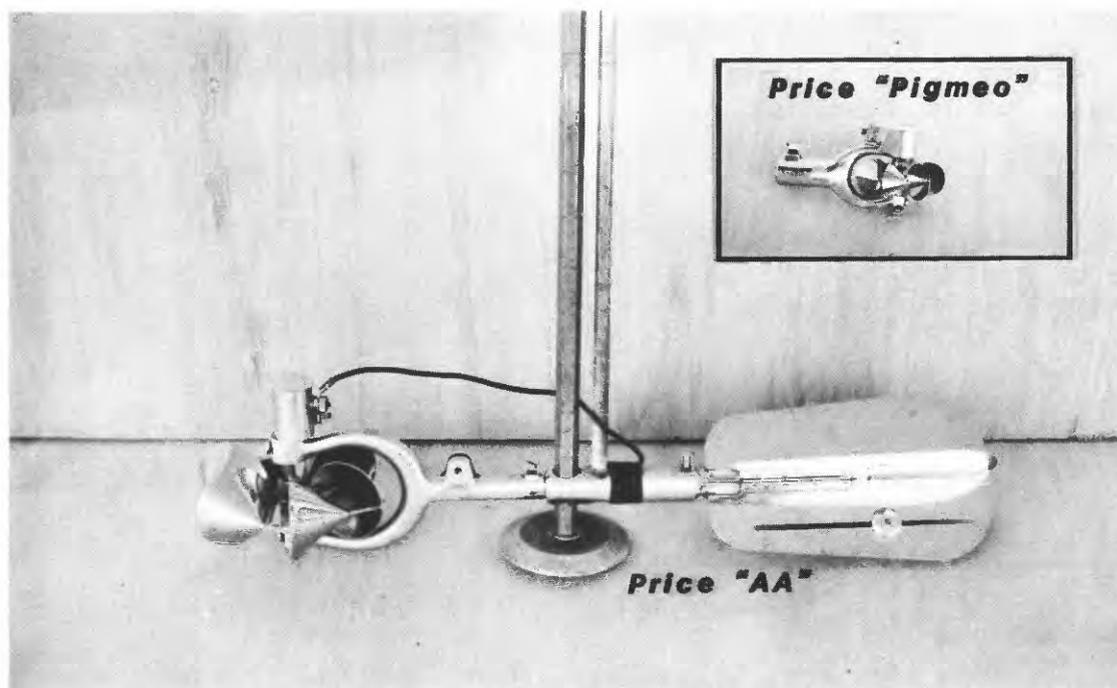


Figura 1.--Medidores de velocidad de flujo tipo Price.

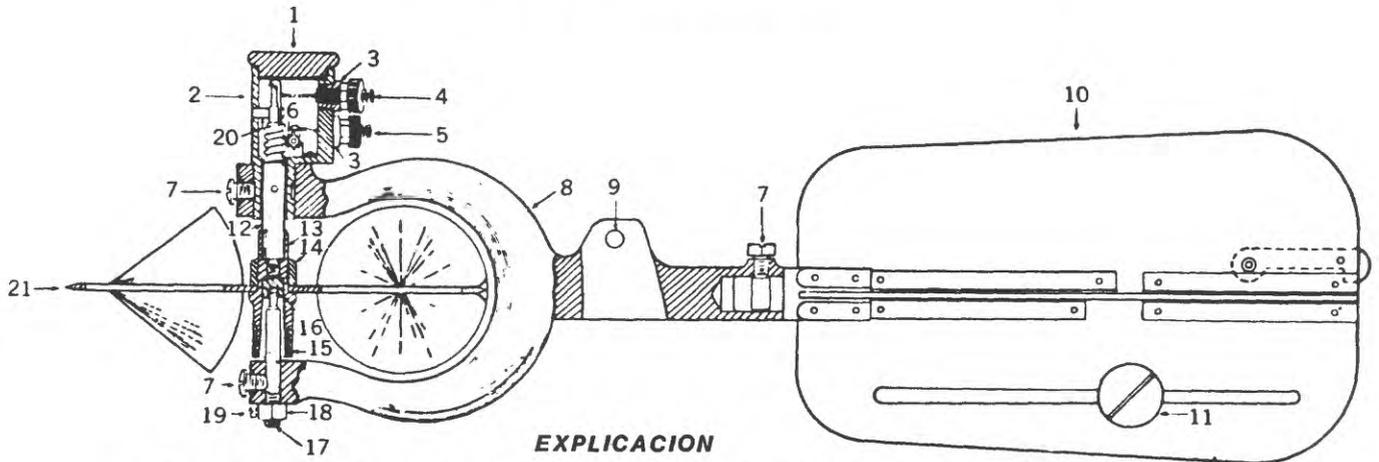
### Medidores Para Determinar Caudal- Continuación

El Medidor Price AA tiene un rotor de 3 pulgadas (7.62 cm) de diámetro y un eje de 2 pulgadas (5.0 cm) de alto (fig. 2). El rotor se compone de seis capachos de forma cónica que giran en torno al eje central, apoyadas por una cajuela de almohadillas de acero. Una cámara de contacto sobre el rotor contiene el alambre de contacto que permite contar eléctricamente las revoluciones. El Price AA además tiene en la cámara de contacto un reductor de revoluciones que permite el cierre del circuito eléctrico cada cinco revoluciones. Una "cola" o aleta metálica ayuda a mantener el medidor orientado paralelo a la dirección del flujo.

El Price AA también es manufacturado en un modelo para velocidades bajas [menores de 1.0 p/s (0.3 m/s)]. Dicho modelo no contiene el contacto de cinco revoluciones, eliminando gran parte de la fricción del instrumento a velocidades bajas.

El segundo modelo de molinete comúnmente disponible es el "Price-Pigeo". El Pigeo, como comúnmente se le conoce, es simplemente una reducción a escala del Price AA, con un tamaño de dos quintas partes (2/5) del original (figs. 1 y 3). El Pigeo contiene solamente el contacto de revoluciones sencillos y se utiliza únicamente suspendido de una barra rígida de metal (ver sección Accesorios) y en profundidades que no excedan 2.5 p (0.8 m).

## Medidores Para Determinar Caudal-Continuación

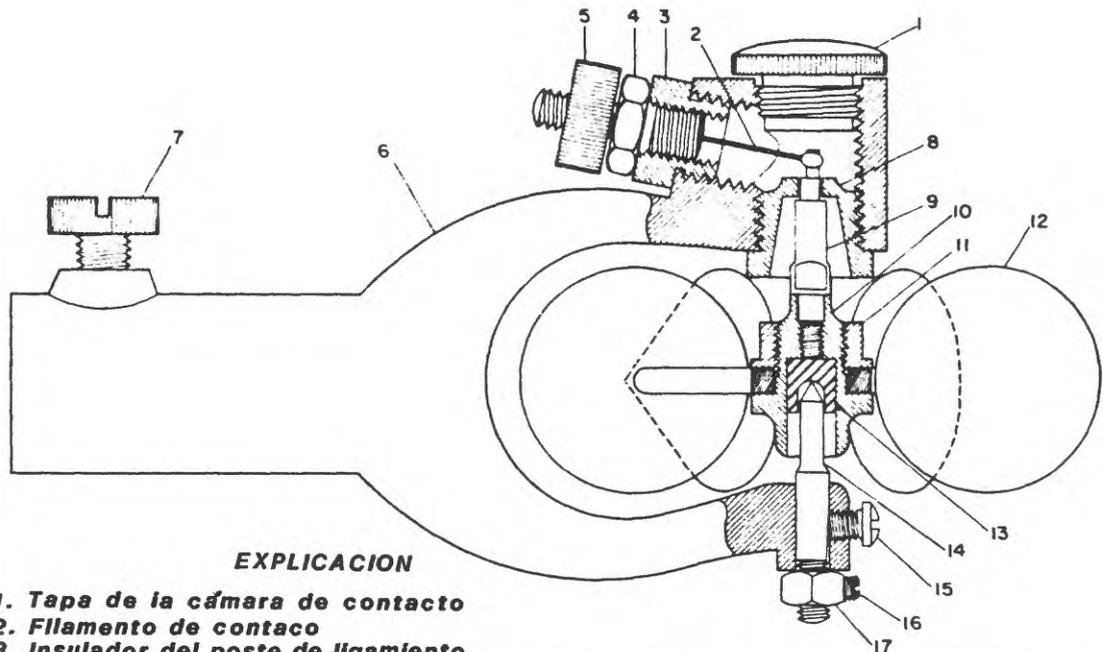


### EXPLICACION

1. Tapa de la cámara de contacto
2. Cámara de contacto
3. Cojinete insulador del contacto del poste de ligamiento
4. Poste de ligamiento sencillo
5. Poste de ligamiento penta
6. Engranaje penta
7. Tornillos fijadores
8. Yugo
9. Tornillo para el soporte colgante
10. Cola

11. Contrapeso estabilizador
12. Eje
13. Cubo de la rueda de copas
14. Tuerca fijadora de la rueda de copas
15. Tuerca que libera la rueda de copas
16. Cojinete del pivote.
17. Pivote
18. Tuerca de ajustar el pivote
19. Tornillo fijador de la tuerca del pivote
20. Asa de soporte para el eje
21. Rueda de copas

Figura 2.--Componentes del medidor de velocidad Price AA.



### EXPLICACION

1. Tapa de la cámara de contacto
2. Filamento de contacto
3. Insulador del poste de ligamiento
4. Cuerpo del poste de ligamiento
5. Tuerca del poste de ligamiento
6. Yugo
7. Tornillo fijador del yugo
8. Cojinete superior
9. Eje
10. Cubo de la rueda de copas

11. Tuerca fijadora de la rueda de copas
12. Rueda de copas
13. Cojinete del pivote
14. Pivote
15. Tornillo fijador del pivote
16. Tornillo fijador del pivote
17. Tuerca ajustadora del pivote

Figura 3.--Componentes del medidor de velocidad Price Pigmeo.

Los medidores Price no son precisos cuando se colocan a una distancia de pocas pulgadas de una pared vertical, cerca de la superficie, o cerca del fondo del canal. El aforador (persona que mide flujos de agua) normalmente evita utilizar el medidor en esas circunstancias.

Medidores horizontales: El medidor de flujo de eje horizontal más común es el "Ott", utilizado mayormente en Europa, Asia y Latinoamérica. Pruebas realizadas por el Servicio Geológico indican que el medidor Ott es tan preciso como el Price. La experiencia del Servicio Geológico es que el medidor Price es más duradero y confiable (menos fallas mecánicas) que el Ott.

Recientemente, el Servicio Geológico ha desarrollado medidores de velocidad que utilizan principios de óptica así como electromagnética. Los medidores ópticos están diseñados para medir velocidad en la superficie, sin necesidad de ningún contacto con el agua. La velocidad en la superficie no representa necesariamente la velocidad promedio en la sección transversal. Debido a dicho principio, así como el costo de los medidores ópticos, éstos no se consideran un sustituto de los convencionales.

Los medidores de velocidad electromagnéticos utilizan el principio de deflexiones en un campo magnético producidas por la componente de velocidad del agua alrededor del instrumento. Al igual que los instrumentos ópticos miden velocidad directamente. El alto costo de los medidores electromagnéticos, así como su tendencia a acumular depósitos de fango y algas sobre la superficie del electrodo magnético, limitan su uso.

## Cuidado y Mantenimiento de los Medidores de Velocidad Price

Los medidores de velocidad son instrumentos sensitivos que requieren cuidado y mantenimiento preventivo. La precisión y calidad de las determinaciones de velocidad, y por ende del caudal, dependen de que el instrumento funcione en condiciones óptimas.

El aforador conciente de la necesidad de mantener su instrumento en perfectas condiciones, observa los siguientes pasos:

1. Inspecciona los capachos, el eje, la cámara y el soporte de los capachos antes y después de cada aforo. Los capachos deberán estar perfectamente formados, sin abolladuras. El eje central deberá estar derecho y sin indentaciones. El soporte de los capachos deberá estar derecho y el extremo en forma de punta afilado al tacto. La cámara central deberá estar limpia de sedimentos y el alambre de contacto deberá rozar el eje central al mínimo, para limitar la fricción.

2. Previo al aforo, conduce una prueba de rotación del instrumento. El procedimiento para dicha prueba se describe en el manual "Calibration and Maintenance of Vertical Axis...." (Smoot and Novak, 1968).

3. Limpia y aceita el instrumento diariamente cuando está en uso. Si el río o quebrada contiene sedimento suspendido, el instrumento debe limpiarse y aceitarse inmediatamente después del aforo.

**Cuidado y Mantenimiento  
de los Medidores de Velocidad Price-  
Continuación**

4. Al terminar el aforo, y previo a limpiar el medidor, lleva a cabo una segunda inspección y prueba estática de velocidad. Dicha inspección y prueba revelará si el instrumento sufrió daños durante el aforo. Esa información podría ayudar a corregir o desestimar el aforo.

5. Repara o reemplaza los capachos y el soporte cuando detecta cualquier daño o funcionamiento inadecuado en el instrumento.

La calibración de los medidores de velocidad permite establecer una relación entre la velocidad angular del rotor (rotaciones en un tiempo definido) y la velocidad del agua. La calibración puede obtenerse en un estanque estático moviendo el medidor a una velocidad constante. Variando la velocidad a la que se mueve el medidor en el estanque, se definen puntos variables para una relación confiable.

Los resultados de una calibración típica se ilustran en la figura 4. La tabla de datos muestra una calibración para un medidor Price AA en una amplitud de velocidades de 0.11 a 19 p/s (0.03 a 5.8 m/s). Esa amplitud de velocidades incluye la mayoría de las condiciones posibles en el campo.

DEPARTAMENTO DEL INTERIOR FEDERAL DE ESTADOS UNIDOS  
U.S. GEOLOGICAL SURVEY, DIVISION DE RECURSOS DE AGUA  
TABLA DE DATOS ESTANDAR PARA EL MEDIDOR DE VELOCIDAD PRICE "TIPO AA"  
ECUACIONES: V= 2.140N + 0.015 (2.155) V= 2.160N + 0.005      TABLA DE DATOS NUM. \_\_\_\_\_ X

Tiempo en Segundos	VELOCIDAD EN PIES POR SEGUNDO									Tiempo en Segundos	VELOCIDAD EN PIES POR SEGUNDO									Tiempo en Segundos	
	Revoluciones										Revoluciones										
	3	5	7	10	15	20	25	30	40		50	60	80	100	150	200	250	300	350		
40	.176	.282	.390	.550	.818	1.09	1.35	1.62	2.15	40	40	2.69	3.23	4.30	5.38	8.07	10.76	13.44	16.13	18.82	40
41	.172	.276	.380	.537	.798	1.06	1.32	1.58	2.10	41	41	2.63	3.15	4.20	5.25	7.87	10.49	13.11	15.74	18.36	41
42	.168	.270	.372	.525	.779	1.03	1.29	1.54	2.05	42	42	2.56	3.08	4.10	5.12	7.68	10.24	12.80	15.36	17.92	42
43	.164	.264	.363	.513	.762	1.01	1.26	1.51	2.01	43	43	2.50	3.00	4.00	5.00	7.50	10.00	12.50	15.00	17.50	43
44	.161	.258	.355	.501	.746	.988	1.23	1.47	1.96	44	44	2.45	2.94	3.91	4.89	7.33	9.78	12.22	14.66	17.11	44
45	.158	.253	.348	.491	.728	.966	1.20	1.44	1.92	45	45	2.39	2.87	3.83	4.78	7.17	9.56	11.95	14.34	16.73	45
46	.156	.248	.341	.480	.713	.945	1.18	1.41	1.88	46	46	2.34	2.81	3.74	4.68	7.02	9.35	11.69	14.03	16.36	46
47	.152	.243	.334	.470	.698	.926	1.15	1.38	1.84	47	47	2.29	2.75	3.66	4.58	6.87	9.15	11.44	13.73	16.02	47
48	.149	.238	.327	.461	.684	.907	1.13	1.35	1.80	48	48	2.24	2.69	3.59	4.48	6.72	8.96	11.20	13.44	15.68	48
49	.148	.233	.321	.452	.670	.888	1.11	1.33	1.76	49	49	2.20	2.64	3.51	4.39	6.59	8.78	10.97	13.17	15.36	49
50	.143	.229	.315	.443	.657	.871	1.09	1.30	1.73	50	50	2.18	2.58	3.44	4.30	6.46	8.50	10.56	12.90	15.06	50
51	.141	.225	.309	.435	.644	.854	1.06	1.27	1.69	51	51	2.11	2.53	3.38	4.22	6.33	8.44	10.64	12.65	14.76	51
52	.138	.221	.303	.427	.632	.838	1.04	1.25	1.68	52	52	2.07	2.49	3.31	4.14	6.21	8.27	10.34	12.41	14.48	52
53	.136	.217	.298	.419	.621	.823	1.02	1.23	1.63	53	53	2.03	2.44	3.25	4.06	6.09	8.12	10.15	12.17	14.20	53
54	.134	.213	.292	.411	.609	.808	1.01	1.20	1.60	54	54	2.00	2.39	3.19	3.99	5.98	7.97	9.96	11.95	13.94	54
55	.132	.210	.287	.404	.599	.793	.988	1.18	1.57	55	55	1.96	2.36	3.13	3.91	5.87	7.82	9.78	11.73	13.69	55
56	.130	.206	.282	.397	.588	.779	.970	1.18	1.54	56	56	1.93	2.31	3.08	3.84	5.76	7.68	9.60	11.52	13.44	56
57	.128	.203	.278	.390	.578	.766	.954	1.14	1.52	57	57	1.89	2.27	3.02	3.78	5.66	7.55	9.43	11.32	13.21	57
58	.126	.199	.273	.384	.568	.753	.937	1.12	1.49	58	58	1.86	2.23	2.97	3.71	5.56	7.42	9.27	11.13	12.98	58
59	.124	.196	.269	.378	.559	.740	.922	1.10	1.47	59	59	1.83	2.19	2.92	3.65	5.47	7.29	9.12	10.94	12.76	59
60	.122	.193	.266	.372	.550	.728	.907	1.09	1.44	60	60	1.80	2.15	2.87	3.59	5.38	7.17	8.96	10.76	12.55	60
61	.120	.190	.261	.366	.541	.717	.892	1.07	1.42	61	61	1.77	2.12	2.82	3.53	5.29	7.05	8.82	10.58	12.34	61
62	.119	.188	.257	.360	.533	.705	.878	1.05	1.40	62	62	1.74	2.08	2.78	3.47	5.21	6.94	8.67	10.41	12.14	62
63	.117	.186	.253	.355	.525	.694	.864	1.03	1.37	63	63	1.71	2.06	2.74	3.42	5.12	6.83	8.54	10.24	11.95	63
64	.115	.182	.249	.349	.517	.684	.851	1.02	1.35	64	64	1.69	2.02	2.69	3.36	5.04	6.72	8.40	10.08	11.76	64
65	.114	.180	.245	.344	.509	.673	.838	1.00	1.33	65	65	1.66	1.99	2.65	3.31	4.97	6.62	8.27	9.93	11.58	65
66	.112	.177	.242	.339	.501	.663	.826	.988	1.31	66	66	1.64	1.96	2.61	3.26	4.89	6.52	8.15	9.78	11.41	66
67	.111	.176	.239	.334	.494	.654	.814	.973	1.29	67	67	1.61	1.93	2.57	3.21	4.82	6.42	8.03	9.63	11.24	67
68	.109	.172	.235	.330	.487	.644	.802	.959	1.27	68	68	1.59	1.90	2.53	3.17	4.75	6.33	7.91	9.49	11.07	68
69	.108	.170	.232	.325	.480	.635	.790	.945	1.26	69	69	1.57	1.88	2.50	3.12	4.68	6.24	7.79	9.35	10.91	69
70	.107	.168	.229	.321	.474	.626	.779	.932	1.24	70	70	1.54	1.85	2.46	3.08	4.61	6.15	7.68	9.22	10.76	70
	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>30</b>	<b>40</b>			<b>50</b>	<b>60</b>	<b>80</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>200</b>	<b>250</b>	<b>300</b>	<b>350</b>	

**Figura 4.--Relación de calibración de tiempo, revoluciones y velocidad para un medidor modelo Price AA.**

La ecuación en el extremo superior de la tabla representa una relación general entre revoluciones y tiempo (R es la razón de revoluciones a tiempo). Esa ecuación puede utilizarse para ocasiones en que las revoluciones o el tiempo determinados por el aforador no se incluyan en la tabla general.

Anteriormente, era necesario calibrar cada medidor periódicamente luego de su manufactura o cuando sufría daños considerables en el rotor. El reemplazo del rotor de capachos conlleva implementar una nueva tabla de calibración. La tecnología moderna ha permitido la fabricación de piezas uniformes que utilizan la misma calibración para todos los instrumentos del mismo tipo. Mientras el aforador lleve a cabo el programa de mantenimiento preventivo artes descrito, esto garantizará la calidad de sus determinaciones de velocidad.

### Equipo de Suspensión

Los medidores para determinar velocidad, con excepción de los ópticos, están en contacto directo con el agua. Ese contacto se logra suspendiendo el instrumento

por medio de una varilla metálica rígida o un cable de acero flexible. Ambos sistemas también llevan a cabo la función de ayudar al aforador a determinar la profundidad del agua.

Varilla de Suspensión: Existen dos modelos de varilla de suspensión: las de ajuste vertical y las circulares (fig. 5). La varilla de suspensión de ajuste vertical es preferida por la mayor parte de los aforadores, aunque la circular es preferible para ríos cubiertos con una capa de hielo. En adición, la varilla circular puede separarse en segmentos de 1 pie (0.3 m) de longitud.

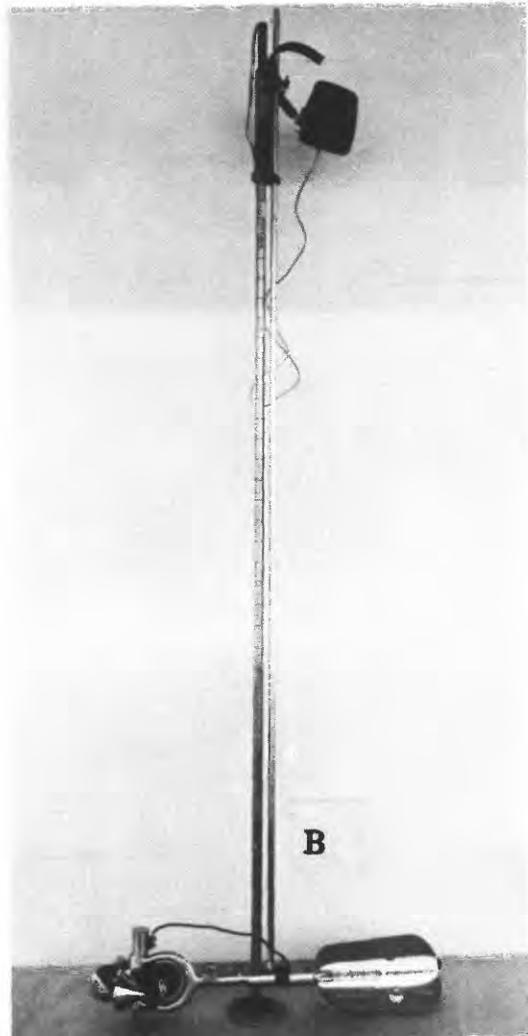


Figura 5.--Varillas calibradas usadas para suspender los medidores de velocidad Price: A - varilla circular y B - varilla de ajuste vertical.

## Equipo de Suspensión- Continuación

La varilla de ajuste vertical consta de dos segmentos independientes unidos para permitir el deslizamiento del más fino contra el que contiene la base que descansa en el fondo del cauce. La varilla que contiene la base está calibrada a través de su extensión total en décimas de pie (o centésimas de metro) para permitir al aforador determinar la profundidad del agua. El deslizador permite al aforador mover el medidor verticalmente hasta colocarlo en el punto de observación (profundidad) deseado. El deslizador incluye en la parte superior una escala de profundidad. Cuando se ajusta el deslizador a que apunte en dicha escala la profundidad del agua, el medidor queda automáticamente suspendido a una profundidad igual a 6 décimas de la profundidad total.

Como se explica más adelante, esta profundidad es comúnmente utilizada en la mayor parte de los aforos desde la superficie. Por ejemplo, si la profundidad del río es 3.0 p (0.9 m), colocando el indicador del deslizador en esta profundidad, suspenderá el metro a 1.8 p (0.55 m) bajo la superficie ( $3.0 \text{ p} \times 0.6 = 1.8 \text{ p}$ ).

La suspensión del medidor a 6 décimas de la profundidad total (desde la superficie) es equivalente 4 décimas de la profundidad desde el fondo del cauce. Debido a esa característica, el deslizador calibrado puede utilizarse para obtener suspensiones del medidor a 2 y 8 décimas (0.2 y 0.8) de la profundidad (desde el fondo del cauce).

1. Para 0.2, luego de medir la profundidad, se multiplica por dos, ajustando el deslizador a este número. El medidor quedará automáticamente a 0.2 de la profundidad real. Ej., si la profundidad es 3.0 p, multiplicando por dos = 6.0 p. Colocando el deslizador a 6.0 p, el medidor quedará suspendido a 3.6 p bajo la superficie ajustada de 6.0 p ( $6.0 \times 0.6 = 3.6$ ). Esto es equivalente a 2.4 p desde el fondo real, o 0.6 p bajo la superficie (o 0.2 de la profundidad de 3.0 p).

2. En el caso que se desee suspender el medidor a 8 décimas de la profundidad desde la superficie se divide la profundidad total por dos. Calibrando el deslizador al nuevo valor, se obtiene la suspensión deseada. Ejemplo, si la profundidad es 3.0 p, dividiendo por dos se obtiene 1.5 p. El deslizador suspenderá el medidor a 2.4 p desde la superficie. Esta profundidad (2.4 p) es 8 décimas de la profundidad total ( $3.0 \text{ p} \times 0.8 = 2.4$ ).

La varilla circular difiere de la de ajuste vertical en que no tiene el deslizador automático que permite las suspensiones indicadas. Un deslizador manual cercano al medidor permite al aforador suspenderlo a la profundidad deseada. El aforador calcula dicha profundidad luego de determinar la profundidad total en las calibraciones de la varilla (calibrada en décimas de pies o centésimas de metro). La mayor desventaja de la varilla circular es la necesidad de extraer el medidor del agua, luego de determinar la profundidad total para deslizarlo a la suspensión deseada. El ajustador de la varilla vertical permite al aforador hacer estos cambios desde su posición de aforo.

## ACCESORIOS

Contrapesos: Las varillas de suspensión resultan inadecuadas cuando el cauce es muy profundo o la velocidad del agua rápida. En estas condiciones, el aforo se lleva a cabo desde un puente, bote o un cable para suspensión. El medidor se suspende a través de un cable de acero utilizando un contrapeso para mantenerlo estacionario en la corriente.

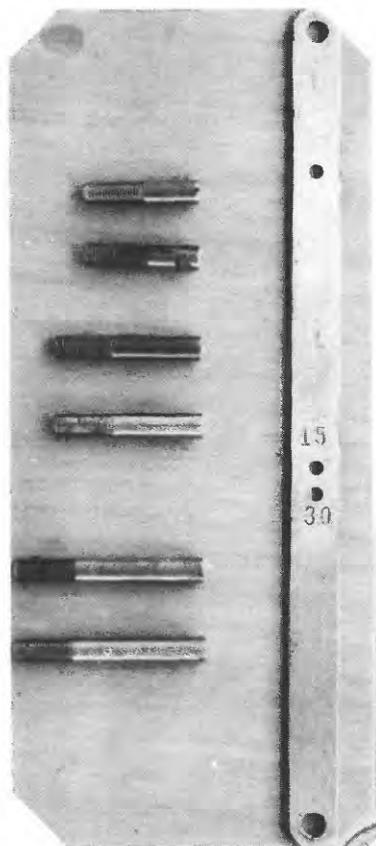
En los Estados Unidos, los contrapesos utilizados son modelo "Columbus", o modelo "C" (fig. 6). Los contrapesos han sido diseñados aerodinámicamente para minimizar la resistencia al flujo del agua. Los contrapesos varían en peso desde 15 hasta 300 libras (7 a 136 kilogramos).



Figura 6.--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).

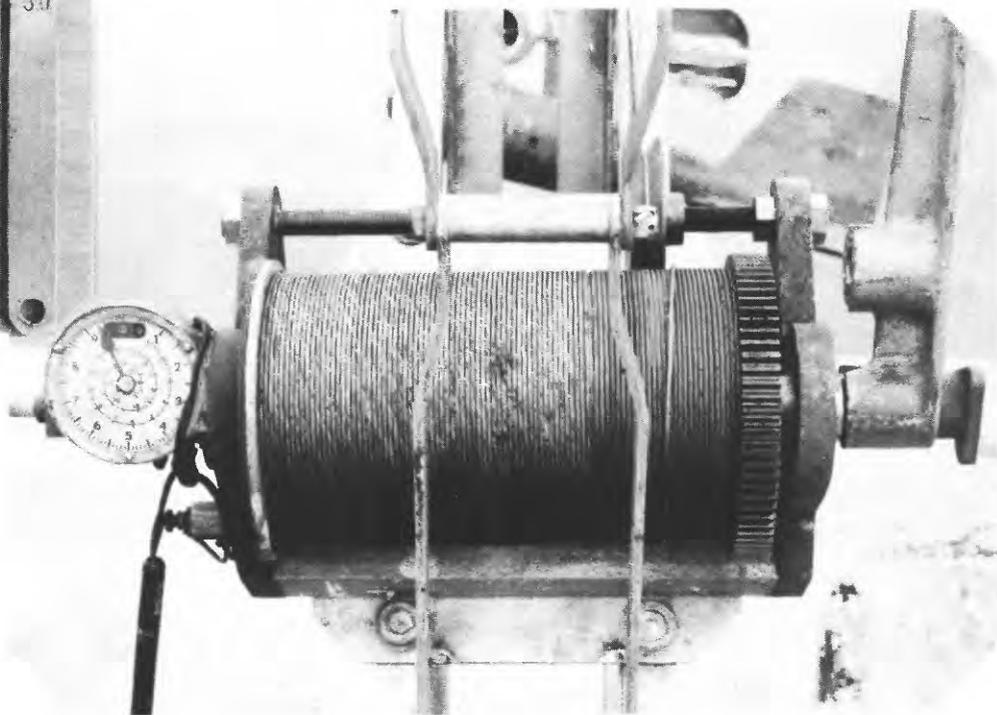
### ACCESORIOS-Continuación

Los contrapesos se fijan al cable de acero a través de conectores de metal diseñados para acomodar los diferentes pesos (fig. 7). Un tornillo de metal une la varilla al contrapeso. El medidor de velocidad se suspende en la parte inferior del conector utilizando un pasador metálico.



←Figura 7.--Conector metálico y pasadores utilizados en la suspensión de contrapesos.

Carretes de Sondeo: Cuando el aforo se lleva a cabo desde un puente, bote, o cable suspendido, el aforador normalmente utiliza un carrete de sondeo. El carrete de sondeo permite desenrollar y enrollar el cable que suspende el medidor de velocidad, además de estar provisto de un indicador de profundidad. El Servicio Geológico utiliza varios modelos de carretes de sondeo. Los más comúnmente usados son los modelos "A" y "B-56". El modelo A (fig. 8) consiste de un carrete de cerca de 1.0 p de largo y 0.5 p (0.3 x 0.15 m) de diámetro. El carrete tiene capacidad para 100 p (30.4 m) de cable de acero de doble conducción de 0.0125 p de diámetro (3.18 mm). Una manivela manual permite operar el carrete para enrollar y desenrollar el cable y el medidor de velocidad.



### ACCESORIOS-Continuación

El carrete modelo B-56 (fig. 9) es prácticamente similar al modelo A, excepto por ser ligeramente más grande y poder operarse eléctricamente. El sistema eléctrico, haciendo uso de baterías, facilita el aforo cuando la distancia del puente o cable a la superficie del agua, o la profundidad del cauce, son significativos. En ausencia de baterías eléctricas, el modelo B-56 puede operarse manualmente en forma similar al modelo A.

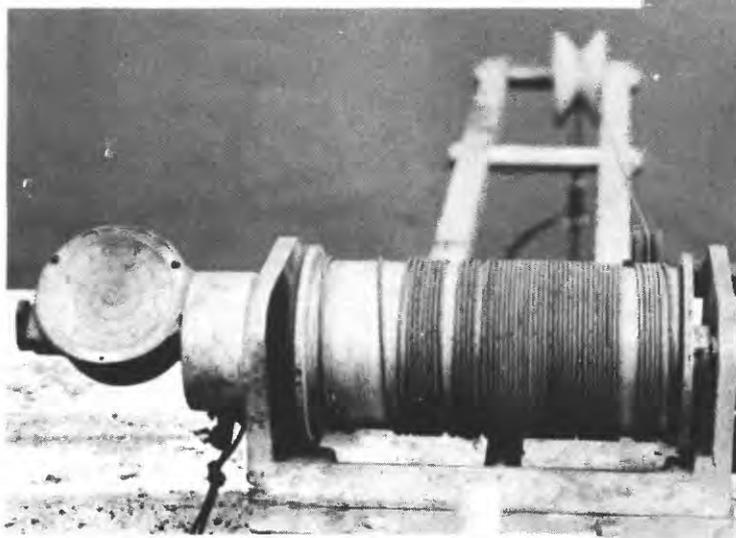


Figura 9.--Carrete de sondeo modelo "B-56".

El indicador de profundidad (fig. 10) permite leer profundidades a 0.1 p (3 cm) a través de una ventanilla, mientras que la escala principal permite obtener las unidades. La escala principal también contiene un espiral graduado que indica directamente la posición de 8 décimas (p. 43) hasta profundidades de 30 p (9 m).

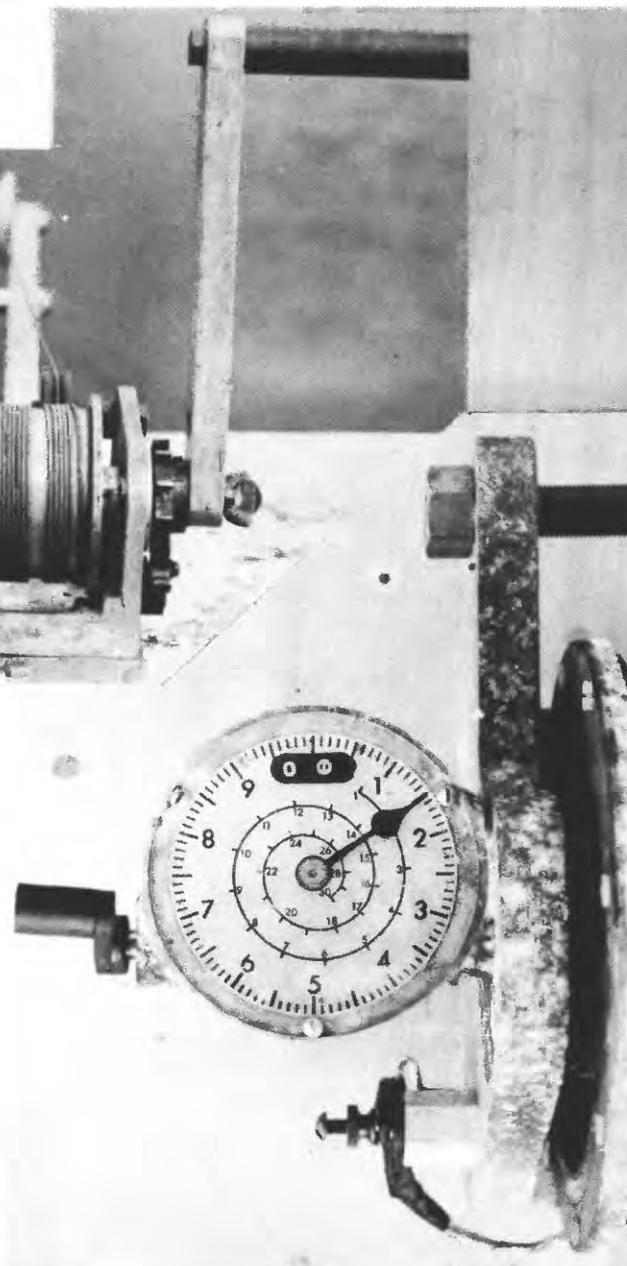


Figura 10.--Indicador automático de profundidad usado en carretes modelo "B".

### ACCESORIOS-Continuación

"Líneas" de Sondeo Manuales: Se utilizan líneas de sondeo manual desde puentes, cuando las velocidades en el río son intermedias, requiriéndose un contrapeso no mayor de 30 lb (13.5 kg). Al igual que el carrete de sondeo, el medidor de velocidad y el contrapeso se suspenden de un conector metálico (fig. 11). La línea manual se compone de dos cables independientes eléctricamente conectados a un carrete manual (fig. 12). Un conector al final de la línea permite el uso de audífonos para contar las revoluciones del medidor de velocidad. La profundidad se determina visualmente utilizando indicadores pintados o atados al cable. Este procedimiento afecta la precisión del aforo, ya que las profundidades son aproximadas.



Figura 11.—Línea de sondeo manual en uso suspendiendo un medidor Price y contrapeso.



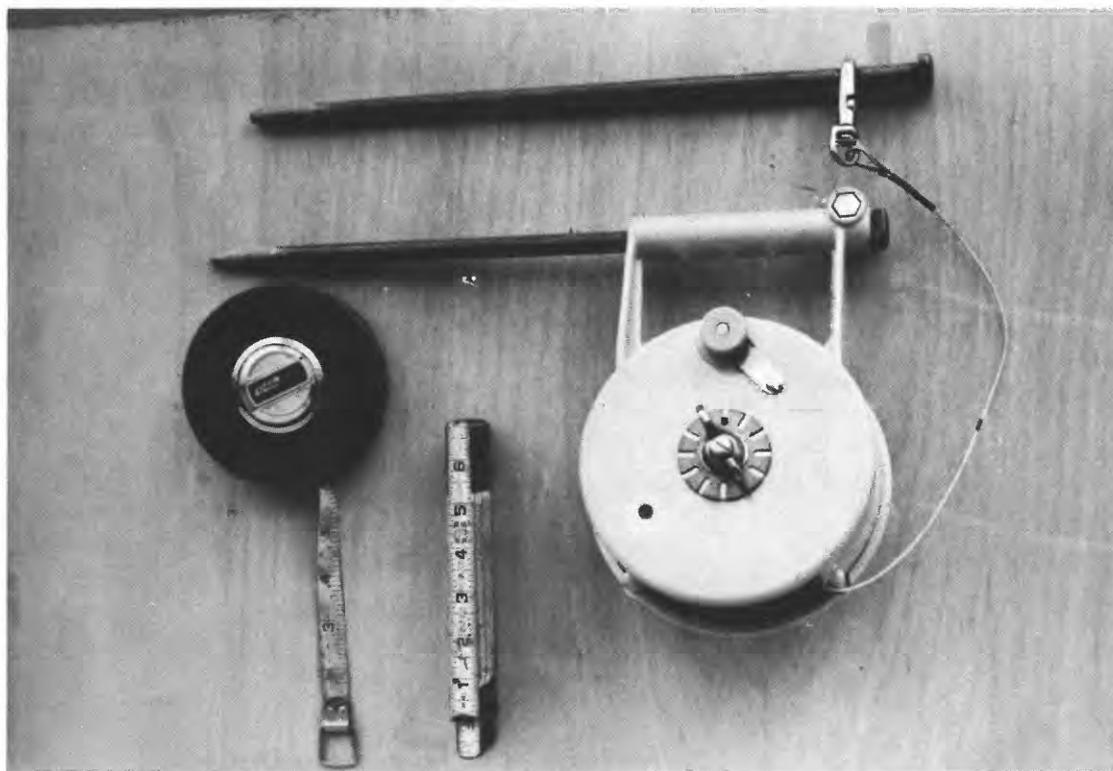
Figura 12.—Línea de sondeo manual.

## ACCESORIOS-Continuación

Líneas para Medir Ancho de Secciones: Determinar el ancho de la sección transversal donde se hace el aforo es esencial para determinar el caudal. En puentes y cables de suspensión el ancho puede determinarse directamente por medio de marcas en el puente o cable. Estos se marcan comúnmente a intervalos de 2, 5, 10, o 20 p (0.6, 1.5, 3, o 6 m). La distancia entre las marcas mínimas puede estimarse o medirse con una regla de mano. Para aforos a vado, o desde un bote, el ancho se determina extendiendo una línea a través del cauce. Las líneas comunes (fig. 13) están divididas en intervalos de 2 a 50 p (0.6 a 15 m) y se manufacturan en largos que varían de 300 a 500 p (91 a 152 m).

Accesorios para Determinar Velocidad desde Cables de Suspensión y Botes: La determinación del caudal desde cables de suspensión se presenta brevemente en las páginas 34 y 39. Estos métodos se utilizan normalmente en ríos de cauce ancho o generalmente inaccesibles, requiriendo el uso de un cable suspendido. El manual de Rantz y otros (1982) provee detalles adicionales sobre accesorios utilizados desde cables suspendidos y botes.

Accesorios para Aforos desde Puentes: El aforo desde un puente, excepto cuando se utilizan líneas de mano (p. 12), requiere equipo especial para sostener el carrete de sondeo y suspender el medidor de velocidad y el contrapeso.



**Figura 13.--Línea calibrada, regla plegadiza y cinta métrica utilizadas para medir el ancho de secciones transversales.**

## ACCESORIOS-Continuación

Cuando la velocidad de la corriente no excede de 4-5 p/s (1.2-1.5 m/s), puede utilizarse una tabla de suspensión para sostener el carrete de sondeo. La tabla (fig. 14) consiste de un pedazo de madera de dimensiones 2 x 4 pulg (5-10 cm) y largo entre 5 y 6 p (1.5 - 1.8 m). Una plataforma de metal provee la base para sostener el carrete de sondeo. El cable de suspensión corre a través de una polea circular. En la

operación de la tabla de sondeo, ésta descansa sobre la baranda del puente. El aforador la balancea mientras opera el carrete de sondeo hasta obtener la profundidad en el punto de observación.

La ventaja principal de la tabla de suspensión es su peso ligero, además de lo simple de su construcción. En situaciones de emergencia, puede utilizarse hasta con un contrapeso modelo C de 50 lb (22.7 kg).

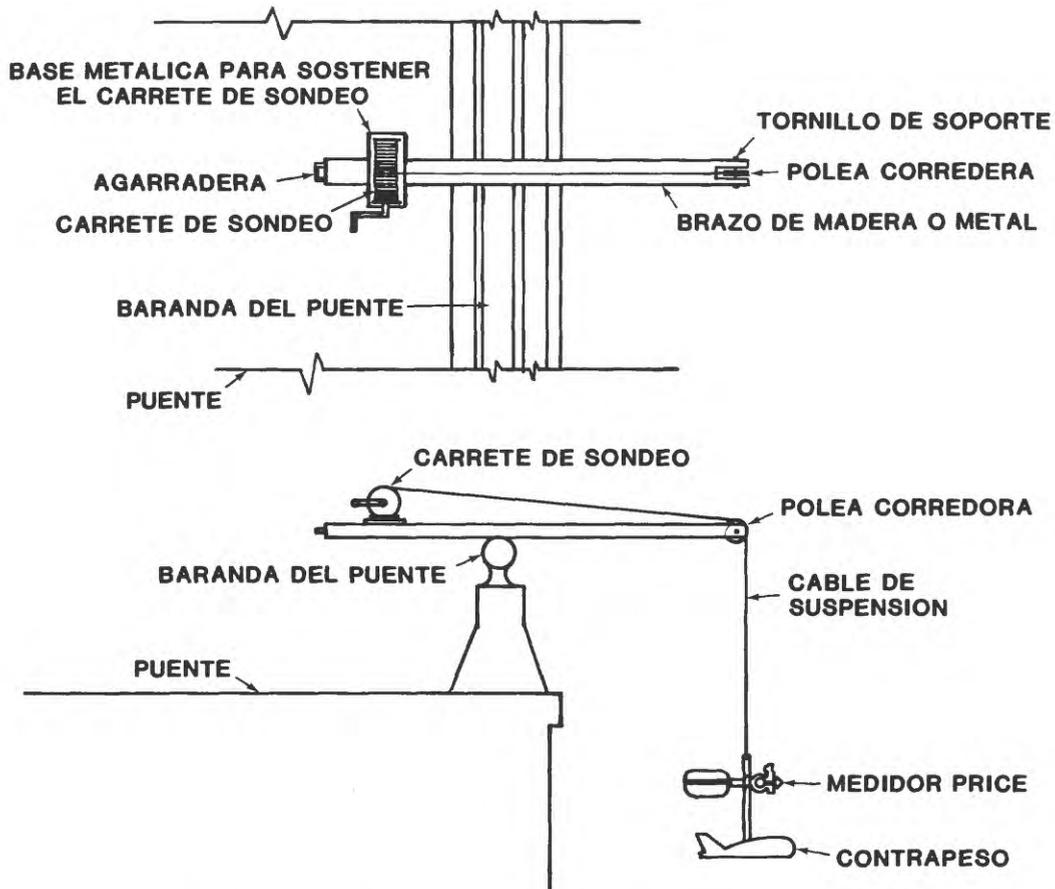


Figura 14.--Detalles del diseño y uso de la tabla de suspensión.

### ACCESORIOS-Continuación

Cuando la velocidad en el cauce es mayor de 4 a 5 p/s, (1.2 - 1.5 m/s) se utiliza una grúa pequeña para sostener el carrito de sondeo, el medidor de velocidad

y el contrapeso. Existen dos modelos de grúas para suspensión: el modelo A (fig. 15), de tres ruedas y capaz de sostener hasta 100 lb (45.4 kg) y el modelo E (fig. 16), de cuatro ruedas para pesos mayores.



Figura 15.--Grua de suspensión de tres ruedas modelo "A".

Figura 16.--Grua de suspensión de cuatro ruedas modelo "E".

**ACCESORIOS-Continuación**

El diseño de las grúas para suspensión permite inclinarlas sobre la baranda de la mayor parte de los puentes. Se utilizan contrapesos de metal para evitar que las grúas se inclinen demasiado, en particular cuando se utilizan los contrapesos C de mayor tamaño. Las grúas para suspensión están equipadas con un

medidor de ángulos, que determina la inclinación entre la vertical y el ángulo formado por el cable de suspensión cuando la velocidad del agua arrastre el contrapeso y el medidor de velocidad.

Las grúas para suspensión pueden también adaptarse a vehículos motorizados (fig. 17). Igualmente, la operación del carrito de sondeo puede adaptarse al uso de energía por baterías.



**Figura 17.--Grúa de suspensión adaptada a un vehículo motorizado, utilizando energía eléctrica para operar el carrito de sondeo.**

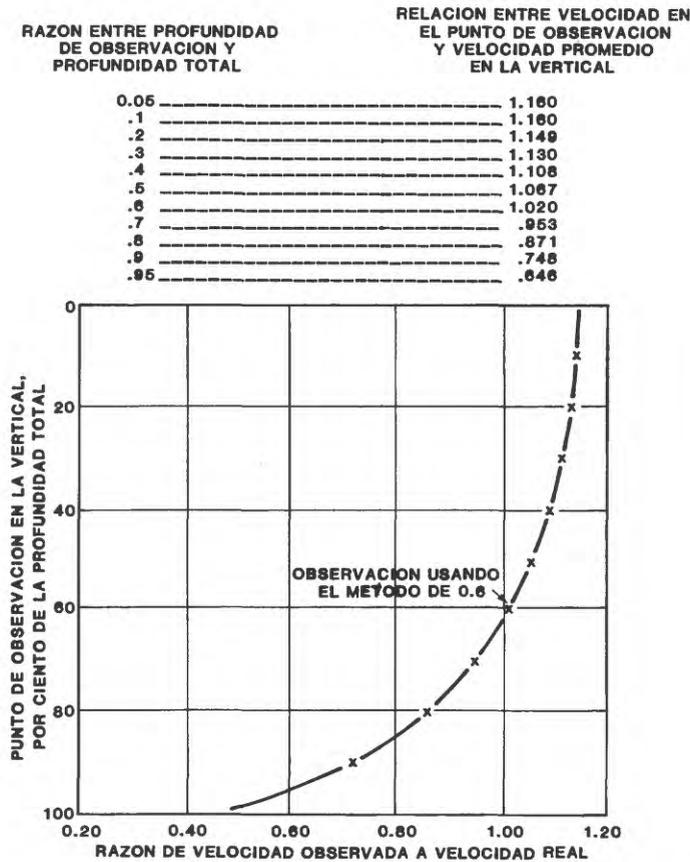
## METODOLOGIA

### Conceptos Generales Para Determinar Velocidad

Los medidores Price y otros molinetes miden la velocidad en un punto en la vertical de una sección transversal. La determinación del caudal a vado o desde un puente requiere medir la velocidad promedio en una serie de verticales en la sección. Esta velocidad promedio depende de la profundidad en la vertical y la pendiente del cauce. El promedio puede obtenerse midiendo la velocidad a varias profundidades en la vertical.

Los métodos más comunes para determinar velocidad en la vertical incluyen: 6 décimas (0.6); Dos Puntos; Tres Puntos; 2 décimas (0.2); Velocidad Superficial; Curva de Velocidad Vertical.

**Método de 6 Décimas:** El método de 6 décimas (fig. 18) es comúnmente utilizado en ríos que no exceden 2.5 p (0.76 m) de profundidad. Datos experimentales indican que la velocidad promedio está representada a una profundidad de 6 décimas bajo la superficie (en ríos poco profundos). El aforador suspende el medidor de velocidad a una profundidad equivalente a 6 décimas del total (desde la superficie). En ese punto, hace las observaciones de velocidad.



**Figura 18.**—Relación entre punto de observación de velocidad en una sección vertical y velocidad observada comparada con la velocidad real.

**Conceptos Generales**  
**Para Determinar Velocidad-**  
**Continuación**

El método de 6 décimas también puede utilizarse bajo las siguientes condiciones:

1. Cuando la profundidad excede los 2.5 p (0.76m) y el río transporta cerca de la superficie abrojos, troncos, u otro material que impida observaciones a 2 décimas bajo la superficie.

2. Cuando el nivel en el río está cambiando rápidamente, y es necesario obtener la velocidad con rapidez.

Aforos basados en observaciones en tiempo limitado deben ser cotejados con sumo cuidado. Un comentario indicando las circunstancias del aforo debe aparecer en las anotaciones.

**Método de Dos (2) Puntos:** El método de dos puntos utiliza el promedio de velocidad obtenido a 2 y 8 décimas de la profundidad total bajo la superficie (fig. 19). Investigaciones previas han demostrado que el método de dos puntos es el que más consistentemente produce velocidades reales de campo (el promedio en una sección vertical). El Servicio Geológico utiliza este método en preferencia a otros. Normalmente, el resultado obtenido (promedio de las observaciones) está dentro del uno (1) por ciento de la velocidad promedio verdadera en la vertical.

El método de dos puntos no se utiliza cuando la profundidad es menor de 2.5 p (0.76 m). El molinete Price estaría muy cerca del fondo o de la superficie y los resultados se desviarían de lo correcto. En situaciones donde objetos sumergidos (rocas, árboles) afectan la distribución vertical de la velocidad, el método de dos

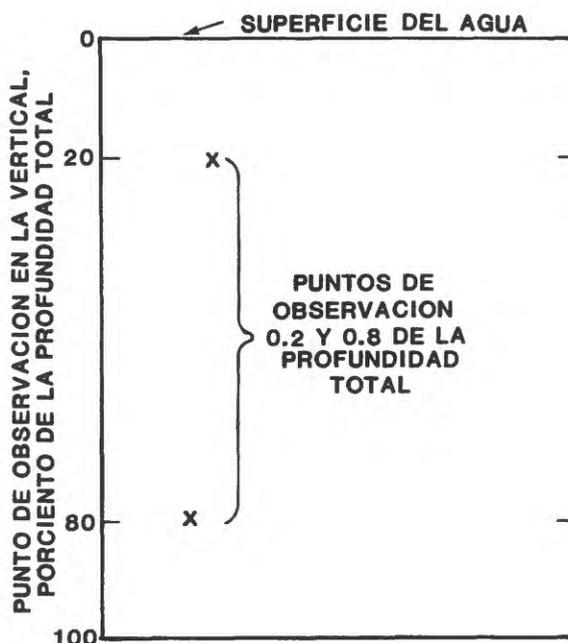


Figura 19.--Método de dos puntos.

puntos tampoco es confiable. En esos casos es recomendable tomar una tercera observación a 6 décimas de la profundidad y obtener un promedio según se describe en el método de tres puntos (p 18 ). Existe una regla general que puede utilizarse en el campo para determinar si la distribución de velocidad en la vertical es confiable. La velocidad a 2 décimas debe ser mayor que a 8 décimas, pero menos que dos veces a 8 décimas.

**Método de Tres (3) Puntos:** El método de tres puntos es similar al de dos puntos, excepto que también se observa la velocidad a 6 décimas en la vertical. La velocidad promedio se obtiene del promedio de las observaciones a 2 y 8 décimas, a su vez promediado con la observación a 6 décimas. Por ejemplo, si las velocidades a 2, 6 y 8 décimas son 1.2, 1.2 y 0.8 p/s respectivamente, el promedio de 2 y 8 décimas es  $(1.2 + 0.8) / 2 = 1.0$  p/s. El promedio

entre este promedio y la observación a 6 décimas es  $(1.0 + 1.2)/2 = 1.1$  p/s. El aforador, a base de observaciones y experiencia en el campo, puede asignarle mayor peso a las observaciones a 2 y 8 décimas obteniendo un promedio aritmético de las tres velocidades (ejemplo anterior)  $(1.2 + 1.2 + 0.8)/3 = 3.2/3 = 1.06$  p/s.

**Método de Dos (2) Décimas:** En el método de 2 décimas, la velocidad se obtiene únicamente a 2 décimas de la profundidad total desde la superficie. Se aplica un coeficiente como corrección a la observación a 2 décimas. El método de 2 décimas se utiliza cuando la velocidad es vertiginosa e impide observaciones a mayores profundidades.

El coeficiente a aplicarse se deriva de observaciones previas de la velocidad promedio en la vertical (fig. 18). El coeficiente no se aplica a las velocidades individuales obtenidas en cada vertical, sino al promedio.

Investigaciones realizadas por el Servicio Geológico indican que, en una sección transversal, la relación entre la velocidad promedio a 2 décimas y la verdadera velocidad promedio permanece constante o varía uniformemente con la profundidad del agua. Esta relación puede determinarse para una sección donde se han llevado a cabo aforos utilizando el método de dos puntos (0.2 y 0.8). Para diferentes profundidades puede desarrollarse una relación entre la velocidad a 2 décimas y el promedio de 2 y 8 décimas. La figura 20 ilustra un ejemplo de dicha relación para el Río Grande de Manatí, cerca de Manatí, Puerto Rico (uno de los ríos principales en la costa norte de Puerto Rico).

En algunas ocasiones, el número de aforos utilizando el método de dos puntos no es suficiente para establecer una relación confiable entre la velocidad a 2 décimas y el promedio de 2 y 8 décimas. En esos casos, es necesario establecer una relación entre las observaciones a 2 décimas y la curva de velocidad vertical (p 17). De la curva de velocidad vertical se obtiene la velocidad promedio, así como el coeficiente para ajustar la velocidad a 2 décimas. Típicamente, el coeficiente varía entre 8 y 9 décimas.

El método de 2 décimas es menos confiable y más impreciso que cualquiera de los métodos anteriormente descritos. El aforador con experiencia lo utiliza únicamente cuando las condiciones en el campo le impiden utilizar métodos más precisos.

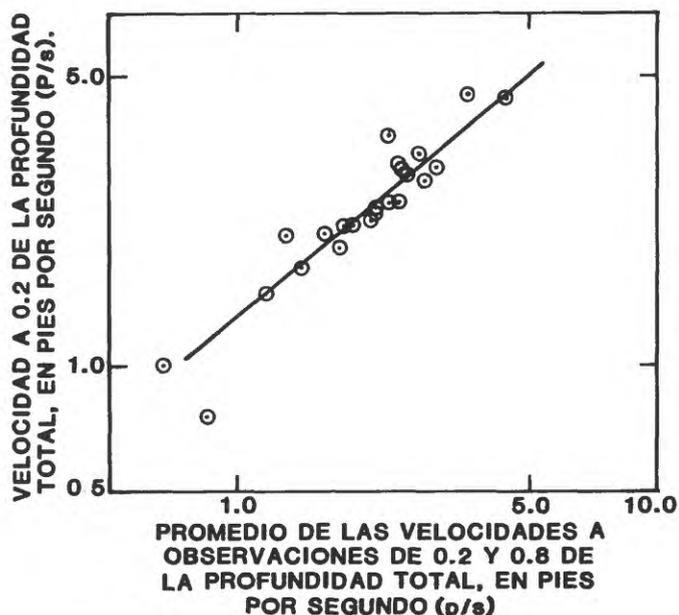


Figura 20.--Relación de las velocidades a 0.2 de la profundidad total y el promedio de 0.2 y 0.8 de la profundidad total en el Río Grande de Manatí, cerca de Manatí, Puerto Rico.

## Conceptos Generales Para Determinar Velocidad- Continuación

Velocidad Superficial: Ocasionalmente el aforador se encontrará con circunstancias en el campo que impiden obtener velocidades bajo la superficie del agua. La velocidad en la superficie puede obtenerse con un molinete Price, suspendido de modo que la parte superior de los capachos apenas sobresalgan de la superficie. En condiciones de extrema turbulencia, objetos flotantes pueden ser usados para medir velocidad en la superficie. La técnica de objetos flotantes se basa en determinar el tiempo que toma el objeto en moverse de un punto a otro. La distancia entre los dos puntos es medida previamente, utilizando una regla o cinta métrica.

Cuando se utiliza el molinete Price, pueden obtenerse velocidades superficiales en puntos a través de las secciones correspondientes a las que se observarían usando cualquiera de las otras técnicas previamente presentadas. En el caso del uso de objetos flotantes, usualmente se obtiene una velocidad superficial promedio en la sección transversal. Este promedio se obtiene de la suma aritmética de varias observaciones distribuidas con la mayor uniformidad posible en la sección.

Al igual que en el método de 2 décimas, las velocidades superficiales son ajustadas a la velocidad promedio en la sección transversal. La velocidad promedio se obtiene por uno de los métodos previamente descritos. En un cauce natural, el coeficiente entre la velocidad superficial y la velocidad promedio varía de 7 a

9 décimas. En canales artificiales de poca fricción, el coeficiente es cerca de 9 décimas. El aforador con experiencia aprovecha condiciones favorables para obtener datos que permitan estimar esos coeficientes. Esto se logra midiendo velocidades superficiales cuando el aforo se lleva a cabo utilizando los métodos de dos o tres puntos (p. 18).

## Selección de Secciones

### Transversales

El primer paso para obtener el caudal de un río o quebrada es la selección de la sección transversal. La precisión del aforo depende en gran parte de la selección de la mejor sección transversal posible en el tramo del río investigado. Si el río es profundo, la selección se limita al uso de puentes o cables suspendidos. Aunque el uso de botes es otra alternativa, esa técnica no se considera en detalle en esta guía.

En aquellos casos que el aforo puede complementarse a vado, el aforador trata de escoger una sección transversal que reúna la mayor parte de los siguientes requisitos:

1. La sección está localizada en un tramo recto del río o quebrada. La presencia de curvatura en el cauce afecta la distribución de velocidades.

2. El fondo del cauce es relativamente uniforme y libre de rocas, plantas acuáticas, troncos u otras obstrucciones que afecten la distribución horizontal de la velocidad.

3. El flujo es relativamente uniforme; no existen puntos turbulentos, ni puntos de poca o ninguna velocidad.

4. Las velocidades exceden 0.5 p/s (0.15 m/s) y las profundidades exceden 0.5 p (0.15 m).

5. En el caso de que exista una estación de medida de caudal continua (utilizando un medidor automático de profundidad), la sección debe estar localizada a una distancia corta de la estación. Esto evitará que flujos no incluidos en las determinaciones del medidor automático afecten el aforo.

Cuando se utilizan botes para aforar, las velocidades en la sección deben ser de por lo menos 1 p/s (0.3 m/s). Velocidades más lentas son afectadas por la estructura del bote.

Ocasionalmente, el aforador dispondrá solamente de secciones afectadas por descargas de agua de

plantas hidroeléctricas, las cuales ocasionan oscilaciones rápidas en la descarga y profundidad. Aforos obtenidos bajo condiciones de cambio en profundidad y descarga no son precisos. El aforador debe tratar de obtener información sobre el itinerario generatriz y programar el aforo para minimizar los efectos de cambios en el flujo.

## AFORACION

### Vado

En la determinación del caudal a vado (una vez seleccionada la sección transversal), el siguiente procedimiento simplifica el trabajo:

1. Determinación del ancho de la sección:--El aforador utiliza una línea o cinta calibrada (fig. 21) para medir el ancho de la sección. La cinta se fija a una de las riberas del cauce por medio de un espolón, tornillo agudizado, o una estaca de madera.

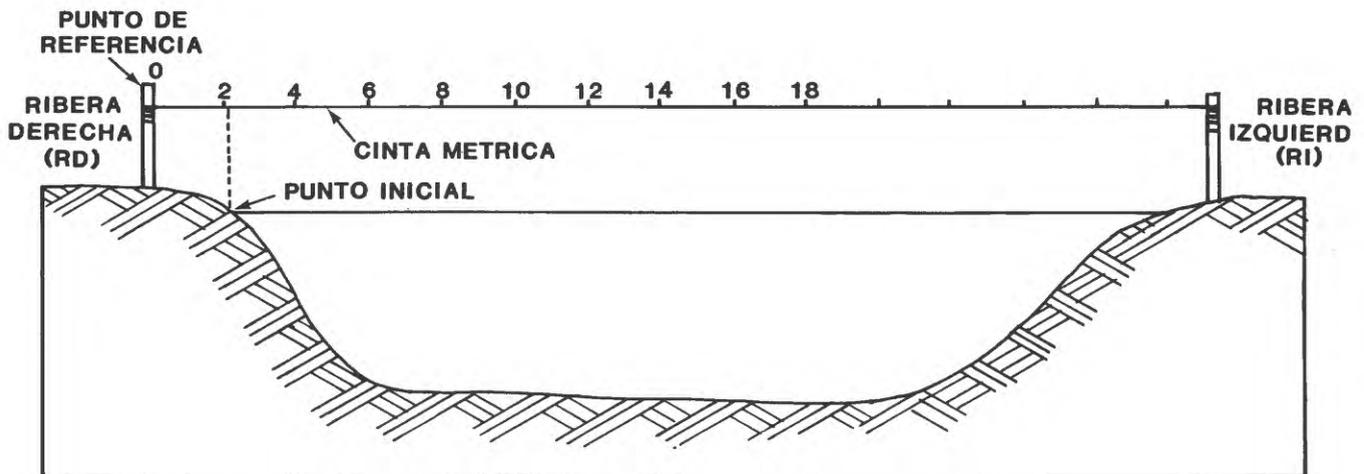


Figura 21.--Técnica para medir el ancho de una sección transversal.

## AFORACION

### Vado-Continuación

Se procede entonces a extender la línea o cinta a lo ancho del cauce. Un aforador experimentado siempre comienza desde el lado opuesto a la localización de su equipo, o estación. Esta medida previsoramente le permitirá regresar al lado correcto del río en la eventualidad de un aumento considerable en el caudal cuando el aforo está avanzado. La línea se coloca perpendicular al flujo del río. Una técnica para estimar el ángulo aproximado correcto consis-

te en extender ambas manos en direcciones opuestas paralelas a la dirección del flujo (fig. 22). El aforador se coloca de lado y luego junta los brazos al centro del tórax apuntando con éstos extendidos en dirección a la ribera. Si la cinta es colocada en una posición que no es perpendicular al flujo, las medidas de velocidad incluirán un pequeño error de ángulo que será necesario corregir (ver p 28). En el caso de puentes, el aforador no tiene otra alternativa que extender la línea a lo largo del tablero del puente. Si existe un ángulo entre el puente y el cauce, un factor de corrección (p 29) deberá ser aplicado. Los cables para suspensión normalmente se instalan perpendiculares al flujo del cauce.

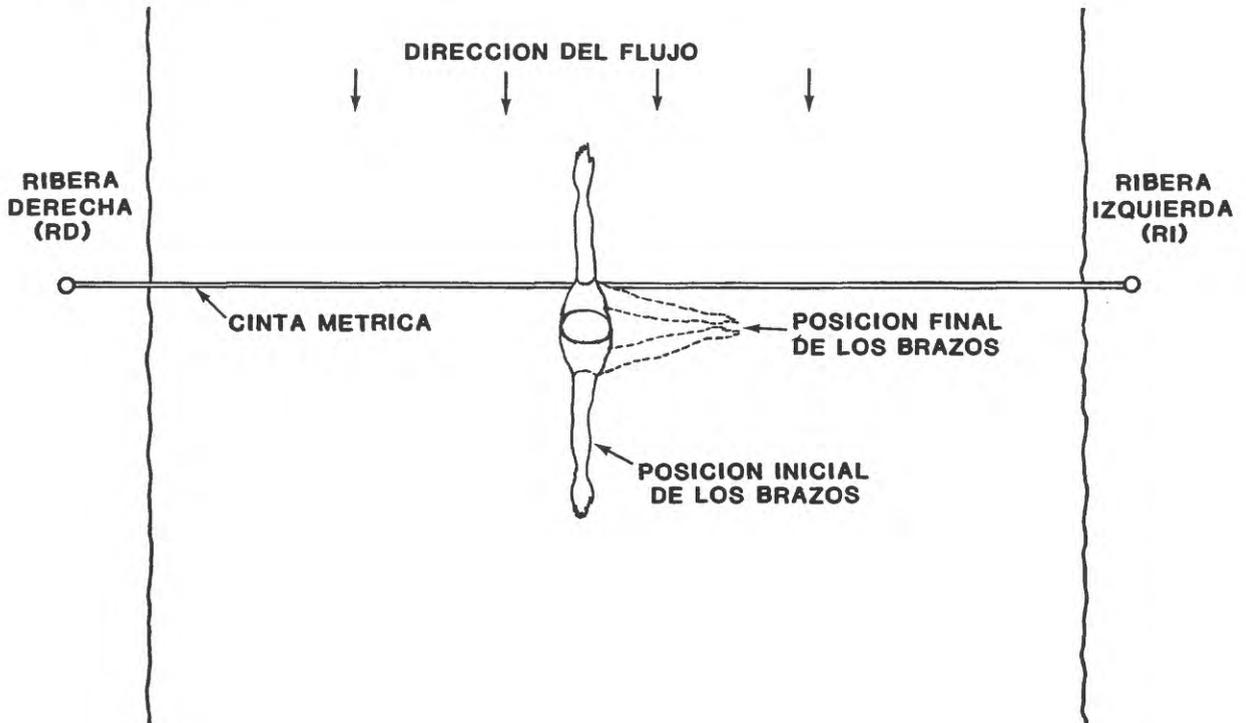


Figura 22.--Técnica para estimar el ángulo correcto entre la dirección del flujo y la sección transversal.

2. Determinación del número de subsecciones:--Un buen aforo no contiene más del cinco (5) por ciento del total de la escorrentía en ninguna de las subsecciones. Esto se puede lograr asegurándose que (en una sección razonablemente uniforme) se tomen entre 25 y 30 subsecciones. El aforador también puede estimar el número de subsecciones si estima el caudal en el cauce. Asuman que el aforador estime un caudal de  $100 \text{ p}^3/\text{s}$ . Ninguna subsección deberá contener más de  $5 \text{ p}^3/\text{s}$ . Si la profundidad promedio es de  $2 \text{ p}$  y la velocidad aproximada es  $1.0 \text{ p}/\text{s}$  (las que se estiman al vadear el río para colocar la cinta métrica), el ancho de ninguna subsección deberá exceder  $2.5 \text{ p}$  (el flujo de  $5 \text{ p}^3/\text{s} = 2.5 \text{ p}$  ancho  $\times$   $1.0 \text{ p}/\text{s}$  velocidad  $\times$   $2 \text{ p}$  profundidad).

Normalmente, el ancho de las subsecciones no es uniforme. Si la velocidad varía a través de la sección, en las áreas de mayor velocidad la distancia entre subsecciones será menor. El aforador con experiencia utiliza aforos previos para obtener una idea del número de subsecciones a utilizar. Es conveniente llevar un diario de cada estación que se visita resumiendo las características de los aforos previos.

3. Preparación del equipo de aforo:--El próximo paso consiste en preparar el equipo para aforar. El medidor Price se instala en la varilla de suspen-

sión, cerciorándose de que el conector del circuito eléctrico esté debidamente asegurado. Esto se prueba haciendo girar el medidor manualmente mientras se escucha por los audífonos hasta obtener un impulso claro del contacto de rotación. Se prepara el cronómetro asegurándose de que responda a los controles de comienzo, cese y devolución. También se asegura de que esté embobinado totalmente (que se le haya dado cuerda). Finalmente, el aforador se asegura de que sus botas a prueba de agua estén ajustadas debidamente y de que lleva consigo un destornillador pequeño (para ajustes del medidor Price) y bolígrafos adicionales de tinta indeleble.

4. Preparación de las notas del aforo:--Antes de comenzar, el aforador anota la siguiente información en el formulario de aforo (fig. 23).

a. Nombre y localización del río, quebrada, o canal.

b. Fecha del aforo y nombre del aforador.

c. Hora en que se comenzó el aforo y la ribera en que se comenzó (derecha o izquierda). (Mirando en dirección al flujo, se denomina ribera derecha (RD) la que está en la mano derecha del aforador, siendo la ribera izquierda (RI) la opuesta (fig. 22)). La localización de la ribera es importante, en caso de que por alguna razón no pudiera completarse el aforo. La información de aforos previos y conocimiento del flujo y la sección transversal podrían utilizarse en este caso para estimar el flujo total.

**DEPARTAMENTO DEL INTERIOR DE  
LOS ESTADOS UNIDOS  
SERVICIOS GEOLOGICOS**

9-275G  
Mar. (1972)

DIVISION DE LAS AGUAS

Mensura \_\_\_\_\_

Computado por: \_\_\_\_\_

**NOTAS DE AFORO**

Cotejado por: \_\_\_\_\_

No. Est. \_\_\_\_\_  
 Fecha \_\_\_\_\_, 19\_\_\_\_ Grupo \_\_\_\_\_  
 Ancho \_\_\_\_\_ Area \_\_\_\_\_ Vel. \_\_\_\_\_ Elev. \_\_\_\_\_ Descarga \_\_\_\_\_  
 Método \_\_\_\_\_ No. secs. \_\_\_\_\_ Cambio en elev. \_\_\_\_\_ en \_\_\_\_\_ hrs. Susp. \_\_\_\_\_  
 Coef. del Método \_\_\_\_\_ Coef. del Angulo Hor. \_\_\_\_\_ Coef. de Susp. \_\_\_\_\_ Velocimetro No. \_\_\_\_\_

LECTURAS DE LOS MEDIDORES				
HORA	REGISTRADOR	MEDIDOR INTERIOR	MEDIDOR EXTERIOR	Tipo de velocimetro _____
				Fecha de calibración _____ para vara, otros _____
				Molinete _____ pies sobre el fondo del contrapeso.
				Giro antes de aforar _____ despues _____
				Aforo departe ____ % dif. de curva de calibración _____
				Vadeando, cable, bote, aguas arriba, aguas abajo, del puente _____ pies, millas, antes, despues. medidor, y _____
				Elevación punto referencia _____
				cambiado a _____ hora _____
				Correji _____
				Nivelaciones obtenidas _____
<b>Elevación pro- medio ponderada</b> <b>Correccion en elev.</b> <b>Elev. promedio corregida</b>				

Aforo calificado, excelente (2%), buena (5%), regular (8%); basado en las siguientes condiciones: Sección transversal \_\_\_\_\_

Flujo \_\_\_\_\_ Clima (Tiempo) \_\_\_\_\_

Otros \_\_\_\_\_ Aire \_\_\_\_\_ °F \_\_\_\_\_

Medidor \_\_\_\_\_ Agua \_\_\_\_\_ °F \_\_\_\_\_

Datos removidos \_\_\_\_\_ Limpieza del orificio \_\_\_\_\_

Observador \_\_\_\_\_

Control \_\_\_\_\_ Observaciones \_\_\_\_\_

Elevación de cero-flujo \_\_\_\_\_ pies.

**Figura 23.--Formulario para anotar datos del aforo utilizado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos.**

## AFORACION

### Vado-Continuación

d. Características de la sección transversal: uniformidad, características del fondo (arena, grava, rocas, etc.), naturaleza de las riberas (verticales, llanas, con vegetación), localización relativa a alguna estación de flujo continuo.

e. En caso de que el aforo se lleve a cabo en la vecindad de una estación continua de aforo, las condiciones del control que mantiene la relación entre profundidad y caudal.

f. Elevaciones de la superficie del agua relativas a la regla de referencia de la estación de flujo continuo.

g. Características físicas y químicas del agua, cuando sean medidas (temperatura, acidez, alcalinidad, conductividad específica, etc.).

Durante el tiempo que toma llevar a cabo el aforo, se anota la hora a intervalos frecuentes (de 5, 10, 15, o 30 minutos, dependiendo si el nivel del agua cambia). Estas anotaciones de tiempo son importantes en caso de que sea necesario determinar una elevación promedio para el aforo (cuando la profundidad cambia durante el aforo).

En este punto, el aforador está listo para comenzar las determinaciones de velocidad en la sección transversal seleccionada.

5. El aforo:--Los formularios de anotaciones uniformes facilitan el trabajo del aforo. Inicialmente parecerá un poco complicado, pero con experiencia el aforador procederá sin dificultades. Se procede del siguiente modo:

a. Se determina la profundidad (P) en la orilla del agua (puede ser cero) y la distancia (D) del punto de referencia en la ribera según lo indicado en la cinta métrica (fig. 24). La P y D se anotan en el formulario en las dos primeras columnas (fig. 25).



Figura 24.--Sección transversal con profundidad cero (0) en la orilla del agua.

EMPEZANDO EN LA RIBERA DERECHA (RD)

DISTANCIA PUNTO INICIAL (D)	ANCHO (A)	PROFUNDIDAD (P)
2.5		

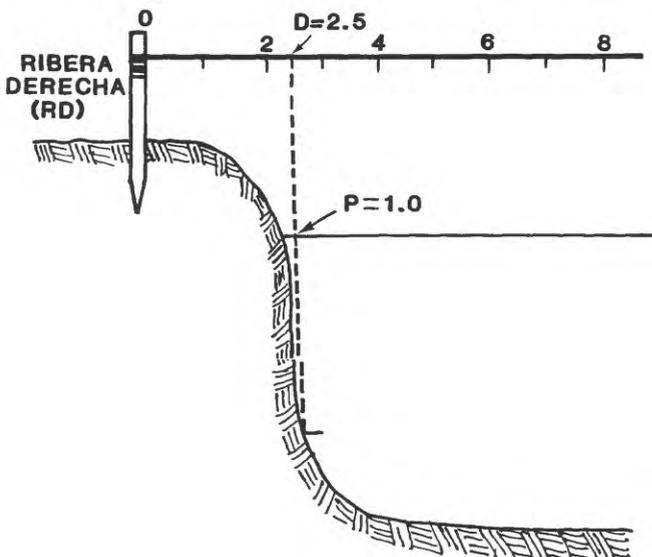
Figura 25.--Distancia del punto inicial y profundidad en el formulario de aforos.

En el caso de que la profundidad en la orilla no sea cero (riberas verticales), se anota el valor obtenido con el calibrador en la varilla de suspensión (fig. 26).

b. Una vez determinada la profundidad (P), el aforador utiliza este valor para decidir si la observación de velocidad se tomará usando el método de 6 décimas o el de dos puntos (0.2, 0.8). En el ejemplo en la fig. 26, se utilizaría el de 6 décimas (profundidad menor de 2.5 p).

c. Utilizando el ajustador automático en la varilla de suspensión, se desliza el medidor Price a la profundidad correspondiente, cuidando de mantener la varilla fija en el punto de observación (en el ejemplo en la fig. 26, el Price se coloca a 0.6 p bajo la superficie).

d. El aforador se coloca con el brazo extendido y ofreciendo la menor resistencia al flujo del agua para minimizar interferencia con las observaciones.



DISTANCIA PUNTO INICIAL (D)	ANCHO (A)	PROFUNDIDAD (P)
2.5		1.0

Figura 26.--Sección transversal con profundidad en la orilla distinta a cero (0) y anotaciones en formulario de aforos.

## AFORACION

### Vado-Continuación

e. Luego de 10-15 segundos (para permitir al Price ajustarse a la velocidad del agua), el aforador comienza a observar la velocidad. El número de revoluciones que el Price completa en un período de entre 40 y 70 segundos se determina utilizando el audífono. El cronómetro se activa cuando el rotor hace contacto. Es importante considerar que el conteo de revoluciones no comienza hasta el segundo contacto del rotor, ya que el primero es el

punto de partida. El número de revoluciones contadas se escoge convenientemente para que coincida con uno de los números en las tablas de calibración del medidor Price (usualmente 3, 5, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 80, o 100 revoluciones).

f. Una vez determinadas las revoluciones (R) y el tiempo (T), se anotan éstos en el formulario de aforos (fig. 27).

Obsérvese que en el formulario también aparece una columna denominada "CBS", refiriéndose al punto de observación (en este caso 6 décimas, pudiendo haber sido 2 décimas, 8 décimas).

DISTANCIA PUNTO INICIAL (D)	ANCHO (A)	PROFUNDIDAD (P)	O.B.S.	REVOLUCIO- NES (R)	TIEMPO (T)
2.5	1.0		.6	10	45

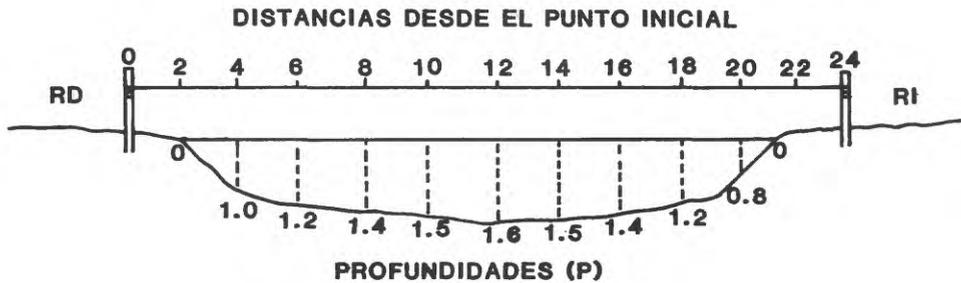
**Figura 27.--Formulario simplificado de aforos ilustrando anotación de distancia, profundidad, método, revoluciones y tiempo.**

**AFORACION**  
**Vado-Continuación**

g. Se procede a repetir el proceso en cada una de las subsecciones siguientes hasta completar el vado en la ribera opuesta (fig. 28).

Al terminar de anotar la última observación de tiempo (T), se anota la hora y ribera en que se terminó el aforo.

h. Es importante determinar si existe algún ángulo de inclinación entre el flujo y la sección transversal orientada por la cinta métrica. De ocurrir algún ángulo, será necesario corregir las velocidades obtenidas, ya que el componente de velocidad correcta debe ser normal a la sección transversal. El componente correcto se obtiene multiplicando la velocidad observada por el coseno del ángulo entre el flujo y la sección (fig. 29).



**RIBERA DERECHA A LAS 1400 HRS**

DISTAN- CIA (D)	ANCHO (A)	PROFUN- DIDAD (P)	OBS REVOLU- CIONES (R)	TIEMPO (T)
2.0		0	0	
4.0		1.0	.6 15	40
6.0		1.2	.6 20	40
8.0		1.4	.6 25	42
10		1.5	.6 30	45
12		1.6	.6 30	45
14		1.5	.6 30	45
16		1.4	.6 25	42
18		1.2	.6 20	40
20		0.8	.6 10	40
22		0	0	0

**RIBERA IZQUIERDA A LAS 1430 HRS**

**Figura 28.—Observaciones de distancia (D), profundidad (P), revoluciones (R) y tiempo (T) obtenidas durante un aforo. (Seccion transversal y datos son ficticios.)**

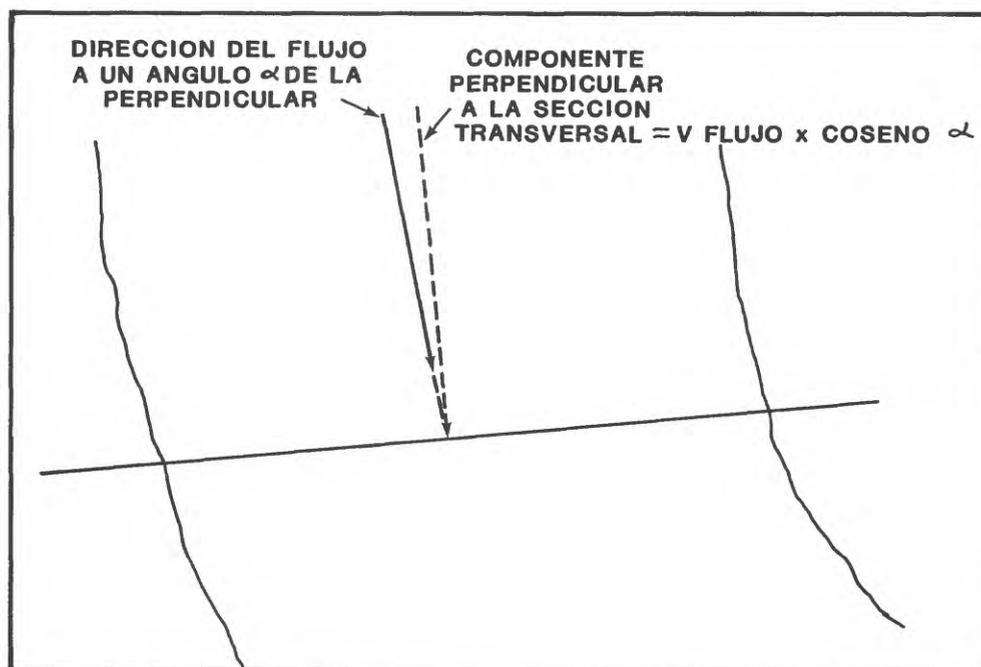


Figura 29.--Flujo en ángulo relativo a la sección transversal.

Los formularios de anotaciones pueden diseñarse para estimar el coseno del ángulo de desviación. Se localiza un origen o punto de pivote en el lado del formulario, y el coseno del ángulo se distribuye en los otros dos lados (fig. 30). El formulario se utiliza como ilustra el diagrama.

Una vez terminado el vado, el aforador recoge la cinta métrica, otro equipo usado, y procede a verificar el funcionamiento del medidor Price según lo indicado en la página 23. El cómputo de el caudal se detalla en la sección que comienza en la página 40.

### Puentes y Cables Suspendingos

El aforo desde puentes y cables suspendidos utiliza esencialmente el mismo procedimiento que el vado, excepto por el equipo a utilizarse y correcciones aplicables a las medidas de profundidad. En el caso de puentes, las siguientes sugerencias ayudan a simplificar el proceso:

1. Preferiblemente se utiliza la apertura del puente que queda en dirección "río-arriba" (fig. 31). Las características de la entrada (río arriba) del puente son más favorables para las observaciones de velocidad. El aforador puede avistar objetos flotantes (troncos, ramas, etc.) con tiempo suficiente para tratar de evitar que se enreden en el cable de suspensión. Por otro lado, la salida del puente permite estimar mejor ángulos verticales de corrección (p. 28). Además, en la salida, el puente puede servir para corregir ángulos de entrada del agua, facilitando el cómputo del aforo.

2. El aforador con experiencia inspecciona el puente cuidadosamente, antes de seleccionar la entrada o salida para sus observaciones. La seguridad física, acumulación de desechos y objetos, existencia de rampas para peatones y otras condiciones son tomadas en cuenta.



Puentes y Cables Suspendidos-Continuación

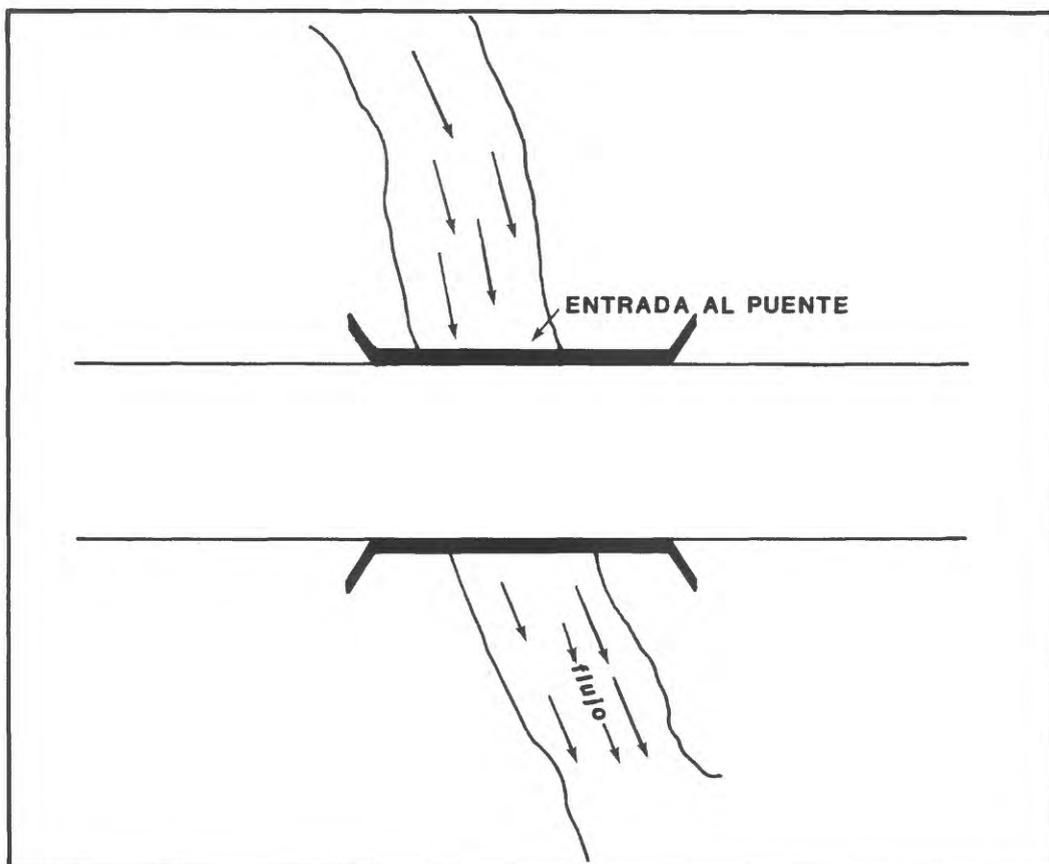


Figura 31.—Sección de entrada de un puente.

3. Para llevar a cabo los sondeos de velocidad, el medidor Price se suspende utilizando una línea de mano, soporte de puente o grúa para suspensión según se describe en las páginas 12 y 14. En los aforos desde puentes se suspende el medidor Price desde un cable, haciendo necesario el uso de contrapesos para suspensión. La naturaleza y forma de los contrapesos puede ocasionar turbulencia que afecta las medidas de velocidad si el medidor Price no se suspende a una distancia correcta del contrapeso. Pruebas de laboratorio han hecho posible determinar para cada modelo de contrapeso la distancia correcta a que debe suspenderse el medidor Price. La tabla 1 detalla las profundidades mínimas a que pueden utilizarse los contrapesos indicados, así como el punto de suspensión.

La presencia de pilastras en los puentes requiere cuidados especiales. Es necesario alejar el medidor Price de las pilastras, ya que la turbulencia puede dañarlo, además de ocasionar velocidades incorrectas. Las velocidades en subsecciones cercanas a las pilastras pueden estimarse en base a la razón entre la velocidad a una distancia de la pilastra equivalente a la profundidad (tabla 2).

Por ejemplo, si la profundidad ( $P$ ) cerca de la pilastra es de 5.0 p, a una distancia de 5.0 p la velocidad medida por el medidor Price puede ser tomada como correcta. A una distancia de 0.25 p, la velocidad promedio será 9 décimas de la velocidad en el punto  $P$  distancia  $(0.9 (5) = 4.5$  p/s).

## Puentes y Cables Suspendidos-Continuación

Tabla 1. Profundidades mínimas y punto de suspensión para distintos contrapesos modelo "C".

TAMAÑO DEL CONTRAPESO Y DISTANCIA DE ESTE AL EJE DEL MEDIDOR * DE VELOCIDAD	PROFUNDIDAD MINIMA			
	METODO 0.6		METODO 0.2 y 0.8	
	(P)	(M)	(P)	(M)
15 C 0.5; 30 C 0.5	1.2	0.37	2.5	0.76
50 C 0.55	1.4	.43	2.8	0.85
50 C 0.9	2.2	.67	4.5	1.37
75 C 1.0; 100 C 1.0 150 1.0	2.5	.76	5.0	1.52
200 C 1.5; 300 C 1.5	3.8	1.16	7.5	2.29

### EXPLICACION

\* 15 C 0.5-CONTRAPESO DE 15 lbs MODELO C (15 C).  
SUSPENDIDO A 0.5 P (15 C 0.5)

Tabla 2. Relación entre velocidad vertical promedio en la vecindad de pilastras y velocidad promedio a una distancia P.

RAZON ENTRE PROFUNDIDAD Y DISTANCIA <u>P</u> HASTA LA PILASTRA	VELOCIDAD PROMEDIO EN LA VERTICAL COMO FRACCION DE LA VELOCIDAD PROMEDIO V A UNA DISTANCIA <u>P</u>
0.00 .....	0.65 V
.25 .....	.90 V
.50 .....	.95 V
1.00 .....	1.00 V

La presencia de pilastras hace necesario tomar más de 25-30 subsecciones para obtener resultados confiables. Las pilastras no solamente causan turbulencia (y velocidades mayores o menores), sino también cambios en el ángulo de flujo (requiriendo corrección de ángulo).

La determinación de profundidades (P) desde un puente se lleva a cabo normalmente utilizando el

indicador automático en el carrete para suspensión. En ausencia o falla mecánica del indicador, el aforador puede utilizar la siguiente técnica: Utilizando marcas en el cable para suspensión. Observando el punto en el cual el contrapeso o medidor Price "descansa" en la superficie del agua, pueden utilizarse marcas pre-calibradas para medir la profundidad (fig.32)

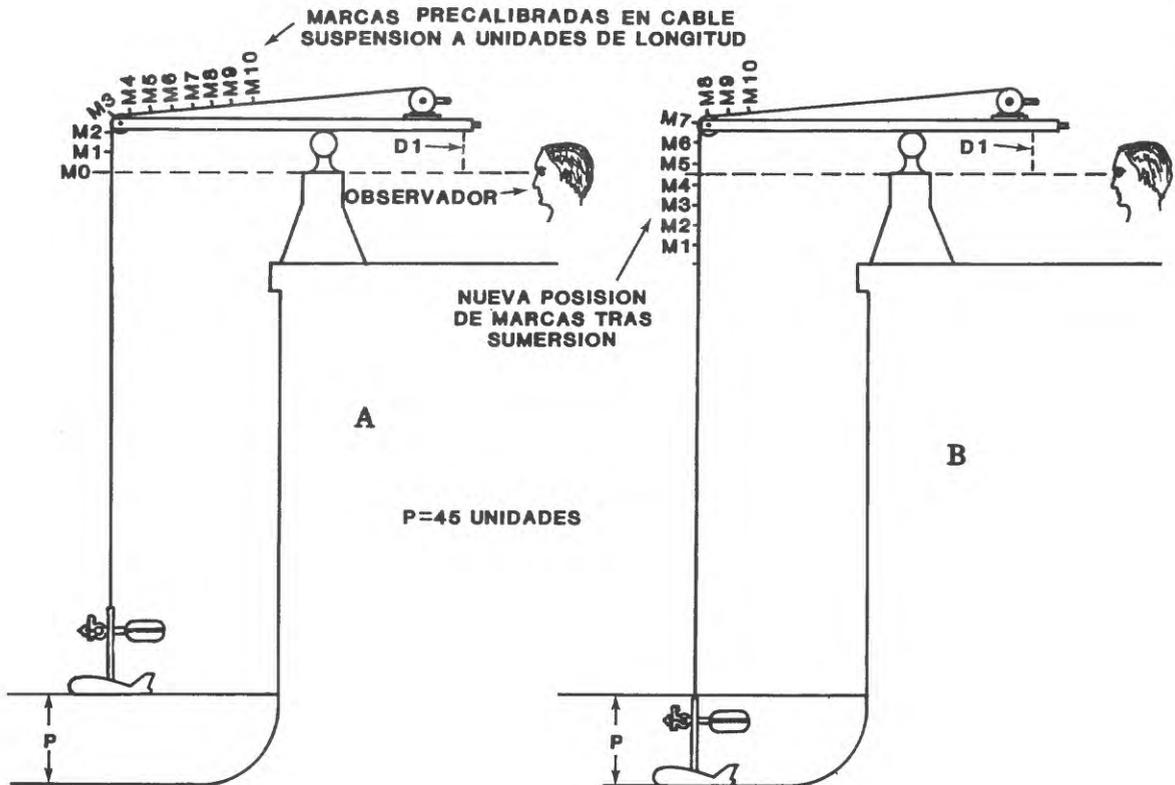


Figura 32.--Uso de marcas en la línea de suspensión.

En la figura 32 (Parte A), el marcador  $M_D$  se localiza relativo al carrete (D). La distancia que se mueve  $M_D$  relativo a su posición inicial (Parte B), es la profundidad P.

El aforador puede utilizar cintas de distintos colores para indicar décimas, unidades o decenas de pies en el cable de suspensión.

### Aforos Desde Cables Suspendingos

La ausencia de puentes o puntos donde el vado es imposible hace necesario que ocasionalmente se instalen cables suspendidos con el propósito de aforar. El diseño, construcción, y equipo utilizado en cables suspendidos es descrito en detalles por Rantz y otros (1982). En los próximos párrafos, se describe únicamente

las técnicas utilizadas para aforar desde un cable suspendido.

Generalmente se utiliza el medidor Price modelo AA para medir las velocidades desde un cable suspendido. El tamaño del contrapeso para mantener el medidor Price fijo desde un cable suspendido depende de la velocidad y profundidad del cauce. Una regla general para estimar el contrapeso más favorable consiste en estimar la velocidad y profundidad máxima en la sección transversal (puede estimarse de datos anteriores, o visualmente utilizando experiencias previas). El producto de ambos valores ( $V$  máxima multiplicado por  $P$  máxima) debe ser menor que el peso del contrapeso (en libras). El uso de contrapeso inadecuado resultará en que el medidor Price sea arrastrado por la corriente.

### Aforos Desde Cables Suspendidos- Continuación

Las profundidades se miden utilizando el indicador automático en el carrete de suspensión. El aforador con experiencia prepara su carrete con cintas indicadoras de profundidad, previo al aforo. En caso de que una falla mecánica inutilice el indicador automático, las cintas indicadoras le permitirán continuar el aforo sin interrupciones.

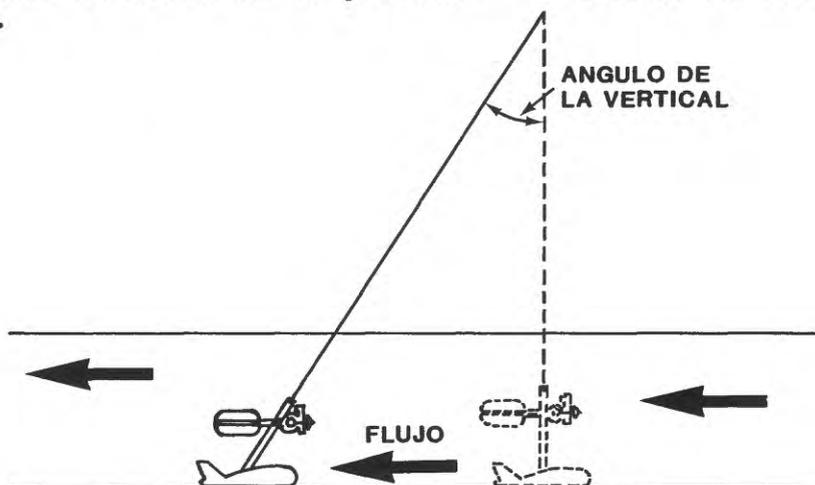
Al igual que desde un puente, el aforador normalmente utiliza el método de dos puntos (p. 17 ). Ocasionalmente puede ser necesario utilizar el método de tres puntos. Es conveniente recordar que si el aforador utiliza el eje horizontal del medidor Price para establecer la profundidad cero (0) en la superficie (p 8 ), es necesario añadir a la lectura final de profundidad la distancia entre el medidor Price y el contrapeso.

El movimiento del carro suspendido a lo largo del cable produce oscilaciones durante un período de tiempo luego de detenerse. El aforador con experiencia espera hasta que las oscilaciones cesen, previo a comenzar el proceso de medida de la profundidad.

Cuando el río transporta hojarasca, arbustos, basura u otro material que pueda afectar el medidor Price, es necesario levantarlo periódicamente hasta el carro suspendido para inspeccionarlo. El aforador se asegura de que el medidor Price opere libremente y no haya sufrido daño el rotor o capachos. Sin embargo, el medidor Price debe mantenerse en el agua el máximo tiempo posible cuando las temperaturas son bajas. El aire frío puede congelar el agua en los capachos y eje central, afectando la libre operación del medidor Price.

El aforador con experiencia siempre lleva consigo en el carro suspendido unas cortadoras de metal. El contrapeso y el medidor Price pueden enredarse en objetos arrastrados por la corriente, poniendo en peligro la seguridad del aforador e instalación. En estos casos, es preferible la pérdida del equipo al riesgo de un accidente y se corta el cable.

El arrastre del medidor y contrapeso también ocurre cuando la velocidad es alta. En esos casos (fig. 33), la profundidad señalada por el indicador automático no es correcta.



**Figura 33.--Arrastre del medidor de velocidad y contrapeso, resultando en medidas incorrectas de profundidad.**

La corrección a aplicarse consiste de dos partes: la corrección correspondiente a la línea expuesta al aire; y la corrección de la línea sumergida. La corrección a aplicarse depende del ángulo  $A$  así como de la distancia  $ab$  (fig. 34).

El Servicio Geológico ha desarrollado tablas para determinar ambas correcciones (tablas 3 y 4). Los principios en que se fundamentan esas tablas son descritos por Rantz y otros (1982).

El procedimiento en el campo consta de tres pasos:

1. Medir el ángulo de deflexión (ángulo  $A$ ) del cable para suspensión.

2. Determinar la distancia vertical de línea expuesta al aire previo a sumergir el contrapeso y el medidor Price (distancia  $ab$ ).

3. Determinar la distancia total de línea utilizada en el sondeo.

Durante el aforo desde el carro suspendido, el aforador obtiene estos valores y procede a hacer sus observaciones de velocidad. Al terminar el aforo, procede entonces al cómputo de las correcciones como sigue:

1. Computa la corrección de "aire" de la tabla 3 (la tabla provee la diferencia entre las distancias vertical y deflexionadas para el ángulo de deflexión observado).

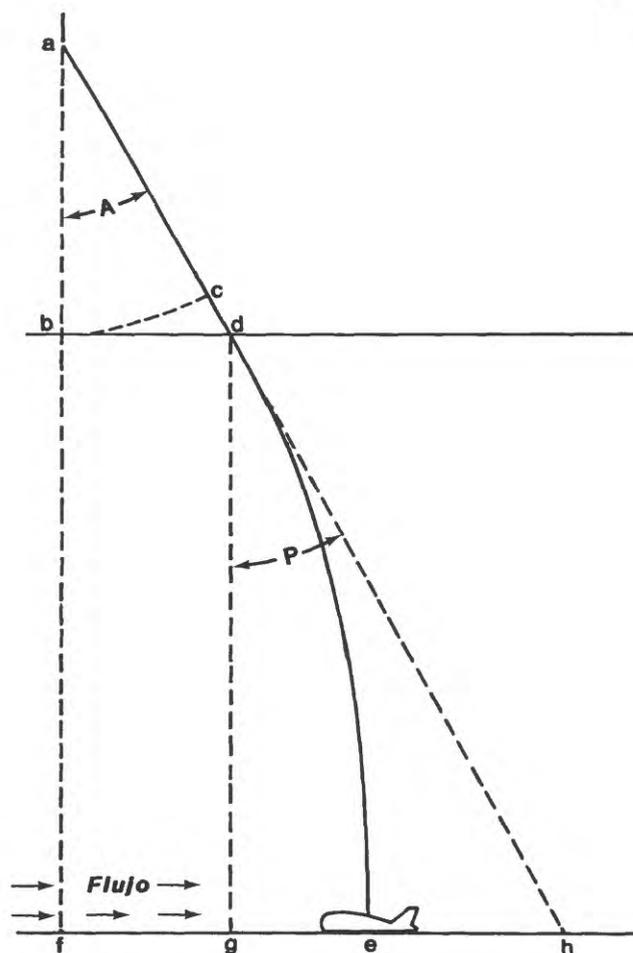


Figura 34.--Factores a considerar en la determinación de correcciones a la profundidad obtenida por una línea de sondeo sujeta a arrastre.

2. Computa la corrección "mojada" utilizando la tabla 4 (la tabla provee la diferencia entre la distancia vertical de la superficie al fondo (línea  $dg$ , figura 34), y la distancia deflexionada obtenida en el campo ( $dh$ )).

La suma de ambos valores corregidos provee la profundidad ( $P$ ) correcta. El cómputo del caudal se efectúa con los valores corregidos como se describe en la página 40.

Tabla 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.

Largo vertical, en pies	Ángulo vertical de deflexión de la línea sumergida																	Largo vertical, en pies	
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	
10	0.01	0.02	0.03	0.05	0.07	0.10	0.13	0.16	0.20	0.25	0.30	0.35	0.41	0.47	0.54	0.62	0.70	10	
12	0.01	0.02	0.04	0.06	0.09	0.12	0.15	0.20	0.24	0.30	0.36	0.42	0.49	0.57	0.65	0.74	0.84	12	
14	0.01	0.02	0.04	0.07	0.10	0.14	0.18	0.23	0.29	0.35	0.41	0.49	0.57	0.66	0.76	0.87	0.98	14	
16	0.01	0.03	0.05	0.08	0.12	0.16	0.20	0.26	0.33	0.40	0.47	0.56	0.65	0.76	0.87	0.99	1.12	16	
18	0.01	0.03	0.06	0.09	0.13	0.18	0.23	0.30	0.37	0.45	0.53	0.63	0.73	0.85	0.98	1.12	1.26	18	
20	0.01	0.03	0.06	0.10	0.14	0.20	0.26	0.33	0.41	0.50	0.59	0.70	0.82	0.94	1.09	1.24	1.40	20	
22	0.01	0.04	0.07	0.11	0.16	0.22	0.28	0.36	0.45	0.55	0.65	0.77	0.90	1.04	1.20	1.36	1.54	22	
24	0.01	0.04	0.08	0.12	0.17	0.24	0.31	0.39	0.49	0.60	0.71	0.84	0.98	1.13	1.31	1.49	1.68	24	
26	0.02	0.04	0.08	0.13	0.19	0.25	0.33	0.43	0.53	0.64	0.77	0.91	1.06	1.23	1.41	1.61	1.81	26	
28	0.02	0.04	0.09	0.14	0.20	0.27	0.36	0.46	0.57	0.69	0.83	0.98	1.14	1.32	1.52	1.74	1.95	28	
30	0.02	0.05	0.10	0.15	0.22	0.29	0.38	0.49	0.61	0.74	0.89	1.05	1.22	1.42	1.63	1.86	2.09	30	
32	0.02	0.05	0.10	0.16	0.23	0.31	0.41	0.52	0.65	0.79	0.95	1.12	1.31	1.51	1.74	1.98	2.23	32	
34	0.02	0.05	0.11	0.17	0.24	0.33	0.44	0.56	0.69	0.84	1.01	1.19	1.39	1.60	1.85	2.11	2.37	34	
36	0.02	0.06	0.12	0.18	0.26	0.35	0.46	0.59	0.73	0.89	1.07	1.26	1.47	1.70	1.96	2.23	2.51	36	
38	0.02	0.06	0.12	0.19	0.27	0.37	0.49	0.62	0.78	0.94	1.12	1.33	1.55	1.79	2.07	2.36	2.65	38	
40	0.02	0.06	0.13	0.20	0.29	0.39	0.51	0.66	0.82	0.99	1.18	1.40	1.63	1.89	2.18	2.48	2.79	40	
42	0.03	0.07	0.13	0.21	0.30	0.41	0.54	0.69	0.86	1.04	1.24	1.47	1.71	1.98	2.28	2.60	2.93	42	
44	0.03	0.07	0.14	0.22	0.32	0.43	0.56	0.72	0.90	1.09	1.30	1.54	1.80	2.08	2.39	2.73	3.07	44	
46	0.03	0.07	0.15	0.23	0.33	0.45	0.59	0.75	0.94	1.14	1.36	1.61	1.88	2.17	2.50	2.85	3.21	46	
48	0.03	0.08	0.15	0.24	0.35	0.47	0.61	0.79	0.98	1.19	1.42	1.68	1.96	2.27	2.61	2.98	3.35	48	
50	0.03	0.08	0.16	0.25	0.36	0.49	0.64	0.82	1.02	1.24	1.48	1.75	2.04	2.36	2.72	3.10	3.49	50	
52	0.03	0.08	0.17	0.26	0.37	0.51	0.67	0.85	1.06	1.29	1.54	1.82	2.12	2.45	2.83	3.22	3.63	52	
54	0.03	0.09	0.17	0.27	0.39	0.53	0.69	0.89	1.10	1.34	1.60	1.89	2.20	2.55	2.94	3.35	3.77	54	
56	0.03	0.09	0.18	0.28	0.40	0.55	0.72	0.92	1.14	1.39	1.66	1.96	2.28	2.64	3.05	3.47	3.91	56	
58	0.03	0.09	0.19	0.29	0.42	0.57	0.74	0.94	1.18	1.44	1.72	2.03	2.37	2.74	3.16	3.60	4.05	58	
60	0.04	0.10	0.19	0.30	0.43	0.59	0.77	0.98	1.22	1.49	1.78	2.10	2.45	2.83	3.26	3.72	4.19	60	
62	0.04	0.10	0.20	0.31	0.45	0.61	0.79	1.02	1.26	1.54	1.84	2.17	2.53	2.93	3.37	3.84	4.33	62	
64	0.04	0.10	0.20	0.32	0.46	0.63	0.82	1.05	1.31	1.59	1.89	2.24	2.61	3.02	3.48	3.97	4.47	64	
66	0.04	0.11	0.21	0.33	0.48	0.65	0.84	1.08	1.35	1.64	1.95	2.31	2.69	3.12	3.59	4.09	4.61	66	
68	0.04	0.11	0.22	0.34	0.49	0.67	0.87	1.12	1.39	1.69	2.01	2.38	2.77	3.21	3.70	4.22	4.75	68	
70	0.04	0.11	0.22	0.35	0.50	0.69	0.90	1.15	1.43	1.74	2.07	2.45	2.85	3.30	3.81	4.34	4.89	70	
72	0.04	0.12	0.23	0.36	0.52	0.71	0.92	1.18	1.47	1.79	2.13	2.52	2.94	3.40	3.92	4.46	5.03	72	
74	0.04	0.12	0.24	0.37	0.53	0.73	0.95	1.21	1.51	1.84	2.19	2.59	3.02	3.49	4.03	4.59	5.17	74	
76	0.05	0.12	0.24	0.38	0.55	0.74	0.97	1.25	1.55	1.88	2.25	2.66	3.10	3.59	4.13	4.71	5.30	76	
78	0.05	0.12	0.25	0.39	0.56	0.76	1.00	1.28	1.59	1.93	2.31	2.73	3.18	3.68	4.24	4.84	5.44	78	
80	0.05	0.13	0.25	0.40	0.58	0.78	1.02	1.31	1.63	1.98	2.37	2.80	3.26	3.78	4.35	4.96	5.58	80	
82	0.05	0.13	0.26	0.41	0.59	0.80	1.05	1.38	1.67	2.03	2.43	2.87	3.35	3.87	4.46	5.08	5.72	82	
84	0.05	0.13	0.27	0.42	0.60	0.82	1.08	1.38	1.71	2.08	2.49	2.94	3.43	3.96	4.57	5.21	5.86	84	
86	0.05	0.14	0.28	0.43	0.62	0.84	1.10	1.41	1.75	2.13	2.55	3.01	3.51	4.06	4.68	5.33	6.00	86	
88	0.05	0.14	0.28	0.44	0.63	0.86	1.13	1.44	1.80	2.18	2.60	3.08	3.59	4.15	4.79	5.46	6.14	88	
90	0.06	0.14	0.29	0.45	0.65	0.88	1.15	1.48	1.84	2.23	2.66	3.15	3.67	4.25	4.90	5.58	6.28	90	
92	0.06	0.15	0.29	0.46	0.66	0.90	1.18	1.51	1.88	2.28	2.72	3.22	3.75	4.34	5.00	5.70	6.42	92	
94	0.06	0.15	0.30	0.47	0.68	0.92	1.20	1.54	1.92	2.33	2.78	3.29	3.84	4.44	5.11	5.83	6.56	94	
96	0.06	0.15	0.31	0.48	0.69	0.94	1.23	1.57	1.96	2.38	2.84	3.36	3.92	4.53	5.22	5.95	6.70	96	
98	0.06	0.16	0.31	0.49	0.71	0.96	1.25	1.61	2.00	2.43	2.90	3.43	4.00	4.63	5.33	6.08	6.84	98	
100	0.06	0.16	0.32	0.50	0.72	0.98	1.28	1.64	2.04	2.48	2.96	3.50	4.08	4.72	5.44	6.20	6.98	100	

**Tabla 4. Factores para corrección de la línea sumergida, en pies y la diferencia entre la distancia vertical y el largo inclinado para el ángulo inclinado.**

Largo vertical, en pies	Angulo vertical de deflección de la línea sumergida															Largo vertical, en pies	
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32		34
10	0.02	0.06	0.10	0.15	0.22	0.31	0.40	0.51	0.64	0.79	0.95	1.13	1.33	1.55	1.79	2.06	2.36
12	0.03	0.07	0.12	0.19	0.27	0.37	0.48	0.62	0.77	0.94	1.14	1.35	1.59	1.86	2.15	2.47	2.83
14	0.03	0.08	0.14	0.22	0.31	0.43	0.56	0.72	0.90	1.10	1.32	1.58	1.86	2.17	2.51	2.89	3.30
16	0.04	0.09	0.16	0.25	0.36	0.49	0.64	0.82	1.03	1.26	1.51	1.80	2.12	2.48	2.87	3.30	3.78
18	0.04	0.10	0.18	0.28	0.40	0.55	0.73	0.93	1.16	1.41	1.70	2.03	2.39	2.78	3.23	3.71	4.25
20	0.05	0.11	0.20	0.31	0.45	0.61	0.81	1.03	1.28	1.57	1.89	2.25	2.65	3.09	3.58	4.12	4.72
22	0.05	0.12	0.22	0.34	0.49	0.67	0.89	1.13	1.41	1.73	2.08	2.48	2.92	3.40	3.94	4.54	5.19
24	0.05	0.13	0.24	0.37	0.54	0.73	0.97	1.24	1.54	1.88	2.27	2.70	3.18	3.71	4.30	4.95	5.67
26	0.06	0.14	0.26	0.40	0.58	0.80	1.05	1.34	1.67	2.04	2.46	2.93	3.45	4.02	4.66	5.36	6.14
28	0.07	0.15	0.28	0.43	0.63	0.86	1.13	1.44	1.80	2.20	2.65	3.15	3.71	4.33	5.02	5.77	6.61
30	0.07	0.17	0.31	0.46	0.67	0.92	1.21	1.54	1.93	2.36	2.84	3.38	3.98	4.64	5.38	6.19	7.08
32	0.08	0.18	0.31	0.49	0.71	0.98	1.29	1.65	2.05	2.51	3.03	3.60	4.24	4.95	5.73	6.60	7.55
34	0.08	0.19	0.33	0.52	0.76	1.04	1.37	1.75	2.18	2.67	3.22	3.83	4.51	5.26	6.09	7.01	8.03
36	0.09	0.20	0.35	0.56	0.80	1.10	1.45	1.85	2.31	2.83	3.41	4.05	4.77	5.57	6.45	7.42	8.50
38	0.09	0.21	0.37	0.59	0.85	1.16	1.53	1.96	2.44	2.98	3.60	4.28	5.04	5.88	6.81	7.84	8.97
40	0.10	0.22	0.39	0.62	0.89	1.22	1.61	2.06	2.57	3.14	3.79	4.50	5.30	6.19	7.17	8.25	9.44
42	0.11	0.23	0.41	0.65	0.94	1.29	1.69	2.16	2.70	3.30	3.97	4.73	5.57	6.50	7.53	8.66	9.91
44	0.11	0.24	0.43	0.68	0.98	1.35	1.77	2.26	2.82	3.46	4.16	4.95	5.83	6.81	7.88	9.07	10.39
46	0.11	0.25	0.45	0.71	1.03	1.41	1.85	2.37	2.95	3.61	4.35	5.18	6.10	7.12	8.24	9.49	10.86
48	0.12	0.26	0.47	0.74	1.07	1.47	1.93	2.47	3.08	3.77	4.54	5.40	6.36	7.43	8.60	9.90	11.33
50	0.12	0.28	0.49	0.77	1.12	1.53	2.02	2.57	3.21	3.93	4.73	5.63	6.63	7.74	8.96	10.31	11.80
52	0.13	0.29	0.51	0.80	1.16	1.59	2.10	2.68	3.34	4.08	4.92	5.86	6.89	8.04	9.32	10.72	12.28
54	0.13	0.30	0.53	0.83	1.21	1.65	2.18	2.78	3.47	4.24	5.11	6.08	7.16	8.35	9.68	11.14	12.75
56	0.14	0.31	0.55	0.86	1.25	1.71	2.26	2.88	3.59	4.40	5.30	6.31	7.42	8.66	10.03	11.55	13.22
58	0.14	0.32	0.57	0.89	1.30	1.78	2.34	2.98	3.72	4.55	5.49	6.53	7.69	8.97	10.39	11.96	13.69
60	0.15	0.33	0.59	0.93	1.34	1.84	2.42	3.09	3.85	4.71	5.68	6.76	7.95	9.28	10.75	12.37	14.16
62	0.15	0.34	0.61	0.96	1.39	1.90	2.50	3.19	3.98	4.87	5.87	6.98	8.22	9.59	11.11	12.79	14.64
64	0.16	0.35	0.63	0.99	1.43	1.96	2.58	3.29	4.11	5.03	6.06	7.21	8.48	9.90	11.47	13.20	15.11
66	0.16	0.36	0.65	1.02	1.47	2.02	2.66	3.40	4.24	5.18	6.25	7.43	8.75	10.21	11.83	13.61	15.58
68	0.17	0.37	0.67	1.05	1.52	2.08	2.74	3.50	4.36	5.34	6.44	7.66	9.01	10.52	12.18	14.02	16.05
70	0.17	0.39	0.69	1.08	1.56	2.14	2.82	3.60	4.49	5.50	6.62	7.88	9.28	10.83	12.54	14.44	16.52
72	0.18	0.40	0.71	1.11	1.61	2.20	2.90	3.71	4.62	5.65	6.81	8.11	9.55	11.14	12.90	14.85	17.00
74	0.18	0.41	0.73	1.14	1.65	2.27	2.98	3.81	4.75	5.81	7.00	8.33	9.81	11.45	13.26	15.26	17.47
76	0.19	0.42	0.75	1.17	1.70	2.33	3.06	3.91	4.88	5.97	7.19	8.56	10.08	11.76	13.62	15.67	17.94
78	0.19	0.43	0.77	1.20	1.74	2.39	3.14	4.01	5.01	6.13	7.38	8.78	10.34	12.07	13.98	16.09	18.41
80	0.20	0.44	0.79	1.23	1.79	2.45	3.22	4.12	5.13	6.28	7.57	9.01	10.61	12.38	14.33	16.50	18.89
82	0.20	0.45	0.81	1.27	1.83	2.51	3.30	4.22	5.26	6.44	7.76	9.23	10.37	12.69	14.69	16.91	19.38
84	0.20	0.46	0.83	1.30	1.88	2.57	3.39	4.32	5.39	6.50	7.95	9.46	11.14	12.99	15.05	17.32	19.83
86	0.21	0.47	0.85	1.33	1.92	2.63	3.47	4.43	5.52	6.75	8.14	9.68	11.40	13.30	15.41	17.73	20.30
88	0.21	0.48	0.87	1.36	1.97	2.69	3.55	4.53	5.65	6.91	8.33	9.91	11.67	13.61	15.77	18.15	20.77
90	0.22	0.50	0.88	1.39	2.01	2.75	3.63	4.63	5.78	7.07	8.52	10.13	11.93	13.92	16.13	18.56	21.25
92	0.22	0.51	0.90	1.42	2.06	2.82	3.71	4.73	5.90	7.22	8.71	10.36	12.20	14.23	16.48	18.97	21.72
94	0.23	0.52	0.92	1.45	2.10	2.88	3.79	4.84	6.03	7.38	8.90	10.58	12.46	14.54	16.84	19.38	22.19
96	0.23	0.53	0.94	1.48	2.14	2.94	3.87	4.94	6.16	7.54	9.09	10.81	12.73	14.85	17.20	19.80	22.66
98	0.24	0.54	0.96	1.51	2.19	3.00	3.95	5.04	6.29	7.70	9.27	11.03	12.99	15.16	17.56	20.21	23.13
100	0.24	0.55	0.98	1.54	2.23	3.06	4.03	5.15	6.42	7.85	9.46	11.26	13.26	15.47	17.92	20.62	23.61

**Aforos Desde Cables Suspending-  
Continuación**

Si la dirección del flujo no es perpendicular a la sección transversal, el ángulo de deflexión indicado en el marcador será más pequeño que la desviación correcta. Las correcciones de "aire" y "sumersión" serán entonces menores que lo correcto. Es necesario aplicar una corrección adicional para este factor. El procedimiento consiste de los siguientes pasos:

1. Se determina el coeficiente de desviación horizontal (el coseno del ángulo según lo indicado en la página 28).

2. Se corrige el ángulo vertical de desviación utilizando los factores en la tabla 5.

3. El ángulo vertical corregido se aplica según lo estipulado en la sección anterior.

**Tabla 5. Corrección a ser añadida al ángulo vertical en grados, debido a desviación horizontal del flujo.**

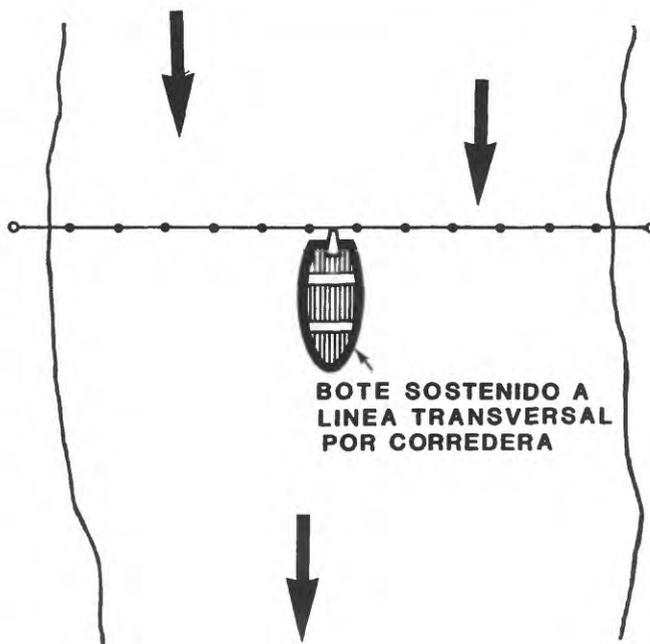
ANGULO VERTICAL OBSERVADO	ANGULO HORIZONTAL OBSERVADO					
	8°	12°	16°	20°	24°	28°
	COS= 0.99	COS= 0.98	COS= 0.96	COS= 0.94	COS= 0.91	COS= 0.88
8°	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	1.0
12°	.1	.3	.5	.8	1.1	1.5
16°	.1	.4	.6	1.0	1.4	2.0
20°	.2	.4	.7	1.2	1.7	2.4
24°	.2	.5	.8	1.4	2.0	2.8
28°	.2	.5	1.0	1.5	2.2	3.0
32°	.2	.6	1.0	1.6	2.4	3.3
36°	.2	.6	1.1	1.7	2.5	3.4

**Aforación Desde Botes**

En ausencia de puentes, secciones de vado, o cables suspendidos, el uso de botes es la única alternativa para obtener el caudal.

Existen varias técnicas para aforo desde botes. Estas incluyen:

1. Utilización de una línea de acceso para mantener el bote en curso perpendicular al flujo del cauce. Esta técnica se utiliza en cauces angostos en los cuales no hay navegación. El operador del bote lo mantiene aguas abajo de la línea, la cual está sujeta a una corredera en el bote (fig. 35).



**Figura 35.--Aforación desde un bote sostenido por una línea transversal.**

Las observaciones de velocidad se llevan a cabo en forma similar a los procedimientos a vado o desde puentes.

2. Uso de tránsito y sextante. Cuando el río es ancho, caudaloso, y navegable, el aforo puede llevarse a cabo localizando el bote mediante un tránsito o una combinación de tránsito y sextante. Si la corriente no es muy rápida, y es posible anclar el bote o mantenerlo fijo en la sección transversal (marcada con banderas en los extremos como se ilustra en la figura 36), puede utilizarse un tránsito para medir la distancia. El técnico en el tránsito (Instrumentista) toma una lectura de distancia a una regla calibrada en el bote. El operador del bote se localiza a las distancias preseleccionadas. El instrumentista obtiene el ángulo B entre un punto fijo en la sección (punto M) y el bote. Esos ángulos son

computados previo al aforo a base de la información en la sección. El instrumentista conoce qué ángulo representa cada subsección, y utilizando radio o señales procede a indicarle al operador del bote que se mueva hasta quedar localizado en el punto correcto. En ese punto, se procede a obtener la velocidad utilizando el método propio. Mantener el bote en el punto correcto es función muy importante del operador del bote, auxiliado por las instrucciones del instrumentista. El operador del bote puede utilizar un sextante para corroborar que está en el punto correcto.

3. El método de bote en movimiento. Este método requiere equipo especial y sofisticado, por lo cual no se describe en este manual. Los interesados pueden referirse a la publicación de Rantz y otros (1982), Capítulo 6.

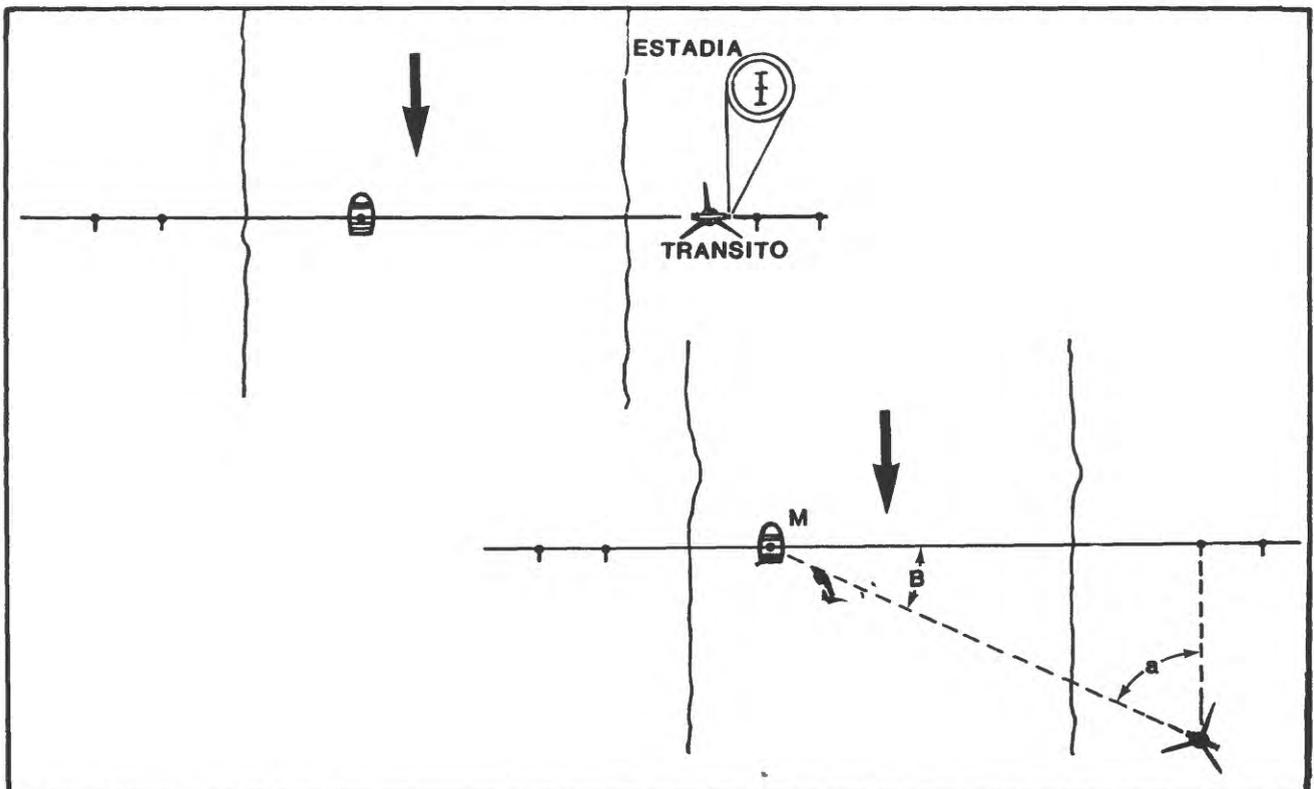
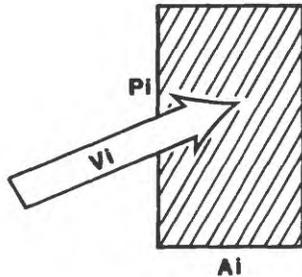


Figura 36.—Técnica para aforos en ríos caudalosos utilizando métodos de tránsito y sextante.

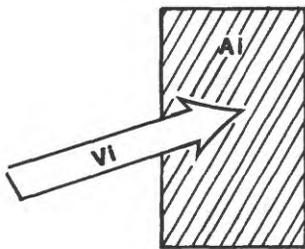
**Computo del Caudal**

El caudal obtenido en un aforo es la suma de los productos del área de cada subsección y la velocidad promedio en la subsección respectiva.

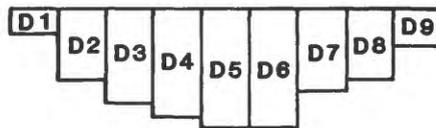
La fórmula  $D = \sum (A_i V_i)$  representa el cómputo; donde  $D$  es el caudal total, y  $A_i$  y  $V_i$  representan las áreas y velocidades en cada subsección (fig. 37).



EN CADA SUBSECCION DE PROFUNDIDAD  $P_i$  Y ANCHO  $A_i$  SE OBTIENE LA VELOCIDAD  $V_i$  REPRESENTATIVA DE LA SECCION.



EL PRODUCTO DE LA VELOCIDAD  $V_i$  DE LA SUBSECCION Y EL AREA  $A_i$  RESULTA EN EL CAUDAL  $D_i$  PARA LA SUBSECCION



LA SUMA DE LOS PRODUCTOS INDIVIDUALES EN CADA SUBSECCION PRODUCE EL CAUDAL TOTAL  $D$

$$D = \sum_1^9 D_i = \sum_1^9 (A_i V_i)$$

Figura 37.--Conceptos básicos para el cómputo del caudal en una sección transversal.

El Servicio Geológico utiliza el método de "mitad de sección" para obtener las áreas a utilizarse en el cómputo. En este método se asume que la velocidad promedio observada (utilizando el método apropiado), representa la velocidad promedio en la subsección rectangular. La subsección se extiende desde la mitad de la distancia al punto de observación de velocidad anterior, hasta la mitad de la distancia del punto siguiente (fig. 38).

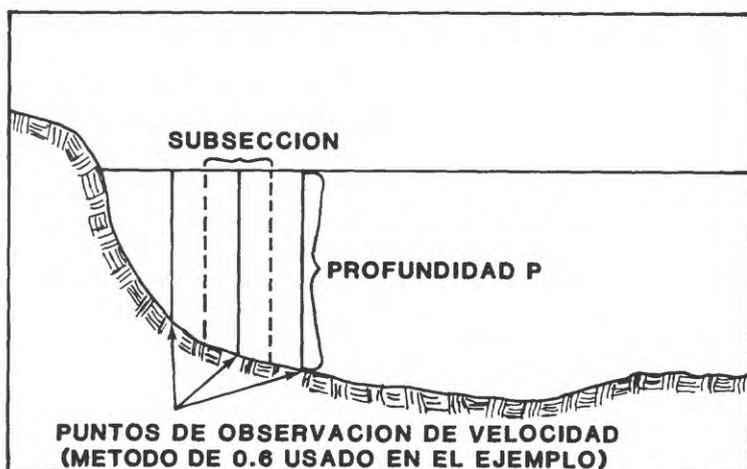


Figura 38.--Subsecciones utilizadas para el cómputo del aforo.

Verticalmente, la subsección se extiende desde la superficie del agua hasta el valor de la profundidad (P) observada.

El método utilizado por el Servicio Geológico utiliza la fórmula general siguiente para computar descargas individuales en cada subsección ( $q_i$ ):

$$q_i = V_i \frac{d(i+1) - d(i-1)}{2} P_i$$

Donde los valores indicados significan:

- $q_i$  = descarga en la subsección
- $V_i$  = velocidad promedio en la subsección
- $d$  = distancia del punto inicial
- $P_i$  = profundidad de la subsección

Veán en el siguiente ejemplo cómo se aplica la fórmula, en particular en los extremos de la sección transversal (figura 39).

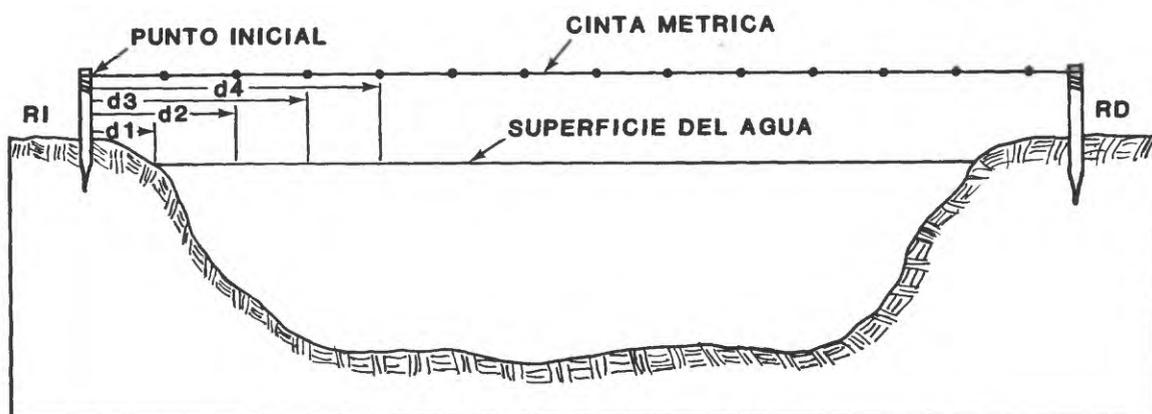


Figura 39.--Determinación de distancias del punto inicial.

### Cómputo del Caudal-Continuación

Si se toma la sección del siguiente modo:

El aforador comienza en la ribera (RI) y el punto inicial se denomina cero (0). Asuman que la orilla del cauce se encuentra a una distancia  $d_1 = 1.0$  pie y que por ser la orilla del cauce, la profundidad y velocidad son cero (0) (fig. 40).

El aforador se mueve al siguiente punto de observación a una distancia  $d_2 = 2.0$  pies (fig. 41). Asumiendo que aquí se observa una profundidad (P) de 1.0 pie, procede a tomar la velocidad utilizando el método de 6 décimas.

Si aplicamos la fórmula (1) arriba, obtenemos para la sección 1 ( $i = 1$ ), que,

$$q_1 = v_1 \frac{(d_2 - d_1 - (d_1 - 1)p_1)}{2} \quad (2)$$

DISTANCIA PUNTO INICIAL (D)	ANCHO (A)	PROFUNDIDAD (P)	OBS	REVOLUCIONES (R)	TIEMPO (T)
1.0	—	0	—	0	0

Figura 40.--Ejemplo de anotaciones en la primera subsección del aforo.

VALOR DE i	$D_i$	$A_i$	$P_i$	OBS	$R_i$	$T_i$	$V_i$
1	1.0		0	.6	0	0	0
2	2.0		1.0		40	40	1.0
VELOCIDAD ASUMIDA							

Figura 41.--Ejemplo de las primeras dos subsecciones de un aforo.

En vista de que  $(d_1 - 1 - d_0)$  no existe, en la primera subsección se asume que la distancia  $d_1 - 1 = d_1$ . Por lo tanto, se obtiene que

$$q_1 = V_1 \left( \frac{d_2 - d_1}{2} \right) P_1 \quad (3)$$

Substituyendo los valores arriba obtenidos, tenemos que,

$$q_1 = 0 \left( \frac{2 - 1}{2} \right) 0 = 0 \quad (4)$$

Lo cual es lógico, ya que la profundidad era cero. En el caso de una ribera perpendicular,  $P_1$  no es cero, por lo cual  $V_1$  tampoco sería cero, y  $q_1$  sería distinto a cero.

Para la subsección 2,

$$q_2 = V_2 \left( \frac{d_3 - d_1}{2} \right) P_2 \quad (5)$$

Puede verse que es necesario determinar la distancia  $d_3 = 3.0$  pies. Se tiene que:

$$q_2 = 1.0 \left( \frac{3.0 - 1.0}{2} \right) 1.0 = 1.0$$

$$\frac{(2)}{2} = 1.0 \quad (6)$$

$$q_2 = 1.0 \text{ pie cúbico por segundo} \quad (7)$$

$(P^3/s)$

Si las unidades de distancia (d) y profundidad (P) son en pies, y la velocidad (V) es en pies por segundo. En el caso de usarse unidades métricas (d y P en metros, V en metros por segundo), q sería en metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ).

Puede observarse del cómputo para la sección 2 (y todas las subsiguientes excepto la final), que la distancia entre verticales es igual al ancho (A), y que se obtiene restando la distancia hasta el punto siguiente de la distancia al punto anterior (esta es la base del método de "mitad de sección").

En el caso de la última sección, se aplica el mismo principio que para la primera como sigue:

$$q_i = V_i \left[ \frac{(d_i - d(i-1))}{2} \right] P_i \quad (8)$$

En el ejemplo siguiente (fig. 42) se han utilizado valores asumidos para simplificar los cómputos.

i	d <sub>i</sub>	A <sub>i</sub>	P <sub>i</sub>	OBS	R <sub>i</sub>	T <sub>i</sub>	V <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>
18	18		1.0	.6	40	40	1.0	
19	19		1.0	.6	40	40	1.0	
20	20		0.0	.6	0	0	0	

Figura 42.--Ejemplo de las últimas tres subsecciones de un aforo.



## **Formulario de Cálculos- Continuación**

El formulario de cálculos incluye en su cubierta los datos previamente indicados relativos al punto o sección de aforo. Es muy importante completar el formulario totalmente, ya que la información requerida puede ser muy valiosa posteriormente en el análisis del aforo.

El formulario puede prepararse de longitud sencilla (para acomodar aforos en cauces estrechos y llanos) o dobles (para aforos que requieran más secciones y observaciones en diferentes profundidades). El material puede ser común, aunque se prefiere material en el que pueda escribirse cuando está húmedo. El tamaño no debe exceder 10-12 pulgadas de largo y 5-6 pulgadas de ancho. Esto permitirá su fácil manejo en el campo, especialmente en el medio del cauce (el aforador con experiencia sostiene el formulario, cronómetro, y pluma o lápiz de anotar, con cuerdas atadas a su cintura o cuello).

En el campo, el aforador anota consecutivamente la distancia del punto original ( $D_i$ ), la profundidad ( $P_i$ ), el método de observación, las revoluciones ( $R_i$ ), y el tiempo ( $T_i$ ). Obsérvese que el ancho de la subsección ( $W_i$ ), el área ( $A_i$ ), la velocidad ( $V_i$ ) y el cómputo de la descarga en la subsección ( $q_i$ ), no se computan hasta terminar el aforo.

El aforador lleva a cabo el cómputo del caudal tan pronto completa las observaciones en la sección transversal. En el caso de que el aforo se lleve a cabo en las cercanías de una estación de

medir flujo continuo, eso le permitirá corroborar el funcionamiento propio de la estación, así como cambios en el área de control de la relación de caudal a profundidad. Su experiencia previa y el diario de aforos de la estación le indicarán si el caudal computado es razonable. De ser necesario, se procede a aforar nuevamente.

## **MÉTODOS PARA LA RECOGIDA Y ANÁLISIS DE MUESTRAS PARA CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL**

### **Objetivo**

Esta sección del manual resume los métodos de recogida y análisis de muestras de agua superficial usados por el Servicio Geológico de los Estados Unidos en sus investigaciones de calidad de las aguas.

Existen excelentes manuales que definen procedimientos para el análisis del agua. Sin embargo, muchos de ellos enfatizan primordialmente la utilización de agua para usos domésticos, industria, y agricultura, y generalmente consideran muy brevemente los problemas relacionados con la recogida de muestras.

Los cambios rápidos en tecnología están constantemente proveyendo nuevos y mejorados métodos para el estudio de los parámetros de calidad del agua. Es, por lo tanto, necesario que esos manuales sean revisados con frecuencia para implementar las más recientes técnicas y procedimientos. La implementación de las técnicas más depuradas redundará en la colección de muestras y datos de la mayor calidad y uniformidad.

## PROCEDIMIENTOS EN EL CAMPO

La recogida y análisis de muestras de agua superficial tiene como objetivo determinar la composición química y física de un cuerpo de agua y su disponibilidad para uso doméstico, industrial y agrícola. También se recogen muestras con el fin de ayudar a entender las relaciones geoquímicas e hidrológicas en los sistemas naturales y evaluar la influencia del hombre en esos sistemas. La interpretación de los datos de un programa de muestreo y análisis sistemático puede también indicar la naturaleza, fuente y variabilidad tanto de la materia disuelta como de la suspendida en un cuerpo de agua.

Si se obtienen muestras que no son representativas del cuerpo de agua, pueden ocurrir interpretaciones erróneas de las características del cuerpo de agua bajo estudio. Una muestra puede ser considerada representativa de un cuerpo de agua, dependiendo de varios factores, entre los cuales deben considerarse: (1) la homogeneidad del cuerpo de agua a ser muestreado, (2) el número de puntos muestreados, (3) el tamaño de la muestra individual, y (4) la forma en que se efectúe la recogida de muestras.

La mayoría de los cuerpos de agua no son completamente homogéneos y el obtener una muestra representativa depende de las técnicas de muestreo empleadas, así como del tamaño y el número de

las muestras. Usualmente puede lograrse una muestra más representativa muestreando y tomando muestras pequeñas de diferentes partes del cuerpo de agua, en lugar de tomar una muestra grande de un solo sitio. A mayor número de muestras individuales y a mayor número de puntos muestreados, más representativa del cuerpo de agua será la muestra compuesta.

Muchos cuerpos naturales de agua están sujetos a fuerzas que promueven la homogeneidad, como lo son la turbulencia y la acción del viento. Esos cuerpos también son afectados por procesos químicos, físicos y biológicos que promueven la condición de no-homogeneidad.

Algunos errores en el muestreo, especialmente los relacionados con la frecuencia de muestreo, pueden ser reducidos sustancialmente utilizando instrumentos automáticos. Sin embargo, aún los instrumentos más complicados pueden introducir errores en el muestreo.

## SELECCION DEL LUGAR

La selección de un lugar para la recogida de muestras de agua es un factor importante para obtener una muestra representativa del cuerpo de agua. Los programas de recogida de datos de calidad del agua históricamente se han desarrollado para satisfacer requerimientos específicos y a veces únicos, relacionados con el desarrollo del recurso de agua en un área en particular.

## Ríos y Quebradas

Un programa diseñado para obtener muestras representativas de un río o quebrada debe considerar primeramente la necesidad de que las muestras tomadas representen todo el flujo de la corriente de agua en ese punto y a ese tiempo. Las estaciones de muestreo no deben establecerse en lugares donde el mezclado es incompleto o donde existan diferencias significativas en la composición del agua o a lo largo de la sección transversal escogida. Una muestra típica del flujo completo de la corriente es usualmente necesaria. Para algunos propósitos, sin embargo, se desea solamente la composición del agua en un punto fijo. Si en ese punto la composición del agua es significativamente diferente a la del cauce total, esto debe ser anotado, de manera que los usuarios de la información no arriben a conclusiones equivocadas.

El investigador debe tratar de combinar sus objetivos de modo que el muestreo produzca datos de calidad de agua que tengan uso múltiple. Por ejemplo, la localización de la estación puede resultar en que los datos obtenidos en adición a satisfacer el proyecto específico, puedan relacionarse a otras estaciones regionales o nacionales.

La homogeneidad de la corriente en una sección transversal es determinada por factores físicos como turbulencia y la distancia desde afluentes significativos. En la velocidad de las confluencias frecuentemente existe una separación física entre las aguas del tributario y la corriente principal. Este efecto es más pronunciado y puede persistir por muchos kilómetros de las confluencias abajo, si la composición de las dos aguas difiere significa-

tivamente respecto a temperatura o sólidos disueltos o suspendidos. Teóricamente, se puede obtener una muestra que represente la composición de toda la corriente mezclando una serie de muestras de igual volumen y el flujo de la sección transversal. Este proceso puede requerir un número alto de muestras, por lo que es preferible seleccionar una sección del cauce cuya composición del agua sea uniforme respecto a la profundidad y a la longitud de la sección transversal. Ese tipo de sección ocurre usualmente en las quebradas pequeñas y medianas, y menos frecuentemente en ríos de cauce significativo. La uniformidad de la composición del agua en la sección seleccionada puede simplificar el procedimiento en el proceso de muestreo al extremo de que una sola muestra sea representativa del cuerpo de agua.

Otros factores a ser considerados en la selección del lugar de muestreo incluyen: los accesos al lugar de muestreo; disponibilidad de colectores apropiados de muestras; energía eléctrica si se necesita operar un instrumento automático.

La selección de una estación de calidad de agua coincidente con una estación de aforo ofrece ventajas, ya que los datos de escorrentía son esenciales para computar la carga de material disuelto transportado por la corriente. Sin embargo, las condiciones de muestreo cerca de una estación aforadora pueden ser poco satisfactorias para una estación de calidad de agua. En lugar de considerar el establecimiento de una estación de aforo como pre-requisito para establecer una estación de calidad de agua, el técnico de campo debe explorar la posibilidad de obtener directamente la escorrentía en la estación de calidad de agua (véase p. 21).

## Ríos y Quebradas-Continuación

Algunas quebradas y ríos de poco cauce exhiben diferencias laterales y verticales en la composición del agua. Estas diferencias pueden deberse a la afluencia de agua subterránea o superficial en cantidades pequeñas, pero suficiente para afectar la composición lateral. Igualmente, actividad biológica en un sector de la sección puede afectar la composición lateral.

Una estación de muestreo debe ser seleccionada, hasta donde sea posible, en afinidad con otras estaciones del área, cuenca, o red nacional. Aún cuando una estación individual se establece para cubrir una necesidad específica, el potencial de suplir datos para otros estudios de calidad de agua no debe pasarse por alto. Si dos o más lugares van a brindar más o menos la misma información útil para cubrir necesidades inmediatas, se le debe dar preferencia a la estación que reúna los siguientes requisitos:

1. Aquella que mejor encaje dentro de un plan general para evaluar la calidad química en una base amplia.

2. Aquella que brinde información que pueda ser correlacionada con información periódica obtenida de otros lugares o que pueda suplementar esa información periódica.

3. Aquella que permita determinar la cantidad total de material disuelto descargado de un área.

4. Aquella que esté localizada en el punto de transición del contacto de una formación geológica a otra.

5. Aquella que esté localizada en un punto donde se prevean futuros desarrollos de los recursos de agua, o cambios en las prácticas de eliminación de desperdicios.

## Lagos y Embalses

La selección de lugares para muestreo en lagos y embalses depende del grado de precisión requerido al determinar la composición del cuerpo de agua. Los lagos y embalses no responden a los mismos patrones de mezclado que un cauce en movimiento. La circulación y el movimiento del agua causado por el viento, los cambios de temperatura y las corrientes entre los puntos de afluencia y efluencia causan el mezclado. Otros factores que afectan el mezclado son la forma del cuerpo de agua, la diferencia en composición de la afluencia y el agua almacenada, la estratificación térmica, la evaporación, la solución o evolución de gases en la interfase aire-agua y la actividad de las plantas acuáticas y vida animal.

Un estudio de la composición de un cuerpo de agua puede hacerse tomando muestras a lo largo de una red con un patrón tridimensional; las muestras se pueden tomar a diferentes profundidades en la intersección de cada red. Cuando los recursos son más limitados, es posible muestrear a diferentes profundidades en una línea de puntos a lo largo del cuerpo de agua. La suficiencia de un programa de muestreo depende de la selección juiciosa de la sección transversal y de los puntos de muestreo. Si se va a tomar una sola muestra para definir las características promedio del lago o del embalse, ésta debe ser

tomada cerca del centro de masa del cuerpo de agua. Una muestra sencilla es completamente inadecuada para el estudio de un lago o embalse, sólo provee una aproximación de la calidad promedio del agua. Si se quiere evaluar la calidad de agua de un embalse usado para abastecer usuarios domésticos, la estación de calidad de agua debe ser establecida en o cerca del punto de descarga del embalse. Los lagos y embalses no responden a los mismos patrones de mezclado que un cauce en movimiento.

### FRECUENCIA DE MUESTREOS

La frecuencia de recogida de muestras de un cuerpo de agua superficial depende de los objetivos del programa. Usualmente, los objetivos van dirigidos a observar cambios en la calidad del agua a largo plazo, o a evaluaciones "instantáneas" representativas del cuerpo de agua. Cuando el propósito es observar con el tiempo, es necesario definir qué magnitud de cambio es importante y qué factores físicos y económicos tienen que ser considerados en la obtención de los datos. Por necesidad, el itinerario de muestreo es usualmente un compromiso entre la precisión, el detalle deseado en la definición de la calidad del cuerpo de agua, el presupuesto y personal disponible para ejecutar el trabajo.

El determinar la frecuencia de muestreo para cada sitio depende de la variabilidad en concentración de cada parámetro y de la precisión con que se necesita definir esa variabilidad. Si la variación de los valores es significativa a lo largo del período de muestreo, se necesitarán muchas muestras, quizás hasta una monitoría continua, para definir adecuadamente los pará-

metros de interés. Si la variación es pequeña, entonces la frecuencia puede ser reducida a muestras periódicas para lograr la precisión requerida. Si los parámetros de interés no varían, o no constituyen un problema inmediato o futuro, las medidas rutinarias pueden omitirse, excepto durante períodos de verificación infrecuentes.

### AGUA SUPERFICIAL

En cuerpos de agua relativamente estables, tales como lagos y embalses de gran tamaño y ríos de cauce abundante, una sola muestra u observación puede ser suficiente para describir la calidad del agua por muchos días o quizás semanas. Normalmente, sin embargo, los resultados de una muestra no deben extrapolarse con mucha seguridad por más de un día o dos, ya que podrían alterarse debido a factores que ocasionan variaciones en la composición química del agua. Precipitación intensa, acompañada de cambios en los usos de terrenos en una cuenca, ocasionan influjos repentinos que afectan la calidad del agua. La presencia de plantas acuáticas ocasiona fluctuaciones en los niveles de oxígeno disuelto. Esto, a la vez, afecta el balance químico de los iones en solución.

Basándose en estudios en un gran número de cuerpos de agua, el Servicio Geológico ha determinado que la mejor práctica para definir con precisión la calidad del agua es la recogida de muestras diarias. El muestreo diario prácticamente garantiza la propia definición de la calidad del agua. Sin embargo, en ocasiones, se usan los itinerarios de muestreo menos frecuentes y el valor de las muestras semanales o mensuales en los reconocimientos o en los estudios de cuencas unitarias no deben menospreciarse.

## **AGUA SUPERFICIAL- Continuación**

En años recientes, se ha desarrollado equipo automático para medir varios parámetros de calidad del agua, el cual se puede instalar en las riberas del cauce, o en un puente. El desarrollo de estos instrumentos hace posible obtener información más detallada que con los antiguos métodos de muestreo. A medida que se amplía el uso de instrumentos de monitoría continua de conductividad y otras variables tales como pH y temperatura, el número de análisis químicos requeridos puede disminuirse. Sin embargo, los instrumentos automáticos presentan limitaciones, tales como la necesidad de llevar la muestra al instrumento a través de una toma fija. La localización de esta toma representa un punto de muestreo fijo y los resultados de tales medidas tienen que ser interpretados en términos de homogeneidad de la corriente en el punto de muestreo.

### **EQUIPOS Y MATERIALES**

El técnico de calidad de agua tiene a su disposición una extensa variedad de equipo de muestreo. Solamente aquellos artículos (equipo) que han sido usados satisfactoriamente por el Servicio Geológico serán discutidos en esta sección, lo cual no implica que los omitidos no sean satisfactorios.

#### **Colectores de Muestras Integradores de Profundidad**

Los colectores de muestras-integradores de profundidad y los colectores de muestras de punto se usan para obtener muestras para la determinación de constituyentes no

volátiles y aquellos que no son afectados por la exposición a la presión atmosférica (p. 60). Un colector de muestra-integrador de profundidad consta de un mecanismo para sostener y sumergir un envase para coleccionar la muestra. Cuando el envase es sumergido a una razón uniforme, se admite agua a lo largo del perfil vertical; en consecuencia, el colector de muestras tiene que ser lo suficientemente pesado para sumergir la botella en agua con mucha velocidad. El método para asegurar la botella al colector de muestras requiere un mínimo de manipulación. Algunos de los colectores de muestras-integradores de profundidad usados por el Servicio Geológico se muestran en la fig. 44.

Colector de Punto Los colectores de punto se usan para tomar agua a una profundidad específica, y suelen ser muy simples en cuanto a su construcción. Los tipos principales de este colector se muestran en la fig. 45. El colector modelo "A" se usa solamente para tomar muestras de agua en la superficie del cauce o de un lago o embalse.

El colector modelo "A" funciona a base de un "tapón" o corcho que provee un cierre hermético al envase. El corcho está amarrado a la línea de suspensión de manera tal que tirando fuertemente de la línea puede removerse y permitir que la botella se llene de agua. En operación, la botella es tapada con el corcho y lanzada al agua sostenida por la línea. Cuando la botella reposa en el lecho de la corriente se tira de la línea y se remueve el corcho. Se permite que la botella se llene en el lugar y entonces se saca del agua manteniéndola derecha y tapada.

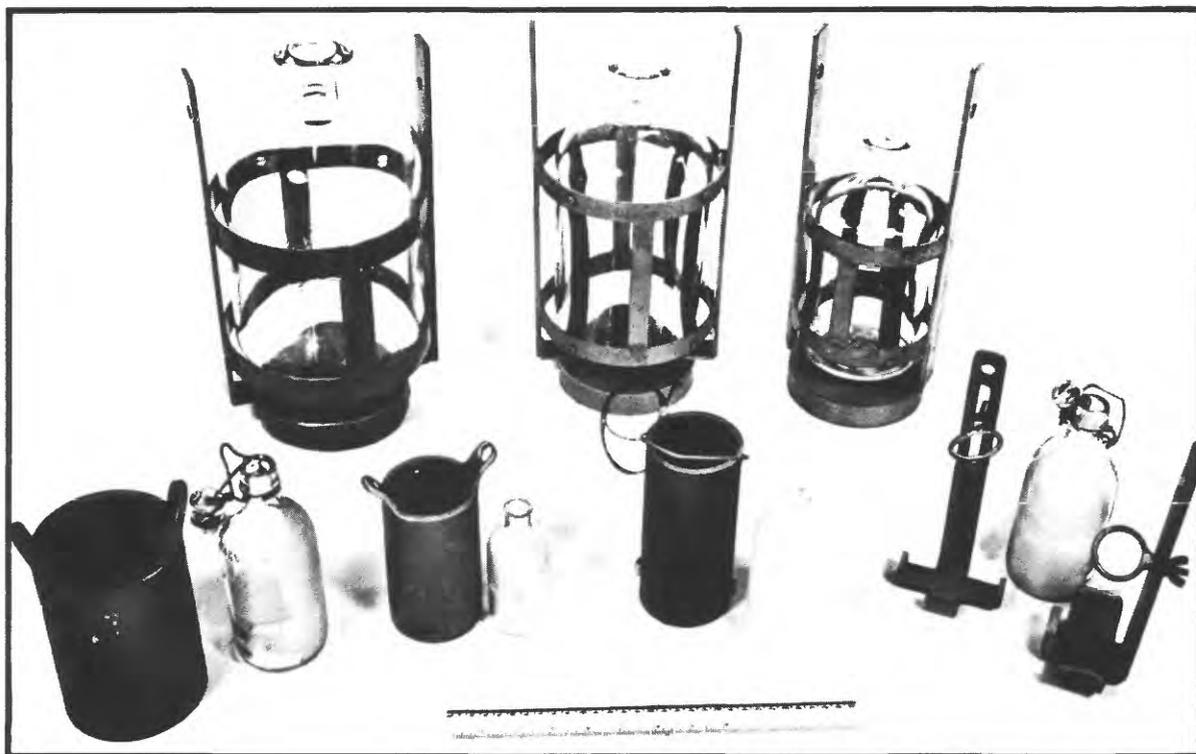


Figura 44.--Colectores de muestras manuales integradores de profundidad.

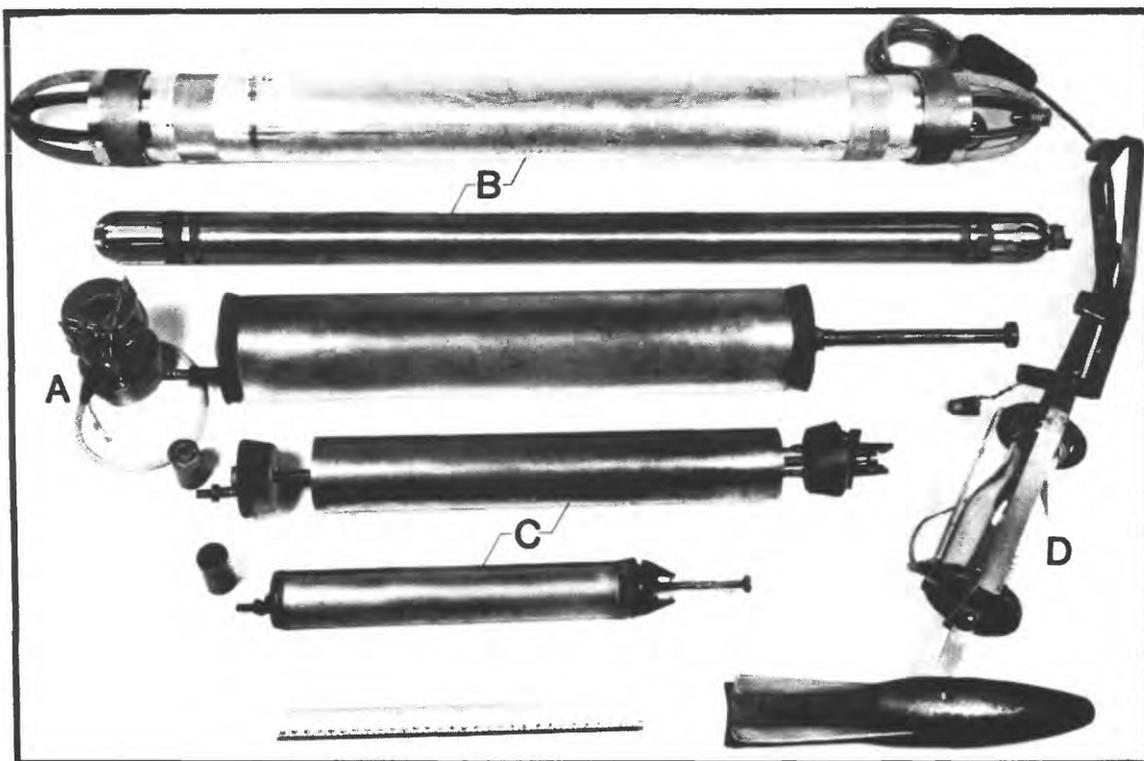


Figura. 45.--Colectores manuales de punto:

- A - colector de fondo,
- B - colector de válvula de bola,
- C - colector modelo Foerst y
- D - colector modelo Rfo Colorado.

### Colectores de Muestras Integradores de Profundidad-Continuación

El colector "B" utiliza una válvula tipo "bola" y está diseñado para la colección de muestras de agua subterránea en pozos a cualquier profundidad. Cuando la profundidad deseada es alcanzada, el colector se llena al subir y bajar rápidamente varias veces en sucesión, lo cual abre la válvula de bola en cualquiera de los terminales, permitiendo la colección de la muestra de agua. El colector "Foerst" de 1 galón (3.8 litros) mide 3 pulgadas de diámetro (7.5 cm), mientras que el de 1/4 galón (1 litro) mide 1 1/2 pulgadas (3.8 cm). Se usa para tomar muestras de agua a una profundidad fija en cuerpos de agua superficiales, aunque en ocasiones también se ha usado con éxito para muestreos en pozos. El colector se sumerge en la posición abierta hasta la profundidad deseada; entonces se libera el "mensajero" (una pesita de metal que corre por línea de suspensión) y éste acciona el mecanismo que hace cerrar el colector. El mensajero debe hacer contacto con el disparador del colector en ángulo recto. Mensajeros perforados de diferentes diámetros pueden usarse con diferentes líneas de suspensión. El colector Foerst está disponible en tamaños con capacidad de 0.4 litros (40 mL), 1.200 litros (1200 mL), y 2.0 litros (2000 mL); están construidos en bronce, siendo resistentes a la corrosión.

El modelo de colector "D" se usa exclusivamente en agua superficial. Este se sumerge en la posición cerrada. El pesomensajero remueve el cierre, luego

de lo cual el colector se sube a la superficie. La operación eficiente de los colectores modelos A-D requiere contrapesos para su inmersión y evitar que éstos sean arrastrados donde existe una corriente de agua. Es necesario utilizar un contrapeso apreciable, en exceso del requerido para sumergir la botella. En aguas en movimiento, los colectores de muestras con peso inadecuado tienden a "bailar" con la corriente en la superficie del agua, una vez extendida la línea de suspensión. El uso del contrapeso disminuye el ángulo formado entre la vertical y la línea de suspensión, aumentando el grado de precisión en la medida de la profundidad.

### Colectores Especiales

La recogida y manejo de muestras para determinar contenido de gases disueltos y constituyentes susceptibles a la aereación requiere un equipo especial y técnicas cuidadosas. El equipo para colección de muestras para determinar contenido de oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno, descrito por la Asociación Americana de Salud Pública y otros (1965), o una modificación del mismo, es generalmente aceptado como adecuado para muestreo en cuerpos de agua superficial. Ese colector permite un desplazamiento triple del agua en la botella, sin que ésta se mezcle con el aire desplazado. Una muestra libre de aire también puede ser colectada con el modelo Foerst. Esta puede ser transferida por medio de un tubo conectado a la válvula de salida del colector. Se recomienda desplazamiento doble o triple del agua.

Las botellas de boca angosta usadas para las pruebas de demanda bioquímica de oxígeno (fig. 46) tienen tapas puntiagudas de vidrio para evitar burbujas de aire en la muestra. Desafortunadamente, ese tipo de tapa no tiene un sello que permita el transporte y manejo de la muestra, a menos que el envase donde va a ser transportada la muestra ejerza presión sobre ésta.

La botella puede transportarse sumergida en agua para minimizar la posibilidad de que atrape aire. Las botellas de "citrato de magnesio" pueden ser selladas a presión sin atrapar aire y frecuentemente se utilizan para transportar muestras para la determinación de gases disueltos y constituyentes susceptibles a la aereación.



**Figura 46.**—Equipo y envases para muestreo de cuerpos de agua que contengan gases disueltos sujetos a aereación.

### Envases

Al seleccionar los envases para coleccionar y almacenar las muestras de agua se debe tener en cuenta una serie de factores: que éstos sean resistentes a la solución y a roturas, la eficiencia al cerrar, el tamaño, la forma, el peso, la disponibilidad y el costo. Las preferencias de un tipo de envase sobre otros son variadas y casi siempre la selección se basa en la experiencia, el costo, el efecto del envase sobre la muestra y el uso de los envases en los laboratorios. Aún cuando un gran número de botellas de vidrio están en uso, la inclinación de los laboratorios del Servicio Geológico es hacia los envases de polietileno, teflón u otros envases plásticos. Investigaciones del Servicio Geológico y otras organizaciones han demostrado que los envases de goma dura, polietileno, teflón, y otros plásticos y algunos tipos de vidrio borosilicato son apropiados para la recogida de muestras. El almacenamiento de muestras en Pyrex y polietileno no altera significativamente el contenido de sílica, sodio, alcalinidad total, cloruro y boro, la conductividad específica, el pH o la dureza del agua, después de un período de almacenamiento de 5 meses. El aumento del contenido de sílica de una muestra almacenada en una botella de vidrio suave (del tipo de citrato de magnesio) fue notable después de tres semanas de almacenamiento. El contenido de sodio y la dureza del agua también se alteran decisivamente con los almacenamientos prolongados en este tipo de envase. La naturaleza y concentración de los componentes químicos en el agua almacenada tienen una influencia definitiva en la cantidad y naturaleza de los materiales absorbidos por el envase.

Un estudio comparativo entre cuatro marcas de cristalería química conducido por Wickers, y otros (1941) demostró que la resistencia relativa del material depende del reactivo usado. Hubbard y Hamilton (1941) demostraron que la Botella de Cerámica Americana No. 1 es más resistente que la Pyrex al ataque por soluciones alcalinas a pH de 11-12.

Los laboratorios modernos utilizan botellas plásticas que no se re-usan. El bajo costo de esas botellas permite que se descarten. En los casos en que no es posible el descarte de las botellas usadas, procedimientos estrictos para su lavado y tratamiento previo a su re-uso son descritos por la Asociación Americana de Salud Pública (1982). Las botellas usadas para envasar refrescos y otros envases de ese tipo no deben usarse para coleccionar o almacenar muestras de agua. Después del uso, todas las botellas nuevas tienen que ser bien lavadas, llenadas con agua y dejadas a remojar por varios días. El remojo remueve mucho del material soluble en agua de la superficie del envase.

### Documentación

La fuente y condiciones bajo las cuales la muestra de agua fue obtenida deben ser anotadas y adheridas a la botella inmediatamente después de su recogida. El análisis de la muestra será de poco valor, si ésta no va acompañada de información detallada sobre su recogida. Las notas de campo son muy valiosas en los proyectos de investigación de calidad del agua, pero fácilmente se pueden perder o extraviar. Las notas de campo no deben relegarse a tomar el lugar de una información detallada que debe escribirse en la etiqueta de la botella al momento de tomar la muestra.

El personal del Servicio Geológico anota la descripción de las muestras de agua de dos formas. El técnico de campo se asegura que la información necesaria para el laboratorio se fije en la botella de la muestra. Las botellas pequeñas de vidrio suave, de 12 onzas (340 gramos) de capacidad tienen usualmente un grabado en la parte de afuera, y la información se escribe directamente sobre ese grabado con un lápiz común. Para otro tipo de

envases, se utilizan etiquetas (fig. 47). Con suficiente espacio para la información necesaria, las etiquetas pueden ser preparadas previo a la toma de la muestra.

En adición a la información en la botella, se utiliza un formulario para el trámite de la muestra al laboratorio. El formulario duplica la información de la botella, además de otros datos requeridos por el laboratorio.

MUESTRA DE AGUA	
Servicio Geológico de EUA	
Localización:	_____
	Carretera
Fuente:	_____
	Municipio País
	Nombre del cuerpo de agua
Punto de Colección:	_____
	_____
(Continúa al dorso)	
Tomada por:	_____
Fecha de Colección:	_____
Elevación: (pies)	_____
Hora:	a.m. p.m.
Apariencia:	_____
Comentarios:	_____
	_____
	_____
(Deje un pequeño espacio de aire en la botella)	

Figura 47.--Etiqueta para muestra de agua superficial.

## RECOGIDA DE MUESTRAS Y TRATAMIENTO

### Método de Recogida

Método de Incrementos Iguales de Caudal (IIC): El método de incrementos iguales de caudal (IIC) se limita usualmente a corrientes con canales estables donde el flujo varía muy poco durante el año. En este método las muestras se toman en centroides con incrementos iguales de descarga. Este método requiere que el técnico de campo tenga algunos conocimientos del caudal antes de seleccionar las verticales para el muestreo. Si estos conocimientos se pueden obtener, este método ahorra tiempo sobre otros, ya que se requieren menos puntos de muestreo.

La utilización del método IIC, cuando no se tienen conocimientos previos del flujo, requiere determinar la descarga total de la corriente por medio de un aforo (p. 21). Del aforo se prepara un gráfico de descarga acumulativa (en por ciento de la descarga total) contra la distancia desde el banco derecho o izquierdo (o los números de estación si es el caso de un puente o un teleférico) (Fig. 48). Se procede a determinar el número de verticales requeridas para definir adecuadamente la sección transversal. Por ejemplo, si se requieren cuatro verticales, se debe muestrear en las estaciones donde, para una descarga dada, el punto medio de la acumulación de descarga represente un incremento de 25 por ciento, esto es en las estaciones de descarga acumulativa de 12, 38, 62 y 88 por ciento del total.

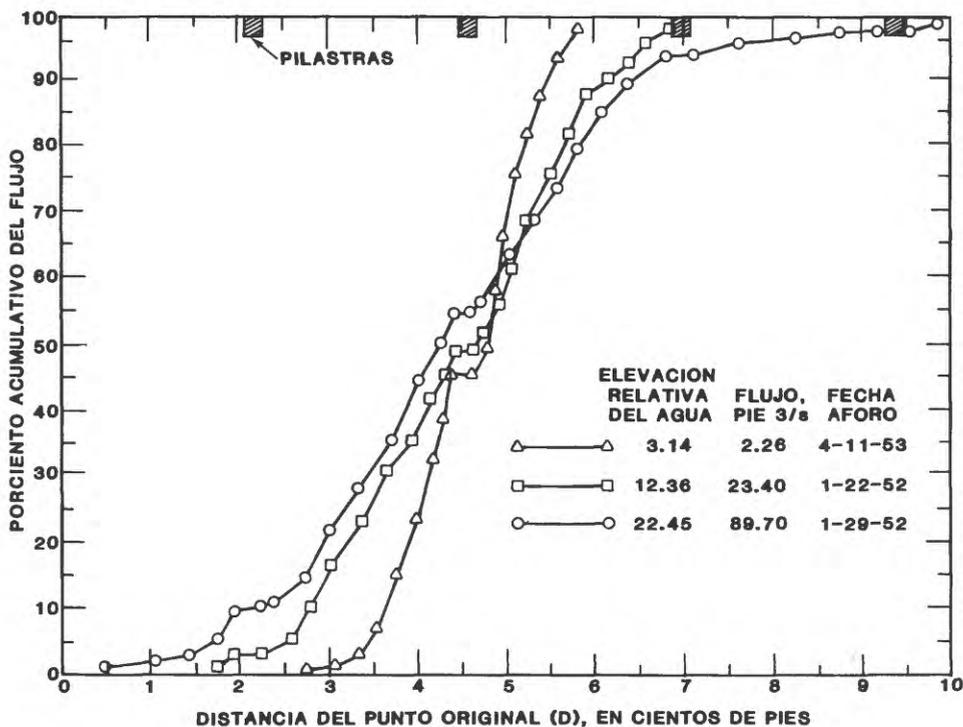


Figura 48.—Porcentaje acumulativo de la escorrentía como una función de la distancia del punto inicial del aforo en la sección transversal.

La integración vertical de la muestra depende de la velocidad de inmersión y ascenso del colector de muestra. Dependiendo del modelo de colector utilizado, la muestra se obtiene durante la inmersión o ascenso o a través de ambos procesos. La velocidad vertical máxima del colector no debe exceder 0.4 de la velocidad promedio del aforo (p. 19).

Si la velocidad de la integración vertical es muy lenta, puede ocurrir que la botella de muestra se sobrellene, resultando en una muestra no representativa. Igualmente, una integración vertical a velocidad rápida resultará en una muestra incompleta (volumen inadecuado). El técnico de campo utiliza el aforo como guía para determinar la velocidad de integración vertical del colector. Sin embargo, es la experiencia en el campo, y a veces intentos repetidos en una vertical, lo que produce una muestra representativa y adecuada. Esto es posible porque el agua entra a las botellas de muestreo a la velocidad inmediata de la corriente, de manera que el volumen de la muestra es proporcional a la velocidad integrada en las verticales. La velocidad promedio del flujo muestreado en la vertical,  $V_m$ , se puede determinar por el caudal.

$$V_m = \frac{V/T_t}{A_n}$$

donde  $V$  = volumen de la muestra  
 $T_t$  = tiempo total de viaje para obtener la muestra  
 $A_n$  = área - seccional de la boquilla del colector

La descarga de la corriente es simplemente la suma del producto de la velocidad y el área para cada segmento muestreado (p. 40). Otra ventaja del IIA es que puede ahorrarse tiempo de análisis y esfuerzo en el laboratorio, porque las muestras pueden mezclarse para obtener una sola muestra compuesta de la sección transversal.

En aguas que se mueven lentamente, es siempre fatigoso y lento usar una razón de viaje muy lenta. En estos casos se recomienda aumentar la razón de viaje y hacer dos o más viajes en cada vertical. Esto resulta en una muestra más representativa por ser una razón de viaje más "natural"

El método IIA tiene ventajas importantes sobre el IIC. Primero, no se requiere un aforo de escorrentía. De hecho, con este método se puede computar una razón de descarga aproximada si se utiliza el espaciamiento vertical, la profundidad de la corriente en cada vertical, el tiempo que el colector de muestras está en el agua y el volumen de la muestra.

Muestras en un punto: Los colectores de muestras en un punto se usan en corrientes donde la profundidad para un viaje de ida y vuelta excede los 15 pies (4.5 metros), o dónde la combinación de profundidad y velocidad hace que la botella se sobrellene. Los colectores integradores de profundidad son generalmente livianos y propensos a sobrellenar la botella de muestras en condiciones de alta velocidad y cauces profundos. En esos casos es práctico usar el colector de muestras en un punto.

### Método de Recogida- Continuación

En cada uno de los centroides, se colectan dos o más botellas por el método de integración de profundidad (p. 50), para representar dos o más muestras de la sección transversal. El laboratorio ahorrará tiempo si las botellas tienen el mismo volumen, de manera tal que las cuatro botellas que representan el flujo total puedan ser compuestas.

Método de Incrementos Iguales de Amplitud, IIA: Una muestra obtenida de una sección transversal por el método de incrementos iguales (IIA) requiere un volumen de muestra proporcional a la cantidad de flujo en cada una de las diferentes verticales, espaciadas equitativamente en la sección transversal (fig. 49). El espacio igual entre las verticales a través de la corriente y la razón igual de viaje (RIV), ambos para arriba y para abajo en todas las verticales, brindan una muestra proporcional al flujo de la corriente (escorrentía total). Este método se usa más en corrientes llanas y con lecho de arena, donde la distribución de descarga de agua en la sección transversal no es estable.

El número de verticales requeridas para el método IIA depende del caudal y de las características del flujo al momento del muestreo, así como del grado de precisión deseado en los resultados. En ausencia de experiencia, el número de verticales debe estar en el lado alto para cada grupo, aún cuando esto resulte en muestras excesivas. Para la mayor parte de los ríos 20 verticales es suficiente.

El ancho de los segmentos a ser muestreados (la distancia entre verticales) se determina dividiendo el ancho total de la sección transversal por el número deseado de verticales. El ancho de la corriente se determina extendiendo una cinta métrica a través de la misma (p. 25). Si por ejemplo, el ancho resulta ser 100 pies (30.5 metros) y el número mínimo de verticales es 10, entonces la amplitud entre verticales será de 10 pies (3.28 metros). La localización de la primera vertical debe ser en la estación 5.0 pies (1.5 metros). La segunda vertical debe estar a  $5.0 + 10 = 15$  pies (4.5 metros) y así sucesivamente, tomando la muestra en el punto medio del segmento de 10 pies (3.28 metros) de ancho.

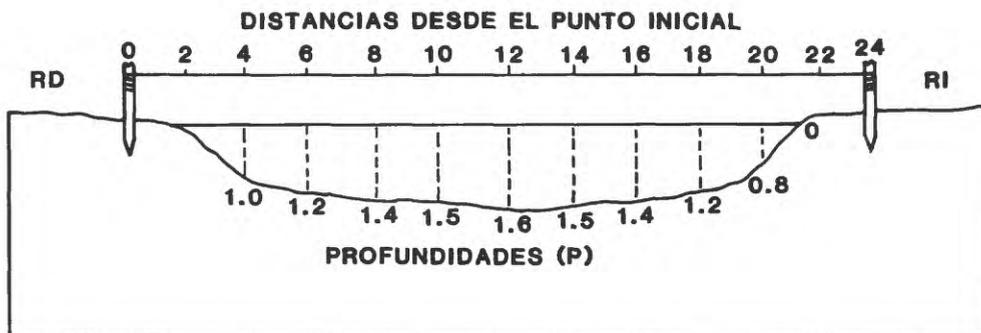


Figura 49.--Sección transversal dividida equitativamente.

En ríos sumamente profundos, es imposible integrar verticalmente la muestra en un solo intento. Los colectores de muestras en un punto son usados para obtener muestras de distintos puntos o niveles en la vertical. Esas muestras luego se integran para definir la vertical completa.

Determinación del Número de Verticales Necesarias: Colby (1964) demostró que a temperatura constante, la descarga de arena suspendida en el flujo varía con la velocidad promedio a la tercera potencia y la distribución del tamaño de las partículas dentro de un intervalo de 2 a 5 pies por segundo y dentro de un intervalo razonable de profundidad. Después de un proceso matemático, al resolver por la concentración "C", encontró que:

$$C = \frac{K_1 V^2}{K_2 D}, \text{ donde}$$

C = concentración promedio en la vertical muestreada

$K_1, K_2$  = constantes para la profundidad  
 V = velocidad  
 D = profundidad

A base de esta relación, para definir un índice que relacionara todas las corrientes, se sugirió una razón compuesta donde:

$$\frac{V^2/D (\text{max})}{\bar{V}^2/\bar{D}}$$

$V^2/D(\text{max})$  es la razón de la vertical con  $V^2/D$  máximo,  $\bar{V}^2/\bar{D}$  es la razón de la velocidad promedio al cuadrado y la profundidad promedio de toda la corriente.

Basado en este índice ( $V^2/D$ ) Guy (1970), utilizando información de Hubbell (1960), preparó una relación que define el número de verticales requeridas para un máximo aceptable de error estándar relativo, como función del porcentaje de arena y el índice  $V^2/D$  (Fig. 50).

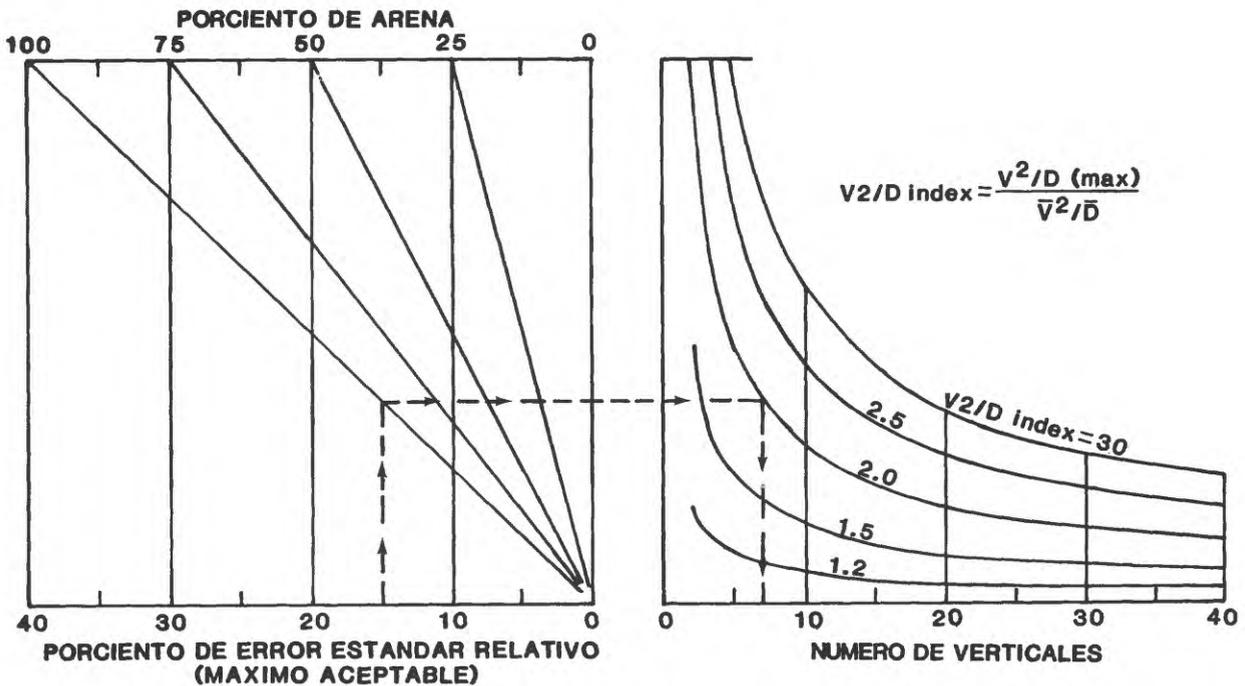


Figura 50.--Relación gráfica para determinar el número de verticales requeridas para obtener resultados dentro de un error estándar relativo aceptable. (Modificado de Guy, 1970 y Hubbell, 1960.)

### Método de Recogida- Continuación

Este método, además de usarse para determinar el número de verticales necesarias en un muestreo de sedimento suspendido, se usa en la determinación de verticales para muestreo de calidad del agua, ya que la experiencia ha demostrado que es muy eficiente.

Preparación de Muestras en el Campo: Muchos de los iones que normalmente están presentes en cantidades pequeñas (trazas) en las aguas naturales no permanecen disueltas en muestras de agua por largo tiempo, debido a reacciones químicas y físicas tales como oxidación, reducción, precipitación, absorción e intercambio iónico. La co-precipitación reduce las concentraciones de estos constituyentes en solución. Los compuestos de hierro en las aguas naturales tienden a precipitarse y a co-precipitar otros iones metálicos en solución.

Los procesos arriba descritos, así como cambios en las muestras inducidos durante el transporte y manejo en el laboratorio, hacen necesaria la preservación o tratamiento de las muestras. En los siguientes párrafos se describen los métodos más comunes utilizados por el Servicio Geológico para la preservación de muestras. Las instrucciones para preservación y tratamiento de muestras para análisis radioquímico y biológico, determinación de sustancias orgánicas y análisis espectrográficos de elementos menores no se consideran en este manual.

Las siguientes determinaciones deben llevarse a cabo en el campo, directamente dentro del cuerpo de agua, o minutos después de la recogida de la muestra.

### Mandatorias

1. Temperatura, °C
2. pH
3. Oxígeno disuelto
4. Conductividad específica

### Recomendadas

1. Acidez
2. Alcalinidad

Aunque la conductividad específica y el pH pueden determinarse en el laboratorio para confirmar los resultados del campo, la necesidad de determinaciones inmediatas es evidente cuando se comparan ambos resultados.

### Determinaciones en laboratorio:

Los análisis más típicos de interés en estudios de calidad de agua van dirigidos a definir concentraciones de "iones comunes." Las características definidas por estos iones son de gran importancia para facilidades de abastecimiento de agua, diseño de tratamiento, y cambio en calidad del agua en una cuenca. La definición de los iones principales requiere dividir la muestra en fracciones como sigue:

Muestra 1: Filtrada en el campo, no tratada.

1. Tome e inmediatamente filtre el volumen requerido de una muestra representativa a través de un filtro de membrana de 0.45  $\mu$ m. Como presión al filtrar use nitrógeno o aire comprimido.

2. Almacene el filtrado en una botella de polietileno bien tapada. Las siguientes determinaciones se harán usando una alícuota de este filtrado:

- |               |                              |
|---------------|------------------------------|
| a. Boro (B)   | h. Fósforo (P)               |
| b. Cloro (Cl) | i. Potasio (K)               |
| c. Fluor (F)  | j. Selenio (Se)              |
| d. Dureza     | k. Sílica ( $\text{SiO}_2$ ) |
| e. Litio (Li) | l. Sodio ( $\text{Na}^+$ )   |
| f. Nitrato    | m. Sólidos disueltos         |
| g. Nitrito    | n. Sulfato ( $\text{SO}_4$ ) |

Muestra 2: Filtrada en el campo, acidificada.

1. Tome la muestra e inmediatamente filtre a través de un filtro de membrana de 0.45  $\mu$ m usando nitrógeno o aire comprimido como medio para presionar.

2. Acidifique el filtrado con ácido nítrico,  $\text{HNO}_3$ , hasta un pH menor en dos unidades. El ácido debe ser "calidad de reactivo", normalmente utilizado en laboratorios. Cerca de 2 mililitros (2 mL) de ácido concentrado son suficientes para proveer el pH deseado. El Servicio Geológico utiliza ampollas individuales de 2 mL para minimizar el potencial de contaminación. La acidificación minimiza la pérdida de soluto por oxidación por precipitación y por absorción de las paredes del envase.

3. Almacene el filtrado bien tapado en una botella de polietileno. Las siguientes determinaciones se harán de una alícuota de esta manera:

- |    |           |      |
|----|-----------|------|
| a. | Aluminio  | (Al) |
| b. | Arsénico  | (As) |
| c. | Bario     | (Ba) |
| d. | Cadmio    | (Cd) |
| e. | Calcio    | (Ca) |
| f. | Cromo     | (Cr) |
| g. | Cobalto   | (Co) |
| h. | Cobre     | (Cu) |
| i. | Hierro    | (Fe) |
| j. | Plomo     | (Pb) |
| k. | Litio     | (Li) |
| l. | Magnesio  | (Mg) |
| m. | Manganeso | (Mn) |
| n. | Molibdeno | (Mo) |
| o. | Níquel    | (Ni) |
| p. | Plata     | (Ag) |
| q. | Potasio   | (K)  |
| r. | Sodio     | (Na) |
| s. | Estroncio | (Sr) |
| t. | Vanadio   | (V)  |
| u. | Zinc      | (Zn) |

Muestra 3: Sin filtrar, decantada.

1. Tome el volumen requerido de muestra.

2. Almacénela bien tapada en un sitio fresco y fuera de la luz solar.

3. Las siguientes determinaciones pueden hacerse de una alícuota tomada de la parte clara de la muestra, luego de que el sedimento suspendido se haya acentado en el fondo:

- |    |             |    |       |
|----|-------------|----|-------|
| a. | Acidez      | c. | Color |
| b. | Alcalinidad | d. | pH    |

Es importante recalcar que estas determinaciones deben llevarse a cabo preferiblemente en el campo.

Muestra 4: Sin filtrar, bien mezclada.

1. Tome el volumen requerido de muestra.

2. Almacénela bien tapada en un sitio fresco y fuera de la luz solar. Analícela tan pronto sea posible. Manténgala fría para minimizar cambios químicos y físicos.

3. Las siguientes determinaciones se harán de una alícuota tomada de la muestra:

- |    |                                  |    |                     |
|----|----------------------------------|----|---------------------|
| a. | Amonia                           | e. | Fósforo (P)         |
| b. | Nitrógeno Orgánico               | f. | Sólidos Suspendidos |
| c. | Demanda Química de Oxígeno (DQO) | g. | Sólidos Totales     |
| d. | Cianuro (Cn)                     | H. | Turbidez            |

**Método de Recogida-****Continuación**

Los métodos utilizados por el Servicio Geológico en sus laboratorios requieren que las muestras para análisis de los componentes arriba indicados se analicen dentro de un plazo no mayor de cuatro días luego de su recogida.

**Filtración**

El filtrado en el campo se lleva a cabo utilizando una bomba de succión de gas comprimido o el método de transferencia de vacío. El preferido es el de la bomba peristáltica en conjunción con el equipo de filtrado (fig. 51). La bomba peristáltica opera a base de comprimir y soltar utilizando rodillos y tubos flexibles.

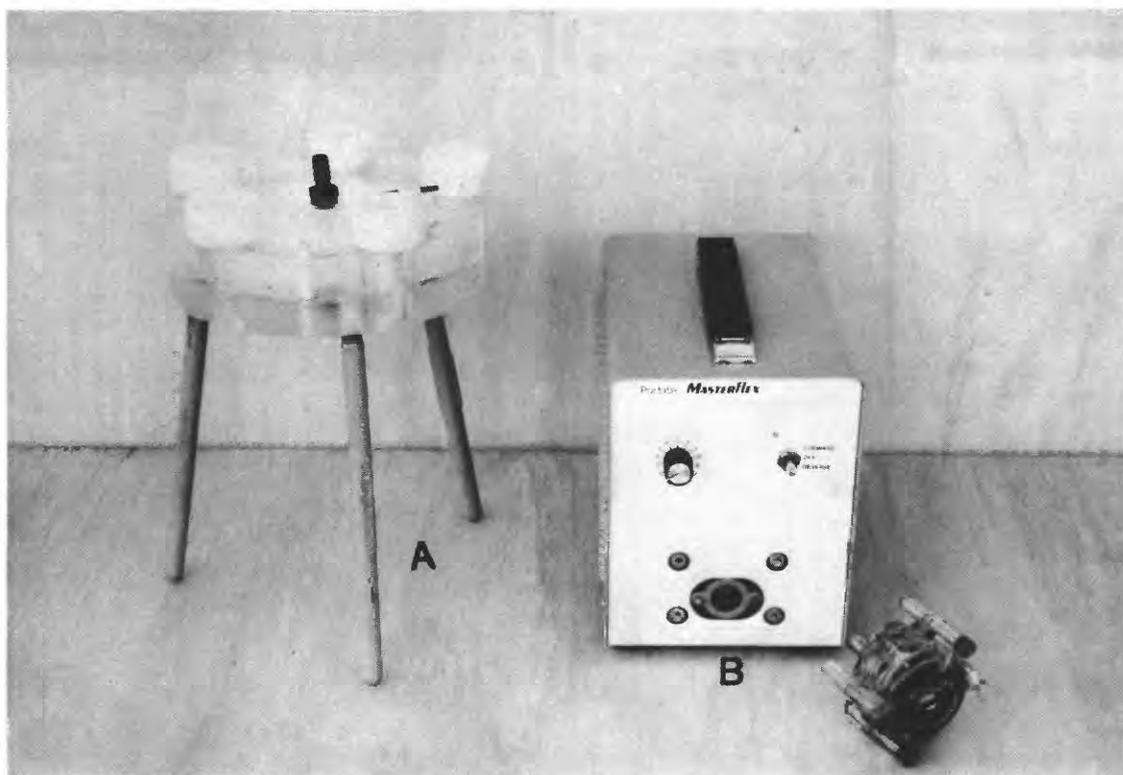


Figura 51.--Equipo usado en la filtración:

A - trípode y B - bomba peristáltica.

### Filtración-Continuación

El filtrado con esta bomba se hace colocando el extremo (succión) del tubo flexible directamente dentro del envase que se utiliza para hacer la muestra compuesta, o directamente en el cuerpo de agua. El extremo por donde se descarga el tubo flexible está conectado a la unidad de filtración. El agua es succionada a través de este sistema usando la bomba peristáltica. La velocidad operacional de la bomba de succión debe ser lenta. A medida que el filtro comienza a obstruirse con partículas en la muestra, la presión empezará a aumentar lentamente hasta que el filtro se haya tapado totalmente. El flujo a través de un filtro tapado puede restablecerse limpiándolo con agua, usando el sistema en reversa o simplemente reemplazando el filtro.

El propósito de filtrar el agua es remover el material suspendido (el de tamaño mayor a un tamaño conocido) sin contaminar la muestra. Es necesario tener cuidado especial al manejar y filtrar el agua para evitar contaminación de la muestra.

### Preservación de Muestras

Los componentes de la muestra de agua están sujetos a cambios en el tiempo que transcurre desde el muestreo hasta el análisis en el laboratorio. La temperatura y el pH pueden cambiar rápidamente. Los gases disueltos pueden escapar o disolverse del aire en la muestra.

Es imposible ofrecer reglas generales respecto a cuanto tiempo es permisible desde la hora en que ocurre el muestreo hasta el tiempo del análisis. Es también imposible prescribir reglas absolutas para la prevención de todos los cambios posibles debidos a almacenamiento y conservación. El análisis de las muestras, aún preservadas, debe efectuarse tan pronto como sea permisible.

No existe un agente preservativo universal, siendo necesario llevar varias botellas con muestras y añadir varios preservativos hasta que se realice el análisis final en el laboratorio. En la tabla 6 se sugieren métodos de preservación para las muestras y el tiempo permitido entre la recogida y el análisis de las mismas.

Tabla 6. Técnicas de conservación sugeridas.

Parámetro	Tiempo máximo entre colección y análisis de la muestra	Método de Tratamiento
Acidez (pH)	Inmediatamente. Mismo día si es enfriado	Evite las burbujas y la turbidez
Alcalinidad	Inmediatamente	Evite las burbujas y la turbidez
Aluminio	Sin límite de tiempo	Enjuague la botella con ácido; añada 2 ml HNO <sub>3</sub> concentrado por 250 ml de muestra
Arsénico	Sin límite de tiempo	Añada 2 ml HNO <sub>3</sub> concentrado por cada 250 ml muestra
Bario	Sin límite de tiempo	Añada 2 ml HNO <sub>3</sub> conc. por cada 250 ml muestra
Berilio	Sin límite de tiempo	Enjuague la botella con ácido Añada 2 ml HNO <sub>3</sub> por cada 250 ml muestra
Bicarbonato	Ver alcalinidad	Ver alcalinidad
Boro	Sin límite de tiempo	Use botella de polietileno o botella de cristal libre de Boro
Cadmio	Sin límite de tiempo	Enjuague la botella con ácido Añada 2 ml HNO <sub>3</sub> conc. por cada 250 ml muestra.
Bióxido de Carbono	Inmediatamente Mismo día si se refrigera	Use una botella de polietileno y llénela hasta desbordarse. Tape bien apretado
Carbono Orgánico	Mismo día	Añada 1 ml H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> o acidifique con HCl. Refrigere
Carbonatos	Ver alcalinidad	Ver alcalinidad
Demanda Química de Oxígeno	Mismo día	Enfríe a 3-4°C, añada H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> al 35% a la muestra
Cloruro	Sin límite de tiempo	
Cloro	Inmediatamente	Utilice botellas marrón de vidrio. Protéjala de la luz solar. No es necesario refrigerar
Bióxido de Cloro	Inmediatamente	

Tabla 6. Técnicas de conservación sugeridas.-Continuación

Parámetro	Tiempo máximo entre colección y análisis de la muestra	Método de Tratamiento
Cromo	Sin límite de tiempo	Ver Cadmio
Cobalto	Sin límite de tiempo	Ver Cadmio
Color	Mismo día	Añada 2 ml $\text{CH}_3\text{Cl}/\text{l}$ para impedir cambios bioquímicos que alteren el color
Cobre	Sin límite de tiempo	Ver Cadmio. Algunos analistas sugieren añadir 5-10 ml de HCl acuoso al 50%
Cianuros	Mismo día	No añada ácido. Añada píldoras de NaOH hasta pH de 11 y refrigere hasta 3-4°C o congele
Gases disueltos	Inmediatamente	Utilice ampolletas para gas y transpórtelas al laboratorio si no puede hacer el análisis de inmediato
Sólidos disueltos	Varios días	Refrigere a 3-4°C
Fluoruro	Sin límite de tiempo	No use botellas utilizadas previamente para otros halógenos.
Dureza	Inmediatamente	Las botellas deben ser tapadas bien apretadas
Orgánicos halogenados	Mismo día	Utilice botellas de vidrio con tapas de teflón. Nunca use utensilios plásticos. Refrigere
Hierro	Sin límite de tiempo	Ver Cadmio
Plomo	Sin límite de tiempo	Ver Cadmio
Magnesio	Sin límite de tiempo	
Manganeso	Sin límite de tiempo	Ver Cadmio
Mercurio	Varios días	Use botella de vidrio. Añada una ampolleta de $\text{HNO}_3/\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ .
Níquel	Sin límite de tiempo	Ver Cadmio

Tabla 6. Técnicas de conservación sugeridas.-Continuación

Parámetro	Tiempo máximo entre colección y análisis de la muestra	Método de Tratamiento
Nitrógeno-Nitrato	Mismo día	Utilice botella de polietileno color marrón. Añada una tableta de $\text{HgCl}_2$ por cada 250 ml muestra. Refrigere a 3-4°C.
Nitrógeno-Nitrito	Mismo día	Ver Nitrógeno-Nitrato
Olor	Inmediatamente	
Oxidación	Inmediatamente Mismo día si se refrigera	Refrigere a 3-4°C, añada $\text{H}_2\text{SO}_4$ al 35%.
Oxígeno Disuelto	Inmediatamente	Tome la muestra en botella de vidrio (Botella de DBO)
Oxígeno Consumido	Mismo día	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	Inmediatamente	Utilice botellas y tapón de vidrio. Refrigere. Empiece la incubación en pocas horas
Demanda Química de Oxígeno	Mismo día	
Ozono	Inmediatamente	Refrigere. Acidifique ligeramente
pH	Inmediatamente	Utilice botellas plásticas bien selladas. Analícelo tan pronto se haya alcanzado temperatura de sala
Hidrocarburo de Petróleo	Inmediatamente	Refrigere
Pesticidas	Mismo día	Refrigere las muestras a 3-4°C. Todos los utensilios a usarse deben ser de vidrio
Fenoles	Mismo día	Utilice botella de vidrio. Añada 1g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ por litro a la botella seca. Acidifique con $\text{H}_3\text{PO}_4$ conc a pH 4.0
Fósforo, Total (Ortofostatos y Polifosfatos)	Inmediatamente Mismo día si se enfría	Utilice cristal. Añada 1 ml $\text{H}_2\text{SO}_4$ al 30% por 100 ml muestra. Refrigere a 3-4°C

Tabla 6. Técnicas de conservación sugeridas.-Continuación

Parámetro	Tiempo máximo entre colección y análisis de la muestra	Método de Tratamiento
Fósforo (ortofosfato)	Inmediatamente	No acidifique. Refrigere a 3-4°C
Fósforo (Total)	Mismo día	Añada 1 ml H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 30% por 100 ml muestra. Refrigere a 3-4°C
Bifenilos Policlorinados (BPC)	Mismo día	Refrigere a 3-4°C. Utilize todos los utensilios de vidrio con cubiertas de teflón
Potasio	Sin límite de tiempo	Tome la muestra en botella de polietileno
Residuos	Inmediatamente	
Salinidad	Mismo día. Varios días si se refrigera	Refrigere
Sílica	Inmediatamente Varios días si se congela.	Utilice botellas de polietileno. Congele
Plata	Cerca de 10 días	Transfiera la muestra a un envase seco con 4g ETDA por cada 100 ml de muestra
Sodio	Sin límite de tiempo	Utilice botellas de polietileno
Conductividad Específica	Varios días	
Agentes Activos de la Superficie (MBAS)	Mismo día	Añada 2-4 ml CHCl <sub>3</sub> por litro
Sulfatos	Sin límite de tiempo	Refrigere a 3-4°C
Sulfuros	Mismo día	Tome la muestra en una botella especial. Añada acetato de Cadmio al 10% o solución de acetato de Zinc
Sólidos Suspendidos	Dentro de unos días	Refrigere a 3-4°C
Temperatura	Inmediatamente	

Tabla 6. Técnicas de conservación sugeridas.-Continuación

Parámetro	Tiempo máximo entre colección y análisis de la muestra	Método de Tratamiento
Turbidez	Dentro de unos días	Añada 2-4 ml $\text{CHCl}_3$ por litro de muestra. Agítela. Almacene en la oscuridad
Vanadio	Sin límite de tiempo	Ver Cadmio
Zinc	Sin límite de tiempo	Ver Cadmio

### REFERENCIAS

- American Public Health Association and others, 1965, 1982, Standard methods for the examination of water and wastewater, 12th and 13th editions: New York, American Public Health Assoc., Inc.
- Brown, E., Skougstad, M.W., and Fishman, M.J., 1970, Methods for the collection and analyses of water samples for dissolved minerals and gases: U.S. Geological Survey Techn. Water Resources Investigation, Book 5, Chap. A1, 160 p.
- Guy, H.P., and Norman, V.W., 1970, Field methods for measurements of fluvial sediment: U.S. Geological Survey Techn. Water Resources Investigations Book 3, Chap. C2, 59 p.
- Hubbard, D., and Hamilton, E.H., 1941, Comparative tests of chemical glassware: U.S. National Bureau of Standards, Jour. Research, v. 27, p. 143-157.
- Rantz, S.E., and others, 1982, Measurement and computation of streamflow: Measurement of stage and discharge, Volume 1: U.S. Geological Survey Water Supply Paper 2175, 284 p.
- Smoot, G.F., and Novak, C.E., 1968, Calibration and maintenance of vertical-axis type current meters: U.S. Geological Survey Techn. Water Resources Investigations Report, Book 8, chap. B2, 23 p.
- UNESCO (WHO), 1978, Water-quality surveys: A guide for the collection and interpretation of water-quality data: Paris, UNESCO, 352 p.
- Wickers, E., Finn, A.N., and Clabaughh, W.S., 1941, Comparative tests of chemical glassware: U.S. National Bureau of Standards, Jour. Research, v. 26, p. 537-556.