SERIE AUTODIDÁCTICA DE MEDICIÓN

CANAL PARSHALL

Autor: Edmundo Pedroza González
Revisor: Raúl Juárez Nájera
Editor: Iván Rivas Acosta

COORDINACIÓN DE TECNOLOGÍA HIDRÁULICA (IMTA)

SUBDIRECCIÓN GENERAL DE ADMINISTRACIÓN DEL AGUA (CNA)

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES | SEMARNAT

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

IMTA
INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

© Comisión Nacional del Agua, CNA
© Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA

Edita:

Comisión Nacional del Agua
Subdirección General de Administración del Agua
Gerencia de Recaudación y Control
Subgerencia de Medición e Inspección

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Coordinación de Tecnología Hidráulica
Subcoordinación de Hidráulica Rural y Urbana

Elabora:

Grupo de Hidráulica Rural y Urbana (IMTA)
Grupo de Medición e Inspección (CNA)

Imprime:

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

ISBN 968-5536-04-X

PARTICIPANTES

En la realización de este documento, colaboraron: especialistas en hidráulica del IMTA y de la Subdirección General de Administración del Agua de la CNA.

Autor: Edmundo Pedroza González, IMTA

Revisor: Raúl Juárez Nájera, CNA

Editor: Iván Rivas Acosta, IMTA

Supervisión editorial: Subcoordinación de Editorial y Gráfica, IMTA

Revisión literaria: Antonio Requejo del Blanco, IMTA

Para mayor información dirigirse a:

SUBGERENCIA DE MEDICIÓN E INSPECCIÓN
GERENCIA DE RECAUDACIÓN Y CONTROL
SUBDIRECCIÓN GENERAL DE ADMINISTRACIÓN DEL AGUA
Insurgentes Sur # 1960, 1er piso
Col. Florida CP. 01030, México D.F.
Tel. (01 55) 5322-2454
Fax (01 55) 5481-4100, ext. 6608
e-mail: roberto.merino@cna.gob.mx

SUBCOORDINACIÓN DE HIDRÁULICA RURAL Y URBANA
COORDINACIÓN DE TECNOLOGÍA HIDRÁULICA
Paseo Cuauhnáhuac # 8532
Col. Progreso, CP. 62550, Jiutepec, Mor.
Tel. y fax (01 777) 319-4012,
e-mail: [illegible]

Derechos Reservados por:

Comisión Nacional del Agua
Insurgentes Sur # 2140
Col. Ermita San Ángel, C.P. 01070
México, D.F.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Paseo Cuauhnáhuac # 8532
Col. Progreso, C.P. 62550
Jiutepec, Mor.

Esta edición y sus características son propiedad de la Comisión Nacional del Agua y del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Diciembre, 2001

PREFACIO

El 1° de diciembre de 1992 se publicó en el Diario Oficial de la Federación, La Ley de Aguas Nacionales, en donde se exponen los artículos 7-VIII, 26-II, 29-V-VI, 119-VII-X-XI, relacionados con la medición del agua.

Con base en esta Ley de Aguas Nacionales, la Comisión Nacional del Agua, CNA, a través de la Subdirección General de Administración del Agua, desarrolla continuamente campañas de medición de caudales, con el fin de controlar y verificar la cantidad de agua que extraen los diversos usuarios de las fuentes de abastecimiento.

Ante esta situación y la dificultad que representa el uso de los diferentes aparatos de aforo, la CNA y el IMTA, han elaborado esta serie de documentos autodidácticos, para que el personal técnico de dicha dependencia se capacite en el manejo de las técnicas existentes de medición de gasto, así como en el manejo de equipos y en los procedimientos de adquisición y análisis de datos.

La serie autodidáctica está enfocada a las prácticas operativas y equipos medidores que cotidianamente utiliza la CNA en sus actividades de verificación de los equipos de medición instalados en los aprovechamientos de los usuarios del agua y muestra las técnicas modernas sobre: a) inspección de sitios donde se explota el agua nacional; b) verificación de medidores de gasto instalados en las diversas fuentes de suministro o descarga de agua; c) procedimientos y especificaciones de instalación de equipos; d) realización de aforos comparativos con los reportados por los usuarios; d) cuidados, calibración y mantenimiento de los aparatos.

En general, cada documento de la serie está compuesto por dos partes: a) un documento escrito, que describe los principios de operación de un medidor particular, cómo se instala físicamente, qué pruebas de precisión se requieren, cómo se hace el registro e interpretación de lecturas y procesamiento de información, de qué manera hay que efectuar el mantenimiento básico, cuáles son sus ventajas y desventajas, y que proveedores existen en el mercado; b) un disco compacto, CD, elaborado en el paquete *"Power Point de Microsoft"*, construido con hipervínculos, diagramas, fotografías, ilustraciones, según lo requiera cada tema.

Con esta serie de documentos se pretende agilizar el proceso de capacitación a los técnicos que realizan dichas actividades de medición.

CONTENIDO

	Página
1. ¿PARA QUIÉN Y POR QUÉ? Y EVALÚA SI SABES	1
2. PRINCIPIOS DE OPERACIÓN DEL AFORADOR PARSHALL	2
3. REQUERIMIENTOS DE INSTALACIÓN FÍSICA	10
4. ESPECIFICACIONES DE INSTALACIÓN	12
5. PRUEBAS DE PRECISIÓN E INSTALACIÓN	13
6. REGISTRO DE LECTURAS Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	16
7. MANTENIMIENTO BÁSICO	19
8. VENTAJAS Y DESVENTAJAS	20
9. LISTADO DE PRINCIPALES PROVEEDORES	21
10. BIBLIOGRAFÍA	22
11. RESPUESTAS A LAS PREGUNTAS	22
12. ANEXO A: ECUACIONES, TABLAS Y FIGURAS	23

1. ¿PARA QUIÉN Y POR QUÉ? Y EVALÚA SI SABES

1.1 ¿ PARA QUIÉN?

Este manual está dirigido al personal de la Comisión Nacional del Agua (CNA) que se encarga, específicamente, de verificar la medición en los puntos de interés, tales como puntos de entrega.

Es por esta razón que no se tocan temas como la selección o construcción de aforadores Parshall, ya que se asume que los aforadores están construidos y solamente se verificará su buen funcionamiento.

1.2 ¿ POR QUÉ?

El aforador Parshall es un dispositivo de medición eminentemente experimental. Esto quiere decir que para calcular el gasto, se debe recurrir a gráficas experimentales que no tienen ecuaciones sencillas de representar.

Para facilitar la labor de verificación de aforadores, se presenta en este documento una serie de gráficas que ayudarán a estimar los gastos en aforadores de una manera simple, sin recurrir a ecuaciones complicadas cuya solución se dificulta en condiciones de campo.

1.3 EVALÚA SI SABES

- ¿Qué es el aforador Parshall?
- ¿Cuáles son las principales ventajas de este tipo de aforador?
- ¿Cuándo trabaja a descarga libre y cuándo no?
- ¿Qué implica cada una de las opciones anteriores?

2. PRINCIPIOS DE OPERACIÓN DEL AFORADOR PARSHALL

El aforador Parshall es una estructura hidráulica que permite medir la cantidad de agua que pasa por una sección de un canal. Consta de cuatro partes principales:

i) Transición de entrada.
ii) Sección convergente.
iii) Garganta.
iv) Sección divergente.

En la transición de entrada, el piso se eleva sobre el fondo original del canal, con una pendiente suave y las paredes se van cerrando, ya sea en línea recta o circular.

En la sección convergente, el fondo es horizontal y el ancho va disminuyendo.

En la garganta el piso vuelve a bajar para terminar con otra pendiente ascendente en la sección divergente.

En cualquier parte del aforador, desde el inicio de la transición de entrada hasta la salida, el aforador tiene una sección rectangular.

Junto a la estructura del aforador se tienen dos pozos laterales o tanques con la misma profundidad, o mayor, que la parte más baja del aforador. El agua que escurre por el aforador pasa a estos tanques por medio de unas perforaciones colocadas en la pared de la sección convergente y en la garganta, ver figura 1.

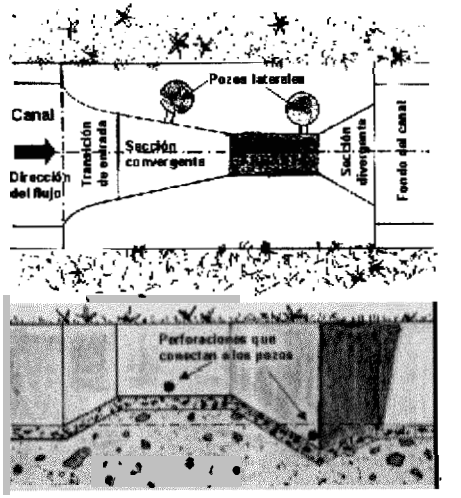


Figura 1. *Partes de un aforador Parshall. (planta general y corte longitudinal).*

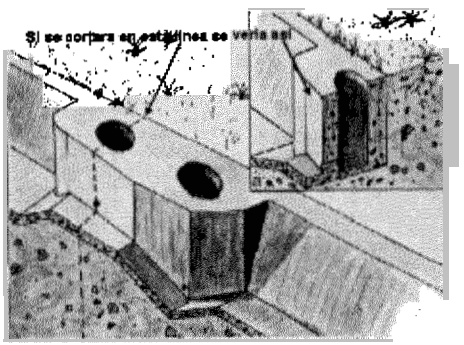


Figura 2. *Cortes de un aforador Parshall.*

Fundamentalmente, el aforador es una reducción de la sección que obliga al agua a elevarse o a "remansarse", y volver a caer hasta la elevación que se tenía sin la presencia del aforador. En este proceso se presenta una aceleración del flujo que permite establecer una relación matemática entre la elevación del agua y el gasto.

Por medio de muchos experimentos en los que se colocaron diferentes tamaños de aforadores y se midió el gasto y la profundidad, (a la que también puede llamársele elevación, nivel, tirante o carga) se observó que todos los aforadores tienen un comportamiento similar en la relación tirante contra gasto, para condiciones de descarga libre (esto se explicará en el inciso 2.2); es decir, todos se pueden representar matemáticamente con la siguiente ecuación.

$$Q = C(H_a)^n \qquad (1)$$

Donde Q es el gasto, para condiciones de descarga libre; H_a es la profundidad del agua en una ubicación determinada del aforador (ver figura 3); C y n son valores diferentes para cada tamaño de aforador. En función del tamaño del aforador las unidades de la ecuación **(1)** pueden ser en l/s o m^3/s cúbicos para el gasto y en milímetros o metros para la profundidad H_a.

Los aforadores que se probaron tienen medidas establecidas y cualquier aforador que se construya debe apegarse a dichas medidas, ya que los errores de construcción generarán mediciones erróneas. En la figura 3 y en la tabla 1 se proporcionan los datos de cada aforador.

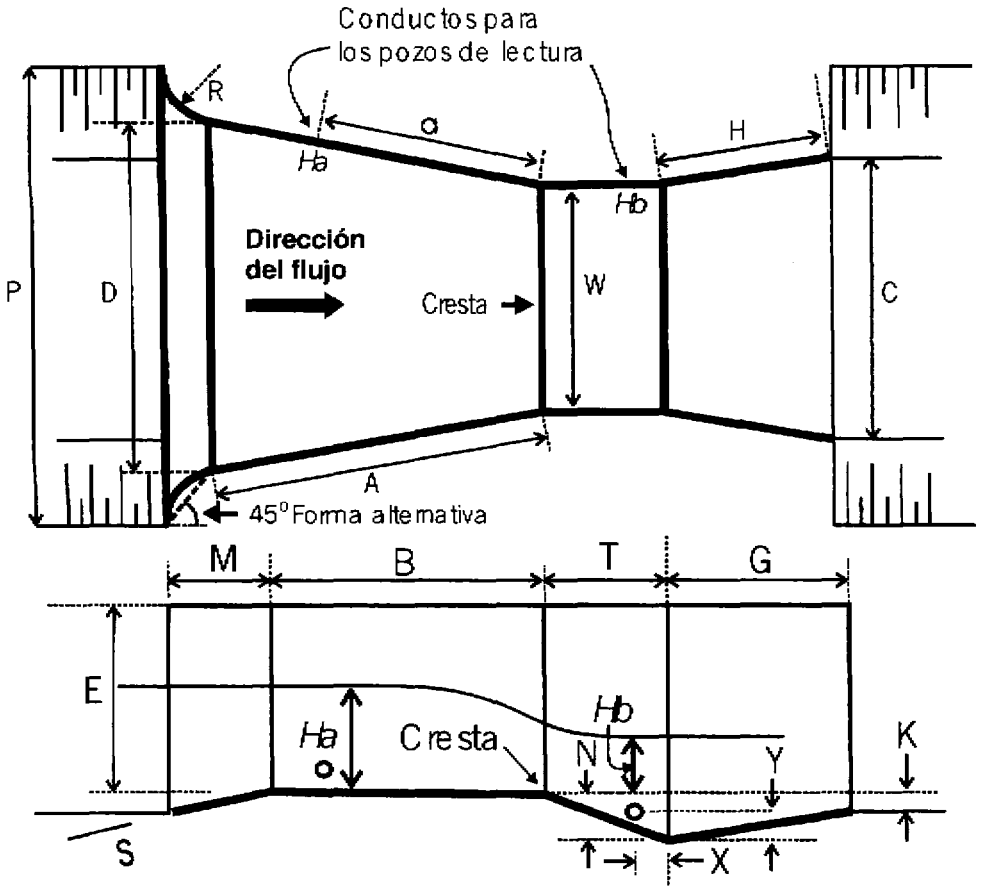


Figura 3. *Nomenclatura de las partes del aforador Parshall.*

NOMENCLATURA

W= Ancho de la garganta
A= Longitud de las paredes de la sección convergente
a=Ubicación del punto de medición Ha
B= Longitud de la sección convergente
C= Ancho de la salida
D=Ancho de la entrada de la sección convergente
E=Profundidad total
T=Longitud de la garganta
G=Longitud de la sección divergente
H=Longitud de las paredes de la sección divergente
K=Diferencia de elevación entre la salida y la cresta
M=Longitud de la transición de entrada
N=Profundidad de la cubeta
P=Ancho de la entrada de la transición
R=Radio de curvatura
X=Abscisa del punto de medición *Hb*
Y=Ordenada del punto de medición

Respecto a la tabla 1, se aclara que los valores de M, P y R no se reportan en algunos casos, ya que es posible que se realice una transición entre el canal y el aforador con una pared vertical a 45° respecto del eje horizontal del aforador, tal como se observa en la figura 3.

W	A	a	B	C	D	E	T	G	K	M	N	P	R	X	Y
Dimensiones en mm															
25.4	363	242	356	93	167	229	76	203	19	---	29	---	---	8	13
50.8	414	276	406	135	214	254	114	254	22	---	43	---	---	16	25
76.2	467	311	457	178	259	457	152	305	25	---	57	---	---	25	38
152.4	621	414	610	394	397	610	305	610	76	305	114	902	406	51	76
228.6	879	587	864	381	575	762	305	457	76	305	114	1080	406	51	76
Dimensiones en m															
0.3048	1.372	0.914	1.343	0.610	0.845	0.914	0.610	0.914	0.076	0.381	0.229	1.492	0.508	0.051	0.076
0.4572	1.448	0.965	1.419	0.762	1.026	0.914	0.610	0.914	0.076	0.381	0.229	1.676	0.508	0.051	0.076
0.6096	1.524	1.016	1.495	0.914	1.206	0.914	0.610	0.914	0.076	0.381	0.229	1.854	0.508	0.051	0.076
0.9144	1.676	1.118	1.645	1.219	1.572	0.914	0.610	0.914	0.076	0.381	0.229	2.222	0.508	0.051	0.076
1.2192	1.829	1.219	1.794	1.524	1.937	0.914	0.610	0.914	0.076	0.457	0.229	2.711	0.610	0.051	0.076
1.5240	1.981	1.321	1.943	1.829	2.302	0.914	0.610	0.914	0.076	0.457	0.229	3.080	0.610	0.051	0.076
1.8288	2.134	1.422	2.092	2.134	2.667	0.914	0.610	0.914	0.076	0.457	0.229	3.442	0.610	0.051	0.076
2.1336	2.286	1.524	2.242	2.438	3.032	0.914	0.610	0.914	0.076	0.457	0.229	3.810	0.610	0.051	0.076
2.4384	2.438	1.626	2.391	2.743	3.397	0.914	0.610	0.914	0.076	0.457	0.229	4.172	0.610	0.051	0.076
3.0480	2.7432	1.829	4.267	3.658	4.756	1.219	0.914	1.829	0.152	---	0.343	---	---	0.305	0.229
3.6580	3.0480	2.032	4.877	4.470	5.607	1.524	0.914	2.438	0.152	---	0.343	---	---	0.305	0.229
4.5720	3.5052	2.337	7.620	5.588	7.620	1.829	1.219	3.048	0.229	---	0.457	---	---	0.305	0.229
6.0960	4.2672	2.845	7.620	7.315	9.144	2.134	1.829	3.658	0.305	---	0.686	---	---	0.305	0.229
7.6200	5.0292	3.353	7.620	8 941	10.668	2.134	1.829	3.962	0.305	---	0.686	---	---	0.305	0.229
9.1440	5.7912	3.861	7.925	10.566	12.313	2.134	1.829	4.267	0.305	---	0.686	---	---	0.305	0.229
12.1920	7.3152	4.877	8.230	13.818	15.481	2.134	1.829	4.877	0.305	---	0.686	---	---	0.305	0.229
15.2400	8.8392	5.893	8.230	17.272	18.529	2.134	1.829	6.096	0.305	---	0.686	---	---	0.305	0.229

Tabla 1. *Medidas estándar de los aforadores Parshall.*

2.1 ESTIMACIÓN DEL GASTO PARA DESCARGA LIBRE

En función del ancho de garganta *W*, la ecuación (1) adopta los valores que se presentan en la tabla 2.

Ejemplo 1.
Determine el gasto para un aforador Parshall que tiene un ancho de garganta de 50.8 mm y una profundidad de 100 mm

Datos: Fórmula:

W = 50.8 mm $\quad Q = 0.002702 H_a^{1.55}$

H_a = 100 mm

Solución:

$Q = 0.002702\ (100)^{1.55} =$ **3.40 l/s**

Este mismo gasto se puede estimar en la gráfica de la figura 4 (la totalidad de las gráficas, para condiciones de descarga libre o ahogada se encuentran en el anexo A). Para el ejemplo se obtiene un gasto de 3.4 l/s.

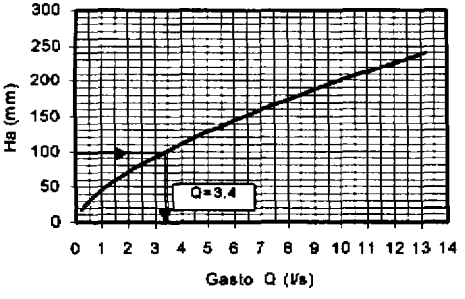


Figura 4. *Gráfica del gasto sin sumergencia para un aforador de 50.8 mm de ancho de garganta (W).*

ANCHO DE LA GARGANTA	VALORES DE C Y n	
W	C	n
(W y Ha en mm, Q en l/s)		
25.40	0.001952	
50.80	0.002702	1.55
76.20	0.003966	
152.40	0.006937	1.58
228.60	0.013762	1.53
(W y Ha en m, Q en m³/s)		
0.3048	0.69	1.52
0.4572	1.06	1.54
0.6096	1.43	1.55
0.9144	2.18	1.57
1.2192	2.95	1.58
1.5240	3.73	1.59
1.8288	4.52	1.60
2.1336	5.31	
2.4384	6.11	1.61
3.0480	7.46	
3.6580	8.86	
4.5720	10.96	
6.0960	14.45	1.60
7.6200	17.94	
9.1440	21.44	
12.1920	28.43	
15.2400	35.41	

Tabla 2. *Valores de C y n en la ecuación (1) para diferentes anchos de la garganta (W).*

2.2 ESTIMACIÓN DEL GASTO PARA DESCARGA AHOGADA

El ejemplo anterior funciona cuando el aforador trabaja con descarga libre. Esto quiere decir que la profundidad del agua H_a es mayor, en cierto valor, que la profundidad H_b (ver figura 5). Para determinar este *cierto valor* es necesario definir la sumergencia, que no es más que el cociente del valor de H_b entre H_a, tal como se indica en la ecuación (2) donde S es la sumergencia.

$$S = \frac{H_b}{H_a} \qquad (2)$$

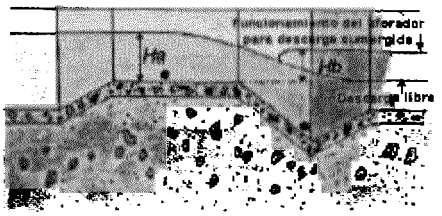


Figura 5. *Sumergencia en los aforadores Parshall.*

IMPORTANTE:
Ha y Hb se miden a partir de la cresta.

La sumergencia permitida, para cada tipo de aforador, se presenta en la tabla 3. Cuando se tiene una sumergencia mayor se dice que el vertedor trabaja ahogado o que presenta descarga sumergida, en este caso, será necesario corregir el gasto calculado con la ecuación (1), o con la tabla 2.

Ancho de la garganta, W (mm)	Sumergencia máxima permitida, S (%)	Ancho de la garganta, W (m)	Sumergencia máxima permitida, S (%)	Ancho de la garganta, W (m)	Sumergencia máxima permitida, S (%)
25.4	50	0.3048	70	2.4384	70
50.8	50	0.4572	70	3.0480	80
76.2	50	0.6096	70	3.6580	80
152.4	60	0.9144	70	4.5720	80
228.6	60	1.2192	70	6.0960	80
		1.5240	70	7.6200	80
		1.8288	70	9.1440	80
		2.1336	70	12.1920	80
				15.2400	80

Tabla 3. *Valores permitidos de sumergencia S en los aforos Parshall.*

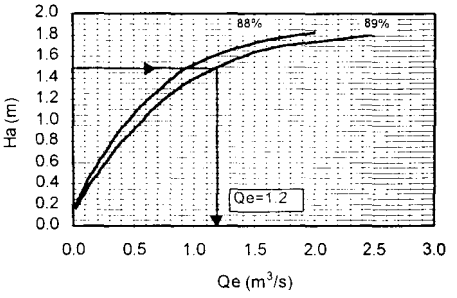


Figura 6. *Gráfica de corrección de gasto para aforadores de 3.048 m a 15.9878 m.*

Cuando el valor de sumergencia se rebasa, el gasto en el aforador sufre una disminución. Para este caso el gasto se puede calcular con la ecuación (3)

$Qs = Q - Qe$ (3)

Donde Qs es el gasto en el aforador bajo condiciones de sumergencia mayor a la permitida (tabla 3); Q es el gasto calculado con la ecuación (1) o tabla 2 (sin sumergencia) y Qe es el gasto de corrección. Dicho gasto se puede calcular con las figuras contenidas en el anexo 1.

Ejemplo 2.

Determine el gasto para un aforador Parshall que tiene un ancho de garganta de 6.10 m, con un grado de sumergencia del 89% y con nivel de agua de 1.50 m de altura (H_a).

Datos: **Fórmulas:**

$W = 6.10$ m $Q = 14.45 H_a^{1.6}$ (de la tabla 2)

$H_a = 1.50$ m $Qs = Q - Qe$

Solución:

Para descarga libre.

$Q = 14.45\ (1.50\ m)^{1.6} = 27.64\ m^3/s$

Entrando a la gráfica de la figura 6,se determina el gasto de corrección.

$Qe = 1.20\ m^3/s$

Para descarga sumergida:

$Qs = 27.64\ m^3/s - 1.20\ m^3/s =$ **26.44 m³/s**

Ejemplo 3

Determine el gasto para un aforador Parshall que tiene un ancho de garganta de 152.4 mm, para un grado de sumergencia de 92.5% y un nivel del agua de 200 mm de altura.

Datos: **Fórmula:**

W = 152.4 mm ¿_____?

H_a =200 mm

Intencionalmente, se han puesto signos de interrogación, ya que la fórmula no es la misma. Para resolver este problema se aplica la ecuación (3) para lo que se requiere encontrar el gasto sin sumergencia Q con la ecuación correspondiente al ancho W=152.4 mm de la tabla 2. Además, como se rebasa la sumergencia limite (60%, según la tabla 3) se necesita estimar el gasto de corrección *Qe*, lo que puede hacerse por medio de la gráfica de la figura 7.

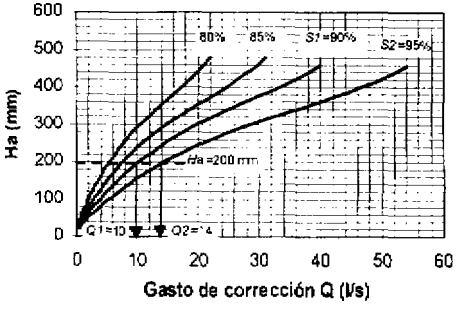


Figura 7. *Gráfica de corrección de gasto para aforadores con W = 152.4 mm.*

Como puede observarse, no existe curva para la sumergencia de 92.5%. Para este caso la ecuación (3) tiene una pequeña modificación y queda la ecuación (4)

(4)

Donde *Qei*, es el gasto de corrección interpolado, o sea el que se está buscando. Para conocerlo es útil la ecuación (5).

$$Qei = Q2 - \frac{[S2 - Si][Q2 - Q1]}{S2 - S1} \qquad (5)$$

Donde *S1*, es la sumergencia menor a la del problema; *S2*, es la sumergencia mayor; *Si*, es la sumergencia del problema; *Q1*, es el gasto de corrección correspondiente a sumergencia menor y *Q2*, es el gasto de corrección pero para la sumergencia mayor. Todo estos valores correspondientes al valor del nivel del agua, H_a.

Para el ejemplo 3, tenemos que:
Si=92.5
S1=90
S2=95
Q1 = 10 l/s (correspondiente a *S1*=90%)
Q2 = 14 l/s (correspondiente a *S1*=95%)

Sustituyendo en la ecuación (5) obtenemos:

$$Qei = 14 - \frac{(95 - 92.5)(14\text{-}10)}{95 - 90} = 14 - 2 = 12 \text{ l/s}$$

Enseguida se calcula el gasto sin sumergencia Q, por medio de la siguiente ecuación, obtenida de la tabla 2, para un ancho de garganta W=152.4 mm.

$$Q = 0.006937 H_a^{1.58} = 0.006937(200)^{1.55} = 29.95 \text{ l/s}$$

A su vez, sustituyendo en la ecuación (4), se obtiene el gasto buscado:

Qs = Q - Qei = 29.95 - 12 = **17.95 l/s**

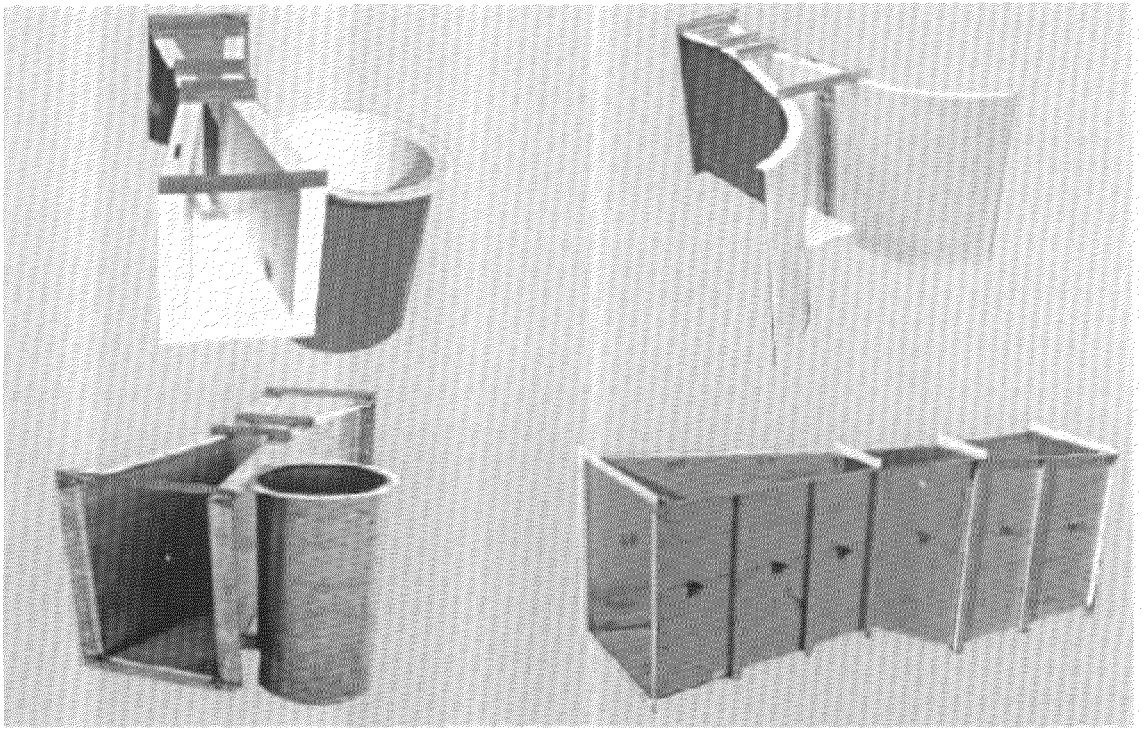
En resumen, el cálculo del gasto presenta tres posibles casos, los cuales dependen del grado de sumergencia. Cada caso recibe un tratamiento diferente, mismo que fue explicado con tres ejemplos resueltos.

CASO	EJEMPLO RESUELTO	TIPO DE DESCARGA	SUMERGENCIA	ECUACIONES
A	1	LIBRE	NO EXISTE	$Q=C(H_a)^n$
B	2	AHOGADA	S	$Q_s=Q-Q_e$
C	3		SI (VALOR ENTRE S1 Y S2)	$Q_s=Q-Q_{ei}$

Tabla 4. *El calculo del gasto depende del grado de sumergencia.*

2.3 AFORADORES PARSHALL PREFABRICADOS

Existen varias casas comerciales que fabrican aforadores para ser colocados en los canales, las cuales pueden ser consultadas en el capítulo 9.



Los materiales más comunes para su fabricación son la fibra de vidrio, resina de polyester, vinylester, Atlac Bisphenol (polyester especial para condiciones severas), acero inoxidable, etcétera.

2.4 AUTOEVALUACIÓN

Contesta las siguientes preguntas seleccionando la respuesta correcta:

1. ¿Cuáles son las partes principales de un aforador Parshall?

a) Transición de entrada, sección convergente, garganta y sección divergente.
b) Sección convergente y sección transversal.
c) Sección divergente y garganta.

2. ¿Qué ecuación matemática representa la relación tirante contra gasto, para condiciones de descarga libre en los aforadores Parshall?

a) $Qs = Q - Qe$
b) $Q = AV$
c) $Q = C(Ha)^n$

3. ¿Cuál es la ecuación del gasto para un aforador Parshall que tiene un ancho de garganta de 152.4 mm)?

a) $Q = 0.002702\ Ha^{1.55}$
b) $Q = 0.006937\ Ha^{1.58}$
c) $Q = 0.6909\ Ha^{1.52}$

4. ¿Qué relación matemática se utiliza para determinar la sumergencia en aforadores Parshall?

a) $S = Ha / Hb$
b) $S = Hb / Ha$
c) $S = Ha \cdot Hb$

5. ¿Cuándo se dice que el vertedor trabaja ahogado o presenta descarga sumergida?

a) Cuando se tiene una sumergencia menor que la permitida.
b) Cuando se tiene una sumergencia mayor que la permitida.
c) Cuando se tiene una sumergencia igual que la permitida.

6. ¿Qué ecuación se utiliza para calcular el gasto cuando el valor de sumergencia se rebasa?

a) $Qs = Q - Qe$
b) $Q = C(Ha)^n$
c) $Q = AV$

7. ¿Cuáles son los materiales más comunes para la fabricación de aforadores Parshall prefabricados?

a) Fierro fundido, cobre y latón.
b) Fibra de vidrio, resina de polyester, vinylester y acero inoxidable.
c) Aluminio, fierro galvanizado y madera.

3. REQUERIMIENTOS DE INSTALACIÓN FÍSICA

3.1 VELOCIDAD DE LLEGADA DE LA CORRIENTE

Las velocidades menores de 0.3 m/s facilitan el crecimiento de maleza, los insectos y el azolve. Por lo tanto la velocidad de llegada debe exceder dicho valor.

Se recomienda verificar la velocidad de llegada antes de construir un aforador. Por lo menos, es conveniente realizar una inspección visual para evitar las corrientes inestables.

3.2 CARACTERÍSTICAS DEL FLUJO DEL CANAL Y NECESIDADES OPERACIONALES

Para contar con mediciones precisas, el sitio de ubicación del aforador debe permitir grandes pérdidas de carga para absorber el remanso y así poder utilizar una relación única de tirante y gasto. Esta relación asegura que los límites de sumergencia no se han excedido o, por lo menos, que no se tenga una sumergencia excesiva.

Para el diseño del aforador es necesario saber si el sitio de ubicación del medidor está influenciado por la operación de compuertas sobre el canal o sobre los canales laterales.

La elevación del agua puede variar ante la presencia de azolve o por las operaciones propias del canal; esto debe tomarse en cuenta para los mismos fines de mantener la sumergencia dentro de los límites adecuados.

Después de seleccionar tentativamente la localización del aforador, se debe conocer el mínimo y máximo gasto que circula por el canal y las profundidades correspondientes, la velocidad máxima, y las dimensiones del canal en el sitio.

Estas medidas deben incluir: ancho del canal, taludes, profundidades y la altura de los bordos por aguas arriba con especial atención a su capacidad de contener el incremento de nivel causado por la instalación del aforador.

3.3 EROSIÓN Y SEGURIDAD

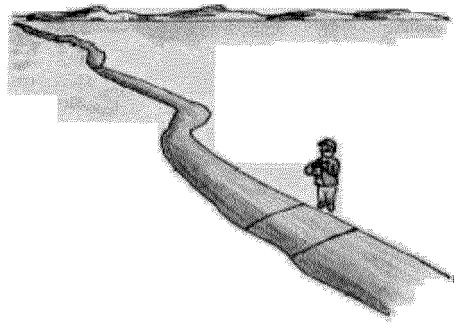
Idealmente, el tramo seleccionado del canal debe ser estable. En algunos tramos del canal, la sedimentación ocurre durante la época de estiaje. La sedimentación puede cambiar la velocidad del acercamiento o puede incluso enterrar la estructura y la erosión puede socavar el cimiento.

Debe revisarse el estancamiento del agua antes del aforador. Un estancamiento excesivo comúnmente provoca sedimentación debido a la reducción en las velocidades de llegada.

3.4 TRAMO RECTO MÍNIMO ANTES DEL MEDIDOR

Una de las principales restricciones que debe tener un sitio donde se va a colocar el medidor es la uniformidad de la corriente. Esto significa que antes del medidor se debe tener un tramo recto y sin obstáculos de una longitud mínima. Los obstáculos pueden ser, inclusive, bancos de arena o de grava asentados en el fondo del canal como producto del azolve.

Por lo menos se debe tener un tramo recto de diez veces el ancho del fondo del canal. El fondo del canal es diferente para cada tipo de sección transversal. Si el canal es rectangular, el fondo será igual al ancho de la superficie del agua. Si es irregular el fondo será, aproximadamente, la parte más horizontal del fondo.



Los aforadores Parshall deben ubicarse en tramos rectos de canal, con ello se garantiza que el flujo sea uniforme y que las mediciones sean confiables.

3.5 AUTOEVALUACIÓN

Conteste las preguntas siguientes marcando la respuesta que considere correcta.

1. ¿Qué velocidad de llegada debe tener la corriente para no facilitar el crecimiento de maleza y azolve?

a) Velocidad de 0.2 m/s.
b) Velocidad de 0.1 m/s.
c) Velocidades mayores de 0.3 m/s.

2. ¿Qué debe de permitir el sitio de ubicación del aforador para contar con mediciones precisas?

a) Pequeñas pérdidas de carga para absorber el remanso.
b) Grandes pérdidas de carga para absorber el remanso.
c) Nulas pérdidas de carga.

3. ¿Qué características se deben conocer después de seleccionar tentativamente la localización del aforador?

a) El mínimo y máximo gasto que circula por el canal, las profundidades, la velocidad máxima y las dimensiones.
b) El coeficiente de rugosidad y carga de presión.
c) Area hidráulica y perímetro mojado.

4. ¿Cómo debe ser el tramo donde se va a colocar el medidor para que la corriente sea uniforme?

a) Curvo.
b) Recto.
c) Inclinado.

4. ESPECIFICACIONES DE INSTALACIÓN

La localización apropiada del aforador es importante desde el punto de vista de la exactitud y de la comodidad de uso. Por conveniencia, el aforador debe ubicarse cerca del punto de distribución y cerca de las compuertas de regulación usadas para controlar la descarga.

Los aforadores deben ser fácilmente accesibles en vehículo para propósitos de instalación y de mantenimiento. En general, la corriente antes del aforador debe estar tranquila, es decir, el tramo recto debe ser largo, la pendiente del fondo suave, sin curvas ni oleaje.

Comúnmente los aforadores Parshall, y en general cualquier aforador, colocados en canales sin revestir tienden a sufrir asentamientos después de largos periodos de operación.

En estos casos la nivelación del fondo en la entrada puede alterarse, por lo que es necesaria una revisión y renivelación en caso necesario, después de algunos meses de operación y al final del ciclo agrícola.

El asentamiento o una inapropiada instalación pueden causar inclinación de las paredes. Si el aforador llegara a inclinarse un poco, la lectura del nivel del agua debe leerse en ambas paredes y utilizar el promedio para estimar el gasto.

4.1 AUTOEVALUACIÓN

Conteste las preguntas siguientes marcando la respuesta que considere correcta.

1. ¿Dónde debe ubicarse el aforador desde el punto de vista de la exactitud y de la comodidad de uso?

a) Lejos del punto de distribución.
b) Lejos de las compuertas de regulación.
c) Cerca del punto de distribución y cerca de las compuertas de regulación.

2. ¿Cómo debe ser la corriente antes de llegar al vertedor?

a) Turbulenta.
b) Tranquila.
c) Semi-turbulenta.

3. ¿Qué tienden a sufrir comúnmente los aforadores Parshall colocados en canales sin revestir después de largos periodos de operación?

a) Asentamientos.
b) Deformaciones.
c) Pérdidas de carga.

4. ¿Qué se necesita hacer cuando un aforador Parshall tiende a sufrir asentamientos después de largos periodos de operación?

a) Una revisión y renivelación.
b) Un mantenimiento.
c) Una reconstrucción.

5. ¿Cuándo debe leerse la lectura del nivel del agua en ambas paredes del aforador y utilizar el promedio para estimar el gasto?

a) En caso de que el aforador llegara a elevarse un poco.
b) En caso de que el aforador llegara a inclinarse un poco.
c) En caso de que el aforador esté deformado.

5. PRUEBAS DE PRECISIÓN Y CALIBRACIÓN

Para revisar el buen funcionamiento de un aforador Parshall, se deben tener en cuenta varios aspectos. Primeramente debe decirse que en ningún caso se deben comparar las mediciones con otro método.

5.1 VERIFICACIÓN DE FUNCIONAMIENTO

Cuando se quiera verificar el buen funcionamiento de un aforador, se propone lo siguiente.

a) Se deben medir todas las partes del medidor identificando el ancho de la garganta, sin importar si el medidor es prefabricado o construido en el sitio.

b) Una vez identificado el ancho entrar a la tabla 1 y comparar la totalidad de las medidas del aforador.

c) Regresar al aforador y verificar que todas las medidas sean correctas. Las medidas deben ser las mismas. Si se tienen diferencias, éstas no deben ser significativas especialmente para aforadores pequeños.

d) Es muy importante revisar que las escalas tengan su "cero" coincidiendo con el nivel de la parte horizontal del aforador (cresta). Esto se debe hacer con una cinta métrica directamente en campo.

e) También se debe cuidar que la ecuación que se usa es la adecuada para el ancho del vertedor.

f) Si el vertedor trabaja ahogado verificar que se realice la corrección al gasto.

Ejemplo

Se tiene un aforador con las medidas siguientes:

Parte	Medidas, m	
	Estándar	Real
W	1.22	1.25
A	1.83	1.98
a	1.22	1.39
B	1.79	1.86
C	1.52	1.54
D	1.94	2.00
E	0.91	1.73
T	0.61	0.63
G	0.91	0.86
K	0.09	0.05
M	0.46	1.66
N	0.23	0.21
R	0.61	2.00
X	0.05	0.06
Y	0.09	0.11
S	0.25	0.16

Como puede observarse, ninguna medida es correcta, por lo que este aforador deberá ser corregido para que trabaje adecuadamente. Adicionalmente, se revisó la ecuación que debe usarse y se obtuvieron los datos siguientes:

Ecuación usada:
$Q = 3.058\ Ha^{1.5364}$

Ecuación correcta:
$Q = 2.953\ Ha^{1.578}$

En la figura 8, se muestra una vista aguas abajo del aforador revisado en este ejemplo.

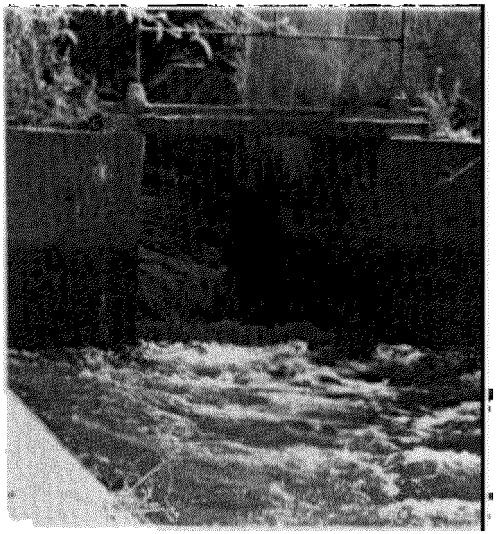


Figura 8. *Vista aguas abajo.*

5.2 VERIFICACIÓN DE LA ESCALA

Cuando se tiene un aforador sin pozo de lectura, se debe verificar que la escala esté correctamente colocada y que la graduación sea correcta. Para llevar a cabo esta revisión, simplemente se debe revisar que el cero de la escala coincida con el nivel de la cresta. La graduación de la escala se puede verificar colocando una regla graduada, de buena calidad, junto a la escala.

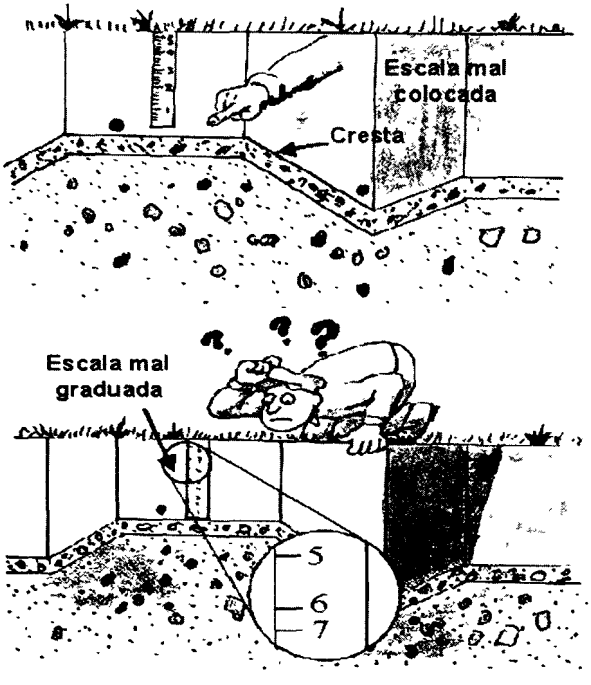


Figura 9. *Revisión de escala en aforadores sin pozo de lectura*

Cuando se tiene la lectura de los niveles H_a y H_b, en pozos de lectura, es muy importante que el "cero" de la escala coincida con el nivel de la parte horizontal del aforador, es decir, con la cresta (ver Figura 3)

Para realizar esta revisión se debe observar primeramente que el fondo del pozo de lectura este ligeramente mas abajo, o a lo más, al mismo nivel El fondo del pozo de lectura *nunca* debe estar por encima de la cresta Además, el conducto que comunica *al aforador con el pozo de lectura* no debe estar más arriba que la lectura mínima del aforador, en función del ancho Para saber esta lectura mínima se puede consultar la tabla 1

Ancho de la garganta aforador (W)	Rango de funcionamiento	
	Ha mínimo	Ha máximo
Dimensiones en mm		
25 40	0 015	0 21
50 80	0 015	0 24
76 20	0 030	0 33
152 40	0 030	0 45
228 60	0 030	0.61
Dimensiones en m		
0 30	0 030	0 76
0 46	0 030	0.76
0 61	0 046	0.76
0 91	0 046	0.76
1 22	0 060	0 76
1 52	0 060	0 76
1 83	0 076	0 76
2 13	0 076	0 76
2 44	0 076	0 76
3 05	0 090	1.07
3 66	0 090	1.37
4 57	0 090	1 67
6 10	0 090	1 83
7 62	0 090	1.83
9 14	0 090	1.83
12 19	0 090	1 83
15 24	0 090	1 83

Tabla 5. *Profundidades mínimas y máximas en aforadores Parshall*

Normas oficiales

Si el lector esta interesado en realizar alguna verificacion mas detallada de las ecuaciones y dimensiones, puede dirigirse a algunas normas oficiales que existen al respecto, sobre todo en los Estados Unidos Las normas disponibles son

Datos	Norma	Dirección electrónica
ISO International Organization for Standarization	ISO 9896 Medición de flujo en canales abiertos, aforadores Parshall y SANIIRI	http //www iso.ch
ASTM American Society for Testing and Materials	ASTM 1941 Método estándar para la verificación de la medición del agua con aforador Parshall	http //enterprise astm.org

Tabla 6. *Normas oficiales para el aforador Parshall.*

5.3 AUTOEVALUACION

Conteste las preguntas siguientes marcando la respuesta que considere correcta.

1. ¿Qué se propone para verificar el buen funcionamiento de un aforador Parshall?

a) Medir todas las partes del medidor, identificando el ancho de la garganta: una vez identificando el ancho, entrar a la tabla y comparar la totalidad de las medidas del aforador. Las medidas deben ser las mismas.
Es muy importante revisar que las escalas tengan su «cero» coincidiendo con la cresta.
Cuidar que la ecuación que se usa sea la adecuada para el ancho del vertedor.
Si el vertedor trabaja ahogado verificar que se realice la corrección del gasto.
b) Que las medidas del aforador sean similares a las de la tabla.
Usar cualquier ecuación para calcular el gasto.
c) Revisar que las escalas tengan su «cero» no coincidiendo con la cresta.
Si el vertedor trabaja ahogado no hacer la corrección del gasto.

2. ¿Cuáles son las profundidades máximas y mínimas para un aforador Parshall con un ancho de garganta de 0.61 m?

a) 0.030 m y 0.61 m.
b) 0.046 m y 0.76 m.
c) 0.030 m y 0.76 m.

6. REGISTRO DE LECTURAS Y PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

6.1 AFORADORES PEQUEÑOS (HASTA W=228.6 mm)

En los aforadores pequeños, para conocer el gasto, basta con leer la escala que para tal efecto se tiene en el punto de lectura H_a (figura 3) y calcular el gasto con las graficas correspondientes o con su ecuación (ver tabla 2) El único aspecto que se debe cuidar es que la descarga sea libre; en caso contrario, se debe leer también la profundidad H_b para estimar el gasto real.

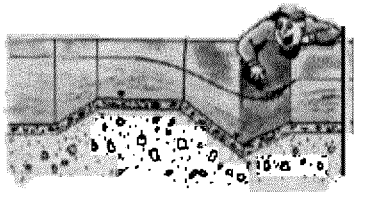
Para saber si una descarga es libre o ahogada, es necesario observar la superficie del agua inmediatamente después del aforador. Si se nota el *salto hidráulico* en las inmediaciones del aforador, entonces es un salto hidráulico normal y el aforador tiene descarga libre, por lo que no debe corregirse el gasto; solamente se utilizan las ecuaciones de la tabla 2.

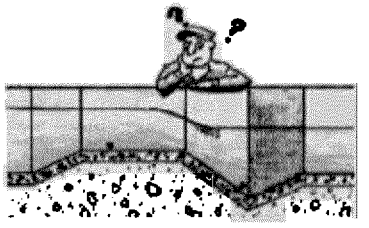
Si no se puede observar el salto hidráulico, entonces se pueden tener dos opciones: *salto ahogado* o *salto barrido*. El salto ahogado, como su nombre lo indica, está ahogado y generalmente se encontrará dentro de la sección de divergencia del aforador. Por el contrario, el salto barrido estará bastante alejado del aforador o inclusive no se apreciará.

Otra diferencia entre ambos tipos de salto es que para el primero, salto ahogado, la corriente aguas abajo del aforador es de la misma magnitud que aguas arriba del mismo; en cambio, para el segundo caso, salto barrido, la corriente es significativamente más rápida que en la entrada y es notorio que el agua "cae" en la sección de la garganta.

En el caso del salto ahogado debe realizarse la corrección de acuerdo con lo indicado en el apartado 2.2.

Inclusive puede darse el caso de que el salto se mueva hacia aguas abajo para convertirse en salto barrido y regrese nuevamente hasta ahogarse reiterativamente.





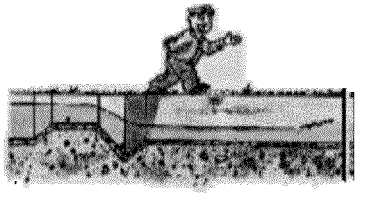


Figura 10. *Diferentes saltos hidráulicos.*

Si el lector sabe distinguir entre un salto y otro estará en condiciones de saber si se tiene descarga libre o ahogada. Si por el contrario, el lector tiene dificultad para distinguir entre uno y otro, simplemente debe registrar las profundidades H_a y H_b del agua, calcular la sumergencia con la ecuación (2) y entrar en la tabla 3, para saber si se rebasa la sumergencia permitida y calcular el gasto como corresponda.

6.2 AFORADORES GRANDES (W=0.3048 m O MAYOR)

El registro de este tipo de medidores puede realizarse electrónicamente. Los equipos de medición usados en aforadores están formados por dos componentes básicos: sensores de nivel y tabla de calibración. Los sensores de nivel miden el tirante en puntos específicos del aforador (H_a y H_b). Con esta medición el equipo determina el gasto que circula por el aforador basado en la tabla de calibración del mismo. Algunos equipos incluyen un totalizador de volumen y una pantalla para mostrar la información medida, volumen totalizado, calibrar y configurar el equipo.

Existen equipos que además incorporan algún tipo de comunicación, lo cual permite transmitir los datos medidos, nivel, gasto y volumen totalizado a través de un medio alámbrico o inalámbrico. El volumen totalizado se obtiene integrando el gasto en el tiempo, para lo cual el usuario debe configurar el equipo según lo indica el manual.

Dos alternativas se han usado para medir el nivel: sensores de presión y sensores ultrasónicos. Los primeros miden el empuje de la columna de agua sobre un punto localizado

aguas arriba, ya sea directamente o bien a través de una columna de aire.

Para medir la profundidad se utiliza un *transductor*. Un transductor es un dispositivo que proporciona una salida eléctrica en respuesta a una magnitud física que se desea medir. Para este caso se desea medir la profundidad del agua y lo que realmente se mide es la presión: el agua ejerce una presión sobre un material especial sujeto a una corriente eléctrica; dicho material puede ser silicio incorporado a un diafragma.

Cuando el diafragma está plano (sin presión) presenta cierta resistencia al paso de la corriente eléctrica, y cuando está deformado presenta otra. Esta diferencia de resistencia (medida en voltaje) es la que registra el dispositivo y la transforma, por medio de fórmulas, primero a presión y después a profundidad de agua.

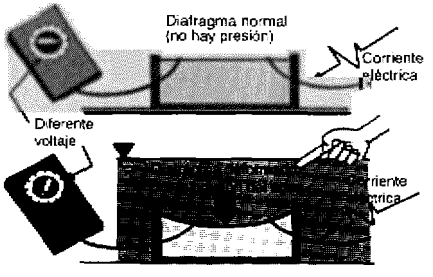


Figura 11. ***Funcionamiento de un sensor de presión.***

Los sensores ultrasónicos miden la distancia a través del tiempo que le toma a una señal de ultrasonido viajar entre el sensor (emisor/ receptor) y el espejo del agua.

Estos equipos no están en contacto con el agua. Tanto los sensores de presión como los ultrasónicos son sensibles a cambios en la temperatura; ambos incluyen un sistema electrónico para compensarlos.

Tomando sensores ultrasónicos y de presión de caracteristicas similares: exactitud, precisión, compensación en temperatura, etcétera, el ultrasónico es el más económico. Las siguientes son las especificaciones técnicas mínimas que debe cumplir un buen sensor de nivel.

- Exactitud mayor de +/-3 mm o +/- 0.1% en la escala completa .
- Repetibilidad máxima +/- 0.05% en la escala completa.
- Resolución menor o igual 3 mm.
- Compensador para variaciones en temperatura, agua y/o aire incluido.
- Temperatura de operación de -20°C a 60°C.
- Gabinete sensor NEMA 4 mínimo para equipo que opera en condiciones ambientales.
- Presentar la información medida en el formato de 4-20 mA, 0-20 mA .
- Incluir protección a descargas eléctricas.
- Voltaje de operación 120-240 VAC o 12-40 VDC según lo requiere la aplicación.

Los sensores ultrasónicos de nivel cuentan con filtros digitales que permiten una medición confiable del nivel directamente en el canal, razón por la cual pueden montarse directamente sobre el aforador.

Nunca instale un sensor ultrasónico en un vaso comunicante que no tenga ventilación; el gradiente de temperatura presente entre sensor y la superficie del agua introduce errores. El compensador de temperatura ubicado en el sensor de nivel sólo considera la temperatura presente en éste.

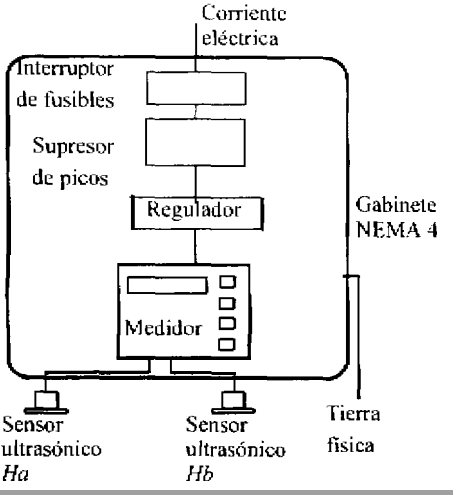


Figura 12. *Instalación del equipo de medición.*

En el caso de que se tenga un equipo de medición como el descrito anteriormente, la obtención de datos puede realizarse con una computadora que se conecta directamente o bien se puede enviar por medio de telefonía convencional, celular o vía satélite.

Se debe verificar que si el medidor presenta una descarga ahogada potencial el equipo de medición debe ser capaz de diferenciar entre descarga ahogada o libre y calcular el gasto según corresponda.

6.1 AUTOEVALUACIÓN

Conteste las preguntas siguientes marcando la respuesta que considere correcta.

1. ¿Qué se hace para conocer el gasto en aforadores pequeños cuando la descarga es libre?

a) Leer la escala que se tiene en el punto de lectura H_a, y calcular el gasto con las gráficas correspondientes o con su ecuación.
b) Leer la escala en el punto de lectura H_b, para estimar el gasto real.
c) Leer la escala en el punto de lectura H_a y H_b.

2. ¿Cómo debe ser el salto hidráulico para saber si una descarga es libre?

a) Salto hidráulico barrido.
b) Salto hidráulico ahogado.
c) Salto hidráulico normal.

3. ¿Cómo debe ser el salto hidráulico para la corrección del gasto en descarga sumergida?

a) Salto hidráulico normal.
b) Salto hidráulico ahogado.
c) Salto hidráulico barrido.

4. ¿Cómo se hace el registro de aforadores grandes (W = 0.3048 m o mayor)?

a) Prácticamente.
b) Electrónicamente.
c) Manualmente.

5. ¿Cuáles son los componentes básicos en los equipos de medición usados en aforadores grandes?

a) Totalizador y pantalla.
b) Pozos y tanques.
c) Sensores de nivel y tabla de calibración.

6. ¿Cuáles son las alternativas que se han usado para medir el nivel en aforadores mayores de W= 0.3048 m?

a) Sensores de presión y sensores ultrasónicos.
b) Una cinta métrica.
c) Una regla.

7. ¿Qué especificaciones técnicas debe cumplir un buen sensor de nivel?

a) Temperatura de operación de -10°C a 50°C. Presentar la información medida en el formato de 4-20 mA, 0-20 mA.
No incluir protección a descargas eléctricas.
b) Exactitud mayor de +/-3mm o +/-0.1% en la escala completa.
Repetibilidad máxima +/-0.05% en la escala completa.
Resolución menor o igual a 3mm.
Compensador para variaciones en temperatura, agua y/o aire incluido
Temperatura de operación de –20°C a 60°C
c) Repetibilidad mínima +/-0.05% en la escala completa.

8. ¿Qué permiten los filtros digitales de los sensores ultrasónicos?

a) Una temperatura media en el canal.
b) Una medición confiable del nivel directamente en el canal.
c) Una ventilación directamente en el canal.

7. MANTENIMIENTO BÁSICO

Una vez que el aforador ha sido propiamente instalado, se requiere un mantenimiento periódico para que opere satisfactoriamente.

Normalmente en este tipo de estructuras crece algún tipo de maleza en las paredes y el azolve suele acumularse en el fondo, particularmente en la entrada del aforador, por lo que es recomendable limpiar esta parte. En los aforadores de metal es normal que se tenga presencia de óxido que también debe removerse con un cepillo metálico.

Para evitar la maleza y el óxido es conveniente *pintar el aforador con pintura asfáltica*, lo que aumentará la vida útil del dispositivo.

El asentamiento de aforadores suele ocurrir más comúnmente cerca de la salida debido a la acción erosiva de la corriente de agua.

7.1 AUTOEVALUACIÓN

Conteste las preguntas siguientes marcando la respuesta que considere correcta.

1. ¿ Qué se requiere una vez que el aforador ha sido instalado para que opere correctamente?

a) Una nivelación.
b) Un bombeo.
c) Un mantenimiento periódico.

2. ¿Qué parte del aforador es recomendable limpiar debido a que crece maleza en las paredes y el azolve suele acumularse en el fondo?

a) La salida del aforador.
b) La garganta del aforador.
c) La entrada del aforador.

3. ¿Qué es conveniente hacer para evitar la maleza y el óxido en un aforador Parshall?

a) Pintar el aforador con pintura asfáltica.
b) Pintar con pintura vinílica.
c) Barrer el aforador.

4. ¿ En que parte del aforador suelen ocurrir más los asentamientos debido a la acción erosiva de la corriente del agua.

a) Cerca de la entrada del aforador.
b) Cerca de la salida del aforador.
c) En la garganta del aforador.

8. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Este tipo de aforador tiene las ventajas siguientes:

a) Opera con pérdidas de carga relativamente bajas.
b) Para un gasto dado, la pérdida de carga es 75% más pequeña que para otros medidores, bajo las mismas condiciones de descarga libre.
c) El aforador es poco sensible a la velocidad de llegada.
d) Se logran buenas mediciones sin sumergencia, o inclusive, con sumergencia moderada.
e) Apropiadamente construido mantiene una precisión de ± 2% para descarga libre, y ±5% bajo condiciones de sumergencia considerable.
f) La velocidad del flujo en el interior del aforador es lo suficientemente alta para evitar el azolve .
g) Es difícil alterar la medición.
h) Es menos caro que el aforador de garganta larga para la misma capacidad.
i) Es factible la colocación de un sensor de nivel y un totalizador en los pozos de lectura, para conocer los volúmenes escurridos.

Su principal desventaja es que debe construirse de acuerdo a medidas estándar, lo que dificulta y encarece su construcción. Además, no puede combinarse con estructuras de derivación o control. Aunque esta última desventaja ocurre para todos los aforadores.

8.1 AUTOEVALUACIÓN

Conteste las preguntas siguientes marcando la respuesta que considere correcta.

1. ¿Cuáles son las ventajas que ofrece un aforador Parshall?

a) Opera con pérdidas de carga altas. El aforador es muy sensible a la velocidad de entrada.
Se tiene una precisión de +/- 5% para descarga libre.
b) La velocidad del flujo es suficientemente baja para evitar el azolve.
La pérdida de carga es 75% más alta que para otros medidores, bajo las mismas condiciones de descarga libre.
c) Opera con pérdidas de carga relativamente bajas.

2. ¿Cuál es la principal desventaja en un aforador Parshall?

a) Es fácil alterar la medición.
b) La construcción de acuerdo a medidas estándar dificulta y encarece su construcción.
c) Es más caro que el aforador de garganta larga para la misma capacidad.

9. LISTADO DE PRINCIPALES PROVEEDORES

Casa comercial	Tamaños disponibles	Materiales de construcción	Dirección / *Web page* / *e-mail*
TEMEDIE	1"-9" (.0254-0.2286 M)	Polyester reforzado con fibra de vidrio.	Fernández Ramírez 141-A Deleg. Cuauhtémoc, México, D.F.
Inventron Inc. BL TEC	1"-96" (.0254-2.4384 m)	Polyester reforzado con fibra de vidrio.	http://www.bltec.com
Plati-Fab Inc.	1"-12' (.0254-3.6576 m)	Polyester reforzado con fibra de vidrio, vinylester, bisphenol poliester, acero inoxidable	http://www.plasti-fab.com
Badger Meter		Fibra de vidrio	http://www.badgermeter.com Insurgentes Sur # 1862, Piso 8, Col. Florida México, D.F., C.P. 01030 Tels. 5662 6558; 5662 8562
HIDRÓNICA, S.A. de C.V.			Atención: Ing. Antonio Espinosa Olmedo Diego Becerra 69, Col. San José Insurgentes México, D.F. Tel. 01-6604636 e-mail: aeo60@mail.internet.com.mx

10. BIBLIOGRAFÍA

Ackers, W. R., Perkins J. A. y Harrison A. J. M. 1978. *Weirs and Flumes for Flow Measurement*. Nueva York: Ed. John Wiley & Sons. 320 pp. +xii.

Bos, M. G. 1989. *Discharge Measurements Structures*. Wageningen, Hol., International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), No.20, 215 pp.

Bos, M. G., Reploge J. A. y Clemmens A. J. 1986. *Flow Measuring Flumes for Open Channel Systems*. Wageningen, Hol.: International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), No.38, 293 pp.

Kraatz, F. 1975. *Small Hydraulic Structures*. Roma: FAO-26(2) Irrigation and Drainage papers. 345 pp.

Pedroza G. E., Ruiz C. V. M., "Rehabilitación de un aforador Parshall en el distrito de riego 037 Altar Pitiquito", XI Congreso Nacional de Irrigación de la Asociación Nacional de Especialistas en Irrigación, Guanajuato, Gto., septiembre de 2001.

11. RESPUESTAS A LAS AUTOEVALUACIONES

Autoevaluación	Pregunta	Respuesta
2.4	1	a
	2	c
	3	b
	4	b
	5	b
	6	a
	7	b
3.5	1	c
	2	b
	3	a
	4	b
4.1	1	c
	2	b
	3	a
	4	a
	5	b

Autoevaluación	Pregunta	Respuesta
5.3	1	a
	2	b
6.1	1	a
	2	c
	3	b
	4	b
	5	c
	6	a
	7	b
	8	c
7.1	1	a
	2	c
	3	a
	4	b
8.1	1	c
	2	b

ANEXO A: ECUACIONES, TABLAS Y FIGURAS

A.1 AFORADOR DE 25.4 mm DE GARGANTA

Ecuación para gasto sin sumergencia:

$$Q = 0.001352 H_a^{1.55}$$

Sumergencia límite: 50%

H_a (mm)	Q (l/s)
15	0.09
25	0.20
35	0.33
45	0.49
55	0.67
65	0.87
75	1.09
85	1.32
95	1.57
105	1.84
115	2.11
125	2.41
135	2.71
145	3.03
155	3.36
165	3.70
175	4.05
185	4.42
195	4.79
205	5.18
210	5.38

Tabla A1. *Gasto sin sumergencia.*

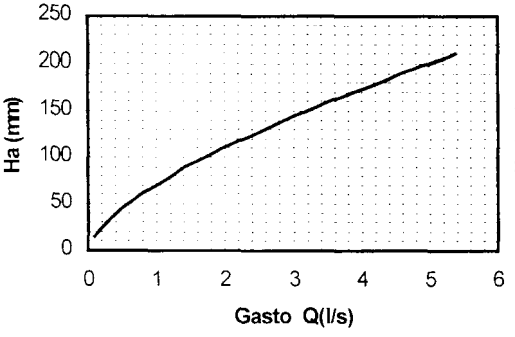


Figura A.1. *Gasto sin sumergencia.*

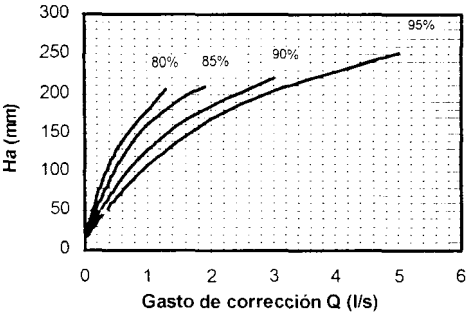


Figura A.3. *Corrección de gasto para sumergencia de 80 a 95% (W=25.4 mm).*

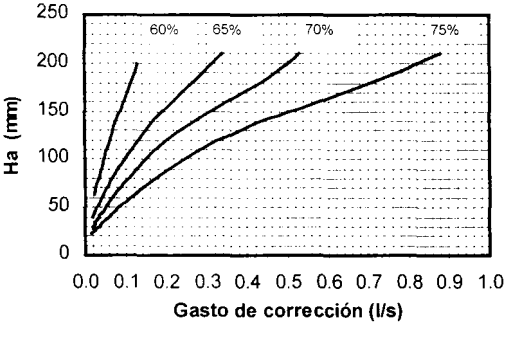


Figura A.2. *Corrección de gasto para sumergencia 60 a 75% (W=25.4 mm).*

A.2 AFORADOR DE 50 8 mm DE GARGANTA

Ecuación para gasto sin sumergencia

$$Q = 0\ 002702 H_a^{1\ 55}$$

Sumergencia límite 50%

H_a, mm	Q, l/s
15	0.18
25	0.40
35	0.67
45	0.99
55	1.35
65	1.74
75	2.18
85	2.64
95	3.14
105	3.67
115	4.22
125	4.81
135	5.42
145	6.05
155	6.71
165	7.39
175	8.10
185	8.83
195	9.58
205	10.35
215	11.14
225	11.96
235	12.79
240	13.21

Tabla A2. *Gasto sin sumergencia*

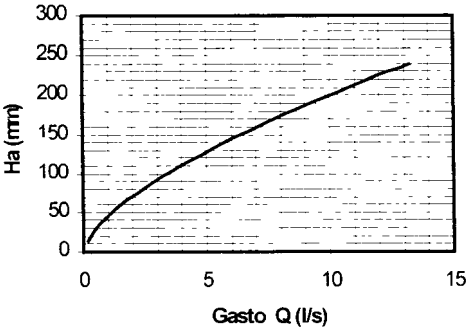


Figura A.4. *Gasto sin sumergencia.*

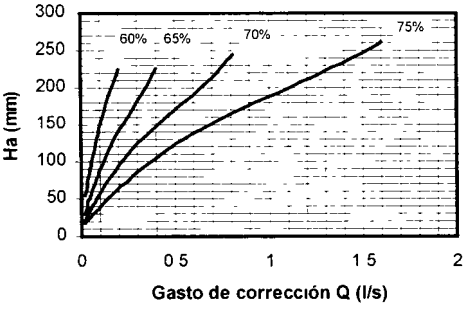


Figura A.5. *Corrección de gasto para sumergencia de 60 a 75% (W= 50.8 mm).*

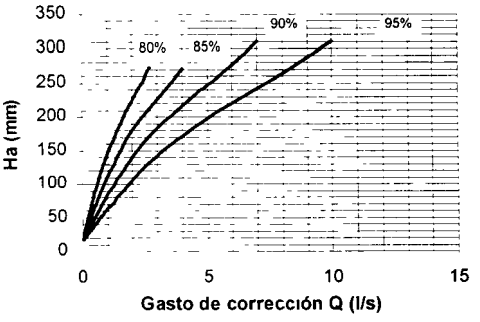


Figura A.6. *Corrección de gasto para sumergencia de 80 a 95% (W= 50.8 mm).*

A.3 AFORADOR DE 76.2 mm

Ecuación para gasto sin sumergencia:

$$Q = 0.003965 H_a^{1.55}$$

Sumergencia límite: 50%

H_a, mm	Q, l/s
20	0.40
40	1.20
60	2.30
80	3.50
100	5.00
120	6.60
140	8.40
160	10.30
180	12.40
200	14.60
220	16.90
240	19.40
260	21.90
280	24.60
300	27.40
320	30.30
330	31.80

Tabla A3. *Gasto sin sumergencia.*

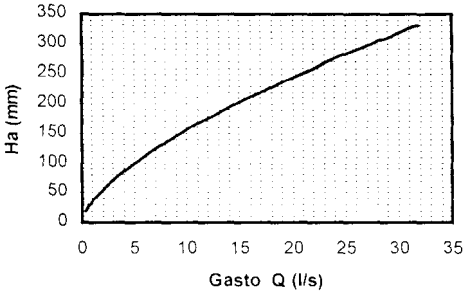


Figura A.7. *Gasto sin sumergencia.*

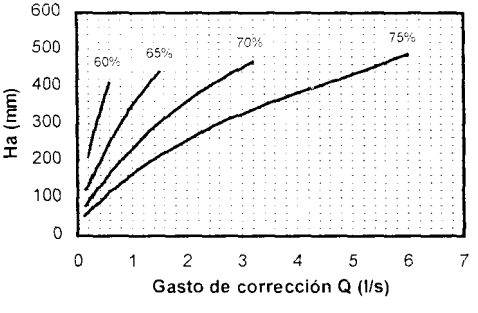


Figura A.8. *Corrección de gasto para sumergencia de 60 a 75% (W= 76.2 mm)*

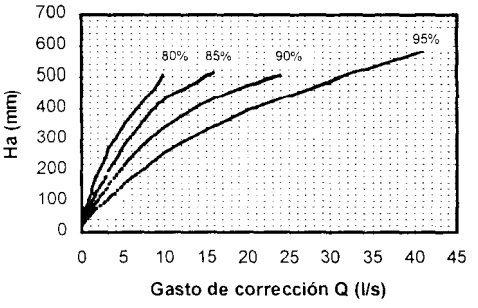


Figura A.9. *Corrección de gasto para sumergencia de 80 a 95% (W= 76.2 mm)*

A.4 AFORADOR DE 152.4 mm

Ecuación para gasto sin sumergencia:

$$Q = 0.006937 H_a^{1.58}$$

Sumergencia límite: 60%

H_a, mm	Q, l/s
21	0.90
41	2.50
61	4.60
81	7.20
101	10.20
121	13.60
141	17.30
161	21.30
181	25.60
201	30.20
221	35.10
241	40.20
261	45.70
281	51.30
301	57.20
321	63.30
341	69.60
361	76.20
381	83.00
401	90.00
421	97.20
441	104.60
450	108.00

Tabla A4. *Gasto sin sumergencia.*

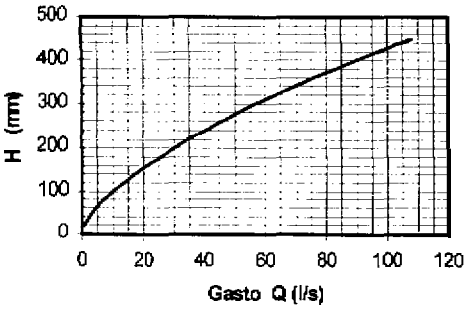


Figura A.10. *Gasto sin sumergencia.*

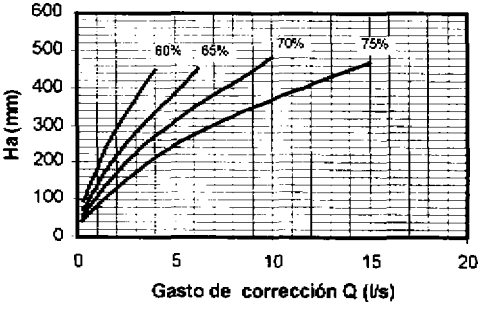


Figura A.11. *Corrección de gasto para sumergencia de 60 a 75% (W = 152.4 mm)*

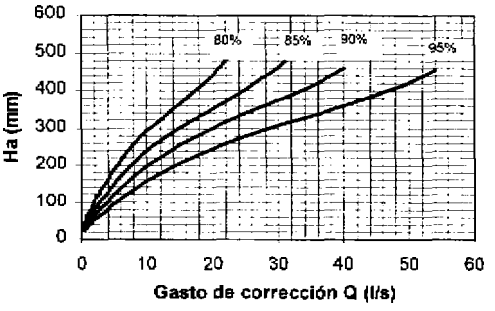


Figura A.12. *Corrección de gasto para sumergencia de 80 a 95% (W = 152.4 mm)*

A.5 AFORADOR DE 228.6 mm DE GARGANTA

Ecuación para gasto sin sumergencia

$Q = 0.013762 H_a^{1.53}$

Sumergencia límite 60%

H_a, mm	Q, l/s
22	1.56
42	4.19
62	7.60
82	11.66
102	16.29
122	21.42
142	27.02
162	33.05
182	39.50
202	46.33
222	53.53
242	61.08
262	68.97
282	77.19
302	85.72
322	94.56
342	103.69
362	113.11
382	122.81
402	132.78
422	143.02
442	153.52
462	164.28
482	175.28
502	186.53

Tabla A5. *Gasto sin sumergencia*

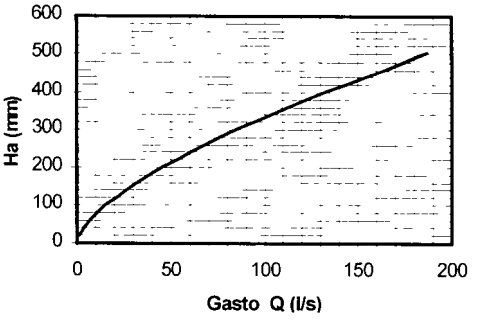


Figura A.13. *Gasto sin sumergencia*

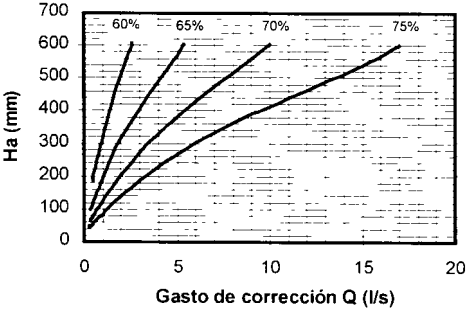


Figura A.14. *Corrección de gasto para sumergencia de 60 a 75% (W = 228.6 mm)*

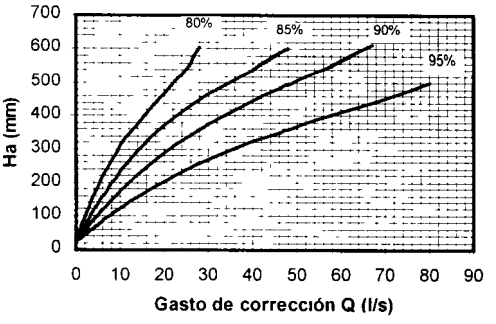


Figura A.15. *Corrección de gasto para sumergencia de 80 a 95% (W = 228.6 mm)*

A.6 AFORADORES DESDE 0.3048 m HASTA 2.4384 m DE GARGANTA

Ecuación para gasto sin sumergencia :

$$Q = 0.6909 H_a^{1.52}$$

Sumergencia límite: 70%

H_a, m	Q, m^3/s
0.10	0.02
0.15	0.04
0.20	0.06
0.25	0.08
0.30	0.11
0.35	0.14
0.40	0.17
0.46	0.21
0.50	0.24
0.55	0.28
0.60	0.32
0.65	0.36
0.70	0.4
0.75	0.45
0.76	0.46

Tabla A6. *Gasto sin sumergencia*

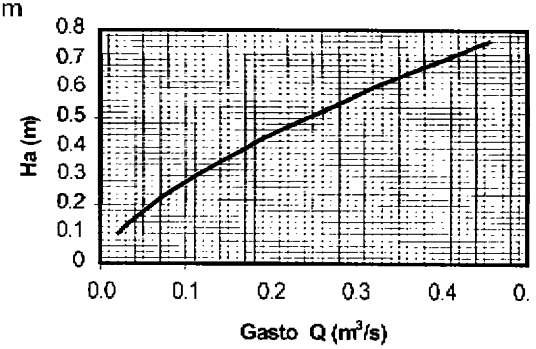


Figura A.16. *Gasto sin sumergencia.*

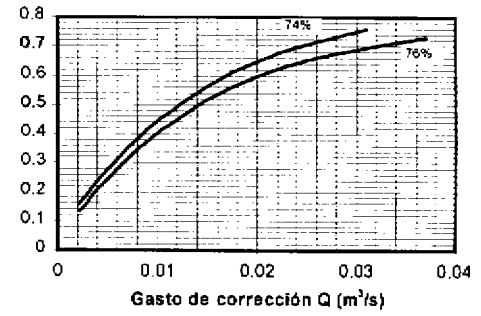


Figura A.18. *Corrección de gasto para sumergencia de 74 a 76% (W = 0.3048 - 2.4384 m)*

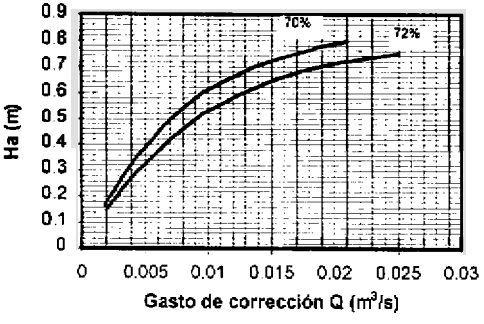


Figura A.17. *Corrección de gasto para sumergencia de 70 a 72% (W = 0.3048 - 2.4384 m)*

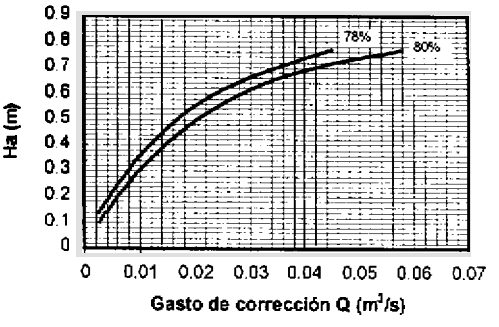


Figura A.19. *Corrección de gasto para sumergencia de 78 a 80% (W = 0.3048 -2.4384 m)*

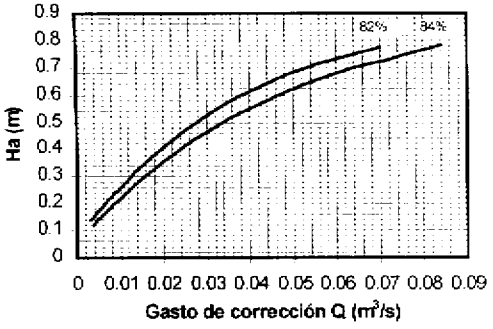


Figura A.20. *Corrección de gasto para sumergencia de 82 a 84% (W = 0.3048 -2.4384 m)*

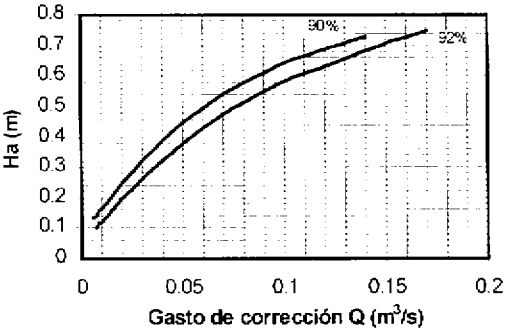


Figura A.22. *Corrección de gasto para sumergencia de 90 a 92% (W = 0.3048 - 2.4384 m)*

Ancho de la garganta W (m).	Factor M
0.3048	1.00
0.4572	1.40
0.6096	1.80
0.9144	2.40
1.2192	3.10
1.5240	3.70
1.8288	4.30
2.1336	4.90
2.4384	5.40

Tabla A7. *Factor de multiplicación*

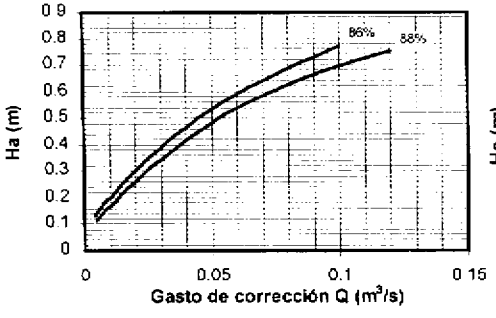


Figura A.21. *Corrección de gasto para sumergencia de 86 a 88% (W = 0.3048 - 2.4384 m)*

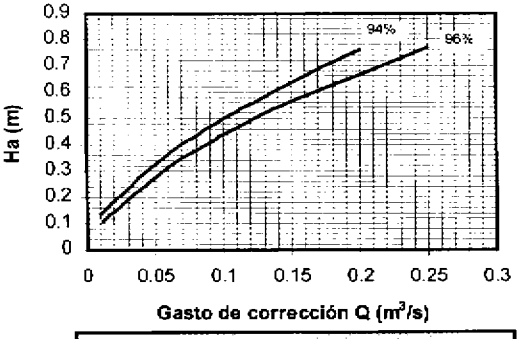


Figura A.23. *Corrección de gasto para sumergencia de 94 a 96% (W = 0.3048 - 2.4384 m)*

Nota: El gasto de corrección de estas gráficas puede aplicarse directamente al medidor de 0.3048 m.

Para medidores cuya W es mayor a 0.3048 m, el gasto de corrección definitivo, es igual al producto del gasto de corrección de estas gráficas por el factor de multiplicación M (tabla A7).

A.7 AFORADORES DESDE 3.0480 m HASTA 15.24 m DE GARGANTA

Ecuación para gasto sin sumergencia :

$$Q = 7.463 H_a^{1.6}$$

Sumergencia límite: 80%

H_a, m	Q, m^3/s
0.10	0.19
0.20	0.57
0.30	1.09
0.40	1.72
0.50	2.46
0.60	3.3
0.70	4.22
0.80	5.22
0.90	6.31
0.95	6.87
1.00	7.46
1.05	8.07
1.07	8.32

Tabla A8. *Gasto sin sumergencia.*

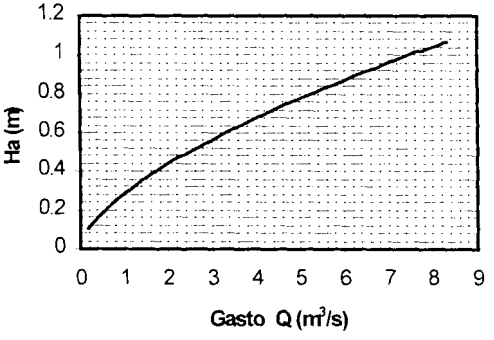


Figura A.24. *Gasto sin sumergencia.*

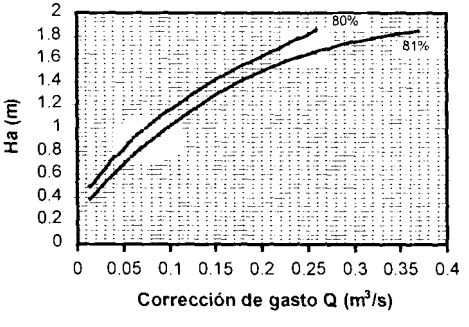


Figura A.25. *Corrección de gasto para sumergencia de 80 a 81% (W = 3.0480 - 15.24 m)*

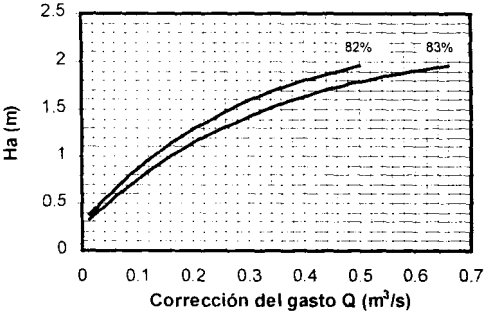


Figura A.26. *Corrección de gasto para sumergencia de 82 a 83% (W = 3.0480 -15.24 m)*

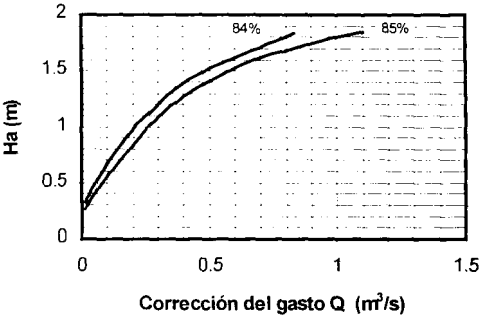


Figura A.27. *Corrección de gasto para sumergencia de 84 a 85% (W = 3.0480 - 15.24 m)*

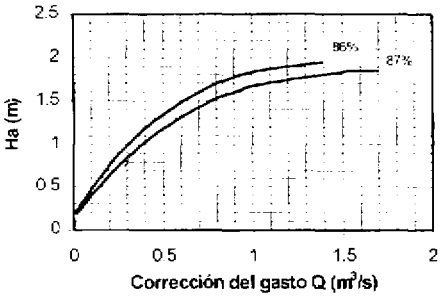


Figura A.28. *Corrección de gasto para sumergencia de 86 a 87% (W = 3.0480 - 15.24 m)*

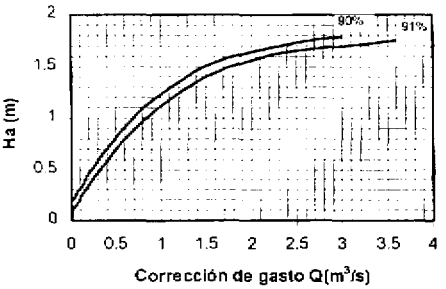


Figura A.30. *Corrección de gasto para sumergencia de 90 a 91% (W = 3.0480 - 15.24 m)*

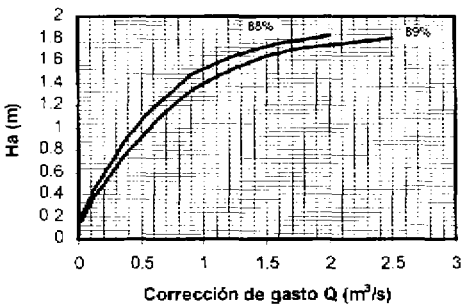


Figura A.29. *Corrección de gasto para sumergencia de 88 a 89% (W = 3.0480 - 15.24 m)*

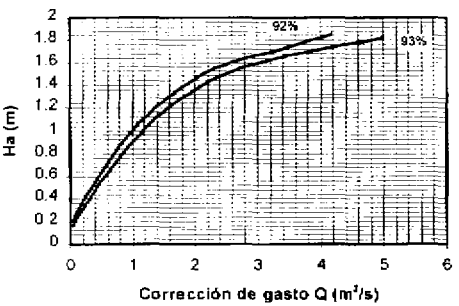


Figura A.31. *Corrección de gasto para sumergencia de 92 a 93% (W = 3.0480 - 15.24 m)*

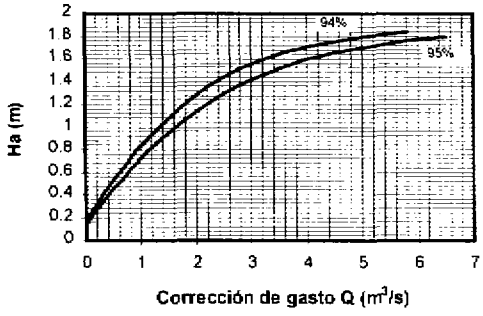


Figura A.32. *Corrección de gasto para sumergencia de 94 a 95% (W = 3.0480 - 15.24 m)*

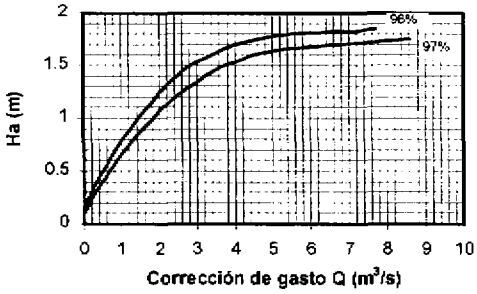


Figura A.33. *Corrección de gasto para sumergencia de 96 a 97% (W = 3.0480 - 15.24 m)*

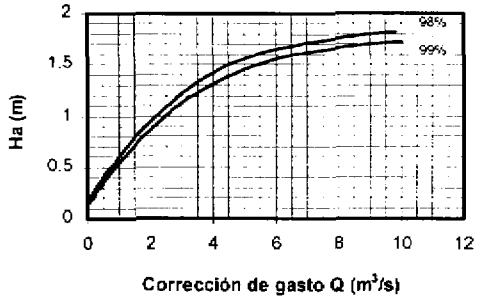


Figura A.34. *Corrección de gasto para sumergencia de 98 a 99% (W = 3.0480 -15.24 m)*

Ancho de la garganta W (m)	Factor M
3.0480	1.0
3.6580	1.2
4.5720	1.5
6.0960	2.0
7.6200	2.5
9.1440	3.0
12.192	4.0
15.2400	5.0

Tabla A9. *Factor de multiplicación.*

Nota: el gasto de corrección de estas gráficas puede aplicarse directamente al medidor de 3.0480 m.

Para medidores cuya W es mayor a 3.0480 m, el gasto de corrección definitivo, es igual al producto del gasto de corrección de estas gráficas por el factor de multiplicación M (tabla A9).