

SERIE AUTODIDÁCTICA DE MEDICIÓN



VERTEDORES

Autor: Ariosto Aguillar Chávez

Revisor: Raúl Juárez Najera

Editor: Iván Rivas Acosta

COORDINACIÓN DE TECNOLOGÍA HIDRÁULICA (IMTA)

SUBDIRECCIÓN GENERAL DE ADMINISTRACIÓN DEL AGUA (CNA)



PARTICIPANTES

© 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 968-5536-02-3

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: Ariosto Aguilar Chávez, 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.molina@satcpob.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: aaquilar@llaloc.imta.mx

Derechos Reservados por:

Comisión Nacional del Agua
Insurgentes Sur # 2140
Col. Ermita San Angel, 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

1. ¿PARA QUIÉN Y POR QUÉ? Y EVALÚA SI SABES	1
2. PRINCIPIOS DE OPERACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES	2
AUTOEVALUACIÓN NÚMERO 1	9
3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE INSTALACIÓN	10
4. PRECISIÓN	19
5. MANTENIMIENTO BÁSICO	21
6. VENTAJAS Y DESVENTAJAS	21
AUTOEVALUACIÓN NÚMERO 2	22
BIBLIOGRAFÍA	23
RESPUESTAS A LAS AUTOEVALUACIONES	23

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

¿PARA QUIÉN?

Este manual está dirigido a técnicos especializados, ingenieros civiles, ingenieros agrónomos y a todos los interesados en la cuantificación de volúmenes de agua o aforo de caudal en conducciones a superficie libre.

Además, este manual está enfocado a la medición del agua en sistemas de riego, por medio de métodos de medición que no sólo sean económicos sino que, a su vez, permitan una fácil operación y sin una gran sofisticación de equipo para su funcionamiento.

¿POR QUÉ?

La determinación del volumen de agua por unidad de tiempo, también conocido como gasto o caudal, es una unidad de medición básica en la administración del agua en los distritos y unidades de riego, con lo cual se logra una adecuada gestión y manejo del sistema.

Por otra parte, en forma práctica cualquier tipo de obstáculo que restrinja parcialmente el flujo del agua en un canal puede ser considerado como una estación de medición o aforo, y para su implementación como tal sólo es necesario su calibración, pero el proceso de calibración con una precisión adecuada puede resultar costoso y consumir mucho tiempo. En consecuencia, se recomienda llevar a cabo un proceso de calibración en campo si se tiene una estación de aforo con múltiples propósitos o un aforador muy grande.

En el caso de tener una estación de medición de flujos pequeños, por ejemplo menores a $1 \text{ m}^3/\text{s}$, se recomienda para la instalación de un aforador utilizar un método estándar de calibración que haya sido desarrollado y probado con anterioridad. En este manual se presentará la forma de utilizar los métodos estándar para calibrar un aforador pequeño, teniendo en cuenta los aspectos de funcionamiento hidráulico, precisión e instalación correcta.

EVALÚA SI SABES

- 1) ¿Qué es un aforador tipo vertedor?
- 2) ¿Cómo funciona un vertedor?
- 3) ¿Qué diferencia hay entre un vertedor de cresta delgada y de cresta ancha?
- 4) ¿Cuál es un punto de medición de nivel del agua en un vertedor?
- 5) ¿Qué diferencia hay entre la medición del nivel aguas arriba y la determinación de la carga total?
- 6) ¿Qué cuidados se deben tener para la medición del nivel aguas arriba del vertedor?
- 7) ¿Cómo afecta el nivel aguas abajo de un vertedor en la medición del caudal?
- 8) ¿Qué diferencia hay entre una ecuación propuesta en la bibliografía y una determinada por calibración en sitio para la determinación del caudal en un vertedor?
- 9) ¿Dónde se puede alojar un vertedor en un canal de riego?

2. PRINCIPIOS DE OPERACION Y DESCRIPCION DE COMPONENTES

2.1 INTRODUCCION

Los vertedores son probablemente las estructuras de aforo más usadas en la medición del volumen de agua que circula en un canal. Los vertedores se pueden dividir en vertedores de cresta delgada y vertedores de cresta ancha.

En este manual sólo los vertedores de cresta delgada serán analizados; esto debido a que los vertedores de cresta ancha son estructuras comúnmente incorporadas en distritos de riego para control de nivel y no como estaciones de aforo.



Figura 1. Los vertedores son probablemente las estructuras de aforo más comunes en los canales.

Los tipos de vertedores de cresta delgada más utilizadas en la medición del flujo en canales son:

- Vertedores de cresta delgada rectangulares con contracciones.
- Vertedores de cresta delgada rectangulares sin contracciones.
- Vertedores de cresta delgada con contracciones en forma trapezoidal (vertedores Cipolletti).
- Vertedores de cresta delgada triangulares.

Cada uno de estos vertedores tienen características específicas de funcionamiento hidráulico y condiciones de instalación en sitio. En los distritos de riego el vertedor Cipolletti es el más frecuentemente utilizado; no obstante, un considerable número de vertedores rectangulares se pueden encontrar en los canales, esto se debe a la facilidad de construcción y operación.

En relación a la precisión, el vertedor triangular tiene la facilidad de permitir la medición de caudales pequeños y se adopta en forma eficiente cuando se tienen fluctuaciones de caudal en el sistema.

La selección del tipo y dimensiones del vertedor debe estar basada en primera instancia en el rango de fluctuación de caudal que tiene el canal, o en la precisión que se desee en la determinación del caudal. Algunas consideraciones que se deben tener en cuenta en la selección son:

- i) Para un caudal a medir, la altura del nivel del agua (carga hidráulica) sobre el vertedor no debe ser menor a 6 cm y no debe exceder los 60 centímetros.

- ii) Para vertedores triangulares y trapezoidales, la carga no debe exceder de un tercio de la longitud del vertedor.
- iii) La longitud del vertedor debe ser seleccionada de forma que la carga para el caudal de diseño cumpla en forma cercana para los valores máximos delimitados en las recomendaciones (i) y (ii).
- iv) La cresta debe ser puesta a una altura tal que el flujo que circule por arriba (conocido como nappa) tenga una caída libre, cuidando dejar un espacio aireado por la parte de abajo y a los costados.



Figura 2. El flujo debe tener un espacio aireado por debajo y lateralmente.

Un vertedor instalado en forma conjunta con una compuerta lateral aguas abajo debe operar de una manera que permita la caída libre de la nappa y sin que se presenten condiciones de ahogamiento; esto debido a que cualquier cambio en el nivel del agua abajo del vertedor produce cambios en la estimación del caudal.

Si se cumplen los requerimientos anteriores, el caudal que circula por los vertedores se puede estimar de una forma sencilla con sólo medir la carga sobre el vertedor, haciendo uso de curvas de calibración estándar que se encuentran en la bibliografía y en forma resumida se presentan en este manual (Walker, 1987; Bos, 1986;

Ackers *et al.*, 1978; Kraatz, 1975; Sotelo, 1974; USBR, 1967).

2.2 PRINCIPIOS HIDRAULICOS

Cualquier barrera u obstáculo, colocado sobre un canal en el que circula un flujo a superficie libre puede ser utilizado como un medidor de gasto, siempre que sea posible establecer una relación entre la carga y el gasto. La geometría de la barrera determina un coeficiente de descarga C_d y un exponente u en la fórmula:

$$Q = C_d L h^u \quad (2.1)$$

donde Q es el gasto (en m^3/s); L la longitud de la cresta vertedora (en m), y h la carga hidráulica o profundidad del agua sobre la cresta vertedora (en m).



Figura 3. Cualquier obstáculo regular al flujo puede servir como aforador, siempre y cuando se establezca una relación entre gasto y carga (con una piedra no sería posible).

En la literatura hidráulica se han distinguido dos tipos de vertedores clasificados de acuerdo con el ancho de la cresta en el sentido del flujo, y son: de pared delgada y de cresta ancha. Como se mencionó anteriormente en este documento se describirán exclusivamente los vertedores de cresta delgada.



Figura 4. La cresta de un vertedor debe ser fina, pero no tan afilada como una navaja.

El término vertedor de cresta delgada se refiere al tipo de estructura de medición que también es conocido como vertedor de cresta afilada. El término cresta afilada puede causar confusión ya que hace creer que la cresta de la hoja del vertedor debe afilarse como la hoja de una navaja, lo cual no es cierto.

Los modelos estandarizados de vertedores de cresta delgada tienen un perfil del tipo que se muestra en la figura 5, que terminan en la parte superior con una superficie horizontal angosta. Se recomienda que la cara del ángulo recto se oponga en sentido del flujo y la geometría del perfil deber ser lo más exacta posible; esto debido a que el funcionamiento del vertedor es muy sensible a la precisión que se tenga en la conformación del perfil. Además, las aristas deben quedar vivas, por lo tanto, se debe evitar redondearlas. Durante el funcionamiento de un vertedor se pueden presentar condiciones de corrosión y acumulación de sedimentos, por lo que se debe observar especial cuidado en su limpieza y mantenimiento.

El correcto funcionamiento de un vertedor de pared delgada depende del desarrollo de la lámina vertiente; por ello, cualquier obstrucción al flujo que converge hacia la lámina vertiente puede modificar la relación entre la carga y el gasto. Por lo tanto, es importante evitar soportes,

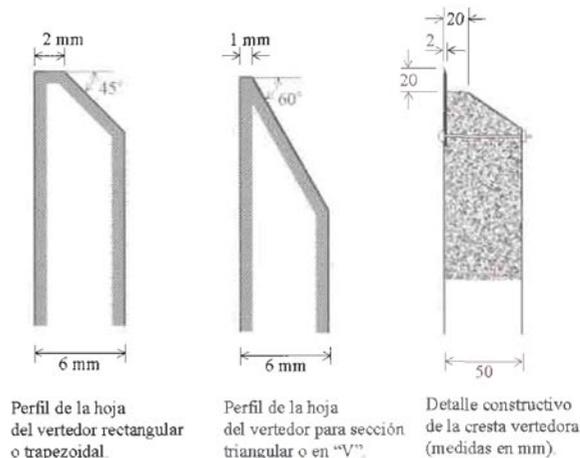


Figura 5. Perfiles de crestas de vertedores de pared delgada y detalle de montaje.

tornillos o cualquier otro tipo de elemento estructural que sobresalga de la pared cerca del borde de la cresta aguas arriba.

De igual manera, la lámina vertiente debe permanecer a condición de descarga libre en todo su entorno y estar perfectamente ventilada; además, se debe evitar el ahogamiento debido a un tirante alto aguas abajo.

Un eventual depósito de sedimentos o cualquier otro material aguas arriba del vertedor puede producir un cambio en la contracción de la lámina vertiente y, por tanto, cambiar el valor del coeficiente de descarga.

Los vertedores de cresta delgada no son apropiados para aforar fluidos con gran cantidad de sólidos en suspensión.



Figura 6. Los vertedores no deben alojar sedimentos aguas arriba.

Los vertedores de pared delgada se clasifican dentro de cuatro categorías, dependiendo de la forma geométrica de su sección transversal que presentan al flujo y son:

- *Vertedor rectangular sin contracción lateral.* Cuando abarcan todo el ancho de un canal de paredes verticales. (En este caso se requiere asegurar la ventilación de la superficie inferior de la lámina vertiente).

Este tipo de vertedores son de sección transversal rectangular.

- *Vertedor rectangular con contracción lateral.* Presentan una muesca de forma rectangular o trapecial que no ocupa el ancho total del canal. De esta forma el paso se cierra en ambos lados y permite que la lámina vertiente se contraiga en sentido horizontal.
- *Vertedor triangular o en "V".* Esta sección se logra practicando un corte triangular, con la base invertida en una placa. Su ventaja reside en la facilidad que ofrece para medir gastos pequeños con precisión y cubrir un rango amplio. Comúnmente se usa con un ángulo de 90° , pero se pueden usar otros ángulos para necesidades especiales.



Figura 7. El vertedor triangular tiene ventajas en la medición de gastos pequeños (menores a 30 l/s).

- *Vertedor Cipolletti.* Este tipo de vertedor tiene una sección transversal especial con taludes 4:1 (4 vertical y 1 horizontal). Como se explicará más adelante, esta forma especial de la sección transversal tiene por

objeto simplificar la determinación del coeficiente de descarga.

Una recomendación para seleccionar el tipo de vertedor de cresta delgada en función del gasto máximo que circula en un canal es:

- Para un gasto mayor a 300 l/s se puede instalar un vertedor rectangular o Cipolletti.
- Para un gasto entre 300 l/s a 30 l/s se puede instalar un vertedor rectangular, Cipolletti o triangular; aunque se ha notado que para este tipo de estaciones de aforos, el vertedor triangular facilita su construcción.
- Para un gasto menor a 30 l/s es recomendable la instalación de un vertedor triangular.

2.2.1 ECUACIÓN GENERAL DE CAUDAL

Sea un caso de un vertedor de cresta delgada y de una sección geométrica conocida (ver figura 8). En la figura 8 se han considerado las siguientes escalas: p es la altura de la cresta vertedora medida desde la plantilla del canal; h la diferencia de niveles entre la cresta vertedora hasta el nivel inalterado de la superficie del agua antes del vertedor; H la carga total sobre el vertedor; v la velocidad puntual de la línea de corriente sobre la cresta; y la carga hidrostática sobre la línea de corriente; h_o la carga sobre la cresta del vertedor, y V_a la velocidad de llegada del agua. Aplicando la ecuación de Bernoulli sobre una línea de corriente entre la sección 0 y 1, se tiene:

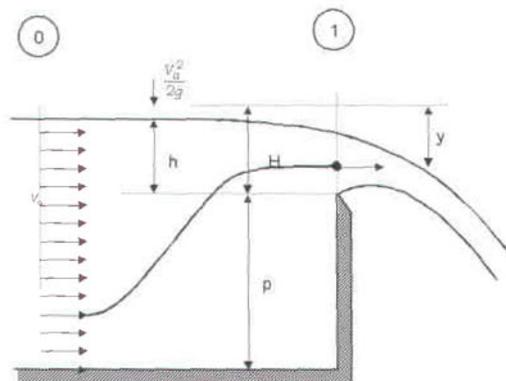
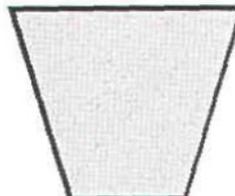


Figura 8. Características hidráulicas de un vertedor de cresta delgada.



a) Sección rectangular



a) Sección trapezoidal



a) Sección triangular

Figura 9. Diferentes tipos de sección transversal de los vertedores de cresta delgada.

$$h_o + \frac{V_a^2}{2g} = h_o - h + y + \frac{v^2}{2g} \quad (2.2)$$

o también

$$H = h + \frac{V_a^2}{2g} = y + \frac{v^2}{2g} \quad (2.3)$$

En caso de considerar que la velocidad de llegada V_a sea despreciable, la velocidad en cualquier punto de la sección 1 se puede evaluar como:

$$v = \sqrt{2g(H - y)} \quad (2.4)$$

El caudal que circula en un área elemental es, por tanto:

$$dQ = 2\sqrt{2g} \mu \sqrt{(H - y)} dy \quad (2.5)$$

donde μ es un factor de corrección que toma en cuenta la modificación en la trayectoria de las líneas de corriente entre los puntos 0 y 1. El

gasto total sobre el vertedor se puede determinar integrando la ecuación (2.5) desde la cresta vertedora hasta la superficie libre del agua h , de forma que:

$$Q = 2\sqrt{2g} \mu \int_0^h \sqrt{(H-y)} dy \quad (2.6)$$

La ecuación anterior es la fórmula general para determinar el gasto en un vertedor de cresta delgada, y su forma final depende de la forma de la sección transversal del vertedor. Los más comunes son rectangular, triangular y trapezoidal (Cipolletti), como se puede observar en la figura 9.

Integrando la ecuación (2.6) para el caso de una sección rectangular se tiene:

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} b \left[H^{3/2} - (H-h)^{3/2} \right] \quad (2.7)$$

En la ecuación (2.7) se hace una consideración incorrecta al tomar el vector velocidad u horizontal en todos los puntos, además, se está ignorando el abatimiento real que tiene la superficie libre del agua en la proximidad de la cresta vertedora. Para corregir lo anterior haciendo uso de la ecuación (2.2) la ecuación (2.7) se puede escribir como:

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} b \left[\left(h + \frac{V_a^2}{2g} \right)^{3/2} - \left(\frac{V_a^2}{2g} \right)^{3/2} \right] \quad (2.8)$$

donde V_a es la velocidad en canal de llegada.

La ecuación (2.8) es considerada la fórmula teórica más elemental para un vertedor de cresta delgada. Sin embargo, como en su obtención se han hecho algunas suposiciones que difieren

de la realidad es conveniente afectar la ecuación (2.8) por un coeficiente C_d para corregir las diferencias entre la teoría y la realidad; entonces la ecuación (2.8) se puede escribir de la forma siguiente:

$$Q = C_d b H^{3/2} \quad (2.9.a)$$

o también

$$Q = C_d b h^{3/2} \quad (2.9.b)$$

La ecuación (2.9.a) se utiliza cuando el valor de la velocidad de llegada es importante entonces:

$$H = h + V_a^2/2g$$

En caso de tener una velocidad en el canal de llegada despreciable:

$$V_a^2/2g \ll 1$$

Entonces se puede hacer uso de la ecuación (2.9.b).

2.2.2 VERTEDOR RECTANGULAR SIN CONTRACCIONES LATERALES

Una de las ecuaciones más utilizadas para determinar el gasto que circula por un vertedor rectangular sin contracciones laterales (ver figura 10) es la propuesta por Rehbock (Ackers *et al.*, 1978)

$$Q = 2.953 \left(0.602 + 0.0852 \frac{h}{p} \right) b (h + 0.00125)^{3/2} \quad (2.10)$$

la cual tiene un rango de aplicación para:

$$0.08 m \leq h \leq 0.75 m$$

$$b \geq 0.3 m$$

$$p \geq 0.3 m$$

$$h/p \leq 1$$

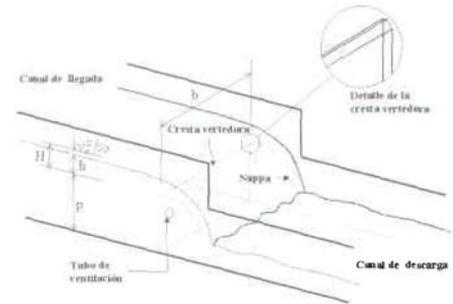


Figura 10. Vertedor rectangular de cresta delgada sin contracciones.

2.2.3 VERTEDOR RECTANGULAR CON CONTRACCIONES LATERALES

Dentro de esta categoría se consideran las secciones rectangular y trapezoidal o Cipolletti que resultan al practicar cortes en la placa a 90° (ver figura 11), o con talud 1:1/4 (ver figura 12), respectivamente.

Una de las ecuaciones más utilizadas para determinar el gasto de un vertedor rectangular con contracciones laterales es la propuesta por Sociedad de Ingenieros y Arquitectos de Suiza (SIA), la cual es:

$$Q = 1.6064 \left[1 + 0.064 \left(\frac{b}{B} \right)^2 + \frac{0.00626 \left[1 - 0.82907 \left(\frac{b}{B} \right)^2 \right]}{h + 0.0016} \right] \left[1 + 0.5 \left(\frac{b}{B} \right)^4 \left(\frac{h}{h+p} \right)^2 \right] b h^{3/2} \quad (2.11)$$

donde b es el ancho de la cresta vertedora; B el ancho del canal, p la altura de la cresta vertedora, y su rango de aplicación se tiene para:

$$0.025 m \leq h \leq 0.8 m$$

$$b \geq 0.3 B$$

$$p \geq 0.30 m$$

$$h/p \leq 1$$

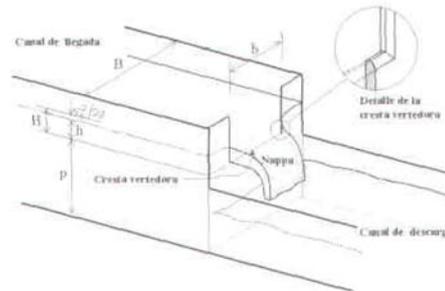


Figura 11. Vertedor rectangular con contracciones laterales.

La ecuación que determina el gasto que circula por un canal para un aforador de cresta delgada y una sección trapezoidal o Cipolletti, es:

$$Q = 1.86 b h^{3/2} \quad (2.12)$$

La fórmula anterior tiene una validez para $0.05 m \leq h \leq 0.5 m$

y para diferentes longitudes de cresta entre los valores

$$0.15 m \leq b \leq 2.0 m$$

y un talud de 1:1/4. La determinación del caudal en un vertedor tipo Cipolletti con la fórmula (2.12) es menos precisa en comparación con las ecuaciones propuestas para vertedores rectangulares, pero se considera suficiente para determinar el gasto en canales pequeños dentro de un sistema de riego.

2.2.4 VERTEDOR TRIANGULAR

Para este tipo de vertedores (ver figura 13), la aproximación clásica propuesta por Wiesbach está basada en los conceptos manejados para vertedores rectangulares, en donde el flujo en la zona de descarga es dividido en elementos horizontales. Si se realiza la integración de la ecuación (2.5) para una sección triangular se obtiene:

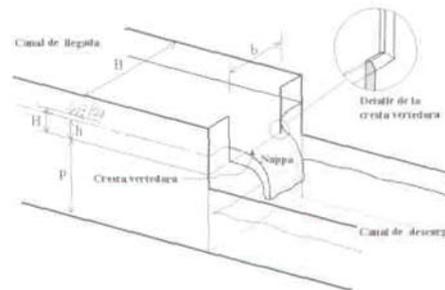


Figura 12. Vertedor trapezoidal tipo Cipolletti.

$$Q = 2\sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \left[\frac{4}{15} h^{5/2} + \frac{2}{5} \left(\frac{v}{2g}\right)^{5/2} - \frac{3}{2} h \left(\frac{v}{2g}\right)^{3/2} \right] \quad (2.13)$$

Cuando la velocidad de aproximación es despreciable (esto se presenta cuando se tiene un estanque muy grande o en canales de riego), entonces la ecuación (2.13) se puede escribir como:

$$Q = C_d h^{5/2} \quad (2.14)$$

donde $C_d = 2.3624 \tan(\theta/2)\mu$ es el coeficiente de descarga, y para determinar los valores de μ se puede manejar la siguiente ecuación:

$$\mu = 0.614769 - 1.336635 \times 10^{-3} \theta + 1.455492 \times 10^{-5} \theta^2 - 4.622593 \times 10^{-8} \theta^3$$

En resumen, las ecuaciones que determinan el gasto que circula en un canal tienen una presentación que parece compleja, esto debido a que han sido determinadas con base en una gran cantidad de estudios experimentales en laboratorio o en campo. Para llevar a cabo el uso práctico de estas ecuaciones a continuación se presenta una serie de ejemplos ilustrativos y con cuidado de no perder la precisión en la determinación del gasto.

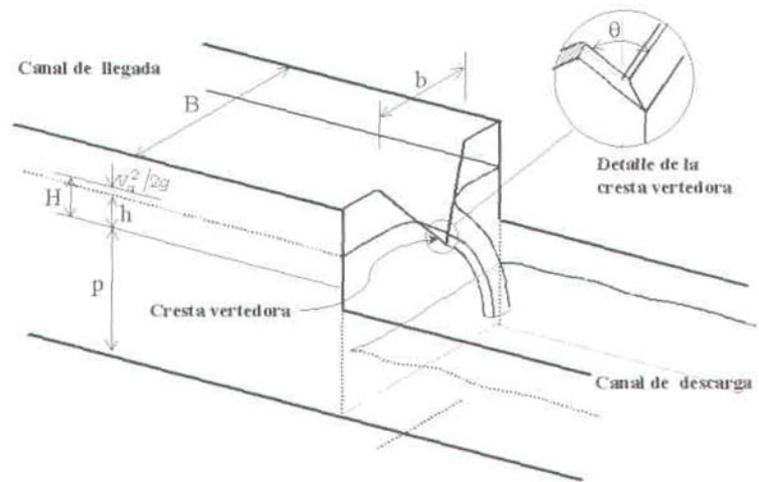


Figura 13. Vertedor triangular de cresta delgada.

AUTOEVALUACIÓN NÚMERO 1.



- 1 **¿Cuál es la carga mínima que debe tener un vertedor de cresta delgada?**
- 60 cm.
 - 6 cm.
 - 35 cm.
 - ninguna de las anteriores.
- 2 **¿Para qué tipo de vertedor de cresta delgada se debe mantener aireada la descarga?**
- Vertedor Cipolletti.
 - Vertedor triangular.
 - Vertedor rectangular sin contracciones.
 - Vertedor rectangular con contracciones.
- 3 **Para tener un buen funcionamiento de vertedor como estructura aforadora, la descarga debe ser:**
- Ahogada todo el tiempo.
 - Ahogada para gastos grandes y libre en gastos pequeños.
 - Libre para gastos grandes y ahogada en gastos pequeños.
 - Libre todo el tiempo.
- 4 **La ecuación general de descarga de un vertedor de cresta delgada tiene la forma:**
- $Q = C_d L^u h$
 - $Q = C_d \left(\frac{L}{h}\right)^u$
 - $Q = L^u h$
 - $Q = C_d L h^u$
- 5 **El perfil de la cresta de un vertedor de cresta delgada debe ser:**
- Con terminación plana sin redondear.
 - Con terminación plana redondeada.
 - Con terminación de filo muy fino.
 - Con terminación inclinada sin importar el ancho.
- 6 **El ancho de la cresta vertedora en su sección transversal es:**
- De 8 cm.
 - De 2 mm.
 - De 6 mm.
 - De 1 mm.
- 7 **Los taludes de la placa de un vertedor Cipolletti son:**
- 1:4
 - 2:4
 - 4:1
 - 2:2
- 8 **¿Qué vertedor de cresta delgada es recomendable para una estación de 25 l/s?**
- Rectangular con contracción.
 - Rectangular sin contracción.
 - Triangular.
 - Cipolletti.
- 9 **¿Qué vertedor de cresta delgada es recomendable para una estación de 250 l/s?**
- Rectangular.
 - Triangular.
 - Ningún tipo de vertedor es adecuado.
- 10 **¿Cuál es la función principal de un vertedor de cresta delgada?**
- Mantener niveles de operación de la red de canales.
 - Aforar los volúmenes de agua que circulan en la red de canales.
 - Aforar y mantener niveles de operación.
 - Controlar los sedimentos que circulan en el canal.

3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE INSTALACIÓN

Los vertedores de cresta delgada son estructuras muy confiables cuando están bien instaladas. Entonces, para verificar si la estación de aforo cumple en la determinación del gasto, se pueden seguir los procedimientos que se muestran a continuación.

3.1 REVISIÓN DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE UN VERTEDOR RECTANGULAR DE CRESTA DELGADA SIN CONTRACCIONES.

3.1.1 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE CAMPO O DATOS DE CAMPO.

Para contestar las preguntas A,B,C,D,E,F y G se puede consultar la figura 14.

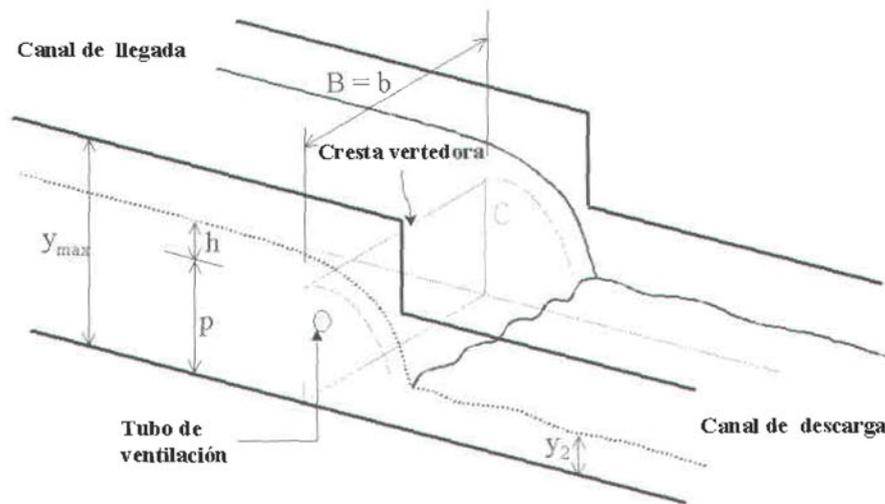


Figura 14. Características principales de un vertedor rectangular sin contracciones de cresta delgada.

Sitio o ubicación: _____		Fecha: _____
Nombre del inspector: _____		
Datos principales del sitio a levantar.		
Característica	Dato	
A Ancho del canal de llegada (en metros) B:		
B Ancho de la cresta vertedora (en metros) b:		
C Profundidad del canal de llegada (en metros) y_{max} :		
D Altura del vertedor (en metros) p:		
E Nivel del agua abajo del vertedor y_2 :		
F La cresta vertedora tiene una sección afilada, según lo recomendado (ver figura 5)	Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	
G Existe tubo de ventilación (ver figura 14)	Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	

3.2 REVISIÓN DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE UN VERTEDOR RECTANGULAR DE CRESTA DELGADA CON CONTRACCIONES

3.2.1 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE CAMPO O DATOS DE CAMPO

Para contestar las preguntas A,B,C,D,E y F se puede consultar la figura 15.

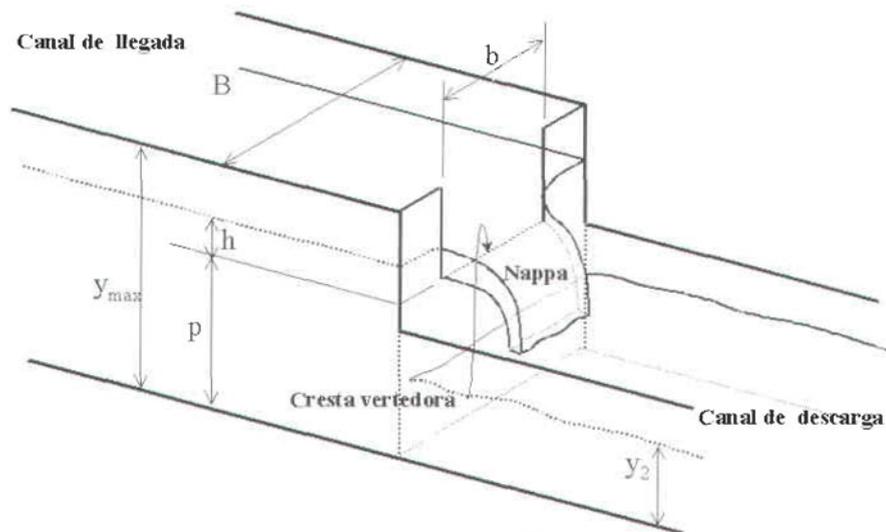


Figura 15. Características principales de un vertedor rectangular con contracciones de cresta delgada.

Sitio o ubicación: _____		Fecha: _____
Nombre del inspector: _____		
Datos principales del sitio a levantar.		
Característica	Datos de campo	
A Ancho del canal de llegada (en metros) B :		
B Ancho de la cresta vertedora (en metros) b :		
C Profundidad del canal de llegada (en metros) y_{max} :		
D Altura del vertedor (en metros) p :		
E Nivel del agua abajo del vertedor y_2 :		
F La cresta vertedora tiene una sección afilada, según lo recomendado (ver figura 5)	Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	

3.2.2 REVISIÓN DE PARÁMETROS DEL VERTEDOR

1 *Ancho del canal de llegada.*

Si $b=B$ entonces se debe aplicar la revisión de un vertedor sin contracciones laterales (subcapítulo 3.1).

2 *Nivel de ahogamiento.*

Si $y_2 < 0.9 p$, entonces se puede continuar. En caso contrario es necesario hacer modificaciones a la estructura hasta que se cumpla este requerimiento.

3 *Altura del vertedor.*

Si $p > 0.3 m$, entonces se puede continuar. En caso contrario es necesario hacer modificaciones a la estructura hasta que se cumpla este requerimiento.

4 *Ancho del vertedor.*

Si $b < 0.3 B$, entonces se puede continuar. En caso contrario es necesario hacer modificaciones a la estructura hasta que se cumpla este requerimiento.

5 *Si la respuesta F es NO*, los gastos que se determinen con esta estructura no serán confiables y se debe cambiar la cresta vertedora.

6 *Valor de la carga máxima.*

La carga máxima puede tener dos valores y se debe tomar el menor de estas dos ecuaciones:

$$h_{m\acute{a}x} < 0.9 * y_{m\acute{a}x} - p - 0.10$$

o

$$h_{m\acute{a}x} < 0.80$$

3.2.3 ELABORACIÓN DE LA ECUACIÓN DE CURVA DE CARGA-GASTO DEL VERTEDOR

Una vez evaluados los parámetros 1,2,3,4 y 5 se puede hacer uso de la ecuación (2.11); en caso de no cumplir con estos parámetros la precisión en la estimación del gasto en la estación de aforo no es confiable.

Entonces tomando el valor de $h_{m\acute{a}x}$ este se divide en unidades de 0.01 m partiendo desde 0.03 m. Después sustituir los valores h , p , b y B en (2.11) y se determinan los valores de Q (en m^3/s), y en forma tabular puede ser:

h (m)	$Q(m^3/s)$ (columna A)	$Q(l/s)$ (columna A*1000)
0.03	(ecuación 2.11)	
0.04		
0.05		
.		
.		
.		
$h_{m\acute{a}x}$		

3.3 REVISIÓN DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE UN VERTEADOR TRAPEZOIDAL DE CRESTA DELGADA O CIPOLLETTI

3.3.1 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE CAMPO O DATOS DE CAMPO

3.3.2 REVISIÓN DE PARÁMETROS DEL VERTEADOR

Para contestar las preguntas A, B, C, D, E, F y G se puede consultar la figura 16

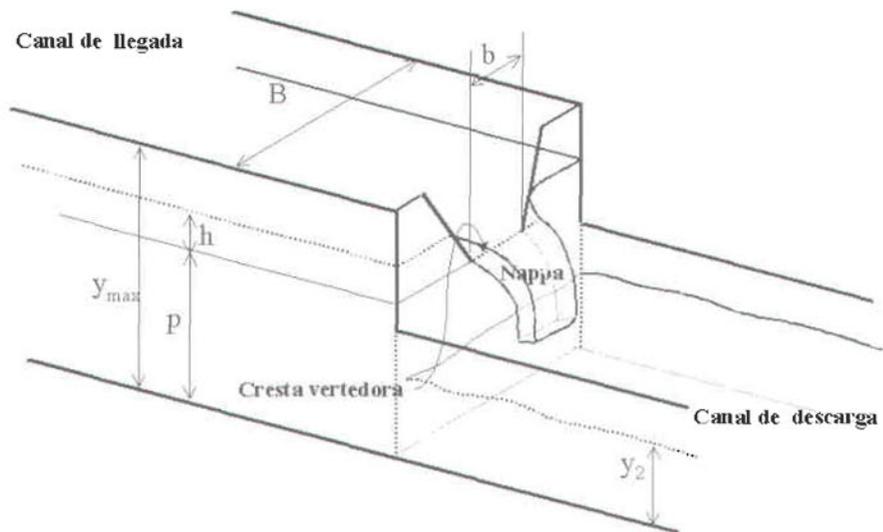


Figura 16. Características principales de un vertedor trapezoidal con contracciones de cresta delgada o Cipolletti.

Sitio o ubicación: _____		Fecha: _____
Nombre del inspector: _____		
Datos principales del sitio a levantar.		
Característica	Dato	
A Ancho del canal de llegada (en metros) B :		
B Ancho de la cresta vertedora (en metros) b :		
C Profundidad del canal de llegada (en metros) y_{max} :		
D Altura del vertedor (en metros) p :		
E Nivel del agua abajo del vertedor y_2 :		
F La cresta vertedora tiene una sección afilada, según lo recomendado (ver figura 5)	Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	
G El talud de la cresta vertedora es 1:1/4	Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	

1 Nivel de ahogamiento.

Si $y_2 < 0.9 p$, entonces se puede continuar. En caso contrario es necesario hacer modificaciones a la estructura hasta que se cumpla este requerimiento.

2 Altura del vertedor.

Si $p > 0.3 m$, entonces se puede continuar. En caso contrario es necesario hacer modificaciones a la estructura hasta que se cumpla este requerimiento.

3 Ancho del vertedor.

Si $0.15 m < b < 2.0 m$, entonces se puede continuar. En caso contrario es necesario hacer modificaciones a la estructura hasta que se cumpla este requerimiento.

4 Si la respuesta F es NO, los gastos que se determinen con esta estructura no serán confiables y se debe cambiar la cresta vertedora.

5 Si la respuesta G es No, se debe cambiar la forma de la cresta vertedora para utilizar la fórmula (2.12).

6 Valor de la carga máxima.

La carga máxima puede tener dos valores y se debe tomar el menor de estas dos ecuaciones:

$$h_{m\acute{a}x} < 0.9 * y_{m\acute{a}x} - p - 0.10$$

o

$$h_{m\acute{a}x} < 0.50 m$$

3.3.3 ELABORACIÓN DE LA ECUACIÓN DE CURVA DE CARGA-GASTO DEL VERTEDOR

Una vez verificados en forma correcta los parámetros 1,2,3,4 y 5 se puede hacer uso de la ecuación (2.12); en caso de no cumplir con estos parámetros la precisión en la estimación del gasto en la estación de aforo no es confiable.

Dado que la confiabilidad de un aforador Cipolletti es menor a la de un vertedor rectangular con contracciones, esto implica que los parámetros antes mencionados deben ser respetados en forma rigurosa.

Entonces, dividiendo el valor de $h_{m\acute{a}x}$ en unidades de un 0.01 m partiendo desde 0.05m, y sustituyendo los valores h , p , b y B en (2.12) y se determinan los valores de Q (en m^3/s), y en forma tabular es:

h (m)	$Q(m^3/s)$ (columna A) (ecuación 2.12)	$Q(l/s)$ (columna A*1000)
0.05		
0.06		
0.07		
$h_{m\acute{a}x}$		

3.4 REVISIÓN DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE UN VERTEDOR TRIANGULAR DE CRESTA DELGADA

3.4.1 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE CAMPO O DATOS DE CAMPO

Para contestar las preguntas A,B,C,D,E,F y G se puede consultar la figura 17.

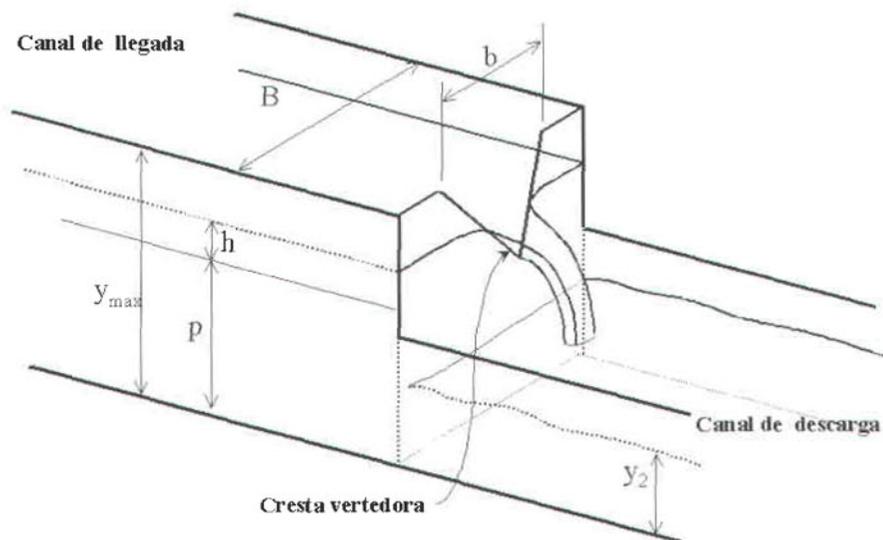


Figura 17. Parámetros principales en vertedor triangular de cresta delgada.

Sitio o ubicación: _____		Fecha: _____	
Nombre del inspector: _____			
Datos principales del sitio a levantar.			
Característica	Datos de campo		
A Ancho del canal de llegada (en metros) B :			
B Ancho de la cresta vertedora (en metros) b :			
C Angulo de la cresta vertedora (en grados) θ :			
D Profundidad del canal de llegada (en metros) y_{max} :			
E Altura del vertedor (en metros) p :			
F Nivel del agua abajo del vertedor y_2 :			
G La cresta vertedora tiene una sección afilada, según lo recomendado (ver figura 5)	Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>		

3.4.2 REVISIÓN DE PARÁMETROS DEL VERTEDOR

1 Nivel de ahogamiento.

Si $y_2 < 0.9 p$, entonces se puede continuar. En caso contrario es necesario hacer modificaciones a la estructura hasta que se cumpla este requerimiento.

2 Altura del vertedor.

Si $p > 0.1 m$, entonces se puede continuar. En caso contrario es necesario hacer modificaciones a la estructura hasta que se cumpla este requerimiento.

3 Ancho del canal de llegada.

Si $B > 0.60 m$, entonces se puede continuar. En caso contrario es necesario hacer modificaciones a la estructura hasta que se cumpla este requerimiento.

4.- Si la respuesta *F* es NO, los gastos que se determinen con esta estructura no serán confiables y se debe cambiar la cresta vertedora.

5.- Valor de la carga máxima.

La carga máxima puede tener tres valores y se debe tomar el menor de estas tres ecuaciones:

$$h_{m\acute{a}x} < 0.9 * y_{m\acute{a}x} - p - 0.10$$

o

$$h_{m\acute{a}x} < 0.40/B$$

o

$$h_{m\acute{a}x} < 1.2/p$$

3.4.3 ELABORACIÓN DE LA ECUACIÓN DE CURVA DE CARGA-GASTO DEL VERTEDOR

Para hacer uso de la ecuación 2.14 se debe cumplir con los requerimientos marcados en los parámetros 1,2,3 y 4; en caso contrario la precisión en la estimación del gasto en la estación de aforo no será confiable.

Para construir la tabla de carga-gasto para este tipo de vertedor se divide el valor de $h_{m\acute{a}x}$ en unidades de un 0.01 m iniciando desde 0.05 m, y se sustituyen los valores de h , p , b , B y θ en (2.14), con lo cual se determinan los valores de Q (en m^3/s), como se puede observar a continuación:

h (m)	$Q(m^3/s)$ (columna A)	$Q(l/s)$ (columna A*1000)
0.05	(ecuación 2.14)	
0.06		
0.07		
.		
.		
.		
$h_{m\acute{a}x}$		

3.5 INSTALACIÓN DE CONJUNTO

Como se mencionó anteriormente, la mayoría de las estructuras de aforo tienen el propósito de medir o regular las descargas y están constituidas por una sección donde se acelera el flujo desde una condición subcrítica, una sección de control con una transición a flujo supercrítico, y aguas abajo una transición donde la velocidad del flujo es reducida a un valor aceptable que no produzca erosiones en la conducción (ver figura 18).

Entonces, una estación de aforo está constituida por una estructura ubicada aguas arriba o canal de aproximación, donde se pueden tener variaciones del nivel del agua, mientras que hacia aguas abajo se tiene una zona de vertido o descarga.

El diseño apropiado de la zona de descarga es esencial para tener un buen funcionamiento de la estructura de aforo, debido a que variaciones del nivel del agua en la zona de descarga afectan en la determinación del caudal.



Figura 18. Vista general de la configuración de una estación de aforo en un canal.

La diferencia de niveles del agua entre la cresta vertedora en la sección de control y la carga piezométrica en el canal de aproximación es conocida como la carga sobre el vertedor aguas arriba y se denota por h . La carga sobre el vertedor puede ser determinada midiendo la elevación de la superficie libre del agua en el canal de aproximación con una escala o un sistema de medición de niveles, el cual está calibrado con respecto a la elevación de la cresta vertedora; por lo tanto, se recomienda efectuar la medición de la carga h a por lo menos cinco veces el valor de $h_{m\acute{a}x}$ (ver figura 19).

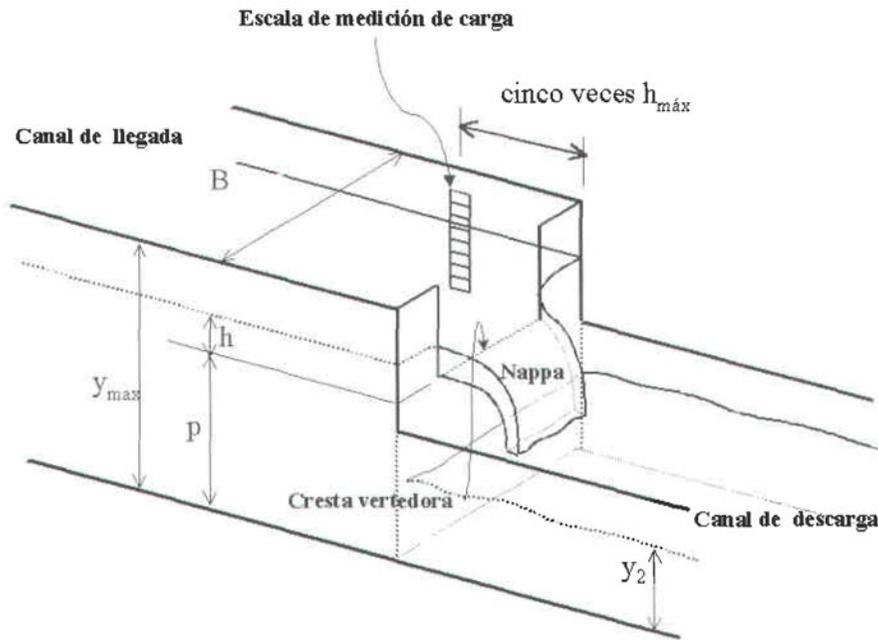


Figura 19. Vista de localización de la escala de medición aguas arriba del vertedor.

4. PRECISIÓN

La precisión de la estación de aforo con un vertedor de cresta delgada se engloba en dos partes: la primera está en función a las especificaciones técnicas que se revisaron en detalle en el capítulo 3 y es imprescindible cumplirlas; y la segunda está en función de la precisión en la medición del nivel de la carga h sobre el vertedor.

Para ello, en primera instancia se debe conocer la precisión en la medición del nivel de la carga sobre el vertedor que no es más que $h \pm \varepsilon$, donde ε es el error sistemático de medición, que para una escala con aproximación de 1 cm es ± 0.5 cm (ver figura 20).

Entonces, para estimar el error que se comete en la estimación del gasto se sustituye el valor del error sistemático ε en la ecuación de descarga propuesta (ecuaciones 2.10, 2.11, 2.12 o 2.14), el cual se adiciona al valor de la carga conocida en la escala; con esta ecuación se puede obtener un gráfico de confianza. A manera de ejemplo se propone determinar el intervalo de confianza de la curva de un vertedor rectangular de cresta delgada sin contracciones, con los valores:

- Ancho de la cresta vertedora b : 1.62 m
- Profundidad del canal p : 0.65 m
- Carga máxima h_{max} : 0.45 m
- Precisión de la escala : 1 cm

Entonces la curva de carga-gasto del vertedor es (haciendo uso de la ecuación 2.10):

$$Q = 3.5436(0.602 + 0.128 h)(h + 0.00125)^{3/2} \quad (4.1)$$

El error sistemático de medición es $\varepsilon = \pm 0.005$ m, entonces sustituyendo este error en la ecuación (4.1) se obtiene el intervalo de confianza de la curva elevaciones-gasto del vertedor analizado, que se expresa de la forma siguiente:

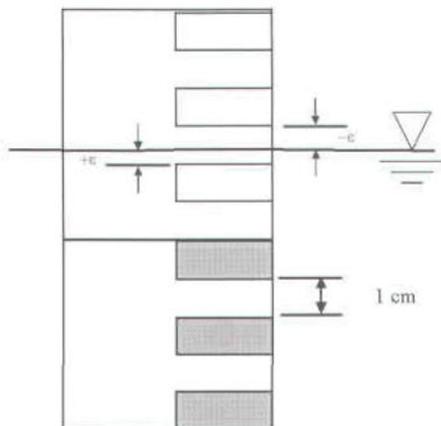


Figura 20. Error sistemático de medición en una estación de aforo.

Entonces, realizando una gráfica de la ecuación anterior (ver figura 21) es donde se puede observar el intervalo de confianza en la estimación del gasto. Con este resultado se puede obtener el porcentaje de error máximo de estimación (ver figura 22.a), así como el valor del error de estimación del gasto (ver figura 22 b).

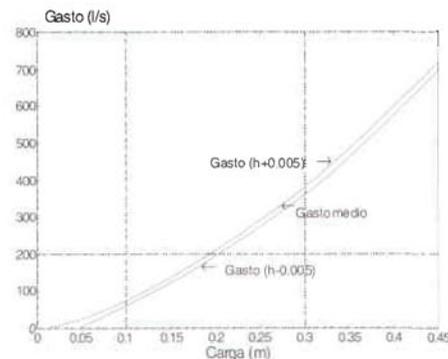


Figura 21. Intervalo de confianza de la curva elevaciones gasto en la estación de aforo.

$$Q = 3.5436 [0.602 + 0.128 (h \pm 0.005)] [(h \pm 0.005) + 0.00125]^{3/2} \quad (4.2)$$

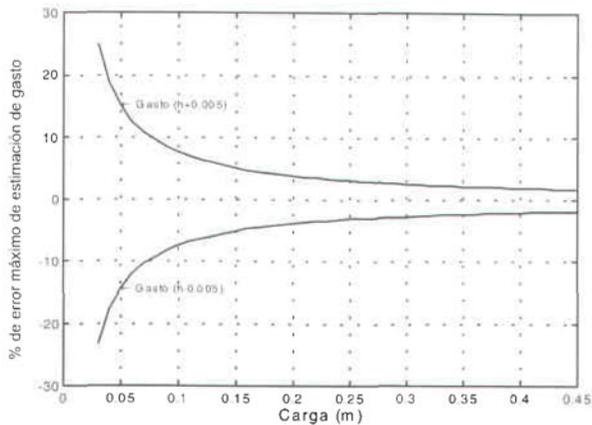


Figura 22.a. Porcentaje de error sistemático máximo de estimación de gasto con una escala de precisión de 0.5 cm.

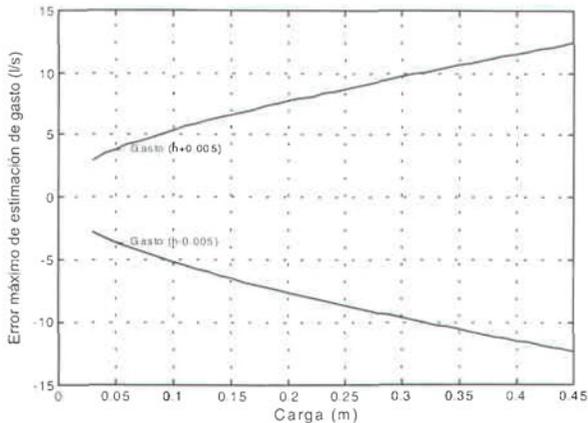


Figura 22.b. Error sistemático máximo de estimación de gasto con una escala de precisión de 0.5 cm.

Con este ejemplo se observa que para valores pequeños de carga se pueden cometer grandes errores de gasto (aproximadamente 25% para una carga de 3 cm), y para valores grandes de carga hidráulica se tienen errores pequeños de gasto (< 2%). No obstante la disminución del error, el valor de error de estimación del gasto puede alcanzar valores hasta de 12 l/s, valor que es muy superior al gasto total que se puede estimar para cargas pequeñas ($Q = 11.9$ l/s).

Una opción para tener un error sistemático más pequeño es el utilizar un limnómetro (ver figura 23). Un limnómetro consiste en una escala graduada de gran precisión (0.001m) con una punta que toca la superficie libre. Con este tipo de escala se comete un error sistemático de medición de 0.0005 m, que es diez veces más preciso que con una regla graduada pegada a la pared.

Para comparar la diferencia en la estimación del gasto entre la escala pegada a la pared y un limnómetro, en la tabla siguiente se muestran sus diferencias más extremas:

Tipo de escala de medición	Precisión (m)	Error sistemático máximo	
		%	(l/s)
Regla graduada	0.005	24.2	11.94
Limnómetro	0.0005	2.42	1.19

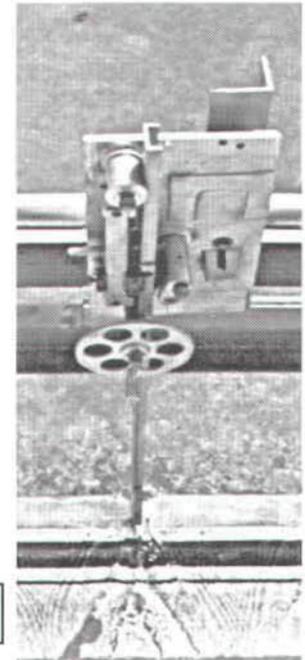


Figura 23. Limnómetro aguas arriba de un vertedor.

5. MANTENIMIENTO BÁSICO

Una estación de aforo con un vertedor de cresta delgada requiere un mantenimiento muy simple y se puede enlistar de la forma siguiente:

- 1 Limpieza del canal de llegada eliminando los azolves.
- 2 Verificar que la forma de la cresta vertedora no pierda su perfil. Entonces se debe limpiar con regularidad eliminando la acumulación de óxido, en caso de sufrir un deterioro importante, es necesario cambiarla.
- 3 Mantener las escalas limpias antes de cualquier medición y verificar su nivelación con regularidad.
- 4 En el caso de tener un vertedor rectangular sin contracción se debe cuidar, antes de hacer la lectura, que los ductos de aireación estén limpios y funcionen correctamente.
- 5 Si la estación de aforo tiene instalado un limnómetro se debe verificar que el sistema de vaso comunicante esté funcionando adecuadamente antes de la medición.

6. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Una estructura de aforo con un vertedor de cresta delgada es una instalación que no requiere de gran equipo para su puesta en marcha, lo que la convierte en un aforador versátil y de bajo costo.

Entonces, en comparación con otros equipos, los vertedores de cresta delgada son de alta confiabilidad en relación a su precisión y permiten estimar el error sistemático de medición antes de su instalación, actividad que es difícil de realizar con equipos más sofisticados. Además, son de bajo y económico mantenimiento, y con una durabilidad aceptable que sólo depende de la calidad del material con que se construye el aforador.

Dado lo anterior, parece que este tipo de equipos son ideales para ser utilizados en la práctica, por ser muy confiables y económicos. Pero en su implementación se tienen algunos problemas técnicos y éstos son, principalmente: remansos que inducen a una red de canales y los pequeños niveles de ahogamiento que permiten aguas abajo de la cresta vertedora.



Figura 24. El canal debe limpiarse para eliminar azolves.

Estos problemas de instalación se presentan con regularidad en los distritos de riego, donde no se aceptan variaciones de los niveles de operación en los tramos de la red de canales y se tienen flujos con ahogamiento alto. Por consiguiente, son pocos los sitios que permiten la instalación de un vertedor de cresta delgada en los distritos de riego. Estos problemas han producido que los vertedores estén en desuso y sólo se utilicen para casos muy especiales en la red de canales o para estudios de gran precisión que se llevan a cabo en un laboratorio experimental de hidráulica.



Figura 25. La principal desventaja del vertedor es el remanso que causa en la red de canales.

Debido a que los vertedores de cresta delgada se construyen en sitio y la cresta vertedora puede ser elaborada en un taller de torneado, entonces los proveedores de este tipo de estructuras se localizan con facilidad y no existen compañías o corporativos que los desarrollen en forma exprefesa.

AUTOEVALUACIÓN NÚMERO 2.



1 La altura de la cresta vertedora desde el fondo del canal se define por la variable:

- a) h
- b) p
- c) V_a
- d) Q

2 Si la velocidad de llegada es pequeña $V_a^2/2g$, qué ecuación de estimación de gasto de vertedor rectangular es la más adecuada:

$$a) Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} b h^{3/2}$$

$$b) Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} b \left[\left(h + \frac{V_a^2}{2g} \right)^{3/2} - \left(\frac{V_a^2}{2g} \right)^{3/2} \right]$$

3 Calcule el gasto que circula en el vertedor rectangular de cresta delgada para $p=0.40$ m, $h=0.16$ m y $b=1.20$ m (ayuda: utilice la fórmula 2.10).

- a) 0.15 l/s
- b) 0.386 m³/s
- c) 0.146 m³/s
- d) 0.146 l/s

4 Determine el gasto que circula en un canal rectangular que cuenta con un vertedor rectangular con contracciones laterales, para los valores de $B=2$ m, $b=1.2$ m, $h=0.16$ m y $p=0.4$ m.

- a) 0.1303 m³/s
- b) 0.1303 l/s
- c) 0.01303 m³/s
- d) 130.3 l/s

5 Calcular la descarga libre de un vertedor rectangular de 3 m de ancho con una carga de 0.60 m, ubicado en un canal rectangular de forma rectangular que tiene 5 m de ancho, en el que la elevación de fondo es 0.80 metros.

- a) 2.3352 l/s
- b) 23.352 l/s
- c) 233.52 l/s
- d) 2335.2 l/s

6 Sea un vertedor triangular en un canal de riego que tiene 3 m de ancho y la cresta vertedora está a 0.60 m del fondo y tiene un ángulo de 90°. Determinar el gasto que circula por esta sección de aforo.

- a) 0.245 l/s
- b) 2.45 l/s
- c) 24.5 l/s
- d) 245 l/s

7 Determine el error sistemático máximo que se puede producir durante la medición del gasto en el problema 6, en donde la medición de la carga hidráulica se realiza con una regla graduada con una aproximación de 1 centímetro.

- a) ± 0.0015 l/s
- b) ± 0.015 l/s
- c) ± 0.15 l/s
- d) ± 1.15 l/s

8 En el ejemplo 6, el tirante normal aguas abajo del vertedor tiene una altura de 0.58 m, entonces:

- a) El vertedor funciona correctamente.
- b) El vertedor tiene problemas de ahogamiento.
- c) El nivel de sumergencia no influye en el funcionamiento del vertedor.

9 Qué ventajas se tienen al instalar un limnómetro para la medición de la carga hidráulica, en comparación con una regla graduada.

- a) El error sistemático es menor.
- b) El error sistemático es igual.
- c) El error sistemático es mayor.

10 Realice la curva de carga-gasto para un vertedor rectangular con contracciones, para los datos de $B=3$ m, $b=2$ m, $p=0.5$ m y $y_{max}=1.20$ m; además, determine el rango de confiabilidad de la estructura vertedora cuando se mide con una regla graduada al centímetro.

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.

Solelo, A. G. 1974. *Hidráulica General, vol. 1*. México D.F.: Ed. LIMUSA. 561 pp.

Walker, W. R. y Skogerboe, G. V., 1987, *Surface Irrigation, Theory and Practice*. Nueva Jersey: Prentice-Hall Inc. 386 pp. +xiii.

U.S.B.R. 1967. *Water Measurement Manual*. <http://www.usbr.gov/wrrl/fmt/wmm/chap07.html>.

RESPUESTAS A LAS AUTOEVALUACIONES

AUTOEVALUACIÓN NÚMERO 1

- 1.- b)
- 2.- c)
- 3.- c)
- 4.- d)
- 5.- a)
- 6.- b)
- 7.- c)
- 8.- c)
- 9.- a)
- 10.- b)

AUTOEVALUACIÓN NÚMERO 2

- 1.- b)
- 2.- a)
- 3.- c)
- 4.- a)
- 5.- d)
- 6.- c)
- 7.- d)
- 8.- b)
- 9.- a)



IMTA
INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGIA DEL AGUA

CENTRO DE CONSULTA DEL AGUA

PAPELETA DE DEVOLUCION

El lector se obliga a devolver este libro antes del
vencimiento del préstamo señalado por el último sello

--	--	--

IMTA / CCA / F / PD

FORMA IMTA-D-036

Apartado Postal 202 CIVAC, Mor. 62500
Jiutepec, Mor.



SECRETARÍA DE
MEDIO AMBIENTE Y
RECURSOS NATURALES | SEMARNAT



COMISION NACIONAL
DEL AGUA



IMTA
INSTITUTO MEXICANO
DE TECNOLOGIA DEL AGUA

SERIE AUTODIDÁCTICA DE MEDICIÓN DEL AGUA
Subdirección General de Administración del Agua, CNA
Coordinación de Tecnología Hidráulica, IMTA

SERIE AZUL

1ª. etapa (2000)

NÚMERO DE ISBN	TÍTULO	AUTOR
968-7417-64-1	Métodos y Sistemas de Medición de Gasto	Leonel Ochoa Alejo
968-7417-65-X	Medidor Ultrasónico Tiempo de Tránsito	Víctor Bourguett Ortiz
968-7417-66-8	Medidor Ultrasónico de Efecto Doppler para Tuberías	Carlos Patiño Gómez
968-7417-67-6	Medidor Ultrasónico de Efecto Doppler para Canales	Edmundo Pedroza González
968-7417-68-4	Medidor Electromagnético	Mario Buenfil Rodríguez
968-7417-69-2	Tubo Pitot	Angel Ruiz Aparicio
968-7417-70-6	Placa Orificio	Iván Rivas Acosta
968-7417-48-X	Aforador de Garganta Larga	Nahún García Villanueva Salvador Vargas Díaz

2ª. etapa (2001)

968-5536-01-5	Medidores de Velocidad (hélice, turbina y molinete)	Angel Ruiz Aparicio
968-5536-02-3	Vertedores	Ariosto Aguilar Chávez
968-5536-03-1	Tubos Venturi, Dall y Tobera	Iván Rivas Acosta
968-5536-04-X	Canal Parshall	Edmundo Pedroza González
968-5536-05-8	Elementos Secundarios de Medición de Gasto	Martha Patricia Hansen Rodríguez