

Artículo publicado en el Repositorio Institucional del IMTA

<i>Título</i>	MSC-AGL, sistema de apoyo a la integración de proyectos ejecutivos de aforadores de garganta larga.
<i>Autor / Adscripción</i>	<p>Javier Ramírez Luna Ernesto Olvera Aranzolo Roberto Mercado Escalante Víctor Manuel Ruiz Carmona Benjamín de León Mojarro</p> <p>Instituto Mexicano de Tecnología del Agua</p> <p>Hugo Perea-Estrada Universidad de Nebraska-Lincoln, Estados Unidos</p> <p>Rodolfo Ortega-Armendáriz Universidad Autónoma de Chihuahua, México</p>
<i>Publicación</i>	Tecnología y Ciencias del Agua, 1(3): 109-118
<i>Fecha de publicación</i>	2010
<i>Resumen</i>	Este artículo presenta el diseño hidráulico de aforadores de garganta larga (AGL). El aporte principal es la realización de un sistema de cálculos hidráulicos acoplado al programa Winflume del USBR (United States Bureau of Reclamation) y la interacción hidráulica como criterio de diseño, vía modelación del flujo en todo tipo de régimen del AGL con la infraestructura de control en el tramo de canal. El resultado es un sistema interactivo de fácil y rápida aplicación para el diseño de AGL, con interacción en el funcionamiento hidráulico de los canales.
<i>Identificador</i>	http://hdl.handle.net/123456789/1187

MSC-AGL, SISTEMA DE APOYO A LA INTEGRACIÓN DE PROYECTOS EJECUTIVOS DE AFORADORES DE GARGANTA LARGA

• Javier Ramírez-Luna • Ernesto Olvera-Aranzolo •
• Roberto Mercado-Escalante • Víctor Manuel Ruiz-Carmona • Benjamín de León-Mojarro •

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

• Hugo Perea-Estrada •
Universidad de Nebraska-Lincoln, Estados Unidos

• Rodolfo Ortega-Armendáriz •
Universidad Autónoma de Chihuahua, México

Resumen

Este artículo presenta el diseño hidráulico de aforadores de garganta larga (AGL). El aporte principal es la realización de un sistema de cálculos hidráulicos acoplado al programa *Winflume* del USBR (United States Bureau of Reclamation) y la interacción hidráulica como criterio de diseño, vía modelación del flujo en todo tipo de régimen del AGL con la infraestructura de control en el tramo de canal. El resultado es un sistema interactivo de fácil y rápida aplicación para el diseño de AGL, con interacción en el funcionamiento hidráulico de los canales.

Palabras clave: ecuaciones de Saint-Venant, ecuaciones de resistencia, aforadores de garganta larga, *Winflume*, diferencias finitas.

Introducción

Un aforador de garganta larga (AGL) (figura 1) es una estructura de medición donde se provoca el régimen crítico por reducción de la sección del canal para determinar una relación biunívoca entre el gasto y la carga sobre el mismo (Carrillo-García, 1999). Las características geométricas modifican el flujo, en términos de tipos de régimen, de aguas arriba hacia aguas abajo de régimen subcrítico a crítico, a supercrítico.

Debido a que las variables hidráulicas en régimen crítico dependen únicamente de la geometría, la ecuación gasto-carga biunívoca es resultado de la solución de ecuaciones de comportamiento aplicadas en la geometría de la estructura cuando se presenta el flujo crítico.

Al construirse como una estructura de concreto armado, un AGL como estructura de medición tiene una larga vida útil, diseño geométrico flexible en diferentes secciones de canal; presenta una deducción matemática de la ecuación de gasto; en caso de falla de instrumentación se mide con una simple escala; tiene bajo costo de operación, requerimiento mínimo de conservación, poco mantenimiento y adecuada precisión en la estimación del gasto con la medición de una sola variable, la carga hidráulica sobre la cresta.

Entre los años 1970-1990, se desarrolló la teoría de AGL (Bos *et al.*, 1986) y se popularizó su diseño y aplicación. El sistema de diseño de AGL de Martínez (Martínez y Castillo, 1992) se basa en dicho trabajo. En 2001 se renueva el esfuerzo para mejorar la medición del agua en canales,

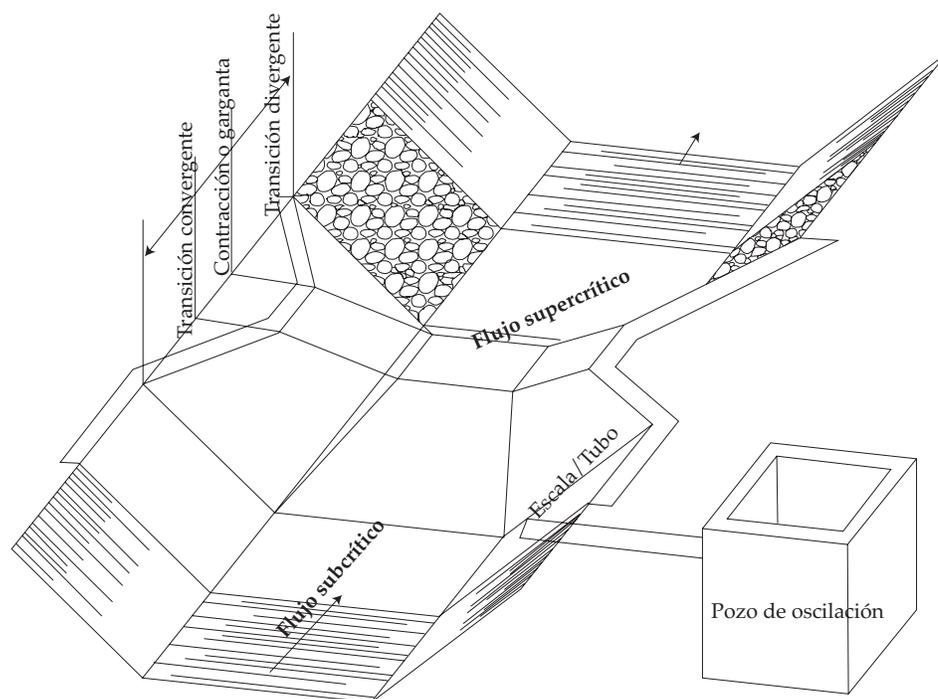


Figura 1. Geometría y tipos de flujo en un aforador de garganta larga.

se diseñan AGL con apoyo en un sistema de cálculos hidráulicos (Ramírez-Luna y Olvera-Aranzolo, 2000), que identifica la influencia de la infraestructura aguas abajo sobre el AGL y la analiza para determinar si este último no constituye un obstáculo al flujo, reduciendo la capacidad de conducción del canal. La instrumentación de la carga para determinar el gasto y volumen se llevó a cabo con equipo ultrasónico de tiempo de travesía.

El sistema *Winflume32*® (Whal *et al.*, 1998, 2005) diseña hidráulicamente los AGL (<http://www.usbr.gov/pmts/hydraulicslab/winflume>) y su uso requiere de una experiencia en hidráulica por parte del diseñador, para tomar en cuenta la interacción con la infraestructura en el tramo de canal. Sin embargo, las ventajas del uso del sistema es que permite diseñar AGL fijos o móviles para diferente material de construcción, según criterios de diseño que toman en cuenta la velocidad de llegada (número de Froude), el

desbordamiento del canal (protección a bordo libre), protección al ahogamiento y error esperado a gastos máximos y mínimos.

La geometría adaptable del AGL es tomada en cuenta, así como la rugosidad (ecuación de resistencia tipo capa límite) y los gastos del tramo de canal. Sin embargo, las condiciones operativas en canales con estructuras de control son únicamente tomadas en cuenta a través de la ley gasto-carga definida en la ubicación seleccionada del punto de control. Para el usuario del sistema *Winflume* es en dicha ley donde debe resumir la experiencia en la componente hidráulica del tramo de canal que es dependiente, principalmente de las condiciones de operación aguas abajo, de la rugosidad del tramo y su evolución temporal. Por tal razón, la modelación del flujo es, por un lado, requerida para determinar dicha ley como resultado de la solución de las ecuaciones de Saint-Venant y de las condiciones de frontera aguas abajo para los

diferentes caudales y, por otro lado, asocia un criterio de operación adecuada al revisar el funcionamiento hidráulico del AGL acoplado a la infraestructura de control circundante.

Objetivos

Los objetivos de este trabajo son 1) generar el sistema de cálculos hidráulicos acoplado con el sistema *Winflume*® ejecutable; 2) generar la interfaz de diseño asistido del AGL y permitir la revisión gráfica del comportamiento del canal con la infraestructura hidroagrícola, así como proporcionar las herramientas de apoyo a la integración de proyectos ejecutivos, y 3) proponer una deducción de la ecuación carga-gasto del AGL con apoyo en la modelación de las ecuaciones de Saint-Venant y la ecuación de resistencia tipo Manning.

Materiales y métodos

El sistema de cálculos hidráulicos debe garantizar el cálculo de curvas de remanso en el tramo de canal para cualquier condición topo-geométrica e hidráulica del mismo en todo tipo de régimen permanente, transcrito en el caso más general. La integración numérica con discretización espacial fina sobre la geometría del AGL y mediante el uso de la ecuación de resistencia tipo Manning-Strickler permite obtener alternativamente pares de datos gasto-tirante del funcionamiento del AGL, que corroboran la deducción numérica de la ecuación de gasto de dicha estructura. Las ecuaciones de Saint-Venant derivan de la aplicación de los principios de conservación de masa 1) y de cantidad de movimiento 2) a un volumen diferencial de fluido (Cunge *et al.*, 1980), y se reducen a la siguiente ecuación en régimen permanente:

$$\frac{dH}{dx} = -S_f(Q, A) \quad (1)$$

donde $H = f(Z, Q)$ es la carga total, $z = z_{ref}(x) + y$ (la elevación a la superficie libre del agua en metros);

x , la distancia en la dirección principal del flujo (m); g , la aceleración de la gravedad (m/s^2); A , el área de la sección transversal (m^2); Q , el gasto (m^3/s); $Z_{ref}(x)$, el nivel de referencia al fondo del canal (m); y , el tirante (m), y S_f es la pendiente de la línea de energía, la cual se estima mediante una ecuación de resistencia (Chézy, Manning-Strickler, laminar, tipo capa límite). La ecuación, pérdida de carga ΔH por unidad de longitud L , comúnmente utilizada es la de resistencia de Manning-Strickler, $\frac{\Delta H}{L} = 2g \frac{\eta^2}{R^{4/3}} * \frac{v^2}{2g}$, donde η es el coeficiente de rugosidad, R es el radio hidráulico (m) y v es la velocidad media del flujo (m/s). Para la ecuación de resistencia tipo capa límite, las pérdidas de carga se estiman mediante $\frac{\Delta H}{L} = \frac{C_F}{R} \frac{v^2}{2g}$, donde C_F (coeficiente de tracción) es una función del número de Reynolds (Re), de la rugosidad absoluta del material, de la viscosidad cinemática del fluido y de la velocidad media v .

El problema es resolver 1) para las condiciones de frontera $Q(x=0)$ y $Q(x=L) = f(y, A)$. Existen diversos enfoques para discretizar la ecuación y obtener el sistema de ecuaciones a resolver (método de Euler,...). El proceso de discretización espacial en dos secciones de cálculo j y $j-1$ del canal según el método de diferencias finitas indica

$$H_{j-1} = H_j - \Delta x \frac{(S_f(Q, A_j) + S_f(Q, A_{j-1}))}{2} \text{ o bien de}$$

la forma $H(Z_{j-1}, Q) = H(Z_j, Q) + \Delta H(Z_j, Z_{j-1}, Q)$. Esta función $f(Z_{j-1}, Z_j, Q)$ no lineal en la incógnita Z_{j-1} , se integra de aguas abajo hacia aguas arriba, tomando en cuenta lo siguiente: sea el indicador de régimen subcrítico $\delta_{sub} = H(Z_{cr}, Q) - H(Z_j, Q) + \Delta H(Z_{cr}, Z_j, Q)$, si $\delta_{sub} > 0$, existe una solución en régimen subcrítico; si $\delta_{sub} < 0$, existe una solución en régimen supercrítico. En dicho régimen, el tirante se estima como el valor del tirante crítico. La solución proveniente de estos algoritmos es la base del análisis hidráulico del tramo de canal con o sin AGL realizado con apoyo en el sistema MSC-AGL. Dicho sistema, como producto de

los algoritmos programados, en plataforma de programación C++*Builder*, permite incluir los elementos geométricos obtenidos por el sistema *Winflume*®, que emigran por un lado a la inserción del AGL en el tramo del canal, mientras que el tirante máximo y la geometría suministran la información para la determinación de presiones hidrostáticas y subpresiones en el diseño estructural; la ecuación de gasto se utiliza para la configuración de la instrumentación de la medida de la carga sobre la cresta y realizar la estimación del mismo y la totalización del volumen. La modelación del flujo permite además determinar a) las necesidades de sobre-elevación de bordos; b) la influencia del AGL en la estructura hidroagrícola circundante, en función de las condiciones de frontera aguas arriba y abajo. En general, el diseño hidráulico, la inserción geométrica del AGL y la revisión hidráulica se realizan a través de un proceso iterativo que se muestra en la figura 2, donde claramente se distingue la intervención de sistemas en ejecución. Cabe

señalar que este sistema reduce los tiempos de procesamiento de información para la integración de proyectos ejecutivos en un orden de 10 a 1. Para generar los pares de datos carga-gasto con el sistema *MSC-AGL* se discretizan espacialmente las ecuaciones con intervalos del orden del milímetro; la pérdida de carga por la variación espacial de la geometría del AGL es tomada en cuenta en la determinación de perfiles hidráulicos en la geometría del AGL y en particular de la localización del régimen crítico sobre la garganta del aforador hasta la localización de la escala o punto de medición de carga.

Resultados y discusión

Para mostrar las habilidades del sistema se incorpora un ejemplo de aplicación. En el cuadro 1 se muestran las características topogeométricas de un tramo de canal recto y revestido en toda su extensión, y se obliga al sistema a proporcionar una solución de diseño y revisión del funcionamiento de un AGL en

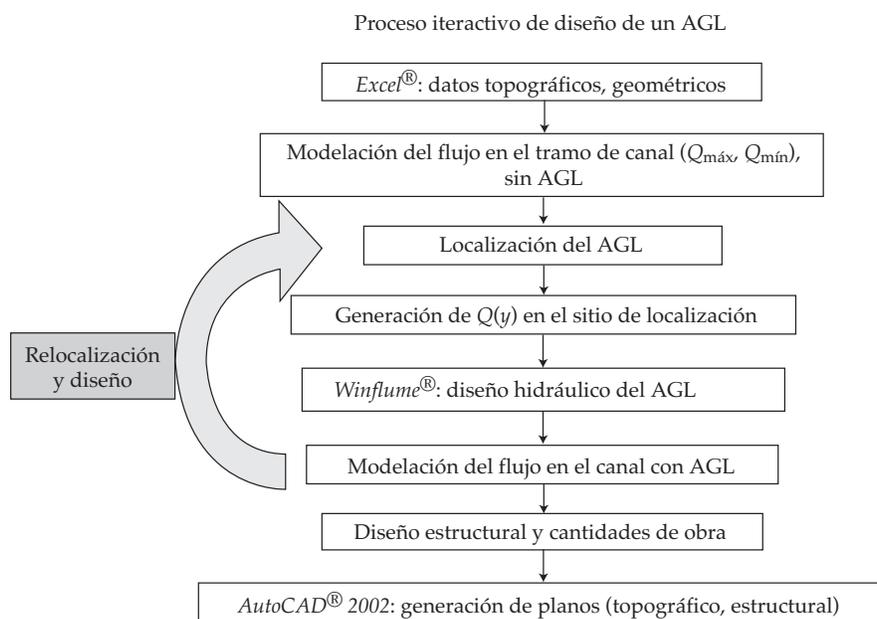


Figura 2. Proceso iterativo de diseño del AGL.

los siguientes cadenamientos: 3+500 en flujo gradualmente variado (efecto de remanso de la represa 4+160), 1+250 en flujo normal, 1+020 en la caída (este es hidráulicamente el mismo caso de una rápida), 0+560 en pendiente inversa y 0+400 en pleno desarrollo de la rápida. El ejemplo realiza la modelación del flujo con la información hidráulica siguiente, gasto máximo (1 m³/s), mínimo (0.1-0.25 m³/s, dependiendo del caso), incremento de gasto (0.1 m³/s), coeficiente de rugosidad de Manning (0.02) y las condiciones de frontera aguas abajo, con fines de evitar el ahogamiento del AGL (nivel de operación máximo).

Lo más importante de los resultados es la distinción de las leyes gasto tirante, la modelación del flujo del tramo de canal sin/con AGL y la comparación de pares de datos gasto-tirante generadas por las soluciones respectivas con ecuación de resistencia tipo capa límite (solución *Winflume*) y de Manning-Strickler.

En la figura 3 se muestran las leyes gasto-tirante en el sitio de diseño que toman en cuenta las condiciones críticas de operación y que son generadas por el sistema *MSC-AGL*, las cuales ingresan junto con la geometría del canal en el punto de selección de diseño, al programa *Winflume*® en ejecución y determinan la altura de la cresta del AGL para satisfacer el funcionamiento a descarga libre y no tener influencia de las condiciones de operación de la infraestructura hidráulica

aguas abajo; la disminución de la velocidad de llegada, con pequeños números de Froude, y para alejar hidráulicamente una zona de producción de turbulencia (salto hidráulico).

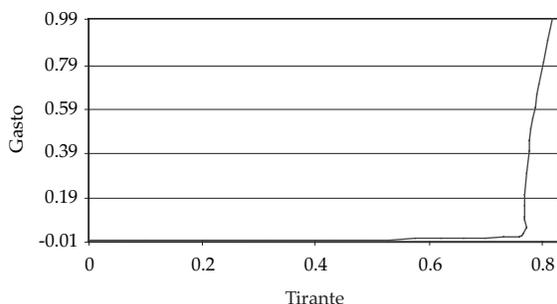
El mismo sistema realiza la modelación hidráulica del flujo en el tramo de canal sin/con estructura de medición (figura 4). De acuerdo con la modelación del flujo, la influencia hidráulica aguas arriba del AGL depende de las características geométricas e hidráulicas del tramo de canal y a la vez de las respectivas del diseño aceptable del aforador de garganta larga.

El análisis del error tipo (media del error-error), en términos relativos de los datos gasto-tirante comparados (figura 5) y, sobre todo el error tipo medio, muestra que el mismo es prácticamente nulo, lo que indica que la discretización fina (mm) en la integración de las ecuaciones de Saint-Venant genera errores aleatorios y que el intervalo de discretización espacial puede ser de magnitud mayor (cm). Este error significa, al ser del orden de milímetros, que por un lado puede confundirse con la precisión del sensor de nivel en la instrumentación de la medida del gasto y, por el otro, ser corregido por la posición media del gasto nulo en la geometría real del AGL. Evidentemente que la medida de la carga puede incluir un error en milímetros en la configuración del equipo. Se considera que el sistema *MSC-AGL* genera datos gasto-tirante que pueden ser objeto de regresión para determinar las leyes gasto carga

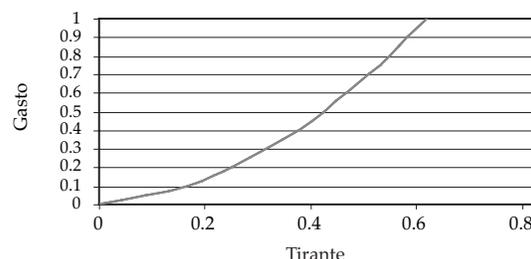
Cuadro 1. Ejemplo de aplicación. Características topo-geométricas del tramo de canal.

Características del tramo de canal						
Cadenamientos	Tipo sección	Plantilla	Talud	Profundidad	Pendiente	Observación
0-20	Rectangular	2	0	1.1	0.0001	Canal rectangular
20-140	Trapezoidal	2	1	1.1	0.0001	Canal trapezoidal
140-360	Trapezoidal	2	1.5	1.1	0.0001	Canal trapezoidal
360-460	Trapezoidal	1	1	0.75	0.003	Rápida con cambio de sección
460-580	Trapezoidal	2.5	2	1.1	0.003	Rápida con efecto de remanso
580-1020	Trapezoidal	2.5	2	1.1	-0.00001	Pendiente adversa
1020-1040	Trapezoidal	2.5	2	1.1	0.075	Caída
1040-4160	Trapezoidal	2	1.75	1.1	0.0035	Tramo de canal grande, represa aguas abajo

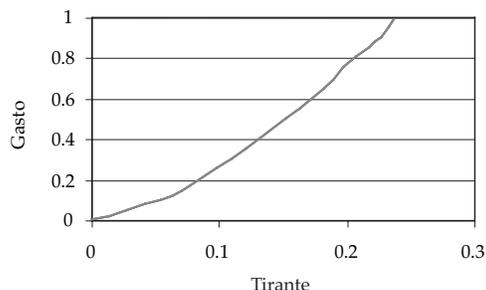
Cadenamiento 3+500. Ley gasto-tirante para diseño en condiciones de efecto de remanso de un represó. Puntos hidráulicamente cercanos a represos.



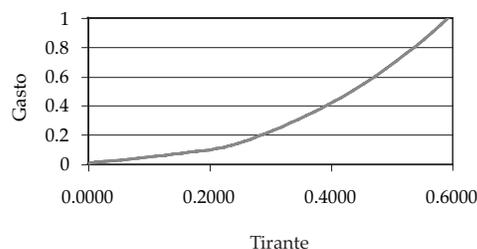
Cadenamiento 1+250. Ley gasto-tirante para diseño en condiciones de flujo uniforme. Tramos de canal de conducción, i.e. puntos hidráulicamente alejados de represos u otra infraestructura generando pérdida de carga.



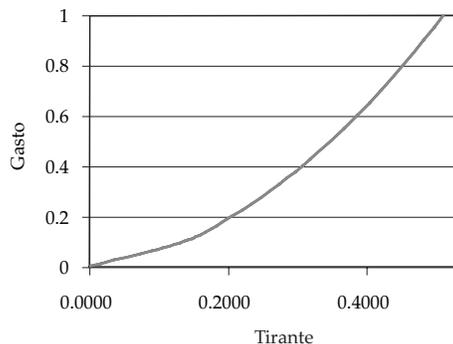
Cadenamiento 1+020. Ley gasto-tirante para diseño en condiciones de caída o rápida, sin efecto hidráulico proveniente de aguas abajo. Puntos justo arriba de la caída o la rápida.



Cadenamiento 0+560. Ley gasto-tirante para diseño en condiciones de flujo gradualmente variado en pendiente inversa. Casos especiales en tramos de canal que generan leyes particulares, además de la cercanía de un salto hidráulico aguas arriba.



Cadenamiento 0+400



Ley gasto-tirante para diseño en condiciones de flujo gradualmente variado con pleno desarrollo de la rápida. Casos especiales en tramos de canal que generan leyes particulares, debe procurar limitar la formación del salto hidráulico o alejarlo aguas arriba.

Figura 3. Leyes gasto tirante generadas con el sistema MSC-AGL.

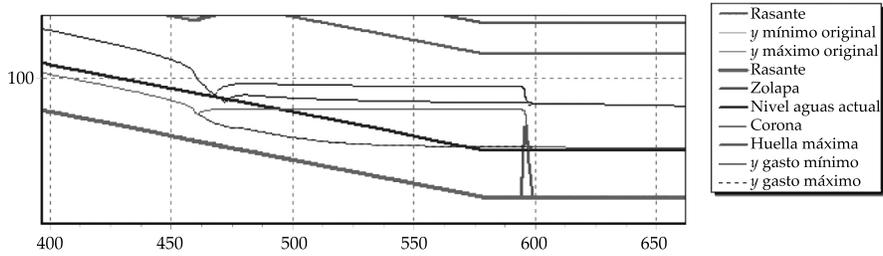
de los AGL. La comparación (figura 5) de leyes gasto tirante generadas por la solución *Winflume*® con ecuación de resistencia tipo capa límite y del MSC-AGL, con ecuación tipo Manning-Strickler muestra que las soluciones son similares. Por las aplicaciones realizadas con el sistema MSC-AGL se ha demostrado que es una herramienta de apoyo a la integración

de proyectos ejecutivos de estructuras de medición.

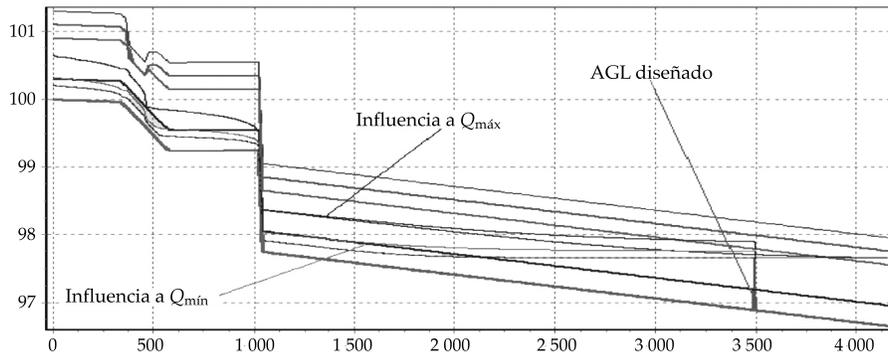
Conclusiones

El interés de sistematizar la realización de proyectos ejecutivos de aforadores de garganta larga es que son estructuras de medición

Cadenamiento 0+560. La influencia hidráulica de AGL depende de la pendiente inversa y termina sobre la rápida con formación de resalto hidráulico más cercano al AGL.

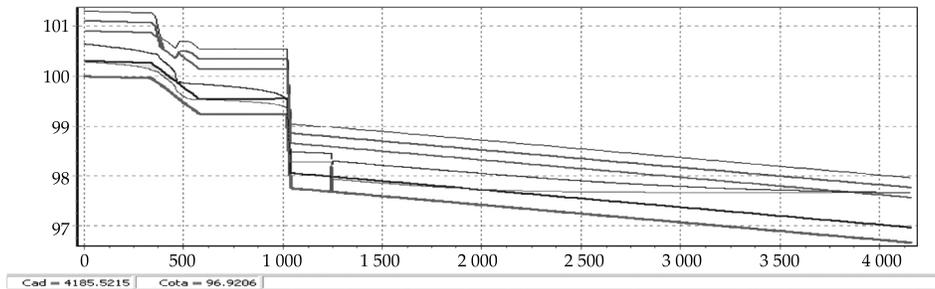


Cadenamiento 3+500. La influencia hidráulica del AGL termina antes de llegar a la caída.



Cadenamiento 1+250. La influencia hidráulica del AGL termina en la caída.

Abrir Canal Ejecutar



Cadenamiento 1+020. La influencia hidráulica del AGL depende de la pendiente inversa y termina sobre la rápida con formación de resalto hidráulico.

Cadenamiento 0+400. La influencia hidráulica del AGL depende de la altura de cresta y termina con influencia hidráulica sobre el canal de alimentación; no hay formación de resalto hidráulico, a pesar de que el AGL fue ubicado en el desarrollo de la rápida; en el ejemplo, el canal requiere de sobreelevación del canal.

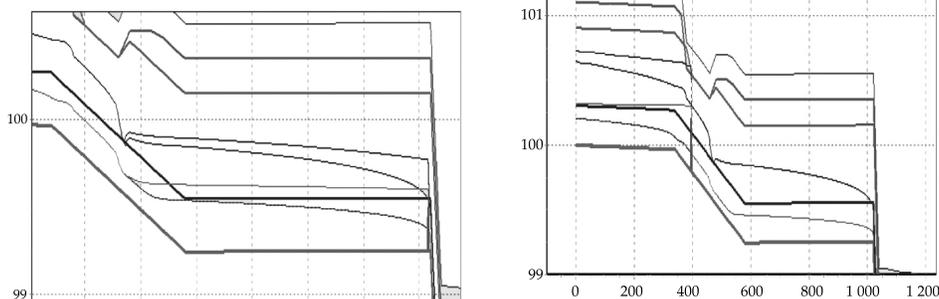


Figura 4. Perfiles hidráulicos con y sin AGL generados por el MSC-AGL

Cadenamiento 3+500					Cadenamiento 1+250				
Winflume 3+500		MSC-AGL		Error relativo	Winflume 1+250		MSC-AGL		Error relativo
Gasto	Carga	HAGL	mm	%	Gasto	Carga	HAGL	mm	%
0.25	0.870	0.8708	0.8	0.092	0.2	0.599	0.599	0.02	0.003
0.35	0.894	0.8946	0.6	0.067	0.3	0.628	0.6288	0.87	0.139
0.45	0.915	0.9159	0.9	0.098	0.4	0.653	0.6541	0.87	0.133
0.55	0.935	0.9355	0.5	0.053	0.5	0.676	0.677	0.91	0.135
0.65	0.953	0.9538	0.8	0.084	0.6	0.697	0.698	0.87	0.125
0.75	0.970	0.971	1	0.103	0.7	0.717	0.7177	0.93	0.130
0.85	0.987	0.9873	0.3	0.030	0.8	0.735	0.7362	0.98	0.133
0.95	1.002	1.0029	0.9	0.090	0.9	0.753	0.7537	1	0.133
1	1.010	1.0104	0.4	0.040	1	0.769	0.7704	1.05	0.136

Cadenamiento 1+020					Cadenamiento 0+560				
Winflume 1+020		MSC-AGL		Error relativo	Winflume 0+560		MSC-AGL		Error relativo
Gasto	Carga	HAGL	mm	%	Gasto	Carga	HAGL	mm	%
0.2	0.351	0.3524	1.72	0.490	0.25	0.553	0.5546	1.4	0.253
0.3	0.380	0.3816	1.74	0.458	0.35	0.578	0.5792	1.34	0.232
0.4	0.405	0.407	1.85	0.457	0.45	0.600	0.6013	1.42	0.237
0.5	0.428	0.4298	1.96	0.458	0.55	0.620	0.6214	1.41	0.227
0.6	0.449	0.4507	2.07	0.461	0.65	0.639	0.6401	1.45	0.227
0.7	0.468	0.4702	2.26	0.483	0.75	0.656	0.6577	1.55	0.236
0.8	0.486	0.4884	2.37	0.488	0.85	0.673	0.6742	1.53	0.227
0.9	0.503	0.5057	2.59	0.515	0.95	0.688	0.69	1.62	0.235
1	0.519	0.522	2.66	0.512	1	0.696	0.6976	1.64	0.236

Cadenamiento 0+400				
Winflume 0+400		MSC-AGL		Error relativo
Gasto	Carga	HAGL	mm	%
0.1	0.500	0.4961	4.37	0.873
0.2	0.555	0.5508	4.32	0.778
0.3	0.599	0.5948	4.29	0.716
0.4	0.637	0.6329	4.1	0.644
0.5	0.671	0.6669	3.97	0.592
0.6	0.702	0.698	3.77	0.537
0.7	0.730	0.7267	3.62	0.496
0.8	0.757	0.7536	3.4	0.449
0.9	0.782	0.7789	3.23	0.413
1	0.80593	0.8029	3.03	0.376

Figura 5. Comparación de métodos de cálculo que generan pares de datos de gasto-carga.

precisas que requieren poca carga hidráulica comparada con otras y son geoméricamente adaptables. Se han utilizado las ecuaciones de Saint-Venant para modelar el flujo 1-D del agua en tramos de canal con fines de diseño de AGL y se han presentado los algoritmos de base del sistema MSC-AGL.

Las aplicaciones del sistema no tienen restricción alguna respecto al tipo de régimen de flujo en el tramo; las condiciones de frontera objeto de modelación son flexibles, y el análisis hidráulico del tramo y el AGL permiten diseños geoméricamente aceptables e hidráulicamente definidos en

función de la operación real de los tramos de canal.

Dicho sistema, en periodo de ejecución, permite la evaluación de alternativas de ubicación del AGL, de variación temporal de la rugosidad del tramo de canal mediante la modificación del coeficiente de rugosidad, de las condiciones reales de operación y determinar sobre la influencia operativa del AGL en la infraestructura aguas arriba; asimismo, facilita al diseñador realizar un proyecto en cuanto a la capacidad de conducción del canal con un AGL funcionando a descarga libre. De la misma manera apoya, mediante la presentación de las curvas de remanso, la determinación de longitudes de reforzamiento de bordos y de localización de zonas puntuales que originan alta intensidad de turbulencia (salto hidráulico) que afecten la buena estimación del gasto.

Se utilizaron los algoritmos de resolución de las ecuaciones de Saint-Venant para deducir alternativamente la ecuación de gasto, con errores relativos respecto al tirante, determinado por ambos *Winflume*® y *MSC-AGL* que resultaron inferiores al 1%. El sistema constituye una herramienta que prioriza el aspecto hidráulico y de operación de canales, y ha sido probado ampliamente en el diseño de proyectos ejecutivos de 140 AGL; su uso ha

permitido evitar problemas de ahogamiento de estructuras de medición y por ende el sistema constituye una herramienta para eliminar dichos problemas en condiciones de diseño.

Recibido: 27/07/07

Aprobado: 12/01/10

Referencias

- BOS, M.G., REPLOGE, J.A. y CLEMMENS, A.J. *Aforadores de caudal para canales abiertos*. Wageningen, The Netherlands: Publication 38 International Institute for Land Reclamation and Improvement, 1986.
- CARRILLO-GARCÍA, M. *Sediment resistant flume for hydrologic measurements*. Tesis doctoral. Tucson: Universidad de Arizona, 1999.
- CUNGE, J.A., HOLLY, F.M. and VERWEY, A. *Practical aspects of computational hydraulics*. Pitman Advanced Publishing Program, 1980.
- MARTÍNEZ, A.P. y CASTILLO, G.J. *Diseño de aforadores de garganta larga*. Jiutepec, México: IMTA, 1992.
- RAMÍREZ-LUNA, J. y OLVERA-ARANZOLO, E. *Sistema para la simulación de la operación de canales de riego, MSC: enfoque teórico*. Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Mendoza, Argentina, 2000.
- WHAL, T.L. and CLEMMENS, A.J. *Improved software for design of long-throated flumes*. 14th Technical Conference on Irrigation, Drainage and Flood Control, U.S. Committee on Irrigation and Drainage, Phoenix, AZ, 1998.
- WHAL, T.L. *Winflume-software for the design and calibration of long-throated flumes and broad-crested weirs*. Denver: USBR, 2005.

Abstract

RAMÍREZ-LUNA, J., OLVERA-ARANZOLO, E., MERCADO-ESCALANTE, R., RUIZ-CARMONA, V.M., DE LEÓN-MOJARRO, B., PEREA-ESTRADA, H. & ORTEGA-ARMENDÁRIZ, R. MSC-AGL, support system for the development of executive projects of long-throated flumes. *Water Technology and Sciences, formerly Hydraulic engineering in Mexico (in Spanish)*. Vol. I, no. 3, July-September, 2010, pp. 109-118.

This paper presents efforts conducted to obtain the hydraulic design for Reploge flumes. A hydraulic computational system has been coupled to USBR's WinFlume software and was called MSC-AGL (Spanish acronym for Canal Flow Simulation Model-Long-Throated Flume). Some applications have been performed to test the ease of use of the resulting system and at least 100 final projects designed by the program algorithms have been built. The submerged discharge Reploge flume has been avoided by using the complete canal-flume flow modeling in real operation conditions. The hydraulic behavior of the Reploge flume-canal pool system is taken as a final design criterion.

Keywords: Saint-Venant equations, resistance equations, long-throated flume, WinFlume, finite differences.

Dirección institucional de los autores

Dr. Javier Ramírez-Luna

M.I. Ernesto Olvera-Aranzolo

Dr. Roberto Mercado-Escalante

Dr. Víctor Manuel Ruiz-Carmona

Dr. Benjamín de León-Mojarro

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Paseo Cuauhnáhuac 8532, colonia Progreso
62550, Jiutepec, Morelos, México
teléfono: +52 (777) 3293 600

jamirez@tlaloc.imta.mx

aranzolo@tlaloc.imta.mx

rmercado@tlaloc.imta.mx

vmruiz@tlaloc.imta.mx

bleon@tlaloc.imta.mx

Dr. Hugo Perea-Estrada

University of Nebraska-Lincoln
Department of Agronomy and Horticulture
279 Plant Science Hall
teléfono: +1 (402) 4726 085
fax: +1 (402) 4722 906
hpereaestrada2@unl.edu

Dr. Rodolfo Ortega-Armendáriz

Universidad Autónoma de Chihuahua
Avenida Escorza 900, Zona Centro
31000 Chihuahua, Chihuahua, México
teléfono: +52 (614) 4391 500
hidrarocaverde@hotmail.com