



Artículo: COMEII-16017

## II CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2016

Chapingo, Edo. de México, del 08 al 10 de septiembre

### IMPLEMENTACIÓN DE LA MEDICIÓN EN MÓDULOS DE RIEGO EN LA IMPLANTACIÓN DEL RIGRAT

**Jorge Andrés Castillo González<sup>1\*</sup>; Mario Alberto Montiel Gutiérrez<sup>1</sup>; María Dolores Olvera Salgado<sup>1</sup>; Helene Unland Weiss<sup>1</sup>; Juan Manuel Ángeles Hernández<sup>1</sup>; Pedro Pacheco Hernández**

<sup>1</sup>Coordinación de Riego y Drenaje. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 62550 Jiutepec, Morelos, México. jorgecas@tlaloc.imta.mx. (\*Autor para correspondencia).

#### Resumen

La CONAGUA ha implementado desde 2013 el programa de Riego por Gravedad Tecnificado (RIGRAT) con el objetivo de incrementar la eficiencia de aplicación del agua de riego y el incremento de los rendimientos con el riego oportuno en cultivos regados por gravedad mediante acciones de tecnificación del riego de bajo costo. Un aspecto muy importante para la realización de éste programa es la implementación de la medición, ya que sin esta es muy difícil aplicar el riego de forma eficiente y es imposible evaluar los resultados. Existen varias formas de medir, entre ellas la más usual es la medición con molinetes, sin embargo esto implica una gran inversión de tiempo por parte del técnico, lo que le impide realizar esto en todos los riegos en los días de máxima demanda. Lo indicado es la instalación de medidores en la Toma Granja.

En algunos Distritos de Riego se construyeron estructuras de medición, fundamentalmente con vertedores de varios tipos como lo es la tipo Guamúchil, en este caso puede ser posible rehabilitarlas, en otros casos no existe ninguna estructura, las condiciones de carga han cambiado o la estructura original ya no funciona. Aquí se proponen estructuras de medición funcionales para su operación en Tomas Granja.

**Palabras clave adicionales:** Medición, estructura, RIGRAT.



## Introducción

La Gerencia de Distritos de Riego de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) está ejecutando el programa de Riego por Gravedad Tecnificado (RIGRAT) enfocado a atender la problemática del uso eficiente del agua de riego en sistemas de riego por gravedad, que representa la gran mayoría de la superficie en los Distritos de Riego del País. El objetivo principal del programa es el incremento de la eficiencia de riego en la parcela, un segundo lugar el incremento de los rendimientos como consecuencia de la aplicación de riegos oportunos. Considerando que los Distritos de Riego tienen una superficie de aproximadamente 3.3 millones de hectáreas y alrededor del 90% es riego por gravedad los ahorros en volumen de agua pueden ser considerables con la ventaja de que los costos de tecnificación son muy bajos comparado con la presurización. Un incremento de 10% a 15% en la Eficiencia de Aplicación del agua en parcela implica disponibilidad para áreas adicionales, segundos cultivos o incluso otros usos.

Se contemplan acciones como la nivelación de tierras, el trazo de riego, la receta de riego basada en modelos numéricos del flujo en surcos y melgas, y un mejor control del agua aplicada en la parcela.

Como antecedente, a finales de los sesentas y principios de los setentas la entonces Secretaría de Recursos Hidráulicos lanzó el Programa de Mejoramiento Parcelario (PLAMEPA) con objetivos similares, con resultados en la eficiencia de riego, pero como muchos programas, lo suspendieron las nuevas autoridades con el cambio de gobierno.

La medición del agua se ha disminuido con desde hace algún tiempo y para una correcta aplicación y control del agua su medición es indispensable. Existen diversos niveles en la tecnificación de la medición, desde los más sofisticados con sistemas monitoreados con telemetría hasta los más simples como la medición con molinetes o flotadores. Para implementar la medición en los módulos de riego es recomendable tener estructuras de medición a nivel de toma granja, donde, un módulo puede tener del orden de 300 tomas granjas, además de los puntos de control en la red de distribución, por lo que se requieren de una solución funcional y económica. La situación económica de los módulos de riego en México hacen poco viables los sistemas de alto costo como una solución generalizada, por lo que se recomiendan estructuras de fácil operación, que en un futuro se les pueda implementarse un sistema de telemetría, aquí pueden usarse las estructuras como el vertedor tipo Guamúchil, Parshall, Venturi y en especial los AGL.

En varios módulos de riego se construyeron desde su inicio estructuras de medición como las mencionadas, sin embargo, en muchos casos estas se encuentran destruidas casi en su totalidad debido a la falta de mantenimiento o las condiciones de carga disponible cambiaron, en pocos casos estas estructuras pueden rehabilitarse. Considerando esto se propone el uso de Aforadores de Garganta Larga (AGL) para las tomas granjas. Los AGL bien diseñados garantizan una buena funcionalidad y un mínimo de pérdida de carga a un costo accesible.



## Desarrollo

En este artículo se presenta la metodología utilizada en el diseño de los AGL, ya sea como una estructura nueva o una estructura sustituta de otra existente. También se proponen estructuras tipo que pueden usarse tal cual o usarlas como punto de partida para un diseño particular.

En el caso de la existencia de estructuras que sean de fácil rehabilitación se propone no sustituir la estructura existente a menos que por el cambio de las condiciones existente, está ya no sea funcional.

Para el diseño de los AGL se aplican los siguientes pasos:

- Recolección de información: dimensiones y niveles en el sitio de la obra.
- Análisis de la información: identificación de las cargas disponibles.
- Propuesta de dimensiones: propuesta de dimensiones, cálculo de la relación carga-gasto, cargas necesarias.
- Propuesta de dimensiones definitivas: que cumplan con los requerimientos de carga y las necesidades de medición.

Recolección de información: La información requerida son los niveles y las dimensiones del sitio donde se colocará la estructura, los niveles a requeridos son los niveles del canal, plantilla, hombros, nivel máximo de operación y nivel mínimo de operación, de igual manera a la salida de la toma se requieren los niveles de la estructura existente, piso y hombros o su equivalente, y los niveles de operación mínimo y máximo y el nivel del agua a la salida, inmediatamente después de la estructura, que depende de las condiciones de las parcelas a regar (punto más alto, pendiente y condiciones de la regadera), el nivel del agua a la salida de la estructura puede variar dependiendo de la zona que se requiere es el valor más crítico, que es el más alto.

Las dimensiones de la toma también son requeridas fundamentalmente para la estimación de la pérdida de carga en la toma. El levantamiento de esta información puede hacerse con un teodolito (estación total) o preferentemente con un nivel.

Análisis de la información: El análisis se centra principalmente en la determinación de las cargas disponibles para la operación de la estructura de medición; la carga máxima disponible se da con el nivel máximo en el canal combinado con el nivel mínimo de operación aguas abajo de la toma; el nivel mínimo será cuando se tenga el nivel mínimo en el canal con el nivel máximo de operación aguas abajo de la toma que es la condición más crítica, si existe suficiente carga en esta situación es posible poner casi cualquier estructura, sin embargo esta situación puede llegar a tener márgenes muy pequeños de operación y diseño por lo que no es recomendable usar estos niveles en el diseño; los niveles más convenientes para el diseño de la estructura de medición viene de la combinación del nivel de operación del canal con el nivel máximo aguas abajo de la toma, con estos niveles se garantiza la operación



de la estructura de medición en la mayoría de los casos, si el nivel no es suficiente en un momento dado se puede elevar el nivel del canal hasta el nivel de máximo.

Propuesta de dimensiones: teniendo definida la carga disponible, también la capacidad requerida de la toma, por ejemplo si se tiene un gasto modular de 60 l/s, y se requieren 2 riegos simultáneos, significa que se requiere un gasto de 120 l/s en el diseño. Con los datos de carga disponible y los requerimientos de carga, utilizando el software Winflume se pueden revisar las propuestas que sean necesarias para llegar a una estructura que se comporte de la forma más conveniente para las condiciones en que se encuentre, es decir, la curva de calibración dentro del rango de gastos a medir no debe sobrepasar la carga disponible tanto para gasto máximo como para gasto mínimo. Los AGL pueden soportar porcentajes de ahogamiento cercanos al 80% sin dejar de funcionar como medidor, prácticamente ninguna otra estructura soporta estos ahogamientos, el más cercano es el aforador Parshall, sin embargo para estas condiciones de ahogamiento hay que hacer correcciones en la curva de calibración, los AGL no requieren de corrección.

En el diseño de los AGL, y de cualquier estructura de medición, es recomendable dar márgenes de seguridad en la carga, siempre que exista carga disponible. Un AGL puede funcionar con un 80% de ahogamiento, lo que significa, por ejemplo, en un AGL de 120 l/s particular, teóricamente puede funcionar con 3 cm de pérdida de carga, es decir 3 cm de diferencia de niveles aguas abajo y aguas arriba del AGL, sin embargo esta es una situación "muy frágil" cualquier error en la estimación de la pérdida de carga y/o en la localización vertical del AGL puede provocar un AGL ahogado, que no funcione como medidor, en este caso se recomienda dar de 5 a 10 cm adicionales. De aquí la importancia de una buena medición de los niveles, sobre todo cuando las cargas disponibles son bajas.

Es conveniente aclarar que aunque los AGL, bien diseñados, son la estructura que requieren menor carga para funcionar hay situaciones en las que no será posible su instalación, ni de un AGL ni de ninguna otra estructura, en estos casos habrá que seguir usando el molinete, o instalar sensores ultrasónicos, electromagnéticos, etcétera.

Propuesta de dimensiones definitivas: Después del análisis del comportamiento de las propuestas, se elige el más conveniente considerando en primer lugar las cargas disponibles, en segundo lugar la precisión, la disminución del probable error de apreciación con escalas más amplias, desde luego esto implica utilizar toda la carga disponible y en tercer lugar los detalles constructivos.

### **Estructuras propuestas**

Considerando lo antes expuesto se diseñaron tres AGL que pueden servir como tipo. Se consideró un rango de gastos de 40 l/s hasta 120 l/s, si se requiere más gasto pueden diseñarse un nuevo AGL o poner dos o más en batería. Para facilitar su construcción y adaptación a los nichos que dejan muchas estructuras tipo

Guamúchil que se hicieron de un metro de ancho con sección rectangular, tanto en la convergencia de entrada como de salida, y en la garganta para facilitar la construcción.

El primer AGL considerado para las condiciones de mínima carga disponible; el segundo es prácticamente igual pero sin transición de salida para hacerla más sencilla y fácil de construir pero con una pérdida de carga un poco mayor; el tercer AGL con la garganta con una contracción lateral un poco mayor con el fin de incrementar los tirantes reduciendo el error de medición pero aumentando el requerimiento de carga.

En la siguiente figura se tiene el diseño del AGL para el primer caso.

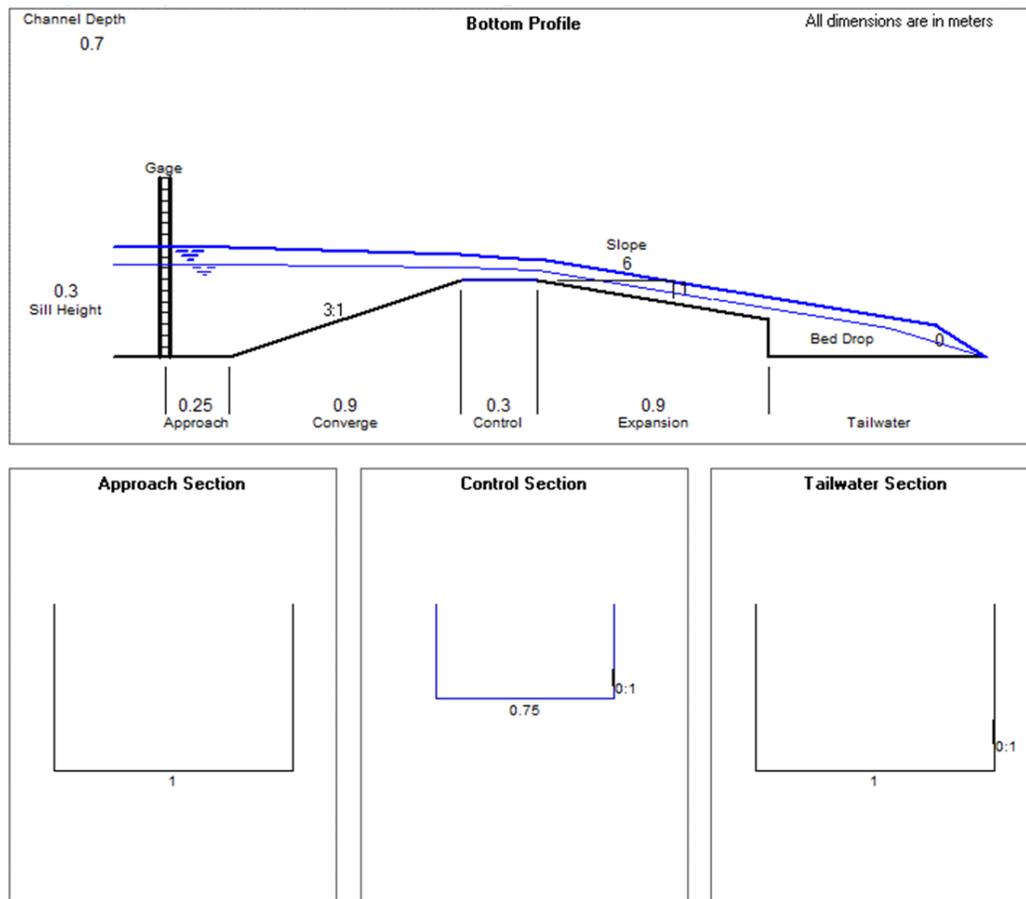


Figura 1. Geometría del AGL 1.

En la figura 1 se ve la geometría del AGL número 1, el cual fue diseñado utilizando el software Winflume versión 1.06.0006 del Bureau of Reclamation del gobierno de los Estados Unidos de América.



**Tabla 1.** Tabla de calibración del AGL 1

<b>H<sub>1</sub></b> [m]	<b>Q</b> [m <sup>3</sup> /s]	<b>Fr</b>	<b>ΔH</b> [m]	<b>H<sub>1</sub>/L</b>	<b>H<sub>2 max</sub></b> [m]	<b>Límite Modular</b> [m]
0.05	0.0139	0.0215	0.0109	0.1670	0.0391	0.7828
0.06	0.0184	0.0272	0.0124	0.2005	0.0476	0.7931
0.07	0.0233	0.0331	0.0139	0.2340	0.0561	0.8016
0.08	0.0286	0.0390	0.0154	0.2677	0.0646	0.8087
0.09	0.0342	0.0449	0.0167	0.3014	0.0733	0.8151
0.10	0.0402	0.0507	0.0180	0.3351	0.0820	0.8207
0.11	0.0465	0.0565	0.0193	0.3689	0.0907	0.8258
0.12	0.0531	0.0623	0.0205	0.4028	0.0995	0.8304
<b>0.13</b>	<b>0.0600</b>	<b>0.0679</b>	<b>0.0217</b>	<b>0.4368</b>	<b>0.1083</b>	<b>0.8347</b>
0.14	0.0672	0.0735	0.0228	0.4708	0.1171	0.8386
0.15	0.0746	0.0790	0.0239	0.5049	0.1260	0.8424
0.16	0.0824	0.0843	0.0249	0.5390	0.1349	0.8458
0.17	0.0904	0.0896	0.0260	0.5732	0.1439	0.8491
0.18	0.0987	0.0947	0.0270	0.6075	0.1529	0.8521
0.19	0.1072	0.0998	0.0279	0.6418	0.1619	0.8550
0.20	0.1160	0.1047	0.0289	0.6762	0.1709	0.8577
0.21	0.1250	0.1096	0.0298	0.7106	0.1799	0.8602

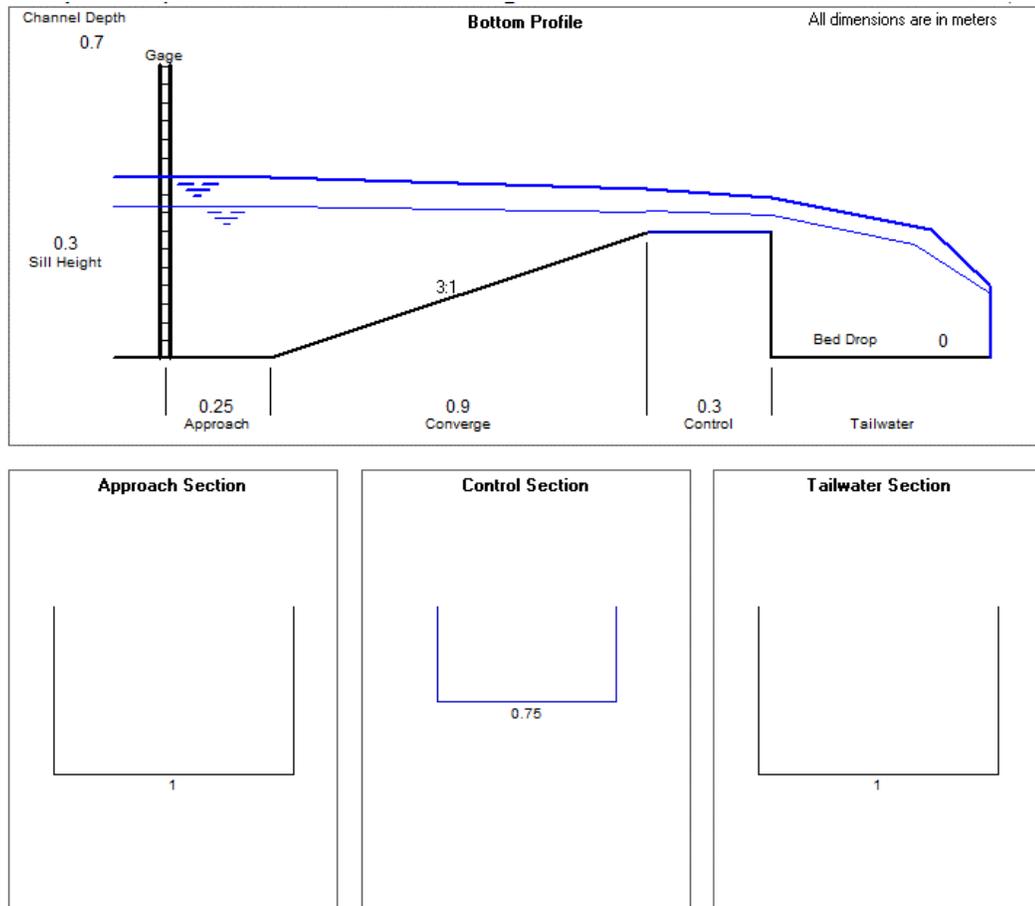


Figura 2. Geometría del AGL 2.

En la tabla 1 se ven los datos de calibración calculados con el Winflume de esta se pueden hacer las siguientes observaciones: dependiendo de las condiciones aguas abajo y de los requerimientos de gasto, por ejemplo, si se requiere un gasto modular de 60 l/s se puede permitir que en el canal interparcelario o regadera se tenga un nivel que según el cálculo del límite modular de 0.8347 llegue hasta casi 11 cm, dando un margen de seguridad de 5 cm el nivel máximo aceptado aguas abajo de la estructura serian 6 cm sobre la cresta del vertedor, si el nivel de medición es de 13 cm la pérdida de carga es de 7 cm, que, comparado con un vertedor tipo Guamúchil con el mismo criterio se requieren 15 cm, 8 cm menos. Esta estructura es útil cuando los márgenes permitidos de pérdida de carga son muy estrechos como en este caso.

Tabla 2. Tabla de calibración del AGL 2

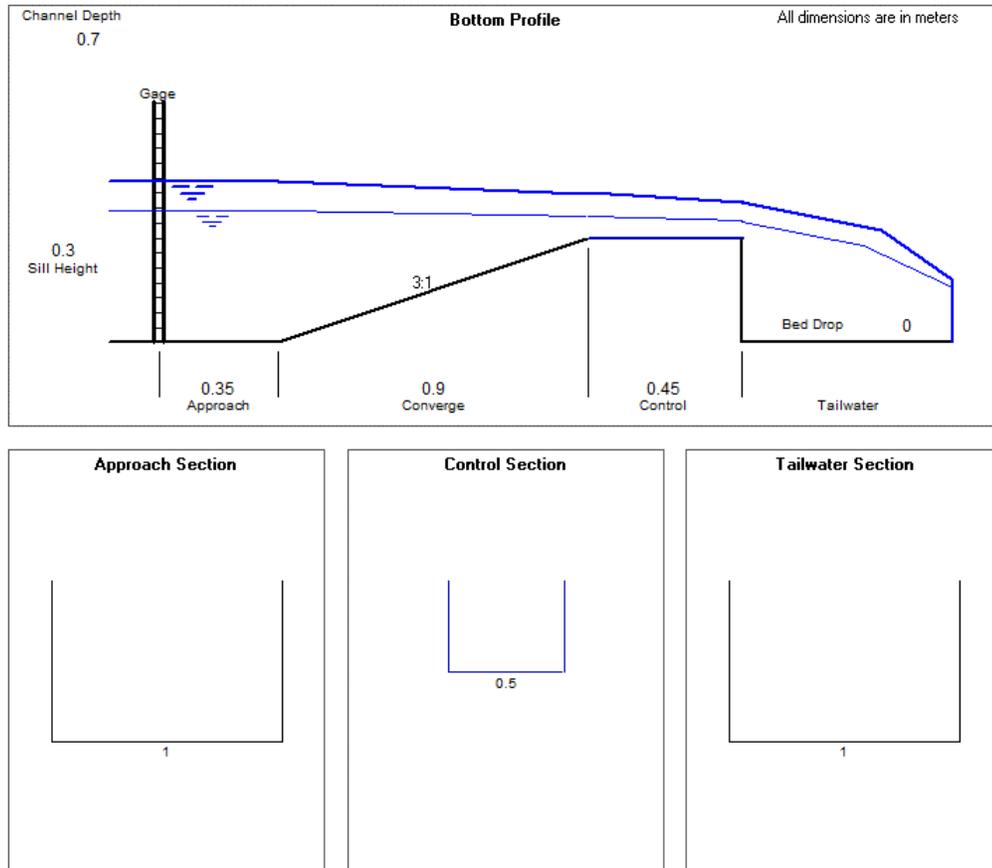
H <sub>1</sub>	Q	Fr	ΔH	H <sub>1</sub> /L	H <sub>2</sub> max	Límite Modular
[m]	[m <sup>3</sup> /s]		[m]		[m]	[m]
0.05	0.0139	0.0215	0.0176	0.1670	0.0324	0.6497
0.06	0.0184	0.0272	0.0204	0.2005	0.0396	0.6605
0.07	0.0233	0.0331	0.0231	0.2340	0.0468	0.6704
0.08	0.0286	0.0390	0.0257	0.2677	0.0542	0.6796
0.09	0.0342	0.0449	0.0282	0.3014	0.0618	0.6882



0.10	0.0402	0.0507	0.0305	0.3351	0.0694	0.6963
0.11	0.0465	0.0565	0.0328	0.3689	0.0771	0.7038
0.12	0.0531	0.0623	0.0349	0.4028	0.0849	0.7109
<b>0.13</b>	<b>0.0600</b>	<b>0.0679</b>	<b>0.0370</b>	<b>0.4368</b>	<b>0.0928</b>	<b>0.7176</b>
0.14	0.0672	0.0735	0.0390	0.4708	0.1008	0.7240
0.15	0.0746	0.0790	0.0409	0.5049	0.1089	0.7300
0.16	0.0824	0.0843	0.0427	0.5390	0.1170	0.7357
0.17	0.0904	0.0896	0.0445	0.5732	0.1252	0.7412
0.18	0.0987	0.0947	0.0462	0.6075	0.1334	0.7463
0.19	0.1072	0.0998	0.0479	0.6418	0.1416	0.7512
0.20	0.1160	0.1047	0.0495	0.6762	0.1500	0.7559
0.21	0.1250	0.1096	0.0511	0.7106	0.1583	0.7603

El AGL 2 es idéntico al AGL sin transición de salida, es decir, una salida abrupta, es una estructura más simple, la calibración es igual pero los niveles requeridos aguas abajo son menores, es decir tiene mayor pérdida de carga, este AGL puede ponerse donde se tenga mayor carga disponible. Aquí la carga requerida sube 2 cm. La diferencia es poca pero cuando la disponibilidad de carga es escasa puede ser muy útil.

En el caso de AGL 3 se redujo la anchura de la garganta para tener una mayor contracción, esto incrementa los requerimientos de carga para el funcionamiento del AGL pero facilita la lectura disminuyendo el error en la medición. Puede observarse en la tabla de calibración correspondiente (Tabla 3) que para 60 l/s el nivel de medición sube hasta pasados los 17 cm, aunque soporta niveles aguas abajo de casi 12 cm, este mismo aforador para 120 l/s tiene un nivel aguas arriba en la zona de medición de 27.1 cm. Existen muchas Tomas Granja en las que si hay suficiente carga por lo que es más conveniente utilizar la carga para dar más certidumbre a las lecturas.



**Figura 3.** Geometría del AGL 3.

## Conclusiones

En el ejercicio anterior se probó una metodología para el diseño de Aforadores de Garganta Larga (AGL) para Tomas Granja y se diseñaron 3 AGL que pueden ser utilizados tal cual se diseñaron o utilizarlos como punto de partida para un nuevo diseño con condiciones diferentes. Los AGL son la estructura de medición que mejor se adapta para su utilización en la rehabilitación de estructuras de medición en Tomas Granja para su aplicación en el programa de Riego por Gravedad Tecnificado (RIGRAT), sin embargo, si ya existen estructuras (Parshall, Guamúchil, Venturi, etcétera) que requieren poco inversión para su rehabilitación, en este caso lo mejor es no cambiar de estructura. En muchos otros casos, en los que no existe estructura, o la existente está en muy malas condiciones o las condiciones hidráulicas actuales impiden su buen funcionamiento, la mejor opción es instalar un AGL.

Aunque la calibración de los AGL no tiene una ecuación analítica, es posible obtener una ecuación empírica por regresión que represente la calibración con diferencias o errores menores del 0.1%, lo que es muy práctico en el caso de pretender la instalación de telemetría. Esto hace que los AGL sean de gran utilidad en la medición del agua de riego, por lo que se está promoviendo su uso dentro del programa de Riego por Gravedad Tecnificado (RIGRAT).



**Tabla 3.** Tabla de calibración del AGL 3.

<b>H<sub>1</sub></b> [m]	<b>Q</b> [m <sup>3</sup> /s]	<b>Fr</b>	<b>ΔH</b> [m]	<b>H<sub>1</sub>/L</b>	<b>H<sub>2</sub> max</b> [m]	<b>Límite Modular</b> [m]
0.05	0.0092	0.0142	0.0184	0.1112	0.0316	0.6322
0.06	0.0122	0.0180	0.0216	0.1335	0.0384	0.6400
0.07	0.0154	0.0218	0.0247	0.1558	0.0453	0.6471
0.08	0.0189	0.0257	0.0278	0.1781	0.0522	0.6536
0.09	0.0226	0.0296	0.0307	0.2004	0.0593	0.6598
0.10	0.0265	0.0335	0.0335	0.2227	0.0665	0.6656
0.11	0.0307	0.0373	0.0363	0.2451	0.0737	0.6710
0.12	0.0350	0.0411	0.0390	0.2675	0.0810	0.6761
0.13	0.0395	0.0447	0.0415	0.2899	0.0884	0.6818
0.14	0.0442	0.0483	0.0441	0.3123	0.0958	0.6861
0.15	0.0490	0.0519	0.0467	0.3347	0.1032	0.6903
0.16	0.0541	0.0553	0.0491	0.3572	0.1107	0.6943
<b>0.17</b>	<b>0.0593</b>	<b>0.0587</b>	<b>0.0516</b>	<b>0.3797</b>	<b>0.1182</b>	<b>0.6981</b>
0.18	0.0646	0.0621	0.0540	0.4021	0.1258	0.7018
0.19	0.0701	0.0653	0.0563	0.4246	0.1334	0.7053
0.20	0.0758	0.0685	0.0586	0.4472	0.1411	0.7087
0.21	0.0816	0.0716	0.0609	0.4697	0.1488	0.7120
0.22	0.0876	0.0746	0.0631	0.4922	0.1565	0.7151
0.23	0.0937	0.0776	0.0653	0.5148	0.1643	0.7181
0.24	0.1000	0.0805	0.0675	0.5374	0.1721	0.7210
0.25	0.1064	0.0833	0.0696	0.5600	0.1799	0.7238
0.26	0.1129	0.0861	0.0717	0.5826	0.1877	0.7264
<b>0.27</b>	<b>0.1196</b>	<b>0.0887</b>	<b>0.0738</b>	<b>0.6052</b>	<b>0.1956</b>	<b>0.7289</b>
0.28	0.1264	0.0914	0.0759	0.6278	0.2034	0.7314
0.29	0.1333	0.0939	0.0779	0.6505	0.2113	0.7338
0.30	0.1404	0.0965	0.0800	0.6731	0.2192	0.7360

### Referencias bibliográficas

Clemmens, Wahl, Bos, and Roplogle (2001), Water Measurement with Flumes and Weirs. Water Resource Publications, LLC.

BOS, Marinus G., REPLOGLE, John A., CLEMMENS, Albert J. (1986), Aforadores de caudal para canales abiertos. ILRI Publication 38. Wageningen, The Netherlands.

Martínez-Austria, Polioptro, Castillo, Jorge (1991), DISEÑO POR COMPUTADORA DE AFORADORES DE GARGANTA LARGA, Seminario Internacional de Uso Eficiente del Agua. IWRA-IMTA.