

GENERACIÓN DE UN MEDIDOR ELECTRÓNICO DE GASTO Y VOLUMEN PARA CANALES USANDO TECNOLOGÍA DOPPLER

Samuel Pérez Nieto y Francisco Raúl Hernández Saucedo

Universidad Autónoma Chapingo; Departamento de Irrigación. México.
E-mail: sperezn@chapingo.mx

Introducción

La medición de la cantidad de agua que circula por un conducto o se entrega en un punto ha sido tema de estudio frecuente en la operación de los sistemas de agua cuyo propósito es brindar el servicio cobrado, tanto para fines domésticos, como industriales o de riego, generándose muchos métodos y dispositivos que, sin embargo, invariablemente se basan en la ecuación de definición de gasto (1) o en la de continuidad (2) derivada de aquella, sabiendo que la velocidad es igual al cociente de la distancia y el tiempo ($v = x/t$), en las que Q es el gasto en m^3/s , V es el volumen de agua en m^3 , t es el tiempo en el que se da la medición en s, A es el área hidráulica del conducto, en m^2 y v es la velocidad del flujo v (en m/s), Pérez, (2014):

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{A \times v}{t} \quad [1]$$

$$Q = A \times v \quad [2]$$

En la medición del agua en canales en los Distritos y Unidades de Riego de México, aun se sigue usando, el método del molinete para medir la velocidad, que con todo y que hoy día son electrónicos y más precisos y prácticos, se emplean para medirla a 0.6 del tirante; y para la determinación del área hidráulica se hace uso de las fórmulas 3, 4 y 5 para sección trapecial, rectangular o circular, mostradas en la figura 1 y que son las de uso más común y corriente (Pérez, 2014a).

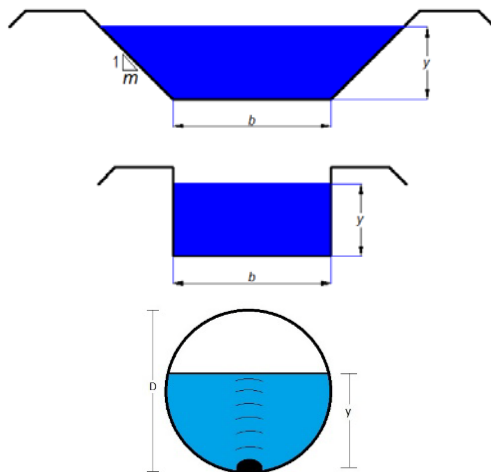


Figura 1.- Secciones hidráulicas más comunes de canales y sus elementos geométricos.

En dicha figura y expresiones, b es el ancho de la plantilla en m, y es el tirante en m, m es el talud en decimal y D es el diámetro del conducto para secciones circulares, en m.

$$A = b y \quad [3]$$

$$A = b y + m y^2 \quad [4]$$

$$A = \frac{(\theta - \text{sen} \theta) D^2}{8} \quad [5]$$

$$\theta = 2 \cos^{-2} \left(1 - \frac{2y}{D} \right) \quad [6]$$

No obstante, para la determinación del volumen entregado en un punto dado, que no implica otra cosa más que la aplicación de la expresión 7, derivada de la 1, para el volumen instantáneo V_i , no se han generado ni métodos ni dispositivos confiables, ni de uso común, ni mucho menos de bajo costo.

$$V_i = Q_i \times t \quad (7)$$

$$V_t = \sum_{i=1}^n V_i \quad (8)$$

Y si bien hay muchos dispositivos electrónicos para medir gasto y acumularlo para determinar volumen, que son los denominados totalizadores, éstos están diseñados en general para tuberías y su uso para canales es aun muy restringido.

De otra parte, se denomina efecto Doppler a los fenómenos ondulatorios que ocurren cuando una fuente de ondas y un observador se encuentran en movimiento relativo, es decir, es el aparente cambio de frecuencia de una onda producida por el movimiento relativo de la fuente respecto a su observador, o viceversa o el movimiento de ambos, (French, 1988).

La manera de medir la velocidad del agua con el efecto Doppler es que la energía ultrasónica se transmite continuamente bajo el agua en la corriente de flujo, y las ondas de sonido se reflejan desde pequeñas partículas de materia sólida en la corriente de flujo en toda la sección hidráulica. La frecuencia de transmisión F_t , se compara con la frecuencia de rebote de las partículas F_r (expresión 9) y se recogen las señales de retorno de velocidad y se promedian para generar la velocidad representativa.

$$v = K(F_r - F_t) \quad [9]$$

El tirante del canal y , se puede conocer al medir la presión p en su fondo con un manómetro electrónico y aplicar la expresión 10, en la que γ es el peso volumétrico del agua, en kg/m^3 .

$$y = p / \gamma \quad [10]$$

Con estas consideraciones como base, se planteó desarrollar un dispositivo electrónico de gasto y volumen, que permita la medición de flujo en las redes de conducción y distribución de Distritos y Unidades de Riego, para hacer posible la entrega del agua a nivel parcelario para su correspondiente cobro volumétrico; que además sea portátil, de bajo costo y que tenga la capacidad de efectuar mediciones de gasto y volumen instantáneas, acumuladas y con alta precisión y confiabilidad.

Materiales y métodos

Empleando como elemento principal de medición un sensor dual de velocidad y profundidad de la marca Blue Siren (2014) que mide frecuencias sónicas de emisión y rebote y aplica la expresión 9 para calcular la velocidad y estima el tirante aplicando la 10; se diseñó y construyó un sistema electrónico y el software necesario para registrar estas mediciones y procesarlas para calcular las áreas hidráulicas de las secciones trapecial, rectangular y circular, aplicando las expresiones 3, 4 y 5 y obtener el gasto y el volumen y entregarlo al usuario.

El esquema de la figura 2, presenta la configuración del dispositivo generado. El bloque A representa al sensor ubicado en el área de sensado dentro del conducto en el que se hará la medición; el bloque B es el módulo electrónico de recepción de datos, de procesamiento y entrega de resultados; mientras que el bloque C se refiere al dispositivo de lectura de resultados, que puede ser una PC, una tablet o un teléfono celular.

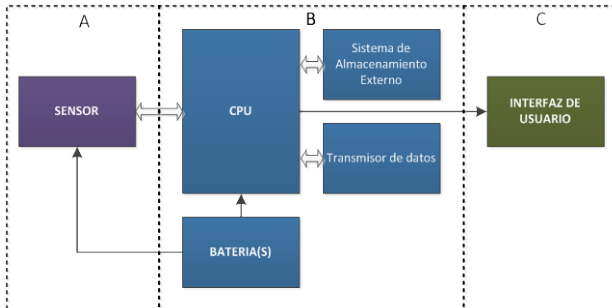


Figura 2.- Arquitectura general del sistema electrónico del dispositivo.

Resultados y discusión

Se desarrolló el Medidor Electrónico de Gasto y Volumen para Canales que se denominó MEG@ VOLC@; consiste en un dispositivo de medición de gasto y su integración en el tiempo para obtener volumen; combina un sensor de profundidad para medir el tirante y uno de velocidad, dispuestos en un solo cuerpo (ver figura 3), con forma hidrodinámica que se coloca en el fondo del conducto; es aplicable a secciones trapeciales, rectangulares y circulares que funcionan como canal. El sensor de velocidad se basa en el Principio Doppler de onda dual, utiliza los pulsos ultrasónicos para generar y recoger ecos de las moléculas del fluido y de sus partículas en suspensión y hace múltiples mediciones de la velocidad en todo el perfil de la sección hidráulica, generando y reportando el promedio, (mostrado por la línea roja de la figura 4), con una precisión de 1 mm/s. El medidor de tirante determina la profundidad del nivel del agua con un transductor de presión de acero inoxidable, que mide con una resolución de 1 mm, una precisión de 0.1 % y hasta 9.62 m.



Figura 3.- Vista de conjunto del MEG@ VolC@.

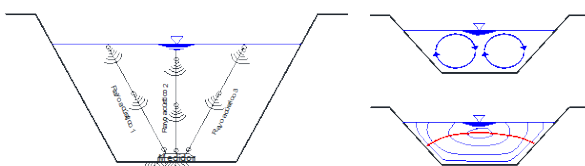


Figura 4.- Medición de la velocidad del flujo por el efecto Doppler.

Para estimar el gasto del conducto se aplica la ecuación de continuidad (1) y el hidrograma obtenido se integra en el tiempo deseado para obtener el volumen acumulado (8). Los datos se colectan en un dispositivo de memoria electrónica que se mantiene conectado al dispositivo medidor.

Parte fundamental del MEG@ VolC@, lo constituye el software de captura y procesamiento de los datos y que genera de resultados (SICEDER), programado para operar en computadora personal (PC) y en lenguaje Android para ejecutarse en Tablet (TA) y teléfono celular (TC). La figura 5 muestra una de las pantallas de cálculo. Se generan y despliegan en forma tabular o gráfica las variables de tirante (y), velocidad (v), gasto (Q) (ver figura 6) y volumen (V) para todos los tiempos de medición, mismos que se pueden imprimir y/o exportar en formato MS Excel.

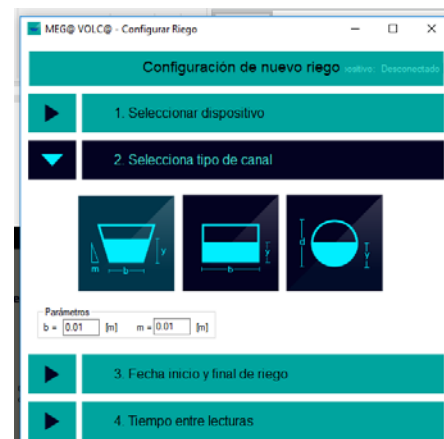


Figura 5.- Pantalla de cálculo del área hidráulica.

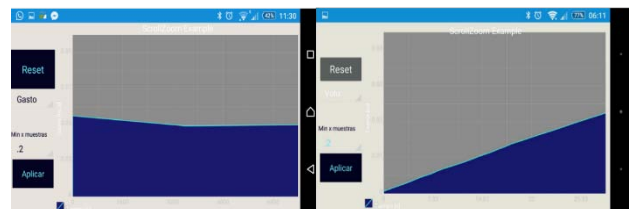


Figura 6.- Gráficas de gasto y volumen entregados por el SICEDER.

Conclusiones y recomendaciones

El dispositivo ha sido probado en laboratorio y en campo, donde ha mostrado sus características y atributos de aplicación, precisión y costo, y se ha obtenido el registro de marca y la patente, por lo que se recomienda su reproducción y distribución entre los usuarios de riego para la entrega y cobro volumétrico del agua de riego en Distritos y Unidades de Riego que es una disposición normativa de la Ley de Aguas Nacionales en México.

Referencias bibliográficas

- French, A. P. 1988. Vibrations and waves. The Massachusetts Institute of Technology. New York, USA.
- Pérez Nieto, S. 2014. Apuntes de Hidráulica Básica. Departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma Chapingo. México. En edición.
- Pérez Nieto, S. 2014b. Fundamentos de Hidráulica; Libro de Propedéutico del Programa de Capacitación del Proyecto de Riego por Gravedad Tecnificado. Gerencia de Distritos de Riego de la Comisión Nacional del Agua. Hermosillo, Sonora. México.
- Blue Siren Inc. Sensors solutions. 2016. Dual Wave Doppler 30ft (10m) Depth 0-10 m/s, Velocity Depth-Velocity Probe. In-Line. Melbourne Florida USA.