



Artículo: COMEII-16029

## II CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2016

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

### METODOLOGÍA DE CALIBRACIÓN DE MEDIDORES ACÚSTICOS

**Mauricio de Jesús Escalante Estrada<sup>1\*</sup>; Guillermo Reza Arzate<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac No. 8532, Col. Progreso, Jiutepec, Morelos, México. C.P. 62550. mescalán@tlaloc.imta.mx. (\*Autor para correspondencia).

#### Resumen

El cambio más grande en la tecnología de medición de caudal o gasto en flujos, en los últimos 100 años ha sido el desarrollo y aplicación de instrumentos acústicos de alta frecuencia para medirlo.

“El perfilador acústico Doppler de corriente ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*), está reemplazando rápidamente a los medidores mecánicos tradicionales para la medición del caudal” (Muste y otros, 2007).

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua ha estado involucrado en la instalación y uso de tecnología acústica de medición de caudal en los diferentes distritos de riego de la república Mexicana desde hace más de 15 años, para mejorar la exactitud de las mediciones de un flujo de corriente, según se establece en el artículo 7 de la ley de Aguas Nacionales (SEMARNAT 2004) “es de utilidad pública la instalación de los dispositivos necesarios para medir la cantidad y calidad de las aguas nacionales”.

Se presenta la metodología de verificación/calibración utilizada en campo, así como el equipo móvil o equipo de referencia para realizar dicha verificación-calibración en los diferentes medidores instalados en campo.

**Palabras clave adicionales:** Aforo, calibración, doppler.



## **Introducción**

En el IMTA, se ha trabajado en la evaluación de los diferentes instrumentos acústicos Doppler, debido a que las características operativas están cambiando con rapidez, en la mejora del hardware y el software de estos equipos.

En los distritos de riego (DR) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) se han instalado equipos automáticos de medición en diversos puntos de control de la red mayor y de la red secundaria. Los equipos de medición son de tres tipos de tecnología: Aforadores Doppler Laterales (ADL), Aforadores de Tiempo de Tránsito (ATT) y Aforadores de Garganta Larga (AGL). Cada tipo de aforador es recomendado por el IMTA en función de las características físicas del sitio y su finalidad en la medición.

Cada tipo de aforador tiene diversos y complejos componentes electrónicos que requieren de cuidados especiales para su instalación, operación y mantenimiento.

Para gestionar y asignar los recursos hídricos de manera correcta es necesario la verificación y/o calibración periódica de los equipos instalados en las diferentes presas y canales administrados por la CONAGUA.

Por lo tanto, es requisito indispensable el calibrar en sitio y en sus condiciones normales de operación del sistema, cualquier equipo de medición instalado.

## **Desarrollo**

En la actualidad las mayorías de las organizaciones como el IMTA que realizan aforos en canales de riego o ríos no cuentan con una acreditación oficial (tipo norma ISO) para poder entregar certificados de calibración que tengan un valor legal. Pero para estos casos siempre se realizan las calibraciones bajo una norma establecida, apeándose estrictamente a ella.

El equipo móvil o equipo de referencia utilizado para la verificación /calibración de los medidores instalados en campo es el SonTek River Suveyor sistema M9 ADP (acoustic Doppler Profiler), con capacidades de multifrecuencia y GPS integrado.

El procedimiento de aforo se realizó de acuerdo con la Norma ISO 748 Flow measurement in open channels "Area-velocity method".

### *Características del equipo móvil*

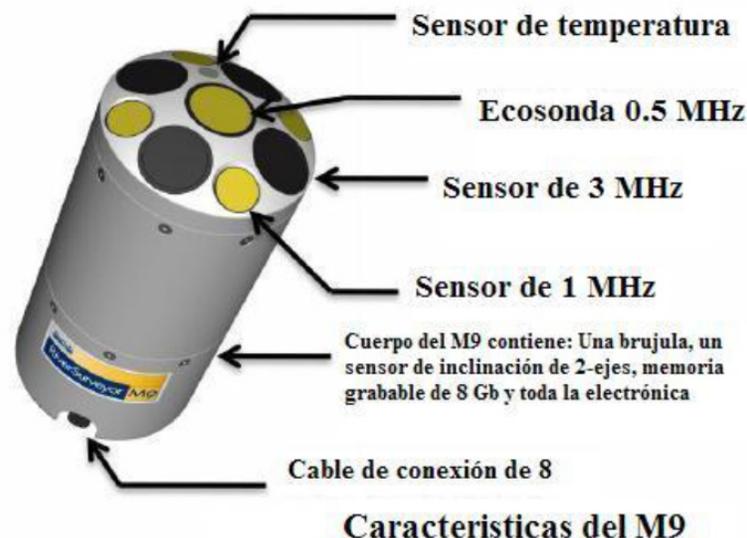
- El sistema M9 es un Perfilador acústico de velocidad basado en el efecto Doppler diseñado para medir gastos en ríos y canales.
- El sistema M9 cuenta con componentes modulares intercambiables.

- El sistema M9 puede configurarse y operarse desde una Laptop con una antena de radio o desde un teléfono celular con Blue Tooth.
- El RiverSuveyor por no tener partes móviles, no requiere de calibración.
- Los archivos de datos son almacenados en el sistema (sensor) no en la PC o teléfono, deben ser descargados del sistema.
- El cálculo del gasto es interno, por lo que la calidad de la medición no es afectada por pérdidas en la comunicación.

### *Componentes del sistema M9*

Las especificaciones para el RiverSurveyor PD se muestran a continuación:

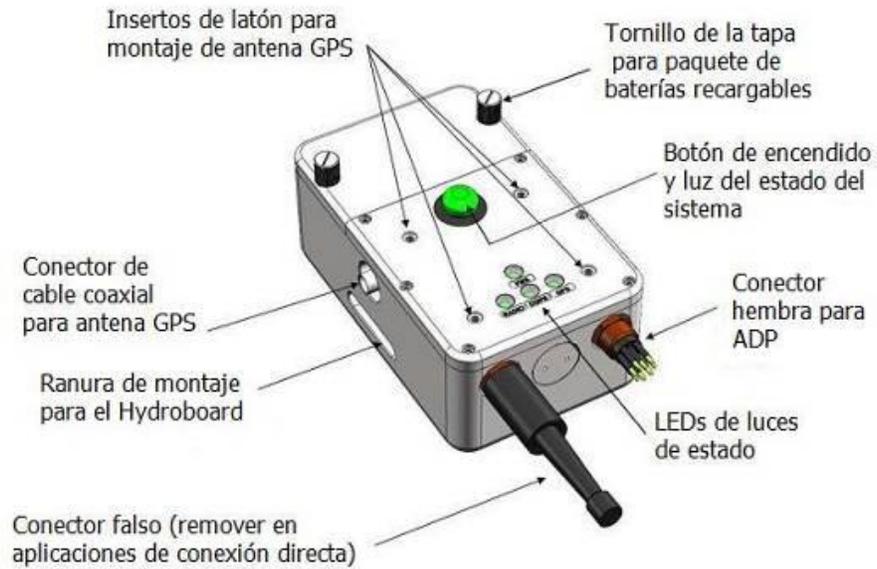
- 1) Perfilador Acústico Doppler (ADP Acoustic Doppler Profiler).



**Figura 1.** Sensor del sistema M9

El perfilador Doppler M9 es el Sensor del sistema para la medición del gasto destinado a usarse en botes en movimiento o estacionarios, integra una brújula con sensor de inclinación de dos ejes, sensor de temperatura, 8-Gb para grabación de datos y un haz acústico vertical (ecosonda de 0.5 MHz) para la medición de la profundidad, es un Sensor multifrecuencia , con 4 transductores de 3MHz y 4 transductores de 1Mhz para el rastreo de fondo, dependiendo de la profundidad del canal o rio es la frecuencia que utiliza el sensor.

- 2) Modulo de comunicación y fuente de poder (PCM Power and Comunication Module).



**Figura 2.** Radio transmisor del sistema M9.

La comunicación puede realizarse vía Bluetooth (rango de 200 m) o telemétrica de 900 MHz (rango de 1 km).

### 3) Son Tek Hydroboard



**Figura 3.** Lancha en la que se coloca el equipo.

### 4) Antena de aluminio GPS (Global Position System).



**Sistema M9 con GPS (opcional)**

**Figura 4.** Sistema con GPS

5) Computadora portátil o teléfono celular para transmisión y operación del sistema



**Figura 5.** Sistema M9.

### **Operación del sistema M9**

El sistema M9 puede operarse desde un Bluetooth (teléfono celular con capacidad para Windows), o desde una computadora portátil con el aditamento Parani Bluetooth Dongle.

La calibración se realiza en el sitio donde está instalada la caseta de aforo, ya sea en el puente de aforo y de no existir éste se utilizan un par de cuerdas con una persona en cada lado del canal o río.



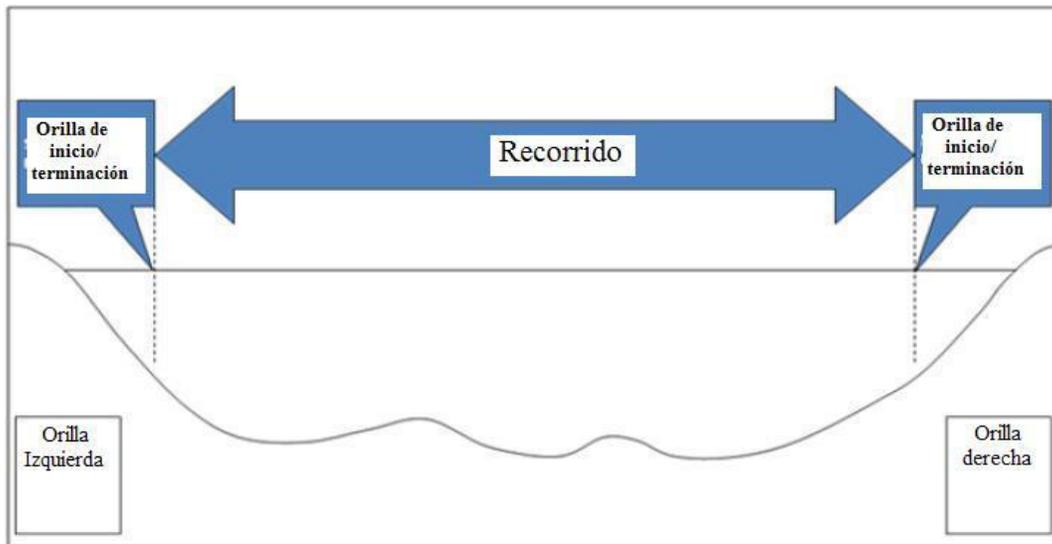
**Figura 6.** Sin puente de aforo.

Debido a la versatilidad del sistema de aforo M9 se pueden realizar los aforos que se deseen, generalmente se realizan de cinco a diez aforos y se saca un promedio, el software tiene la capacidad de obtener la desviación estándar, la covariancia y el promedio de los gastos deseados (ver figura 9), para este ejemplo se realizaron ocho aforos y se obtuvo el promedio del gasto. También se debe cuidar que el movimiento del “barquito” sea menor que la velocidad del flujo que se está midiendo, estos dos datos los proporciona el software instalado en la computadora o en el teléfono cuando estamos realizando el aforo.

El RiverSuveyor (M9) mide las velocidades en 3-D a lo largo de la columna de agua bajo del Perfilador Doppler (PD). Combina la información del rastreo (de la trayectoria de fondo o del GPS opcional) para medir el gasto total a través de una sección del río.

### **Metodología y resultados**

La descarga total a través de una sección de medición se calcula con base a la velocidad media del agua a lo largo de la columna de agua y el área de la sección transversal. Para propósitos de una medición, la sección se divide en tres componentes: orilla inicial, transecto (recorrido) y la orilla final (el inicio puede darse desde la orilla derecha o la izquierda). Estos componentes se suman para calcular el gasto total que pasa por dicha sección.



**Sección de Medición**

**Figura 7.** Transepto de aforo.

Por capacidades del equipo existen pequeñas secciones que este no alcanza a medir, por lo que se realiza una compensación de esta área en la obtención del gasto.



**Áreas no medidas por el M9**

**Figura 8.** Área de aforo.

Se realizan por lo menos ocho aforos con el equipo móvil, para obtener un promedio del gasto con el que se calibrara el equipo instalado en la caseta de aforo.

Se realiza un comparativo entre los aforos (el del M9 y el del equipo instalado o fijo) para observar si la diferencia entre estos es significativa o no, utilizando la siguiente expresión:



$$U(DQ) = Q Ur(Q1) + Ur(Q2) \tag{1}$$

Donde Q1 y Q2 son las mediciones del gasto en m3/s.

$Q = (Q1 + Q2) / 2$  es el promedio aritmético de los dos gastos.

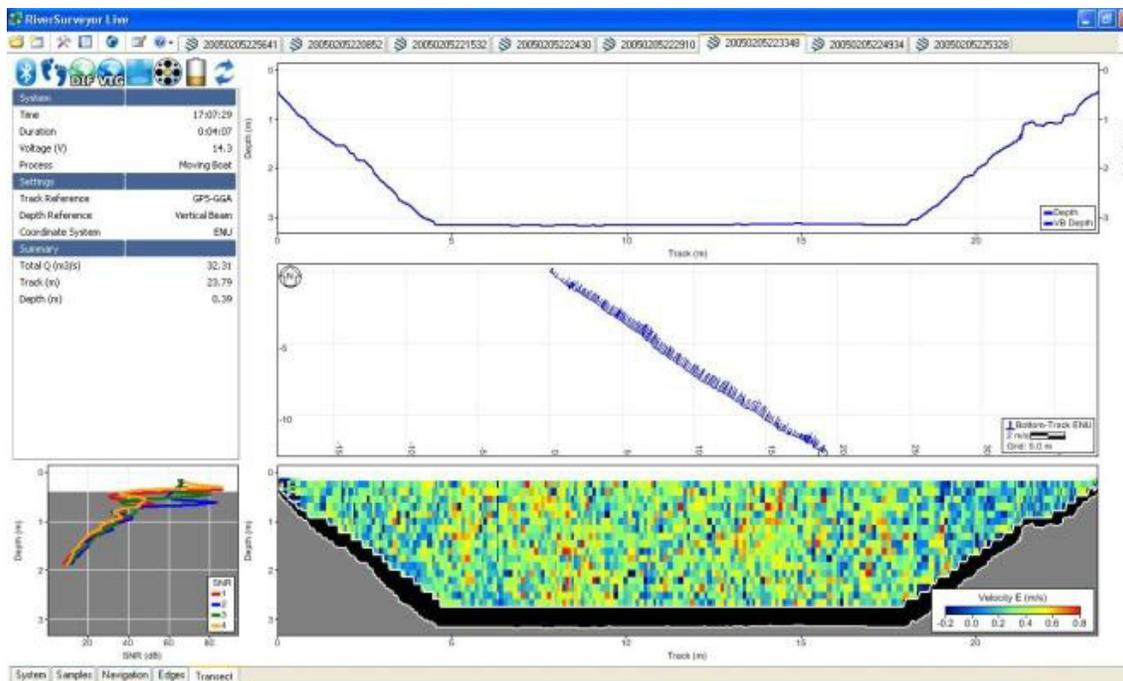
$DQ = Q1 - Q2$  es la diferencia entre los dos gastos.

$U( )$  representa la incertidumbre expandida absoluta para  $p = 95\%$ .

$Ur$  representa la incertidumbre expandida relativa para  $p = 95\%$   
 Para la técnica de aforo con perfilador Doppler en modo “dinámico” que es la utilizada por el M9, la  $Ur$  es de más/menos 5 por ciento con una probabilidad del 95% según la norma ISO/TS 24154 (2005) Oberg & Muller (2007).

Discharge Measurement Summary														Date Generated: Thu, November 17, 2011		
<b>Site Information</b>							<b>Measurement Information</b>									
Site Name: Coria 0+700							Party:									
Station Number: 1							Boat/Motor:									
Location:																
<b>System Information</b>				<b>System Setup</b>				<b>Units</b>								
System Type: RS-M9				Transducer Depth (m): 0.04*				Distance: m								
Serial Number: 223				Salinity (ppt): 0.0				Velocity: m/s								
Firmware Version: 0.72				Magnetic Declination (deg): 6.0				Area: m2								
Software Version: 0.99a								Discharge: m3/s								
<b>Discharge Calculation Settings</b>							<b>Discharge Results</b>									
Track Reference: GPS-GGA							Left Method: Sloped Bank									
Depth Reference: Vertical Beam							Right Method: Sloped Bank									
Coordinate System: ENU							Top Fit Type: Power Fit									
							Bottom Fit Type: Power Fit									
							Width (m): 23.57									
							Area (m2): 59.0									
							Mean Vel (m/s): 0.548									
							Total Q (m3/s): 32.31									
<b>Measurement Results</b>																
#	Tr	Time		Distance			Mean Vel		Discharge					%		
		Time	Duration	Track	DMG	Width	Area	Boat	Water	Left	Right	Top	Middle		Bottom	Total
1	R	16:38:27	0:06:08	26.38	22.62	24.12	58.2	0.072	0.556	0.02	0.00	2.13	26.44	3.71	32.30	81.8
2	L	16:45:07	0:04:26	25.99	23.09	24.59	60.2	0.098	0.537	0.04	0.01	2.50	26.20	3.56	32.31	81.1
3	L	16:54:04	0:04:20	23.62	22.37	23.37	60.6	0.091	0.533	0.02	0.02	3.50	25.39	3.36	32.29	78.6
4	R	16:58:45	0:04:15	23.25	22.37	23.37	58.8	0.091	0.549	0.02	0.12	2.44	26.11	3.62	32.31	80.8
5	L	17:03:23	0:04:07	23.79	22.26	23.26	58.1	0.096	0.556	0.03	0.03	2.34	26.43	3.48	32.31	81.8
6	L	17:19:09	0:03:34	23.12	22.31	23.31	60.1	0.108	0.538	0.05	0.00	3.47	25.29	3.53	32.34	78.2
7	R	17:23:03	0:02:54	23.24	22.34	23.34	57.4	0.134	0.563	0.01	0.01	1.88	26.87	3.54	32.31	83.1
8	L	17:26:16	0:01:40	24.28	22.20	23.20	58.4	0.243	0.553	0.02	0.03	2.50	26.23	3.53	32.31	81.2
		<b>Mean</b>	0:03:56	24.21	22.44	23.57	59.0	0.117	0.548	0.03	0.03	2.60	26.12	3.54	32.31	80.8
		<b>Std Dev</b>	0:01:13	1.19	0.27	0.47	1.1	0.050	0.010	0.01	0.04	0.55	0.50	0.09	0.01	1.5
		<b>COV</b>	0.000	0.049	0.012	0.020	0.019	0.433	0.019	0.468	1.256	0.211	0.019	0.027	0.000	0.019
Exposure Time: 0:31:24																
Tr1=20050205220852.rtc; Tr2=20050205221532.rtc; Tr3=20050205222430.rtc; Tr4=20050205222910.rtc; Tr5=20050205223348.rtc; Tr6=20050205224954.rtc; Tr7=20050205225328.rtc; Tr8=20050205225641.rtc;																
<b>Comments</b>																
Parameters and settings marked with a "*" are not constant for all files.																
Report generated using SonTek RiverSurveyor Live v0.99a																

Figura 9. Promedio de los aforos.



**Figura 10.** Resultado de un aforo.

La  $U_r$  para la técnica de aforo utilizada en el equipo instalado en la caseta de aforo, se obtiene de las tablas 2.2, 2.3 o 2.4 de la guía técnica “Aforo en canales y presas” del curso impartido por el IMTA.

Finalmente, si existe una diferencia significativa se procede a realizar el ajuste de los parámetros del equipo instalado en la caseta, de no ser así se deja funcionando sin realizar ninguna corrección en los parámetros de la data logger del sensor en el sitio y se deja el equipo funcionando de forma satisfactoria.

### Conclusiones y recomendaciones

La calibración de los medidores instalados, tratándose de un aforador de garganta larga (AGL), un aforador doppler lateral (ADL) o un aforador tiempo de travesía (ATT) siempre representan un costo dentro de su mantenimiento habitual. Pero dicha calibración es necesaria debido a las condiciones cambiantes de la sección de control, la cual también requiere de un mantenimiento continuo para el buen funcionamiento del equipo instalado.

Es de suma importancia que el personal de la CONAGUA, le haga sentir al usuario la importancia que estos equipos de medición tienen y sobre todo debe despertar la confianza sobre estas “nuevas” tecnologías ya que el usuario sigue utilizando las “viejas” y tradicionales, como la que representada en el uso del “molinete”. Y en la mayor parte de los casos el usuario “confía” más en esta última que en la tecnología instalada.



La incertidumbre en la medición es otro punto muy importante y muy delicado, que se le debe explicar a los usuarios, ya que ellos no comprenden que un equipo por muy sofisticado o tecnológico que sea, pueda tener errores en la medición, y que dependiendo de la técnica utilizada esta incertidumbre pueda variar de un 2 a un 7 por ciento.

### **Referencias bibliográficas**

ISO/TS 24154: 2005. Hydrometry – Measuring river and discharge with acoustic Doppler profilers. International Organization for Standardization (ISO), Geneve.

Muste M., Fujita I., Hauet A. 2007. Large-scale particle image velocimetry for measurements in riverine environments. *Water Resources Research*, Vol. 44, Paper W00D19, 14 pp.

SEMARNAT. 2004. Decreto por el que se reforman, adicionan y derogan diversas de disposiciones de la ley de Aguas Nacionales. *Diario Oficial (Primera Sección)*, jueves 29 de abril de 2004.

SEMARNAT. 2007. *Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento*. Capítulo II, Artículo 7, párrafo III, pág. 12.

Tamari, W.S., y Aguilar, C.A., *Aforo en canales y presas: Selección de una técnica*. Guía técnica, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2010, 39 pp.