



IMTA
INSTITUTO MEXICANO
DE TECNOLOGÍA
DEL AGUA



**AGUA EN LA
AGRICULTURA:**
Sostenibilidad y tendencias



METODOLOGÍA DE CALIBRACIÓN DE MEDIDORES ACÚSTICOS

Mauricio de Jesús Escalante Estrada; Guillermo Reza Arzate

mescalan@tlaloc.imta.mx, greza@tlaloc.imta.mx

II Congreso Nacional de Riego y Drenaje COMEII 2016
08 al 10 de septiembre del 2016
Chapingo, México

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 Transito (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.

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.

DOPPLER LATERAL





INTRODUCCIÓN - NECESIDAD DE CALIBRAR UN AD

Por definición, la velocidad media del agua que atraviesa una sección transversal de canal es igual a:

$$V = Q / A_h$$

V : velocidad media (m/s)

Q : gasto (m³/s)

A_h : área hidráulica (m²)

Si se conociera la velocidad media y el área hidráulica, se podría entonces estimar el gasto de la siguiente manera:

$$Q = A_h V$$

Pero un AD no mide $\{A_h, V\}$, sino las siguientes variables:

- y : tirante (cuando hay suficientemente agua)
- V_i : velocidad índice (velocidad en una "porción" de canal)

→ En este caso, se debe estimar $\{A_h, V\}$ a partir $\{y, V_i\}$



Por un lado, se puede establecer una relación de la forma:

$$A_h = f(y)$$

→ *si la geometría del canal no cambia con el tiempo, y mientras el sensor de nivel no se descalibra, se tendrá una relación univoca entre área hidráulica y tirante.*

Por otro lado, se puede establecer una relación de la forma:

$$V = g(V_i)$$

→ la literatura sugiere que es factible deducir esta relación empíricamente, mediante una calibración en sitio.

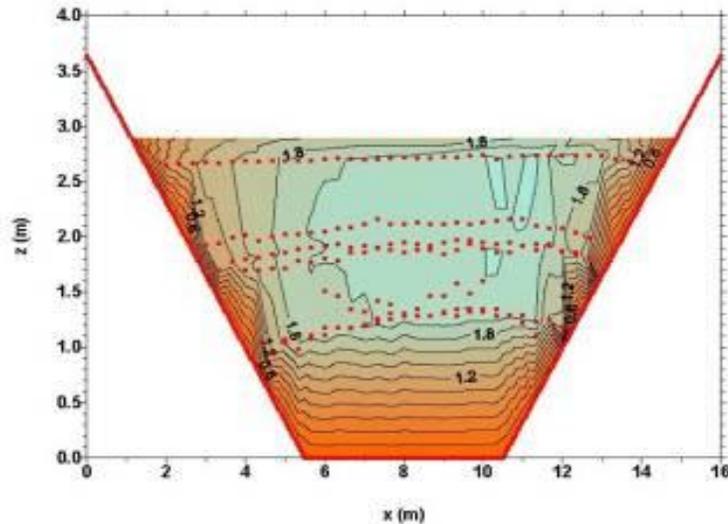
DETERMINACIÓN DEL ÁREA HIDRAULICA.

Sección del canal sencilla, se puede calcular teóricamente la relación entre el tirante y el área hidráulica.

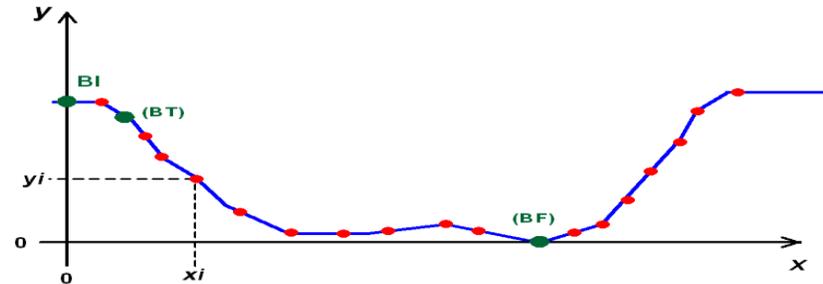
sección trapezoidal:

$$A_h = w_b y + k y^2$$

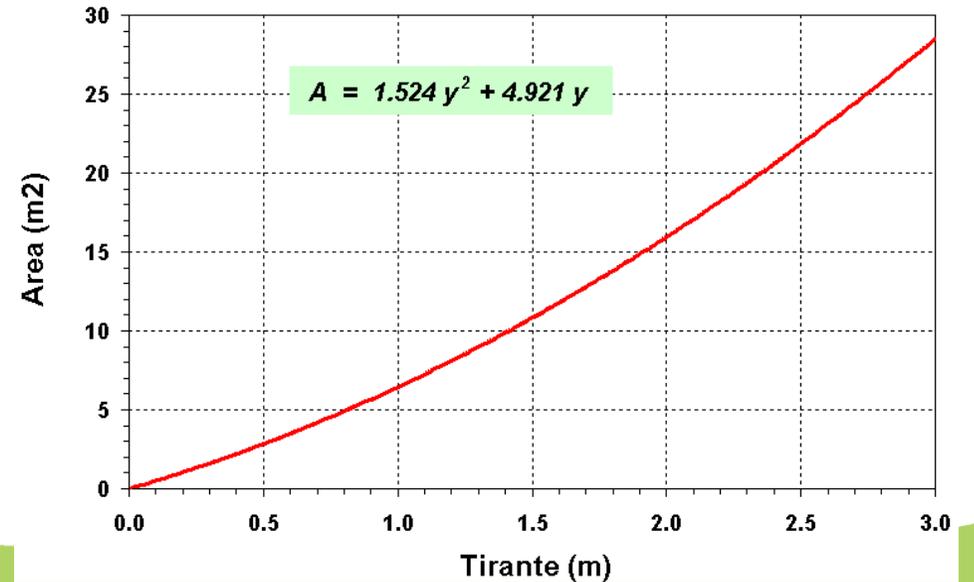
w_b : plantilla (m)
 k : talud (m:m)



Sección irregular



establecer la relación entre tirante y área hidráulica



DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD MEDIA EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD ÍNDICE

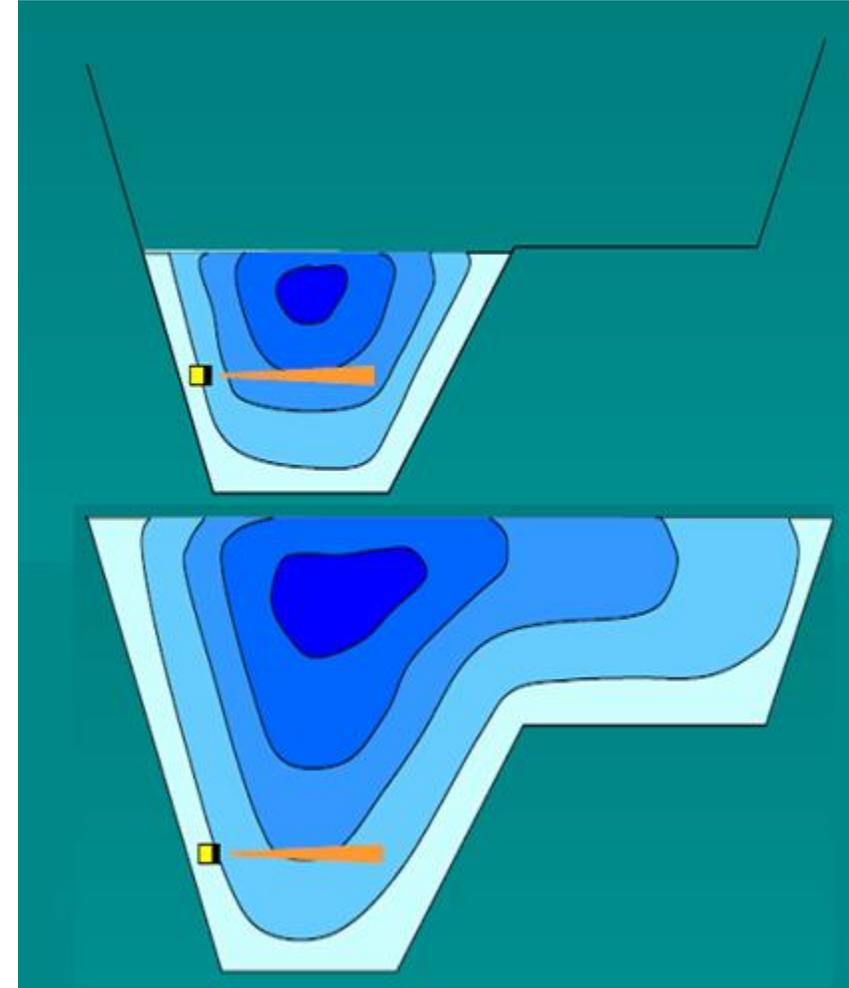
Se eligen relaciones de la siguiente forma:

$$V = a_1 V_i$$

$$V = a_0 + a_1 V_i$$

$$V = a_0 + (a_1 + a_2 y) V_i$$

donde a_0 , a_1 y a_2 son coeficientes de ajuste.





ELEGIR LA TÉCNICA DE AFORO

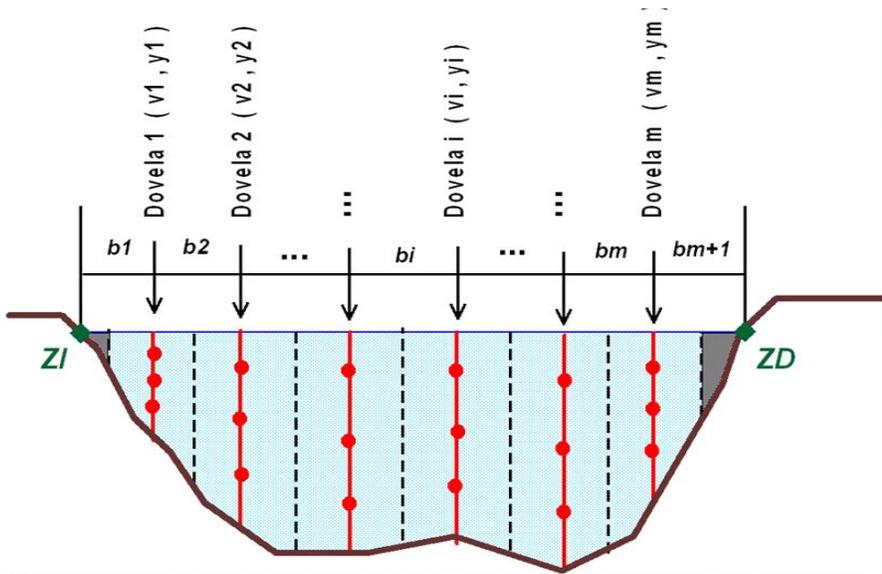
Principales métodos de aforo:

- método "área - velocidad"
- método "tirante - gasto" (con estructura de aforo portátil)
- método basado en la dilución de una sustancia.

Existen pocos métodos, pero si hay muchas técnicas de aforo.

p.e., véase: documento ISO/TR 8363

ELEGIR LA TÉCNICA DE AFORO - MÉTODO "ÁREA - VELOCIDAD"



Se da énfasis al método "área - velocidad" (con dovelas verticales), porque es bastante versátil y de uso común.

- El método consiste en medir el área y la componente longitudinal de la velocidad del agua en dovelas que cubren todo el área hidráulico a lo largo de una sección transversal de canal.
- El gasto en el canal es la suma de los productos entre estas velocidades y las áreas correspondientes.
- Con este método, la literatura indica que se puede estimar el gasto con una exactitud de $\pm 6\%$ [$p = 0.95$], si se cumplen ciertos requisitos.

ELEGIR LA TÉCNICA DE AFORO - MÉTODO "ÁREA - VELOCIDAD"

Procurar

- Tramo de canal con geometría bien definida.
- Tramo recto: más de 10 veces el ancho del canal aguas arriba y más de 5 veces el ancho del canal aguas abajo
- Canal limpio (sin plantas acuáticas, lodo o piedras).
- Líneas de corriente paralelas al eje del canal.

Evitar

- Canal con geometría mal definida: taludes que se derrumban o con plantas, muchas plantas acuáticas, mucho lodo o piedras.
- Sitio donde las líneas de corriente son muy irregulares: remolinos
- Sitio donde es difícil mantener un gasto y un tirante constante.
- Mucho viento: por lo contrario, las condiciones de trabajo serán difíciles y las líneas de corriente en la superficie serán irregulares



MÉTODO "ÁREA - VELOCIDAD"

Otros requisitos para alcanzar una exactitud de $\pm 6\%$ [$p = 0.95$]:

- Definir ≥ 20 dovelas
- Medir la velocidad en ≥ 3 profundidades
- Medir la velocidad con una exactitud mejor que $\pm 2\%$
- Medir el tirante con una exactitud mejor que $\pm 1\%$
- Si el tirante cambia de más de 1%, deberá repetirse el aforo.



ELEGIR LA TÉCNICA DE AFORO - MÉTODO "ÁREA - VELOCIDAD"

Algunas técnicas de aforo basadas en el método "área - velocidad" que pueden usarse son:

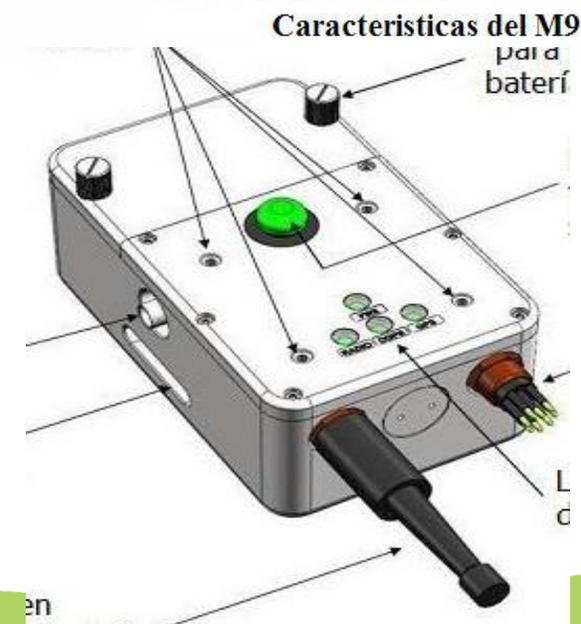
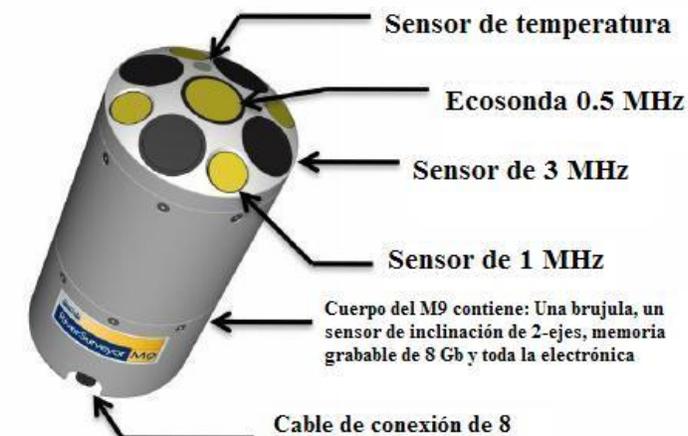
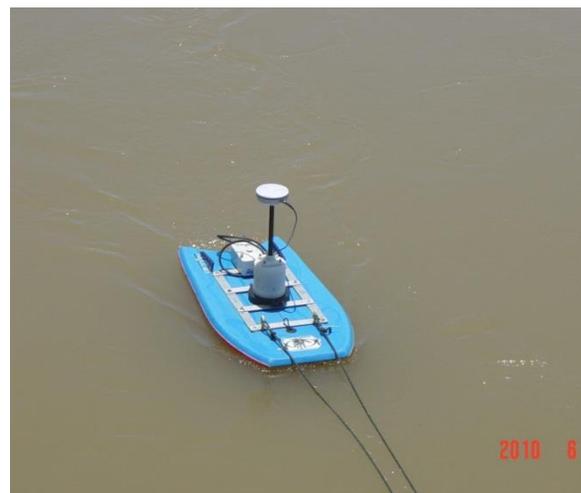
- Aforo con molinete ("Price AA"), cable y escandallo
- Aforo con VD (Velocimetro Doppler)
- Aforo con PD (Perfilador Doppler = "*barquito*")

RIVERSURVEYOR M9 (MARCA SONTEK)

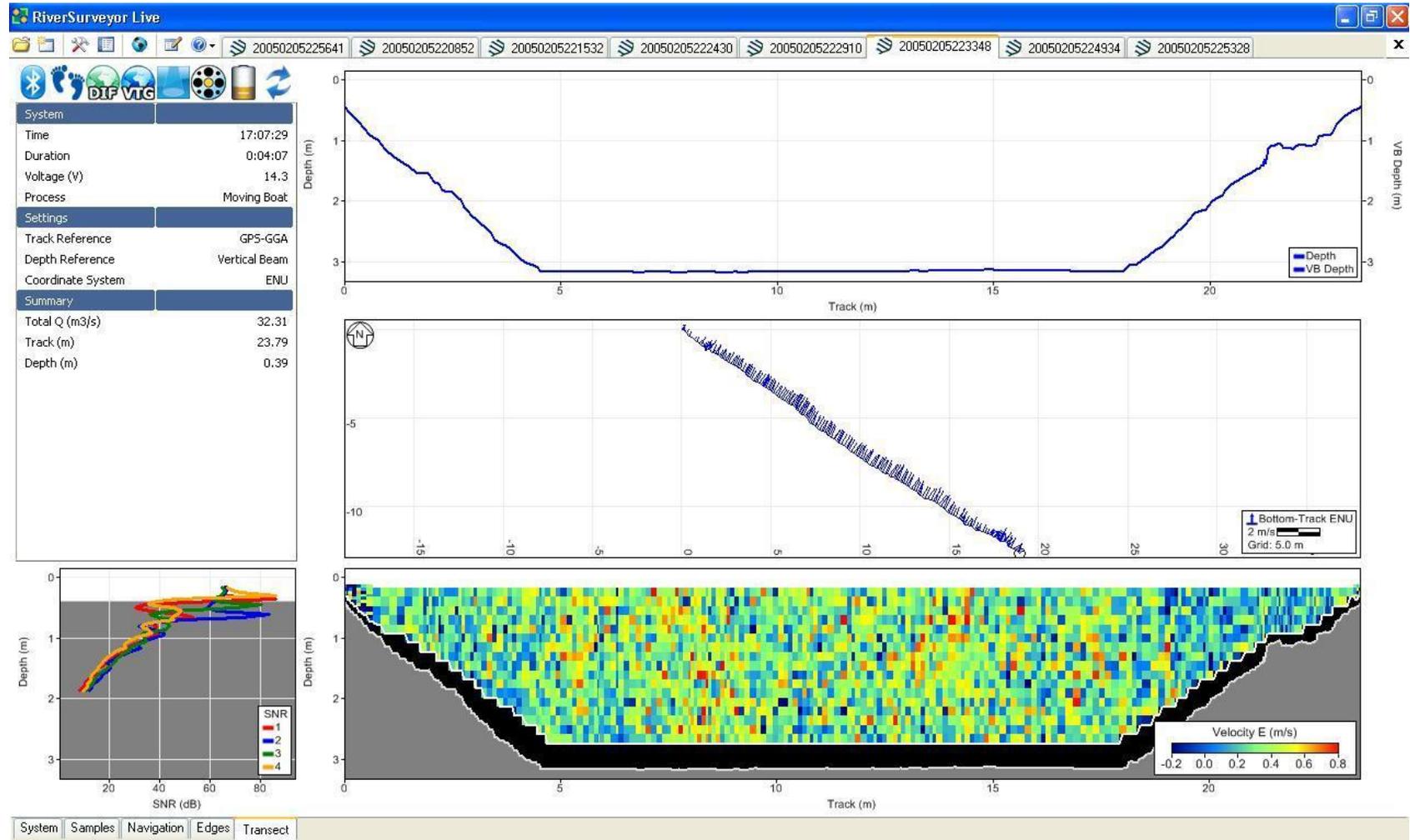
- Es un Perfilador acústico de velocidad basado en el efecto Doppler (ADP) diseñado para medir gastos en ríos y canales.

- El River Surveyor M9 cuenta con componentes modulares e intercambiables.

- El RiverSurveyor puede configurarse y operarse desde una Laptop con una antena de radio o desde un teléfono celular con Blue Tooth.



AFORO DE REFERENCIA



Discharge Measurement Summary

Date Generated: Thu, November 17, 2011

Site Information		Measurement Information	
Site Name	Coria 0+700	Party	
Station Number	1	Boat/Motor	
Location			

System Information		System Setup		Units	
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	m ²
Software Version	0.99a			Discharge	m ³ /s

Discharge Calculation Settings				Discharge Results	
Track Reference	GPS-GGA	Left Method	Sloped Bank	Width (m)	23.57
Depth Reference	Vertical Beam	Right Method	Sloped Bank	Area (m ²)	59.0
Coordinate System	ENU	Top Fit Type	Power Fit	Mean Vel (m/s)	0.548
		Bottom Fit Type	Power Fit	Total Q (m ³ /s)	32.31

Measurement Results																
Tr		Time		Distance			Mean Vel			Discharge					%	
#		Time	Duration	Track	DMG	Width	Area	Boat	Water	Left	Right	Top	Middle	Bottom	Total	Measured
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	23.29	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
		Mean	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
		Std Dev	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
		COV	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=20050205224804.rtc; Tr7=20050205225328.rtc; Tr8=20050205225641.rtc;

Comments



RELACIÓN $V_1 \rightarrow V$ - PREPARAR LA CAMPAÑA DE AFORO

- La calibración se hará para ≥ 6 condiciones de flujo distintas.

Nota: se acordará de una forma de generar gastos que cubren lo más que se pueda el rango de valores esperados (p.e., gasto "pequeño", "mediano" y "alto").

Nota: en la medida de lo posible, se buscará también una forma de generar tirantes que cubren lo más que se pueda el rango de valores esperados (p.e., tirante "pequeño" y "alto").



RELACIÓN $V_1 \rightarrow V$ - PREPARAR LA CAMPAÑA DE AFORO

Antes de iniciar la calibración, debe prepararse el AD:

- Verificar que el AD funcione adecuadamente
- Ajustar el reloj del AD a una referencia (tolerancia ± 60 s)
- Definir la configuración del AD (salinidad del agua, número y tamaño de celdas, duración de una medición, etc.).
- Empezar a adquirir datos con el AD.

Enseguida, debe prepararse el equipo de aforo de “referencia”:

- Ajustar los relojes que se usaran durante los aforos a una referencia (tolerancia ± 60 s).



RELACIÓN $V_i \rightarrow V$ - CAMPAÑA DE AFORO

Secuencia para realizar un aforo con el fin de calibrar un AD:

1. Mantener un flujo constante en el canal
2. Apuntar la hora de inicio del aforo
3. Medir el tirante
4. Estimar el área hidráulica (A_h)
5. Apuntar la velocidad medida por el AD (V_i)
6. Medir el gasto (Q_{ref})
7. Apuntar la hora de fin del aforo
8. Medir el tirante en
9. Apuntar la velocidad medida por el AD (V_i)
10. Calcular la velocidad media ($V_{ref} = Q_{ref} / A_h$)

Q_{ref} , V_{ref} (son obtenidas por los aforos con perfilador doppler)



RELACIÓN $V_i \rightarrow V$ - CAMPAÑA DE AFORO

Si no hay mayor problema, debe repetirse la secuencia de foro por lo menos 6 veces (cambiando el gasto y/o el tirante).

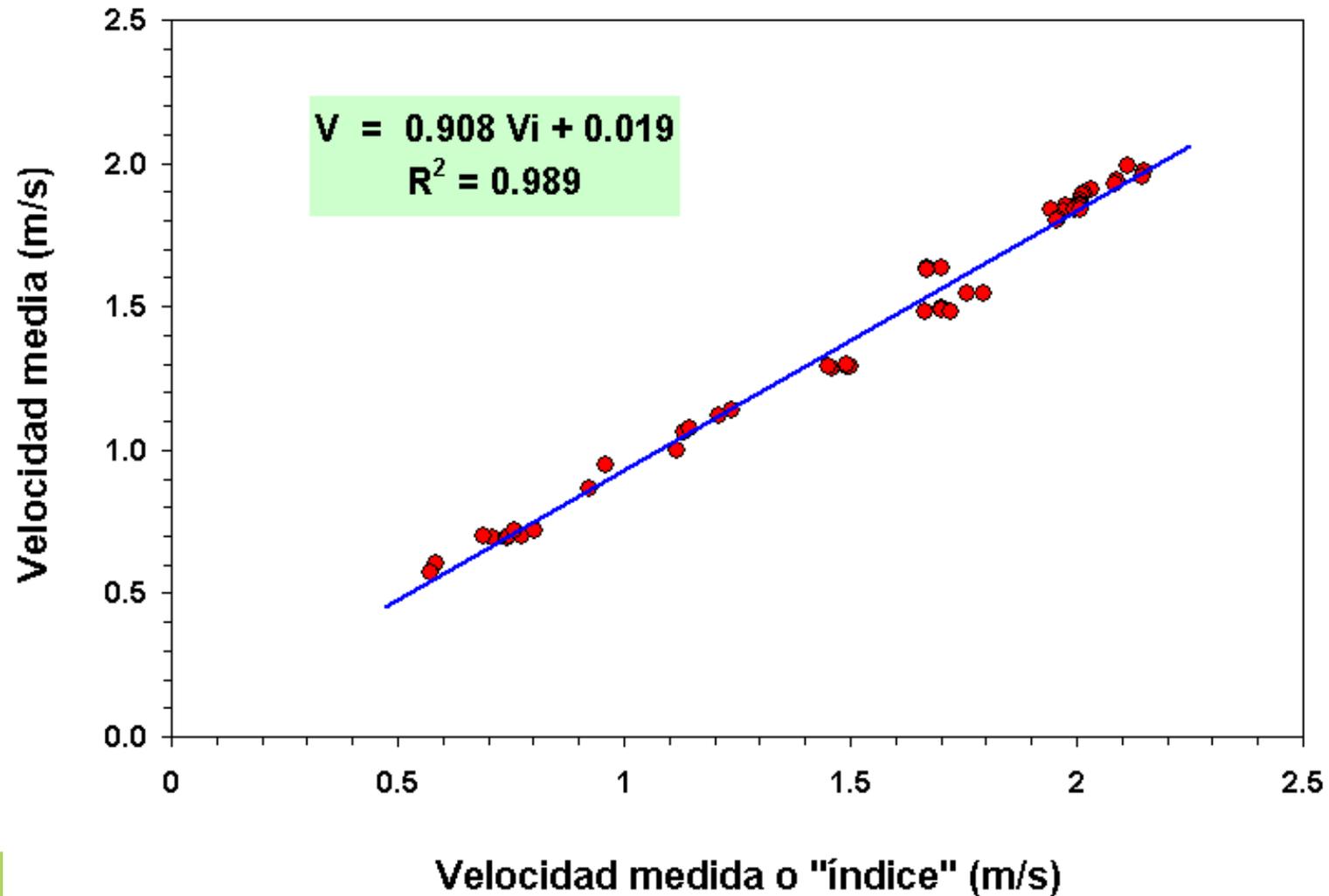
Nota: Debe repetirse un aforo, si el tirante cambia de más de 1% o si la velocidad cambia de más de 3%.

Al final, recuperar los datos adquiridos por el AD, y poner por separado los datos de velocidad medidos durante cada aforo.

En el gabinete, buscar la relación entre la velocidad medida (V_i) y la velocidad media (V_{ref}) que tenga la mejor correlación entre ambas.

Nota: por lo menos, se espera tener un coeficiente de correlación lineal (r^2) mayor a 0.85.

RELACIÓN $V_i \rightarrow V$ - CAMPAÑA DE AFORO





VERIFICACIÓN DE LA CALIBRACIÓN

Secuencia para verificar la calibración de un AD:

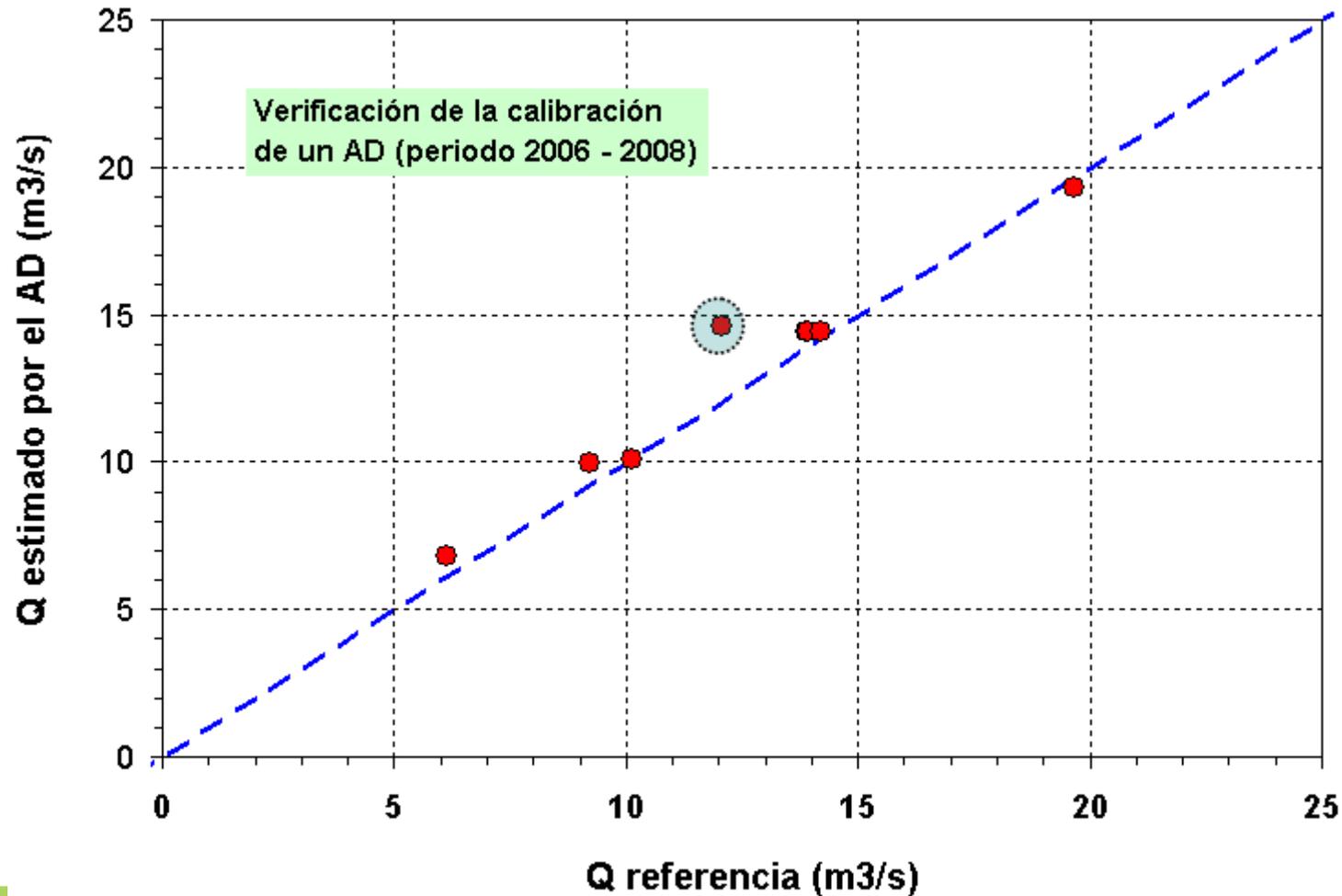
1. Para 2 gastos nuevos (p.e., "pequeño" y "grande"), comparar el gasto estimado por el AD (Q_m) con el gasto de "referencia" (Q_{ref}).
2. Se aceptará no cambiar la calibración del AD si resulta que los gastos nuevos son estimados con una tolerancia de $\pm 9\%$

$$|Q_m - Q_{ref}| / Q_{ref} \leq 0.09$$

3. Por lo contrario, se tendrá que volver a calibrar el AD

Nota: obviamente, en este caso se aprovechará la información obtenida con los 2 gastos nuevos

6. ENTREGAR EL EQUIPO CALIBRADO - VERIFICACIÓN DE LA CALIBRACIÓN





ALCANCES DE LA CALIBRACIÓN

Alcances de la calibración:

- La calibración de un AD puede dejar de ser válida si la geometría del canal cambia → es aconsejable verificar periódicamente la calibración de un AD (p.e., una o dos veces al año).
- Si por algún motivo, se decide cambiar el AD por otro (sin importar que sea de la misma marca y del mismo modelo), se tendrá que calibrar el nuevo aparato.



CONCLUSIÓN

Los AD pueden ser útiles para aforar en sitios que difícilmente pueden instrumentarse con técnicas más tradicionales (como son: AGL y ATT). Pero en este caso, el AD debe calibrarse.

En la actualidad, todavía no existe una norma internacional sobre como llevar a cabo la calibración de un AD. Además, no se puede decir con toda certeza *cuantos puntos* son necesarios para llevar a cabo dicha calibración.

Por lo anterior, calibrar adecuadamente un AD no es una tarea sencilla. Es una operación que puede ser *costosa*, y esto debería tomarse en cuenta cuando se propone instrumentar un canal con un sistema AD. Además, puede ser necesario *verificar* la calibración de un AD, en inclusive repetirla de vez en cuando.



GRACIAS