

Aforador de tiempo de travesía ATT

Principios de operación

2009

Aforador de tiempo de travesía ATT

Principios de operación

Autores

**Ariosto Aguilar Chávez
Serge Tamari**

11 pp. 27.94x 21.59 cm

CONTENIDO

1 Antecedentes	1
1.1 Principio de funcionamiento	1
ATT para canales	2
ATT para tuberías	2
1.2 Configuraciones de aplicación	3
Canales en trayectorias múltiples	3
Tuberías	4
1.3 Recomendaciones de ubicación del equipo	5
Canales:	5
Tuberías:	5
1.4 Normas de referencia	5
2 Componentes del sistema del aforador ATT	6
3 Mantenimientos	7
3.1 Tuberías	7
3.2 Canales	7
4 Verificación del caudal con un aforador ATT	8
5 Operación del sistema	8
Anexo A	9

1 Antecedentes

1.1 Principio de funcionamiento

La medición del caudal con el método acústico de tiempo de travesía se basa en el efecto de la suma vectorial, de la velocidad de propagación de una onda acústica (generalmente ultrasónica) y la velocidad del agua. Esto se logra por el envío de un pulso acústico que viaja hacia aguas arriba (sensor inferior 1, figura 1) y un pulso hacia aguas abajo (sensor superior 2, misma figura) y mediante la medición de los tiempos de traslado de los pulsos en ambas dos direcciones, se obtiene el promedio de la velocidad axial del flujo en la trayectoria donde fueron emitidos los pulsos. En forma práctica, para determinar la velocidad axial media se recomienda aumentar el número de muestras para minimizar el error aleatorio o mejor conocido como precisión. La teoría para el cálculo de la velocidad se puede ver en el anexo A.

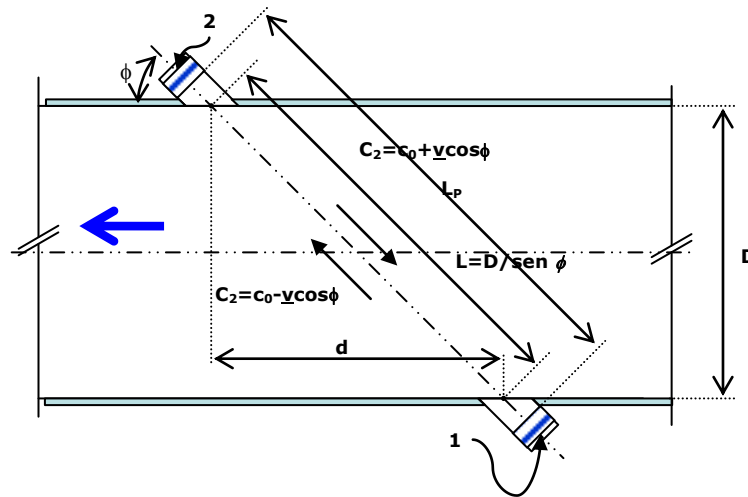


Figura 1 Esquema de un medidor de tiempo de travesía

1.2 Configuraciones de aplicación

Canales en trayectorias múltiples

Los aforadores tipo ATT (Aforador con de sensores de velocidad de tiempo de travesía y uno de nivel), para medir el gasto en puntos de control de la red de distribución. En este documento, se consideran cuatro tipos de ATTN:

- ATT2: sistema ATT con 2 pares de sensores de velocidad
- ATT3: sistema ATT con 3 pares de sensores de velocidad
- ATT4: sistema ATT con 4 pares de sensores de velocidad (foto 2)
- ATT4x2: sistema ATT con 4 pares cruzados de sensores de velocidad

Un sistema ATT de cuatro o más trayectorias se considera de tipo *primario*¹ (similar al sistema AGL), entonces para su uso si se siguen los procedimientos de instalación, no es necesario implementar una campaña de aforos para calibrarlo.



Foto 2 Instalación ATT4 en la CH de Chicoasén (CFE/IMTA, 2006)



Foto 3 Instalación de ATT de un par interno en la presa Ignacio Allende (CONAGUA/IMTA, 2005)

¹ En términos de la Norma IEC-60041 los métodos de aforo *primario* o *absolutos* son: método área-velocidad con molinetes (ISO-748); método de transitorio de presión (Gibson); método de trazadores; medidores de tiempo de travesía; aforadores estandarizados (Parshall, garganta larga; venturi, cresta delgada o gruesa, etc).

Cada sistema de medición es capaz de medir en forma automática y sin interrupción la fecha y la hora, la velocidad del agua entre cada par de sensor ultrasónico de tiempo de travesía y el tirante; y luego calcular la velocidad media, el gasto y el volumen de agua acumulado. La configuración del ATT permite mostrar los datos medidos o calculados en una pantalla, resguardar una parte de los datos en una memoria no volátil ubicada en el sitio, y permitir recuperar la información en el sitio por medio de un interrogador portátil.

Los resultados de verificación de los ATT, elaborado por un instalador acreditado, permiten estimar el gasto real circulante con la siguiente tolerancia (siempre y cuando la velocidad del agua es mayor a 0.05 m/s):

- Sistema ATT2: tolerancia de $\pm 9\%$ [$p = 0.95$]
- Sistema ATT3: tolerancia de $\pm 8\%$ [$p = 0.95$]
- Sistema ATT4: tolerancia de $\pm 6\%$ [$p = 0.95$]
- Sistema ATT4x2: tolerancia de $\pm 5\%$ [$p = 0.95$]

Tuberías

Las configuraciones tipo de los equipos ATT para tuberías se pueden clasificar por la forma de instalación de los sensores y el número de trayectorias, entonces existen medidores por fuera de la tubería “Clamp on” y por dentro de la tubería “Clamp in”.

La configuración de ATT de una trayectoria “Clamp on” en una tubería es la condición de instalación de equipos más común y se puede aplicar para diámetros desde 20mm a 4000mm, este sistema es capaz de medir el gasto circulante, para velocidades desde ± 0.10 m/s a ± 12 m/s, con una tolerancia de $\pm 2\%$ [$p = 0.95$] (foto 4 y 5). La condición de instalación “Clamp in” tiene las mismas características para determinar el gasto circulante en una tubería, pero debido a que se tienen que fijar por dentro de la tubería, entonces el diámetro de instalación de estos equipos es en

conductos de 1500 mm a 8000 mm (foto 3), existe una variante para la instalación de los sensores y esta es sensores “Clamp in” pero instalados haciendo una perforación en la pared de la tubería, pero términos prácticos tienen la misma precisión y versatilidad que los sensores instalados internamente.



Foto 4 ATT de un par externo Presa Francisco I. Madero (CONAGUA, 2003)



Foto 5 ATT de un par externo Presa Las Lajas (CONAGUA, 2003)

Siguiendo el principio de dovelar la sección transversal del canal se puede instalar un equipo ATT de 4 y 4x2 trayectorias en una tubería (foto 2), la calidad de la medición de estos equipos es:

- Sistema ATT: tolerancia de $\pm 2 \%$ [$p = 0.95$]
- Sistema ATT4: tolerancia de $\pm 1 \%$ [$p = 0.95$]
- Sistema ATT4x2: tolerancia de $\pm 0.5 \%$ [$p = 0.95$]

1.3 Recomendaciones de ubicación del equipo

Canales:

Los requerimientos mínimos del sitio de instalación de un ATT en un canal son:

- El tramo donde se instalará el sistema debe ser de sección regular y con flujo uniformizado;
- Para condiciones de alta velocidad del flujo se debe evitar las zonas en donde se tengan mezclas de aire-agua;
- La presencia de altas concentraciones de sedimentos puede producir deficiencias en la medición de la velocidad del agua con los sensores de tiempo de travesía, y
- La calidad de la medición de la velocidad está en función directa del procedimiento de instalación de los sensores de tiempo de travesía, así como la estimación de la curva áreas elevaciones.

Tuberías:

Los requerimientos mínimos del sitio de instalación de un ATT en una tubería son:

- El equipo debe estar instalado en un tramo recto de al menos diez veces el diámetro, no debe haber en este tramo válvulas, mamparas o bridas;
- Se debe verificar la posibilidad de no tener flujo secundario (acción muy difícil de evaluar con una simple inspección);
- El sitio recomendable de instalación es seis veces el diámetro hacia aguas abajo y cuatro hacia aguas arriba, y
- La sección transversal de la tubería no debe variar en 0.1% del diámetro medio en un tramo comprendido entre la sección de instalación del equipo y un diámetro hacia arriba y abajo.

Nota: La calidad de la medición de un equipo puede ser afectada por un alto contenido de sedimentos (canales y tuberías), deterioro de la tubería (presencia de óxido) y recubrimientos internos y externos instalados con un mal control de calidad.

1.4 Normas de referencia

ISO 6416: 2004 (E) - Hydrometry –Measurement of discharge by the ultrasonic (acoustic) method.

IEC 60041: 1991- Field acceptance tests to determine the hydraulic performance of hydraulic turbines, storage pumps-turbines.

2 Componentes del sistema del aforador ATT

Los componentes del sistema de medición ATT para tuberías y canales se pueden ver en la tabla siguiente:

Componente		Función	Elementos asignados al componente
1	Medidor	<ul style="list-style-type: none"> • Obtener la información para poder estimar el gasto 	Sensores con sus sujetadores
2	Cableado	<ul style="list-style-type: none"> • Conducir la señal de los sensores a la unidad electrónica • Conducir la señal de la unidad electrónica a la pantalla y a la memoria no volátil 	Cables con sus conectores y conductos de protección
3	Unidad electrónica	<ul style="list-style-type: none"> • Recibir los datos enviados por el medidor, • Procesar los datos • Permitir la configuración del sistema por medio de un interrogador portátil • Transferir datos a la pantalla • Transferir datos a la memoria no volátil • Contar con un puerto de salida para telemetría 	Tarjeta(s) de electrónica con su caja, conectores y salidas de comunicación necesarias.
4	Pantalla	<ul style="list-style-type: none"> • Desplegar los datos enviados por la unidad electrónica. 	Pantalla con su caja.
5	Memoria no volátil	<ul style="list-style-type: none"> • Almacenar los datos enviados por la unidad electrónica • Permitir la transferencia de los datos almacenados a un interrogador portátil 	Tarjeta(s) de electrónica con su caja, conectores y salidas de comunicación necesarias.
6	Unidad de telemetría	<ul style="list-style-type: none"> • Recibir los datos enviados por la unidad electrónica y enviarlos a una página Web. 	Véase Anexo [X]
7	Alimentación eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> • Suministrar la energía necesaria para el funcionamiento adecuado de todos los componentes eléctricos y electrónicos del sistema. 	Baterías, control de carga de las baterías, celda(s) solar(es), cables eléctricos, supresor de picos, fusibles con sus clemas, caja para alojar a las baterías, según sea el caso.
8	Gabinete	<ul style="list-style-type: none"> • Alojar a todos los componentes del sistema de medición que no pueden quedar expuestos a la intemperie. • Alojar las baterías de la alimentación eléctrica (*) 	Caja(s) y rieles
9	Interrogador portátil	<ul style="list-style-type: none"> • Configurar la unidad electrónica • Recuperar los datos de la memoria no volátil 	Véase Anexo [L1]

3 Mantenimientos

Los equipos de ATT para canales y tuberías tienen la característica que una vez ubicados y alineados los sensores, estos no requieren un mantenimiento intensivo.

3.1 Tuberías

En tuberías con instalación ATT externo (clamp on) la recomendación de mantenimiento de los sensores es sustituir el gel que se ubica entre el sensor y la tubería, acción que debe realizarse en un periodo de al menos un año



Figura 6 Base sujeción con un sensor (en color rojo)

La configuración del equipo está definida por personal calificado, por lo tanto, no es recomendable hacer cambios durante la operación del equipo.

3.2 Canales

En el caso de canales los ATT necesitan que el canal mantenga una limpieza adecuada, con lo cual se debe eliminar la maleza en el sitio de instalación y además verificar con cierta frecuencia que no se tenga una acumulación de maleza y/o sedimento en el fondo. Cuando se tenga una acumulación de sedimento mayor a 5 cm se debe proceder a su eliminación, por que esto introduce un error sistemático en la determinación del caudal.

En el caso de los sensores, estos se deben limpiar al menos la superficie de emisión de señal, la frecuencia debe hacerse por lo menos una vez al año (ver foto 5)



Foto 6 y 7 Sensor de tiempo de travesía

4 Verificación del caudal con un aforador ATT

El equipo ATT de cuatro pares en adelante, una vez instalado y verificado su funcionamiento, este se constituye como un equipo de medición absoluta o primaria, entonces, para mantener esta característica en la calidad de la medición, es suficiente con sólo hacer los mantenimientos de limpieza del canal y transductores.

La modificación en la programación del equipo ATT, por personal no acreditado para tal uso, puede provocar que se tengan errores graves en la medición del caudal. No obstante lo anterior, si existiera una duda en el caudal circulante se puede realizar una prueba de verificación. Esta prueba, debe ser con un procedimiento que sea acorde con la precisión y exactitud del equipo ATT4. Esto implica que una prueba de aforo clásico (un solo punto a 0.6 del tirante y menos de 20 dovelas en la sección) puede tener discrepancias en la verificación del caudal, por que se puede utilizar la prueba de tres puntos en la vertical (0.2, 0.6 y 0.8 el tirante) y 20 dovelas mínimo de aforo y por supuesto que el molinete tenga la curva de calibración vigente.

5 Operación del sistema

Los equipos ATT están configurados a trabajar en forma continua y desplegar los datos con un promedio de al menos cinco minutos, en este intervalo se actualizaran en la pantalla de datos la velocidad en cada sensor, el nivel del agua, el gasto y el volumen acumulado.

Dependiendo del nivel de operación es común que la medición de velocidad en los transectos deje de operar, esto es normal ya que los sensores se encuentran fuera del agua. Una vez que aumente el nivel de operación, el equipo ATT está programado para reinicializar la medición del par transductores que se encuentren por abajo del agua.

Si por alguna circunstancia un par de sensores deja de medir y estos se encuentran sumergidos con un nivel de agua mayor a 0.30m, entonces se tiene que verificar lo siguiente:

- Verificar que no existan obstáculos o maleza que impida la comunicación entre los sensores,
- Verificar que los cables de comunicación de la unidad electrónica y los sensores no tengan un daño físico.
- Verificar que los sensores no hayan sido golpeados y se encuentren con daño físico permanente.

En caso de que se tenga un daño físico al cableado o sensores favor de reportar la falla al IMTA, para definir la magnitud del daño y proceder a las acciones pertinentes para su restablecimiento.

En el caso de que el equipo deje de funcionar en su totalidad, se debe utilizar las recomendaciones en el anexo definido de verificación de voltaje y suministro de energía.

Anexo A

Determinación de la velocidad axial de equipo tiempo de travesía

La velocidad del pulso de aguas arriba del sensor inferior al superior (figura 1) se evalúa como:

$$t_1 = \frac{L}{c_o - \bar{v} \cos(\phi)} \quad (1)$$

$$t_2 = \frac{L}{c_o + \bar{v} \cos(\phi)} \quad (2)$$

donde t_1 es el tiempo que tarda el pulso sónico en viajar del sensor 1 a 2; L , es la distancia entre el sensor 1 y 2 (también conocida como distancia de interrogación); c_o , es la velocidad con viaja el sonido en el agua (los valores se pueden ver en la tabla A.1); v , es la velocidad media axial del agua en sitio de medición, y ϕ , es el ángulo entre el plano de sensor y la normal al tubería.

Despejando de la ecuación 1 y 2 la celeridad de onda

$$c_o = \frac{L}{t_1} + \bar{v} \cos(\phi) \quad (3)$$

$$c_o = \frac{L}{t_2} - \bar{v} \cos(\phi) \quad (4)$$

Igualando las ecuaciones 3 y 4,

$$\frac{L}{t_1} + \bar{v} \cos(\phi) = \frac{L}{t_2} - \bar{v} \cos(\phi) \quad (5)$$

Despejando de la ecuación 5 la velocidad axial media

$$\bar{v} = \frac{L}{2 \cos(\phi)} \left(\frac{1}{t_2} - \frac{1}{t_1} \right) = \frac{L}{2 \cos(\phi)} \frac{\Delta t}{t_1 t_2} \quad (6)$$

En la expresión anterior el término $\Delta t = t_1 - t_2$ es la diferencia de los tiempos de viaje entre las dos ondas o también conocido como diferencial de tiempo de travesía.

Para estimar el gasto o caudal en una sección transversal de un canal, se aplica el principio de continuidad y su expresión más general se puede estimar con la siguiente ecuación (7), que no es más que multiplicar el área de la sección transversal del canal por la velocidad media, entonces:

$$Q \equiv \frac{1}{A_s} \int v \cdot n ds \quad (7)$$

Debido a la complejidad de medición que se tendría que instrumentar para resolver el gasto con la ecuación (7), se ha propuesto un método aproximado para resolverlo. Este es conocido como área-velocidad, que es de amplia aplicación para determinar el caudal con molinetes, entonces se propone:

$$Q = \frac{1}{A_s} \int v \cdot n ds \approx \sum_{i=1}^n q_i = \sum_{i=1}^n \bar{v}_i a_i \quad (8)$$

En la ecuación (8) v_i es la velocidad media de la dovela i , a_i es la sub-área o dovela (el tipo de seccionamiento para molinetes se puede ver la figura A.1 y para el caso de medidores de tiempo de tránsito en la figura A.2).

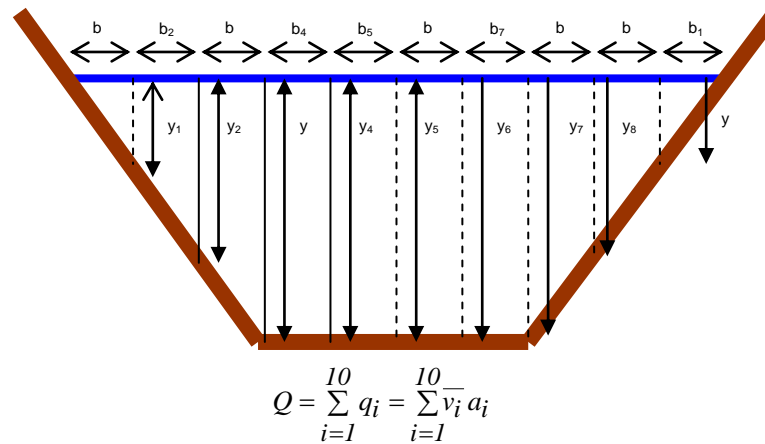


Figura A.1 Dovelas para la medición por el método de área velocidad con molinetes

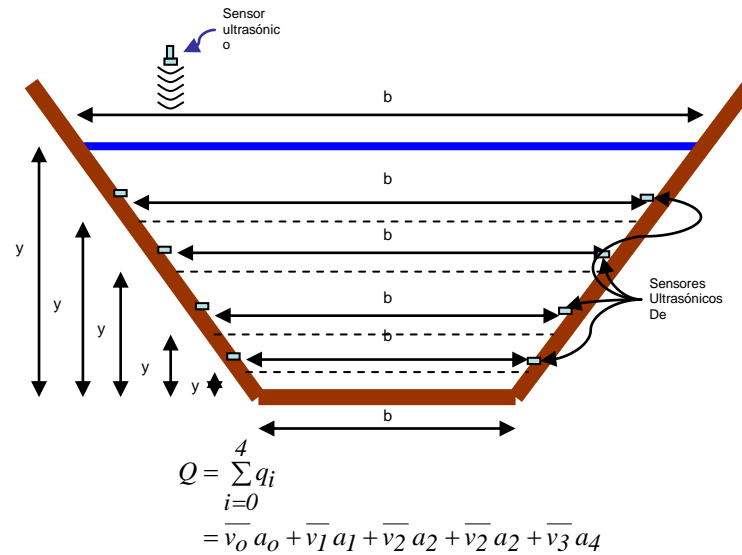


Figura A.2 Dovelas para medición por el método de área-velocidad utilizando sensores de tiempo de travesía

Temperatura del agua °C	Velocidad del sonido en el agua (m/s)
0	1402
10	1447
20	1482
30	1509
40	1529

Tabla A.1 Valores de la velocidad del sonido en el agua a diferentes temperaturas.