

ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE EXPANDIDA DE UN EQUIPO DE TIEMPO DE TRAVESÍA

Ariosto Aguilar Chávez¹, Edwin Jonathan Pastrana² y Ángel Mendoza González²

¹ Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac No. 8532, Progreso, Jiutepec, Morelos, México. C.P. 62550

² Posgrado en Ingeniería Civil/Hidráulica-UNAM-Campus Morelos. Paseo Cuauhnáhuac No. 8532, Progreso, Jiutepec, Morelos, México. C.P. 62550

E-mail: aaguilar@tlaloc.imta.mx, edwin.pastrana@posgrado.imta.edu.mx, angel.mendoza@posgrado.imta.edu.mx

Introducción

En las instalaciones de las redes de agua potable o de distribución a presión en una de riego para controlar el flujo es necesario instalar un equipo de medición de flujo o gasto. En la literatura existen diversos equipos y métodos para aforar en una tubería a presión (Tamari, y otros, 2010). Para medir el gasto en diámetros pequeños $DN < 800mm$ la tecnología más recomendada por la norma ISO-4064-1 (2014) son medidores de flujo montados en un carrete bridado tipo mecánico, electromagnético o tiempo de travesía. La traza de estos equipos es determinada en un banco de medición y prueba bajo la norma ISO/IEC 170125 (2017), pero una vez que está instalado el equipo es necesario realizar una prueba de verificación en campo.

La prueba de verificación de campo en una tubería a presión es posible realizarla por un método volumétrico o con un equipo de presión diferencial de inserción con es un tubo Pitot, o un equipo de tiempo de travesía montado en forma manual en la parte exterior de la tubería (BS 8452, 2010).

En este trabajo se presenta un análisis de incertidumbre expandida en la determinación del gasto en una tubería de diámetro pequeño, con dos metodologías para determinar la incertidumbre, con un modelo de valores extremos y por simulación, ambos siguiendo las recomendaciones de la *Guide to the expression of uncertainty in Measurement* (BIPM/IEC/IFCC/ISO/IUPAC/IUPAP/OIML, 1995).

Modelo para determinar el gasto con un equipo de ultrasonido de tiempo travesía (UTT)

La función de estado para la determinación de gasto con un equipo UTT es:

$$Q = f(K_h, V(L, P, \Delta t, t_1, t_2), D) \quad [1]$$

donde $Q = f(\{X_i\}) = f(K_h, \Delta t, t_1, t_2, D, P, L)$ es el gasto, en m^3/s , X_i son las magnitudes de entrada, $i = 1, \dots, N$, N es el número de magnitudes de entrada, K_h es una constante de corrección en función del número de Reynolds, A es el área de la sección transversal de la tubería, en m^2 , D es el diámetro externo de la tubería, en m , L es la longitud de interrogación, en m , P es la distancia de interrogación, en m , Δt es el diferencial de tiempo de travesía, en s , t_1 es el tiempo de travesía hacia aguas arriba, en s (trayectoria de \overline{ab} , Figura 1), t_2 es el tiempo de travesía hacia abajo (trayectoria de \overline{ba} , Figura 1), en s .

El principio de medición del equipo UTT se muestra en la figura 1, y el modelo para determinar la velocidad es $V = L^2/2P \Delta t/(t_1 t_2)$ en m/s y el desfase de traslación de la señal acústica, principio físico de medición, entre los sensores es $\Delta t = t_1 - t_2$ en s (BS 8452, 2010).

Una vez definido el modelo de estado y las magnitudes de entrada, es necesario identificar los factores que tienen una afectación significativa en la determinación del mensurando, denominadas fuentes de incertidumbre y por lo tanto no forman parte del mismo.

Las fuentes de incertidumbre identificadas en la medición de flujo con el UTT son:

- Error en la instalación del equipo
- Error del instrumento medición
- Error en la apreciación del observador
- Incertidumbre del patrón

En la literatura se distinguen dos métodos principales para la evaluación de las fuentes de incertidumbre (BIPM, 2008): El *Método de Evaluación Tipo A* está basado en un análisis estadístico de una serie de mediciones. El *Método de Evaluación Tipo B* comprende todas las demás maneras de estimar la incertidumbre, es decir, por medios distintos al análisis estadístico.

Incertidumbre expandida (expansión en serie de Taylor) IE1

Considerando que las variables de la función de estado [1], representan una muestra experimental y que a esta es posible obtener una medida de tendencia central y un valor de dispersión. Entonces la incertidumbre expandida de la función [1] se representa por siguiente expresión:

$$E_Q^2 = \sum_{i=1}^N E_i^2 = \sum_{i=1}^N \left| \frac{\partial f}{\partial x_i} \right| \sigma_i^2 \quad [2]$$

donde $\left| \frac{\partial f}{\partial x_i} \right|$ es la sensibilidad y σ_i^2 , la dispersión de la dispersión de los datos del mensurando.

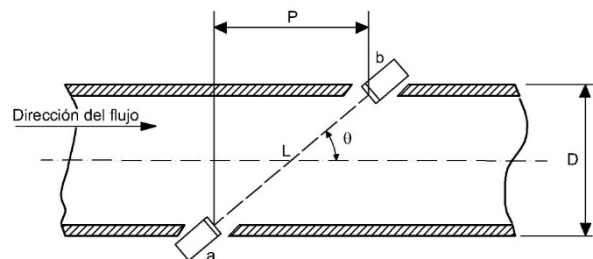


Figura 1.- Geometría general de la trayectoria del método Z para la medición de la velocidad con un Tiempo de Tránsito Acústico.

Incertidumbre expandida por medio de simulación (método de Montecarlo) IE2

Otra forma para determinar la incertidumbre combinada E_Q^2 es por simulación, en este caso los valores de $\left| \frac{\partial f}{\partial x_i} \right| \sigma_i^2$ en la ecuación (2) se sustituyen, por la siguiente expresión:

$$Z = \frac{1}{2} [y(x_1, \dots, x_i + u(x_i), \dots, x_N) - y(x_1, \dots, x_i - u(x_i), \dots, x_N)] \quad [3]$$

En este caso E_i se evalúa numéricamente al calcular los valores de E_Q y esta se determina con el cambio de $x_i + u(x_i)$ y $x_i - u(x_i)$. (BIPM/IEC/IFCC/ISO/IUPAC/IUPAP/OIML, 1995).

Pruebas de laboratorio y estación experimental

Los modelos para determinar la incertidumbre se aplicaron en un desarrollo experimental en la tubería de alimentación del canal experimental de pendiente variable del laboratorio de Hidráulica del Posgrado en Ingeniería de la UNAM, campus IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua), las características de la tubería son las siguientes:

Material de la tubería: PVC
Perímetro exterior P_e : 360 mm
Diámetro interior D : 105,1 mm
Espesor de pared e : 6,45 mm

Para tener un elemento de comparación en la medición del gasto se instaló un sistema trazable en la medición, el cual consiste en un vertedor triangular calibrado según la recomendación de la ISO 1438 (2008), y la medición de nivel en vertedor se realizó con una escala con una resolución 0,1 mm. Para los fines de la prueba se consideró el caudal medido en el vertedor como la referencia primaria metrológica de gasto $\pm 0,5\%$.

El equipo UTT de medición fue un ultrasónico de tiempo de travesía marca Panametrics modelo 2PT-868, con un par de sensores tipo Clamp-On de 1 MHz. Los arreglos en el montaje del equipo fueron Z, V, N y W (1, 2, 3 y 4 trayectorias, ver figura 2). El criterio de aceptación en la instalación de sensores fue verificando la velocidad del sonido del traslado de la onda acústica en función de la temperatura y salinidad del agua. El tiempo de muestreo de velocidad y parámetros fue 1 980 a 2 340s y la frecuencia de toma de muestra 0,20 Hz.

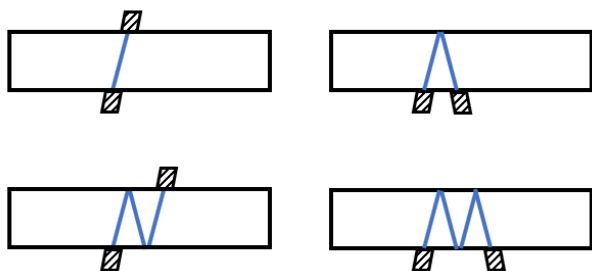


Figura 2.- Arreglo de sensores para trayectorias Z, V, N y W, respectivamente.

Análisis y discusión de resultados

Los resultados de la medición se muestran en la Tabla 1 y son los valores de incertidumbre que incluye el error aleatorio (por los dos métodos de cálculo) y la incertidumbre global.

Tabla 2.- Incertidumbre en la determinación del caudal, UTT gasto con el equipo UTT; Q_v gasto con el vertedor triangular de referencia; EA, Error aleatorio; ES error sistemático, I, Incertidumbre.

Arreglo	Gasto [l/s]		Error (%)			I (%)
	UTT	Q_v	EA		ES	
			E_Q	Z		
Z	38,61	37,2	5,72	5,71	3,93	6,93
V	38,23	37,2	3,57	3,60	2,89	4,59
N	38,44	37,2	2,93	2,94	3,47	4,54
W	37,76	37,2	2,66	2,68	1,62	3,13

Para la elaboración de la simulación Z los términos de x_i se generaron con series de datos de números aleatorios normalizados independientes, con una muestra de longitud de 10 000 valores, aplicado a todas las variables de la función de estado.

Conclusiones

En este trabajo se logró contar con una estación experimental que

permite realizar pruebas repetitivas y reproducibles, con un valor de gasto de referencia en el rango de incertidumbre $\pm 0,5\%$.

Para el uso de un equipo UTT en una tubería a presión de diámetro pequeño ($DN < 100mm$) es recomendable realizar una instalación de múltiples trayectorias (arreglo N o W), para estar en el mismo rango de incertidumbre ($< 5\%$), tal como indica la norma BS 8452 (2010), con lo se tendría un equipo adecuado para verificar el funcionamiento de equipo montado en carrete, siempre y cuando se cumplan los requerimientos básicos de instalación y uso de equipo UTT.

Bibliografía

BIPM, I., IFCC, I., IUPAC, I., & ISO, O. 2008. *Evaluation of measurement data-guide for the expression of uncertainty in measurement*. s.l. : JCGM 100:2008, 2008.

BIPM/IEC/IFCC/ISO/IUPAC/IUPAP/OIML. 1995. *Guide to the expression of uncertainty in measurement*. 1995.

BS 8452. 2010. *Use of clamp-on (externally mounted) ultrasonic flow-metering techniques for fluid applications- Guide*. s.l. : BSI Standards Publications, 2010.

ISO 1438. 2008. *Hydrometry-Open Channel Flow Measurement using Thin Plate Weirs*. s.l. : International Organization for Standardization, 2008.

ISO 4064-1. 2014. *Water meters for cold potable water and hot water - Part 1: Metrological and technical requirements*. s.l. : International Standard, 2014.

ISO/IEC 17025. 2017. *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*. Ginebra : International Organization for Standardization, 2017.

Tamari, Serge y Aguilar Chávez, Ariosto. 2010. *Aforo en canales y presas: Selección de una técnica*. México : Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2010.