



## III CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEH 2017

Puebla, Pue., del 28 al 30 de noviembre de 2017

### DETERMINACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE MEDIDA DE UN EQUIPO DE TIEMPO DE TRAVESÍA

Edwin Jonathan Pastrana<sup>1</sup>; Ángel Mendoza Golzález<sup>1</sup>; Ariosto Aguilar Chávez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Posgrado en Ingeniería Civil/Hidráulica-UNAM-Campus Morelos. Paseo Cuauhnáhuac No. 8532, Col. Progreso, Jiutepec, Morelos, México. C.P. 62550

[edwin.pastrana@posgrado.imta.edu.mx](mailto:edwin.pastrana@posgrado.imta.edu.mx) – (01) 777 564 5034 (\*Autor de correspondencia)

<sup>2</sup>Subcoordinador de Posgrado, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac No. 8532, Col. Progreso, Jiutepec, Morelos, México. C.P. 62550

#### Resumen

En este trabajo se presenta una metodología para determinar la incertidumbre y trazabilidad de un equipo de medición de caudal ultrasónico de tiempo de travesía (TT), montado sobre una tubería circular con un flujo de agua a conducto lleno con presión relativa positiva. Para determinar la trazabilidad del equipo TT se utilizó como sistema de referencia un aforador de cambio de régimen triangular con un ángulo de 90°, instalado según lo indicado en el apartado 10 de la norma ISO 1438:2008. El modelo de incertidumbre desarrollado para el equipo TT considera una función de estado de las variables y magnitudes de entrada que participan en la determinación del mensurando, siendo en este caso el flujo y caudal que circula en la tubería. En el proceso para determinar la incertidumbre expandida se considera un factor de cobertura  $k = 2$  y un nivel de confianza  $p = 0.95$ . Los datos obtenidos del proceso experimental de las variables obtenidas del equipo TT presentan una incertidumbre tipo A y se pueden representar con una distribución normal, a diferencia de las variables de instalación del equipo, que son tipo B. El equipo TT fue instalado en una tubería de 4" de diámetro en el laboratorio de hidráulica del Posgrado UNAM campus IMTA, con un arreglo de 1, 2, 3 y 4 trayectorias, también denominadas "Z", "V", "N" y "W" respectivamente. Los resultados de la incertidumbre del equipo TT fueron 7.02%, 4.48%, 4.33% y 3.21%, mostrando un decremento en la incertidumbre a medida que se incrementa el número de trayectorias.

**Palabras clave adicionales:** trazabilidad, incertidumbre expandida, factor de cobertura, flujo en tuberías.



## **Introducción**

La medición de flujo, gasto y volumen que circula en una tubería circular a presión es de gran utilidad en el manejo y gestión del agua para uso público urbano, industrial y en el sector hidroagrícola. Una ventaja de este tipo de instalación de para su medición es que el dominio del campo de flujo es acotado por el confinamiento de la tubería, en comparación con el flujo a superficie libre.

De acuerdo con Tamari & Aguilar (2010), en la práctica existen alrededor de ocho métodos (o conjuntos) para determinar el flujo y gasto en las tuberías, entre ellas: área-velocidad, diferencial de presión y volumétricos, velocidad-pendiente de energía, y cambio de régimen, aunque los dos últimos grupos solo se aplican a flujos a superficie libre. En cada método se tienen diferentes técnicas o formas particulares de aplicación, y la selección de la técnica depende de por lo menos tres aspectos, que son: la variable a medir (velocidad o gasto), el valor máximo de incertidumbre aceptable y el costo de la implementación. Una vez establecidos estos requisitos se está en posibilidad de diseñar e implementar la estación de medición (Tamari & Aguilar Chávez, 2010).

En este trabajo se analizó el método área-velocidad para determinar el gasto y volumen en una tubería circular a conducto lleno a presión. Este método consiste en estimar en forma continua una velocidad axial en un segmento de la tubería y después ajustar esta velocidad media en la sección transversal, calculando posteriormente el gasto y volumen que se mueve en forma normal a la sección transversal. La técnica utilizada para estimar el flujo o la velocidad axial es mediante un equipo de medición ultrasónico de tiempo de travesía (TT), montado sobre una tubería circular con flujo de agua a conducto lleno con presión relativa positiva. La estación experimental para medir el flujo en tubería con un equipo TT, incluye un sistema para verificar la trazabilidad, el cual consiste en un aforador de cambio de régimen triangular con un ángulo de 90°, instalado según el apartado 10 de la norma ISO 1438:2008. Por lo tanto, los resultados que se obtienen del proceso de medición del equipo TT se analizaron estadísticamente, evaluando el sesgo respecto al equipo de referencia utilizado (aforador triangular).

## **Materiales y métodos**

### **Estimación de la incertidumbre de medida**

La incertidumbre es un valor o una magnitud que caracteriza la contribución de cada variable que interviene en un proceso de medición. En el caso del presente trabajo dichas variables serían los datos geométricos de la tubería, los valores de velocidad que aporta el equipo de TT y la influencia que tienen estos en la estimación del flujo, gasto y volumen totalizado que circula en una tubería.

En cada método de aforo se tiene una técnica particular para la medición de gasto, así como una incertidumbre de medida que se caracteriza por la dispersión de los valores. Lo anterior es bajo el supuesto de que el gasto (mensurando) puede caracterizarse por un valor esencialmente único. A partir de esto, la estimación de la incertidumbre tiene por objetivo atribuir al mensurando un intervalo de valores razonables (JCGM 200,



2008). A partir del análisis de incertidumbre de medida es posible obtener la trazabilidad relacionando el resultado de una medición con un patrón de referencia, y esto puede contribuir a establecer un parámetro de calibración (JCGM 200, 2008).

En el método de medición con el equipo de TT, las fuentes de incertidumbre tienen su origen en las características geométricas de la tubería, la técnica de medición de flujo, la resolución del equipo y, la instalación del equipo (entre otros aspectos). Lo anterior genera un error de medición, expresado como la diferencia entre el resultado de la medición y el valor verdadero de lo que se mide. Por lo tanto, la determinación de la incertidumbre en la medición es de suma importancia, ya que se requiere cuantificar los efectos de las variables involucradas en el proceso de medición sobre la estimación del mensurando (BIPM, 2008).

En este documento se utilizó como referencia para la determinación de la incertidumbre de medición lo indicado en la Guía para la Estimación de la Incertidumbre de Medición, también conocido como método GUM (BIPM, 2008; BIPM/IEC/IFCC/ISO/IUPAC/IUPAP/OIML, 1995). De acuerdo al método GUM se deben de seguir los siguientes pasos:

- a) Establecer el modelo matemático,
- b) Identificar las fuentes de incertidumbre,
- c) Evaluar de las fuentes de incertidumbre,
- d) Determinar de la incertidumbre combinada de cada variable,
- e) Determinar de la incertidumbre expandida de cada variable, y
- f) Obtener el resultado de la incertidumbre del mensurando.

El modelo matemático para la determinación de caudal para un equipo de tiempo de travesía acústico (ATT) es (BS 7965:2013, 2013):

$$Q = f(K_H, V(L, P, \Delta t, t_1, t_2), A(D)) \quad (1)$$

Donde  $V$  es la velocidad media axial, en  $m/s$ , y  $A$  es el área de la sección transversal de la tubería, en  $m^2$ , y se determinan con las siguientes expresiones:

$$V = \frac{L^2 \Delta t}{2P t_1 t_2} \quad (2)$$

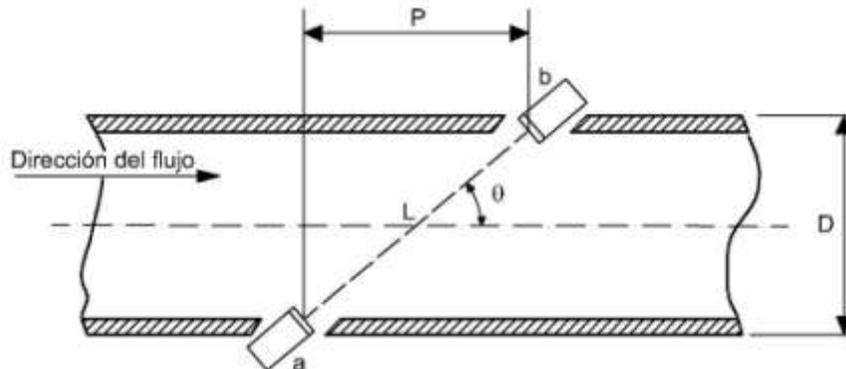
$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (3)$$

Sustituyendo las ecuaciones (2) y (3) en (1) se obtiene:

$$Q = K(R_e) \frac{\pi D^2 L^2 \Delta t}{4 2P t_1 t_2} \quad (4)$$



donde  $Q = f\{X_i | X_i = K_h, \Delta t, t_1, t_2, D, P, L\}$  es el caudal, en  $m^3/s$ ,  $X_i$  son las magnitudes de entrada,  $i = 1, \dots, N$ ,  $N$  es el número de magnitudes de entrada,  $K(R_e)$  es un coeficiente de corrección de Reynolds,  $D$  es el diámetro externo de la tubería, en  $m$ ,  $L$  es la longitud de interrogación, en  $m$ ,  $P$  es la distancia de interrogación, en  $m$ ,  $\Delta t$  es el diferencial de tiempo de travesía, en  $s$ ,  $t_1$  es el tiempo de travesía hacia aguas arriba, en  $s$ ,  $t_2$  es el tiempo de travesía hacia abajo, en  $s$ . Para tener una mejor visualización de las variables que intervienen en la determinación del caudal con un equipo TT se puede ver la figura 1.



**Figura 1.** Geometría general de la trayectoria del método Z para la medición de la velocidad con un Tiempo de Tránsito Acústico (ATT).

Una vez definido el modelo matemático con sus magnitudes de entrada, es necesario identificar los factores que tienen una afectación significativa en la determinación del mensurando, pero que no forman parte del mismo, también llamadas fuentes de incertidumbre.

A continuación, se enlistan las fuentes de incertidumbre identificadas en la prueba presentada en este trabajo:

- I. Error en la instalación del equipo ATT
- II. Error del instrumento medición
- III. Error en la apreciación del observador
- IV. Incertidumbre del patrón

En la literatura se distinguen dos métodos principales para la evaluación de las fuentes de incertidumbre (BIPM, 2008), (BIPM/IEC/IFCC/ISO/IUPAC/IUPAP/OIML, 1995): 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. En este experimento algunas variables de la función de estado (ecuación 1) tendrán un tratamiento como incertidumbre tipo A, por ejemplo, los tiempos de tránsito y en el caso de las variables geométricas y posición de instalación del equipo se considerará una incertidumbre tipo B.



### Evaluación Tipo A

La incertidumbre de una magnitud de entrada  $X_i$ , que se obtiene a partir de observaciones repetidas se estima con base en la dispersión de los resultados individuales. La incertidumbre se evalúa con la siguiente expresión (BIPM, 2008):

$$u(x_i) = \sigma(\bar{x}_i) \quad (5)$$

Donde

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j \quad (6)$$

$$\sigma(\bar{x}_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x}_i)^2} \quad (7)$$

siendo  $\bar{x}_i$  la media de los resultados independientes,  $n$  el número de datos registrados de cada magnitud de entrada,  $x_j$  es el conjunto de datos obtenidos de cada magnitud de entrada,  $\sigma(\bar{x}_i)$  es la desviación estándar de la media de cada magnitud de entrada.

### Evaluación Tipo B

Las fuentes de incertidumbre Tipo B son cuantificados usando información externa u obtenida por experiencia. Estas fuentes de información pueden ser:

- Normas
- Resolución del sistema de medición de distancia
- Coeficientes de uniformidad de flujo

### Incertidumbre combinada

Las magnitudes de entrada de la ecuación anterior se consideran linealmente independientes, por lo que se puede determinar la incertidumbre por la siguiente hipótesis (BIPM, 2008), (BIPM/IEC/IFCC/ISO/IUPAC/IUPAP/OIML, 1995):

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i) \quad (8)$$

donde  $\frac{\partial f}{\partial x_i}$  es el coeficiente de sensibilidad de cada magnitud de entrada,  $f$  es la función que está dada por el modelo matemático  $Y = f(x_i)$  y las variables independientes se agrupan en  $X = \{x_i | x_i = K(R_e), D, L, P, \Delta t, t_1, t_2\}$ . La incertidumbre estándar de cada magnitud de entrada  $u_{x_i}(y)$  es evaluada como Tipo A o Tipo B. La incertidumbre



estándar combinada  $u_c(y)$  es un estimado de la desviación estándar y caracteriza la dispersión de los valores que se atribuyen al mensurando  $Y$ .

Aplicando la ecuación (8) al modelo matemático que determina el caudal (ecuación 4), tenemos:

$$u_c^2(Q) = \left[ \frac{\partial Q}{\partial L} u(L) \right]^2 + \left[ \frac{\partial Q}{\partial P} u(P) \right]^2 + \left[ \frac{\partial Q}{\partial D} u(D) \right]^2 + \left[ \frac{\partial Q}{\partial \Delta t} u(\Delta t) \right]^2 + \left[ \frac{\partial Q}{\partial t_1} u(t_1) \right]^2 + \left[ \frac{\partial Q}{\partial t_2} u(t_2) \right]^2 \quad (1)$$

O también:

$$E_Q^2 = \frac{2}{L} E_L^2 + \frac{1}{P} E_P^2 + \frac{1}{\Delta t} E_{\Delta t}^2 + \frac{1}{t_1} E_{t_1}^2 + \frac{1}{t_2} E_{t_2}^2 \quad (2)$$

### **Incertidumbre expandida**

La incertidumbre combinada  $u_c$  representa un intervalo centrado en el mejor estimado del mensurando que contiene el valor verdadero con una probabilidad de aproximadamente 68.27% (Lazos Martínez & Schmid, 2000).

### **Equipo experimental**

Las mediciones fueron desarrolladas en una tubería 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  $P_e$ : 0.36 m
- Diámetro exterior  $D$ : 0.11459 m
- Espesor de pared  $e$ : 6.45 mm

La estación experimental cuenta con una bomba de 10 Hp y un vertedor triangular para el aforo del gasto que circula, calibrado con la ISO 1438:2008 (2008). En la prueba se consideró el caudal obtenido del aforador triangular como el gasto patrón. De acuerdo al ISO 1438:2008 (2008), la incertidumbre expandida del aforador triangular es de 0.50 %.

Para el aforo del gasto se utilizó un equipo caudalímetro de tiempo de travesía (TT) de la marca Panametrics, modelo PT-8768, el cual fue montado en la tubería de 4".



## Análisis y discusión de resultados

Las pruebas fueron realizadas utilizando los métodos "Z", "V", "N" y "W", con un tiempo de muestreo de 1890 s, 1870 s, 2370 s y 2340 s, respectivamente, una frecuencia de muestreo de 0.20 Hz para los cuatro métodos y un  $K_H = 0.947$  de acuerdo al equipo TT. En la siguiente tabla 1 se muestran los detalles de las pruebas realizadas con los cuatro métodos.

**Tabla 1.** Detalles de la prueba experimental.

	<i>Distancia de interrogación Longitud de interrogación</i>	
	<i>P (m)</i>	<i>L (m)</i>
<b>Método Z</b>		
<i>Valor</i>	0.0547	0.1270
<i>Incertidumbre estándar <math>u(x_i)</math></i>	0.001	0.0010
<b>Método V</b>		
<i>Valor</i>	0.0996	0.2265
<i>Incertidumbre estándar <math>u(x_i)</math></i>	0.001	0.0012
<b>Método N</b>		
<i>Valor</i>	0.1446	0.3376
<i>Incertidumbre estándar <math>u(x_i)</math></i>	0.001	0.0013
<b>Método W</b>		
<i>Valor</i>	0.1895	0.4487
<i>Incertidumbre estándar <math>u(x_i)</math></i>	0.001	0.0016

En la Tabla 2 se proporciona un resumen de los datos estadísticos obtenidos de las pruebas realizadas.

**Tabla 2.** Valores medios de las variables.

<b>Método</b>	<i>Velocidad del flujo</i>	<i>Caudal</i>	<i>Caudal</i>	<i>Velocidad del sonido</i>	<i>Tiempo de travesía aguas abajo</i>	<i>Tiempo de travesía aguas arriba</i>	<i>Diferencial tiempo de travesía</i>
	<i>V (m/s)</i>	<i>Q (l/s)</i>	<i>Q (m<sup>3</sup>/s)</i>	<i>c (m/s)</i>	<i>t<sub>1</sub> (μs)</i>	<i>t<sub>2</sub> (μs)</i>	<i>Δt (ns)</i>
<b>Z</b>	4.7057	38.1544	0.0382	1499.7196	81.3847	81.1873	198.2371
<b>V</b>	4.6656	37.8300	0.0378	1512.4679	153.9104	153.5262	390.5070
<b>N</b>	4.6940	38.0603	0.0381	1500.8165	229.5738	228.9804	592.7894
<b>W</b>	4.6121	37.3888	0.0374	1500.3419	303.8331	303.0618	776.9322

En las Tablas 3,4,5 y 6 se muestra la determinación de la incertidumbre para cada magnitud de entrada de acuerdo al tipo de desviación estándar, así como para los cuatro métodos utilizados.



**Tabla 3.** Determinación de la incertidumbre para el método "Z".

Variables	Símbolo	Unidades	Valor medio $\bar{x}_i$	Coficiente de Sensibilidad $\frac{\partial f}{\partial x_i}$	Desviación estándar $\sigma(\bar{x}_i)$	Tipo de desviación estándar	Aporte de incertidumbre $\left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 \sigma^2(x_i)$	Contribución
Diferencial de tiempo de tránsito	$\Delta t$	s	1.9824E-07	2.1773E+05	2.2382E-09	A	2.3750E-07	16.6530%
Tiempo de tránsito hacia aguas abajo	$t_1$	s	8.1187E-05	-5.3164E+02	3.3340E-08	A	3.1417E-10	0.0220%
Tiempo de tránsito hacia aguas arriba	$t_2$	s	8.1385E-05	-5.3035E+02	3.6089E-08	A	3.6633E-10	0.0257%
Diámetro exterior de la tubería	$D$	m	1.1459E-01	7.5333E-01	3.1831E-04	B	5.7501E-08	4.0319%
Distancia de interrogación	$P$	m	5.4746E-02	-7.8842E-01	1.0000E-03	B	6.2161E-07	43.5864%
Longitud de interrogación	$L$	m	1.2700E-01	6.7974E-01	1.0494E-03	B	5.0886E-07	35.6809%

Suma Aporte Incertidumbre 1.4262E-06 100%

**Tabla 3.** Determinación de la incertidumbre para el método "V".

Variables	Símbolo	Unidades	Valor medio $\bar{x}_i$	Coficiente de Sensibilidad $\frac{\partial f}{\partial x_i}$	Desviación estándar $\sigma(\bar{x}_i)$	Tipo de desviación estándar	Aporte de incertidumbre $\left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 \sigma^2(x_i)$	Contribución
Diferencial de tiempo de tránsito	$\Delta t$	s	3.9051E-07	1.0638E+05	3.2338E-09	A	1.18347E-07	22.4030%
Tiempo de tránsito hacia aguas abajo	$t_1$	s	1.5353E-04	-2.7059E+02	4.6979E-08	A	1.61592E-10	0.0306%
Tiempo de tránsito hacia aguas arriba	$t_2$	s	1.5391E-04	-2.6991E+02	5.4041E-08	A	2.12765E-10	0.0403%
Diámetro exterior de la tubería	$D$	m	1.1459E-01	7.2505E-01	3.1831E-04	B	5.32647E-08	10.0830%
Distancia de interrogación	$P$	m	9.9649E-02	-4.1689E-01	1.0000E-03	B	1.73796E-07	32.8995%
Longitud de interrogación	$L$	m	2.2648E-01	3.6685E-01	1.1645E-03	B	1.82481E-07	34.5436%

Suma Aporte Incertidumbre 5.2826E-07 100%



**Tabla 3.** Determinación de la incertidumbre para el método "N".

Variables	Símbolo	Unidades	Valor medio $\bar{x}_i$	Coficiente de Sensibilidad $\frac{\partial f}{\partial x_i}$	Desviación estándar $\sigma(\bar{x}_i)$	Tipo de desviación estándar	Aporte de incertidumbre $\left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 \sigma^2(x_i)$	Contribución
Diferencial de tiempo de tránsito	$\Delta t$	s	5.9279E-07	7.3239E+04	4.3344E-09	A	1.0077E-07	27.3405%
Tiempo de tránsito hacia aguas abajo	$t_1$	s	2.2898E-04	-1.8960E+02	6.6751E-08	A	1.6018E-10	0.0435%
Tiempo de tránsito hacia aguas arriba	$t_2$	s	2.2957E-04	-1.8911E+02	5.9873E-08	A	1.2821E-10	0.0348%
Diámetro exterior de la tubería	$D$	m	1.1459E-01	7.5774E-01	3.1831E-04	B	5.8176E-08	15.7836%
Distancia de interrogación	$P$	m	1.4455E-01	-3.0035E-01	1.0000E-03	B	9.0207E-08	24.4738%
Longitud de interrogación	$L$	m	3.3759E-01	2.5721E-01	1.3420E-03	B	1.1914E-07	32.3240%

Suma Aporte Incertidumbre 3.68588E-07 100%

**Tabla 3.** Determinación de la incertidumbre para el método "W".

Variables	Símbolo	Unidades	Valor medio $\bar{x}_i$	Coficiente de Sensibilidad $\frac{\partial f}{\partial x_i}$	Desviación estándar $\sigma(\bar{x}_i)$	Tipo de desviación estándar	Aporte de incertidumbre $\left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 \sigma^2(x_i)$	Contribución
Diferencial de tiempo de tránsito	$\Delta t$	s	7.7693E-07	5.6364E+04	5.8899E-09	A	1.1021E-07	34.9285%
Tiempo de tránsito hacia aguas abajo	$t_1$	s	3.0306E-04	-1.4449E+02	9.7346E-08	A	1.9785E-10	0.0627%
Tiempo de tránsito hacia aguas arriba	$t_2$	s	3.0383E-04	-1.4413E+02	9.0166E-08	A	1.6888E-10	0.0535%
Diámetro exterior de la tubería	$D$	m	1.1459E-01	7.6429E-01	3.1831E-04	B	5.9186E-08	18.7582%
Distancia de interrogación	$P$	m	1.8946E-01	-2.3114E-01	1.0000E-03	B	5.3425E-08	16.9326%
Longitud de interrogación	$L$	m	4.4872E-01	1.9518E-01	1.5569E-03	B	9.2335E-08	29.2645%

Suma Aporte Incertidumbre 3.15519E-07 100%

Finalmente, en la tabla 7 se muestra la incertidumbre en la medición del caudal, considerando un factor de cobertura  $k = 2$  y un intervalo de confianza de 95.45 %.



**Tabla 7.** Incertidumbre en la determinación del caudal.

Método	Caudal medio $Q$ $m^3/s$	Caudal Patrón $Q_p$ $m^3/s$	Incertidumbre combinada $u_c$	Incertidumbre expandida $U$	Error aleatorio %	Error sistemático %	Incertidumbre del caudal %
<b>Z</b>	0.0382	0.0372	0.0012	0.0024	6.2599%	3.1760%	7.0195%
<b>V</b>	0.0378	0.0372	0.0007	0.0015	3.8425%	2.3030%	4.4798%
<b>N</b>	0.0381	0.0372	0.0006	0.0012	3.1903%	2.9228%	4.3267%
<b>W</b>	0.0374	0.0372	0.0006	0.0011	3.0047%	1.1158%	3.2052%

## Conclusiones

Los resultados indican una mayor incertidumbre utilizando el método “Z” con el 7.0195 %, y una menor incertidumbre con el método “W” con el 3.2052 %, debido al número de trayectorias de la señal, ya que en el método “W” son cuatro trayectorias y el tiempo de transito aumenta, y en el método “Z” los tiempos de transito son más cortos. Por lo anterior, para tuberías de diámetros pequeños se recomiendan los métodos “N” (tres trayectorias) y “W” (cuatro trayectorias), y el uso de los otros métodos para los diámetros más grandes.

En todas las pruebas se indica una incertidumbre expandida, donde contribuye la incertidumbre combinada estimada en el análisis del modelo matemático con un factor de cobertura  $k = 2$  para un nivel de confianza  $p = 95.45$  %, misma que se denomina como error aleatorio, mientras que el restante es la contribución del error sistemático, es decir, el error en la medición del caudal con respecto al caudal patrón (el obtenido del aforador triangular).

## Referencias bibliográficas

- 1438:2008, I. (2008). *Hydrometry-Open Channel Flow Measurement using Thin Plate Weirs*.
- BIPM, I. I. (2008). *Evaluation of measurement data-guide for the expression of uncertainty in measurement*. JCGM 100:2008.
- BIPM/IEC/IFCC/ISO/IUPAC/IUPAP/OIML. (1995). *Guide to the expression of uncertainty in measurement*.
- BS 7965:2013. (2013). *Guide to the selection, instalation, operation and calibration of diagonal path transit time ultrasonic for industrial gas applications*.
- ISO 1438. (2008). *Hydrometry - Open channel flow measurement using thin-plate weirs* (Second ed.).
- JCGM 200. (2008). *Vocabulario Internacional de Metrología - Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM)*.
- Lazos Martínez, R. J., & Schmid, W. A. (2000). *Guía para Estimar la Incertidumbre de la Medición*. El Marqués, Queretaro: CENAM.
- Tamari, S., & Aguilar Chávez, A. (2010). *Aforo en canales y presas: Selección de una técnica*. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.