

XII Simposio Iberoamericano sobre planificación de sistemas de abastecimiento y drenaje

“AFORO CON MEDIDOR ULTRASÓNICO, A LO LARGO DE TUBERÍA RECTA, DESPUÉS DE TURBULENCIAS OCASIONADAS POR VÁLVULA Y DOS CODOS”

Elizabeth Pauline Carreño Alvarado (1), Edmundo Pedroza González (2), Rafael Pérez García (3), Joaquín Izquierdo Sebastián (4)

(1) FluIng-IMM Universitat Politècnica de València. Camino de la Vera s/n Edif 5C, 46022 Valencia, España. Tf. (+34) 96 387 7007 – ext 86112, elcaral@posgrado.upv.es

(2) Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuahunáhuac 8532, Colonia Progreso C. P. 62550, Jiutepec, Morelos, México. +7773293677, epedroza@tlaloc.imta.mx

(3) FluIng-IMM Universitat Politècnica de València. Camino de la Vera s/n Edif 5C, 46022 Valencia, España. Tf. (+34) 96 387 7007 – ext 86107, rperez@upv.es

(4) FluIng-IMM Universitat Politècnica de València. Camino de la Vera s/n Edif 5C, 46022 Valencia, España. Tf. (+34) 96 387 7007 – ext 8610,2 jizquier@upv.es

RESUMEN

Quienes fabrican medidores ultrasónicos recomiendan medir en tramo recto; considerando longitud mínima antes y después del medidor, para obtener errores menores o iguales al 2%, comúnmente recomiendan 10 y 5 diámetros, aguas arriba y abajo, respectivamente, esto sugiere mejor medición a mayor tramo recto. Usando un medidor ultrasónico, se tomaron lecturas en tramo recto de tuberías, con diámetros representativos comparándolas, con lecturas tomadas en un vertedor para probar el fenómeno. Como resultado, se observó alta dispersión de los datos experimentales, por lo que se consideran únicamente tendencias generales, con una representativa de 5% de error.

Palabras claves: hidrometría ultrasónica, tuberías, errores.

ABSTRACT

Manufacturers of ultrasonic meters recommend measuring in straight pipe sections; considering some minimum lengths before and after the meter, to obtain errors less than or equal to 2%, they commonly recommend 10 to 5 diameters upstream and downstream, respectively, suggesting that the greater the straight length, the better the measurement. Using an ultrasonic meter, readings were taken in diameter-representative pipes, and comparisons with readings taken in a chute, to test the phenomenon were performed. As high dispersion with the experimental data was observed, we consider only general trends with error lower than 5%.

Key words: ultrasonic hydrometer, pipes, errors.

SOBRE EL AUTOR PRINCIPAL

Elizabeth Pauline Carreño Alvarado, actualmente es estudiante de doctorado en el Departamento de Ingeniería Hidráulica y del Medio Ambiente de la Universitat Politècnica de València, es miembro del grupo de investigación FluIng-IMM. Es Ingeniera Civil; de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (Morelia-México), Maestría en Hidráulica de la Universidad Nacional Autónoma de México (Distrito Federal-México) y Master en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente por parte de la Universitat Politècnica de València. Tiene varios años de experiencia trabajando en proyectos diversos, técnicos y sociales relacionados con el agua (México). Ha impartido varios cursos de grado y dirigido dos tesis de grado, su experiencia en investigación radica principalmente en trabajo de laboratorio. Ha participado en variados congresos a nivel nacional e internacional. Actualmente sus líneas de investigación se centran en flujo en tuberías, hidrometría, los dispositivos para mejorar la medición, así como el análisis y modelación de los datos.

INTRODUCCIÓN

En esta época, la importancia de la cantidad de agua que se suministra ha tomado gran magnitud, por ende, la correcta medición de la misma también, ya que en nuestro país la ley de aguas nacionales no cobra por el derecho de la misma, sino por la capacidad que tiene el organismo para llevarla al lugar de destino, este concepto abarca los costos de infraestructura, personal y mantenimiento. Aquí radica la vital importancia de que la medición del agua que le es entregada a cada usuario sea correcta, poniendo especial cuidado en cómo se lleva a cabo además de que es un recurso que debe ser “cuidado” y al mismo tiempo “valorado”. Estos conceptos de alguna manera se encuentran ligados.

Actualmente existen diversos aparatos que permiten llevar a cabo la medición del flujo en tuberías, (Tubo Venturi, Turbina, Electromagnet, Ultrasonic. (Doppler), Ultrasonic. Time-of-travel) cada uno depende de las condiciones de colocación de la tubería y en general, que en la tubería se cumpla con un flujo a presión y por ende con un gasto constante, sin embargo cada fabricante propone de acuerdo a su dispositivo, procedimientos de colocación, distancias mínimas requeridas, tramo recto, recomendaciones especiales, etc. Pero es importante hacer notar, que estas son solo recomendaciones del proveedor.

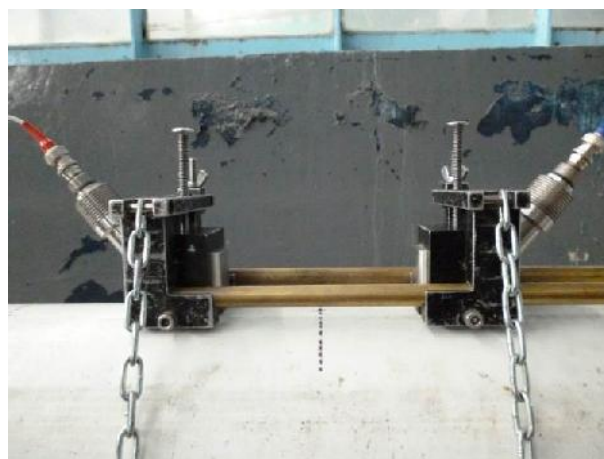
La tecnología avanza y con ello también el desarrollo de medidores de flujo cada vez más capaces, que permiten llevar a cabo la medición de un flujo con registros de tiempo, periódicos, en sitios complicados, etc.

A pesar del avance de la tecnología, un problema en la exactitud de la medición, radica en varios factores, uno de ellos de vital importancia es el costo del medidor ya que los medidores más precisos son más costosos, hablando de forma general se incluyen factores como que la tubería trabaje a tubo lleno, ligado con el hecho de que se requiere de una velocidad constante para que la ecuación de continuidad dé datos aceptables, es decir un perfil de velocidad regular, que represente la velocidad media, midiendo lejos de turbulencias que lo distorsionen, el tipo de fluido que circula por la tubería, si contiene partículas, su densidad etc., Con estas características de colocación, algunos medidores proporcionan una exactitud del $\pm 1\%$ a $\pm 5\%$, donde la norma ISO, toma como aceptable este rango.

ANTECEDENTES

Existe una gran variedad de medidores de cada tipo, el medidor utilizado para llevar a cabo las mediciones, es un Medidor Ultrasónico modelo 2PT868, el cual tiene la característica de que las mediciones deben ser en líquidos limpios y viscosos.

El medidor cuenta con dos transductores o sensores los cuales son montados en un riel, el cual tiene la función de dar estabilización a los sensores, como también poder fijarlos a la tubería. Con el riel y los sensores es posible tener un mejor manejo de la distancia entre sensores y una estabilización de los mismos. La distancia es un factor necesario para que el medidor nos proporcione valores, ésta depende de características como el tipo de tubería, su espesor, el fluido que transporta, la temperatura del fluido, su densidad etc.



Fotografía 1. Transductores o sensores del medidor ultrasónico y riel, montados en la tubería.

Estudios anteriores han mostrado errores aproximados, de 8% (Sierra Martínez., 2007), o bien con rangos como los mostrados en la tabla 1, dichos errores se presentan en configuraciones complejas de tubería como las presentadas a la salida de pozos de riego, después de revisar la información compilada, surge entonces una nueva incertidumbre de la cual ya se había cuestionado anteriormente, ¿cómo será la medición si existe suficiente tramo recto para que se establezca el flujo?, por dicha cuestión se decidió construir un modelo físico donde hacer mediciones en tubería recta y probar la hipótesis surgida, ¿mejora la medición en tubería recta, con longitud suficiente para que se establezca el flujo?.

Tabla 1. Errores en tramo recto con medidor de turbina.

Diámetros aguas arriba	Error		
	Máximo	Mínimo	Promedio
10	-7.13	-0.76	-3.59
2	-12.62	-4.75	-7.37
0	-15.18	7.25	0.49

Fuente: Carreño Alvarado, 2008

PLANTEAMIENTO TEÓRICO – CIENTÍFICO

En México la medición es un asunto que se ha dejado a la deriva, sin embargo, ésta, está sustentada por la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y la Ley de Aguas Nacionales, que en resumen indican el cobro del agua y el cuidado en su medición y distribución.

He aquí que la problemática de la medición inicia, al llevar a cabo la construcción de las instalaciones de dotación/distribución de agua, donde comúnmente existe una restricción de espacio, por lo que no hay suficiente tramo recto aguas arriba y aguas abajo del medidor, como los fabricantes de medidores recomiendan para un funcionamiento adecuado y resultados satisfactorios, lo cual, al no ser cumplido afecta la medición de dicho instrumento, ya que al no haber espacio, existe turbulencia y un perfil de velocidad irregular, que puede conllevar algunas burbujas de aire generadas o bien transportadas por dicha turbulencia, a pesar de que la línea trabaje a presión, con todo lo desfavorable mencionado la ecuación de continuidad no daría valores constantes y válidos, en su totalidad aunado a esto, en la mayoría de los casos no se cuenta con el personal capacitado que tome las mediciones correctamente.



Fotografía 2. Típico caso de restricción de espacio para colocación de medidor.

Un ejemplo adecuado para visualizar nuestro planteamiento, sería, la construcción de un pozo de extracción de agua para riego, donde no se disponga de espacio suficiente para la colocación de tramo

recto como es recomendado por el fabricante de los medidores y por ende se construya con una configuración complicada, llena de cambios de dirección que generarían turbulencias, si aunado a esto, el encargado de tomar las mediciones, no tiene suficiente conocimiento de los fenómenos de pérdida puntual por turbulencia en piezas y cambios de dirección, no llevaría a cabo la medición de forma adecuada, así tendríamos un panorama desfavorable para nuestra compilación de valores de medición “válidos”, ahora, imaginemos el mismo pozo de extracción pero con la posibilidad de tirar la línea tubería en un costado del sembradío, donde hay suficiente longitud de tramo recto para que se establezca el flujo y se pueda llevar a cabo la medición puntual en un sitio sin problemas del primer caso, dejando únicamente el posible error humano que también podría ser mitigado con capacitación, reduciendo la problemática a una inversión económica en la instalación de la línea de tubería y capacitación de personal, en lugar de invertir en un medidor más costoso que deberá lidiar con las mismas desventajas que uno no tan costoso, quitando así la variable del medidor. Así surge la hipótesis de la posibilidad de la mejora en la medición, en función de la configuración de la línea, como un beneficio a largo plazo, aplicable a los distritos de riego.

DISEÑO EXPERIMENTAL

Las instalaciones en las que se construyó el modelo, sitio en el que se llevaron a cabo las mediciones, son las del Laboratorio de Hidráulica “David Hernández Huéramo” de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, ya que dicho laboratorio contaba con lo necesario para realizar las pruebas experimentales.

Para establecer la metodología de experimentación, se tuvieron que hacer algunas consideraciones, ya que, el medidor a utilizar es un medidor ultrasónico que permite medición del flujo sin afectar la configuración de la tubería al ser colocado por la parte exterior de ésta, además de ello, permite su desplazamiento para llevar a cabo la medición en cualquier punto lo cual nos permitirá evaluar cómo se desarrolla es decir se desempeña la medición conforme se aumenta o disminuye la cantidad de tramo recto aguas arriba y aguas abajo del punto de medición, además de si hay suficiente longitud de tramo recto para que se establezca el flujo, así con esto obtener un perfil de velocidad regular.

El medidor ultrasónico es un modelo 2PT868, para el cual se debe considerar lo siguiente:

- Diámetro de la tubería
- Espesor de la
- Tipo de Líquido
- Viscosidad del fluido
- Temperatura del Fluido

Con estos datos, se programa el medidor, que para lo ingresado, dará la distancia requerida entre los sensores para llevar a cabo la medición.

Se requería elegir un diámetro de tubería, por lo que después de meditarlo se optó por que se usarán dos diámetros representativos que comúnmente se colocan en los pozos de riego, eligiendo diámetros de 8 y de 12 pulgadas, éstos nos permitirán comparar el comportamiento ante un diámetro “pequeño” y un diámetro “grande”, pero únicamente uno con respecto del otro, la distancia de tramo recto elegida es de 100 diámetros de longitud, distancia que asegura suficiente tramo recto aguas arriba y aguas abajo del punto de medición, cada tubería fue marcada con líneas, con una separación entre ellas de un diámetro de distancia, éstas marcas se enumeraron de forma ascendente y así se llevaría a cabo una medición puntual del flujo en cada una de las marcas, así al desplazar el medidor, habrá una distancia aguas arriba y aguas abajo que se irá complementando, al inicio poca distancia aguas arriba y mucha distancia aguas abajo, distancia que llegará a ser igual a la mitad y al final mucha distancia aguas arriba y poca aguas abajo del recorrido (citando ejemplos 20-80 diámetros, 50-50 diámetros, 65-35 diámetros) al llegar a la marca de 100 diámetros habrá terminado el recorrido, una vez terminado el recorrido, se concluye el experimento, es decir para un experimento completo, se tendrán 100 pruebas de medición.

Se requería fijar un gasto para llevar a cabo las pruebas de medición, se decidió que un gasto no era suficiente, ya que el objetivo de la experimentación era determinar el comportamiento del error en la medición, del medidor ante diferentes gastos por lo que se optó por trabajar con tres gastos representativos, éstos, en función de la capacidad de las bombas del laboratorio, para determinarlos, se midió el gasto máximo y el gasto mínimo generado por las bombas y con esa información se

determinaron los valores de los gastos, con los que se trabajó.

Para poder determinar valores, que nos indicasen si había error en la medición, se requería comparar los valores de las mediciones obtenidos por el medidor ultrasónico, con los valores de las mediciones obtenidos por otro dispositivo de medición, de manera que fuese posible calcular el error en dicha medición, así que, como comparativa se tomarían lecturas para un vertedor de pared delgada que se encuentra en la parte final de las rejillas de desagüe, del complejo de canales del laboratorio, lecturas que se tomarían de forma paralela a las tomadas por el medidor ultrasónico, el vertedor tiene válvula de desfogue, siendo el sitio donde desaguará nuestro modelo físico de laboratorio.

El vertedor está calibrado y su fórmula ajustada de la forma (ecuación 1):

$$Q_v = 1.054h^{1.478} \quad (1)$$

Donde:

Q_v = es el gasto del Vertedor Rectangular.

h = altura de el tirante, tomada directamente del Limnómetro.

MODELO FÍSICO

Para llevar a cabo las pruebas, se armaron dos modelos físicos, ambos en la misma instalación, con la misma toma de alimentación, por lo que se debe entender que primero se armó uno, se llevó a cabo la prueba y posteriormente se armó el otro, ambos modelos tuvieron la misma configuración, ya que eran las líneas de tubería donde sólo diferirán en el diámetro. El modelo, consiste a modo de descripción, en la alimentación, una válvula de control, una reducción bridada (ésta en el caso del diámetro de 12 pulgadas) dos codos de 45° bridados, que fungirán cómo provocadores de turbulencia debido al cambio de dirección, tubería recta con 100 diámetros de longitud, un cuello de ganso que hará que la tubería funcione a tubo lleno y un tanque amortiguador para mitigar la fuerza con la que sale el agua de la tubería que la direccionará a los canales para la medición del gasto en el vertedor.

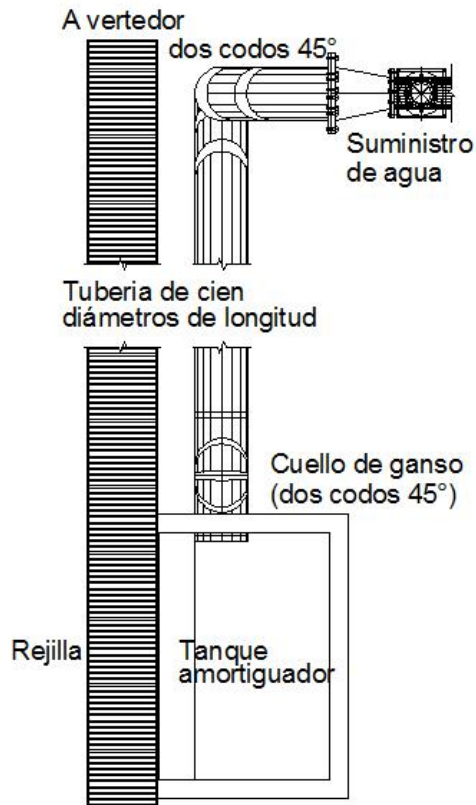


Figura 1. Diseño general del modelo físico.

Esta configuración, nos permitió tener la longitud necesaria para llevar a cabo las mediciones en tramo recto, con la influencia de turbulencia ocasionada localmente por los codos al inicio y al final de la línea, en el caso de la línea de 12" en los diámetros cero y cien se tienen codos instalados, lo que genera turbulencia puntual, en el caso de la tubería de 8" al inicio y al final, se cuenta con una distancia adicional, lo que asegura tubería recta para las marcas en los diámetros 0 y 100 (inicio – final) esto nos sirvió para observar las diferencias de error que se tenían entre medir en turbulencias, medida en la entrada y salida de la línea de conducción y medir en tramo recto es decir en distancia disponible en la tubería de 8 pulgadas, mencionada



Fotografía 3. Configuración al inicio y tramo recto de tubería.



Fotografía 4. Configuración al término del tramo recto de tubería y tanque amortiguador.



Fotografía 5. Vista de la línea de tubería para experimentos

LOS EXPERIMENTOS

El diseño de los experimentos para la toma de lecturas, fue un poco complejo, ya que estábamos hablando de una serie de pruebas con características distintas, inicialmente se proponían 6 experimentos por diámetro, sin embargo, éste número se ajustó al llevar a cabo el primer experimento, ya que se concluyó que se podían hacer simplificaciones, para decidir cómo se llevaría a cabo la experimentación, se elaboró un diagrama de flujo para el experimento, su ciclo completo que incluye la medición en cada marca denominada prueba o prueba de medición, éste diagrama de flujo simplificó la visualización y asimilación del proceso del experimento.

Tabla 2. Pruebas por diámetro, estimación inicial.

Diámetro 12"		Diámetro 8"	
Gasto (l/s)	Experimento	Gasto (l/s)	Experimento
12	1, 2	19	7, 8
32	3, 4	22	9, 10
37	5, 6	23	11, 12

Un experimento contiene 100 pruebas de medición; una prueba de medición en una marca consistía, en la toma de 10 lecturas con el medidor ultrasónico y de forma paralela 10 lecturas, con el vertedor de pared delgada de manera que se tenía material suficiente de valores de medición, para llevar a cabo la comparativa, esto se hacía en cada marca de la tubería al termino del experimento, con todas las lecturas, se podía graficar el comportamiento de los valores del gasto medido, que en principio deberían figurar el mismo, sin embargo es importante hacer notar que debido a la dimensión de la inversión de tiempo en el experimento de prueba, existían variaciones, ya que cuando acababa un día de trabajo se paraban las bombas, así el siguiente día de trabajo funcionaba como otro experimento, con sus respectivas pruebas de medición, como se observa en la figura.

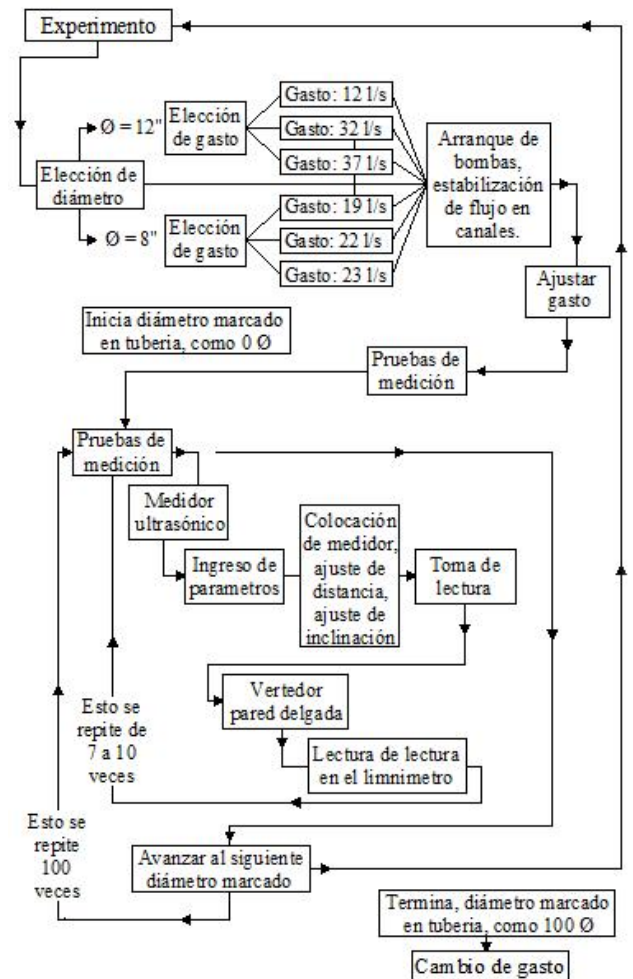


Figura 2. Ciclo de realización de un experimento y sus pruebas de medición.

Al observar el diagrama de flujo, se da por sentado que se llevarían a cabo los 12 experimentos antes mencionados, que con la simplificación, se redujeron a 6, como se muestra la tabla resumida además como información adicional, se agrega la duración del experimento, de los experimentos realizados para observar y comparar, puesto que inicialmente no había un tiempo específico por prueba de medición es decir por experimento, la duración de cada prueba de medición dependía, curiosamente del comportamiento del medidor, en principio ya que en ocasiones la lectura era inmediata, pero en ocasiones 30 minutos no eran suficientes para que el medidor diera lectura, cosa que atrasaba en general el experimento, otro detalle a mencionar es que lo ideal para el experimento hubiese sido que éste se hubiese hecho de corrido para evitar la variación del valor del gasto ya que al parar las bombas, el experimento debía comenzarse de nuevo, en la prueba de medición, donde se interrumpió el experimento lo cual independiente de las ligeras variaciones del gasto implica prácticamente un experimento independiente.

Tabla 3. Número de experimentos simplificado.

Experimento	Diámetro	Gasto (l/s)	Días de prueba	Lecturas por prueba	Total de lecturas
1	8"	32	4	10	1000
3		37	3	7	700
4		12	3	7	700
5	12"	19	3	7	700
6		22	2	7	700
7		23	2	7	700

PRESENTACION DE RESULTADOS

La información experimental consiste básicamente en tres variables: (a) el número de diámetros a los cuales se va colocando el medidor; (b) el gasto medido por el vertedor rectangular y (c) el gasto aforado con el medidor ultrasónico. Se considera que el gasto obtenido mediante el vertedor es el referente dado que dicho vertedor se calibró.

Una vez obtenidos los diferentes gastos en el laboratorio, se manipularon para su presentación y posterior análisis. El tratamiento que se les dio a los datos fue por medio de una sencilla fórmula (Ecuación 2)

$$E = \frac{(Q_v - Q_u)}{Q_v} * 100 \quad (2)$$

Donde E es el error entre los gastos; Q_v es el gasto estimado con el vertedor (Ecuación 1) y Q_u es el gasto obtenido mediante el medidor ultrasónico. Se multiplica por cien para expresar el resultado en porcentaje. Si el resultado es positivo será entonces que el gasto en el vertedor es mayor, si por el contrario, el resultado es negativo, quiere decir que el gasto en el medidor ultrasónico es mayor.

En la tubería de 8 pulgadas se probaron tres gastos cercanos a los 20 l/s (19, 21 y 23 l/s); mientras que para la tubería de 12 pulgadas se probaron tres gastos con errores más marcados (12, 32 y 37 l/s)

Las gráficas siguientes muestran los resultados. En las abscisas se encuentra el número de diámetros a los que colocaron los sensores ultrasónicos y en el primer eje de ordenadas (izquierdo) se colocó la error porcentual (calculado con la Ecuación 2); en el segundo eje de las ordenadas (derecho) se encuentra los diferentes gastos para los cuales se realizaron las pruebas. Dichos gastos no son iguales dado que la serie de experimentos para un solo gasto duraba más de un día y cada día se obtenían gastos un poco diferentes, como ya se explicó anteriormente.

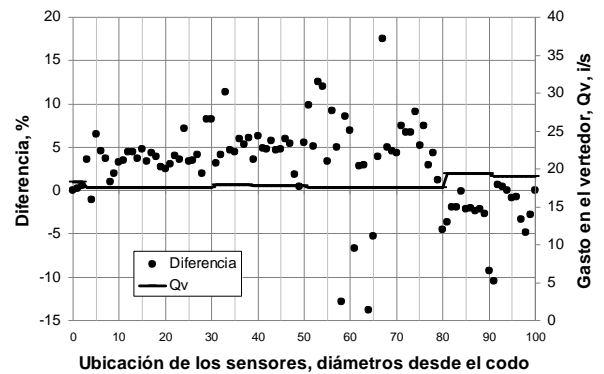


Figura 3. Resultados en la tubería de 8" y gasto cercano a los 19 l/s.

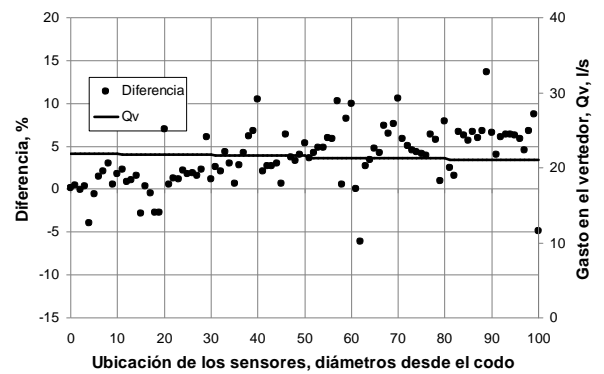


Figura 4. Resultados en la tubería de 8" y gasto cercano a los 21 l/s.

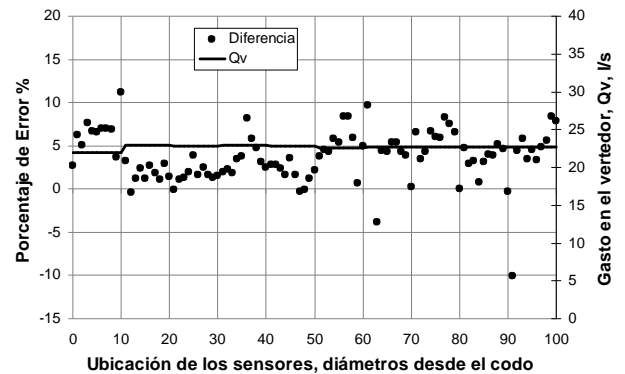


Figura 5. Resultados en la tubería de 8" y gasto cercano a los 23 l/s.

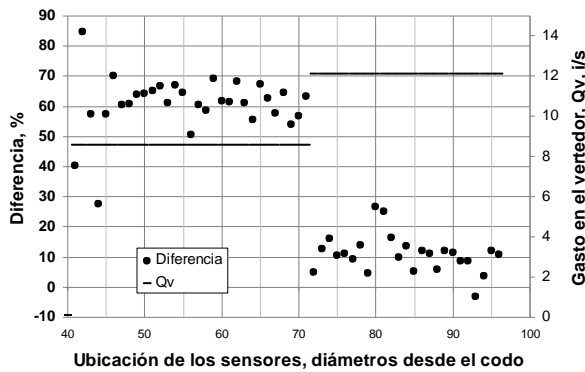


Figura 6. Resultados en la tubería de 12" y gasto cercano a los 8 y 12 l/s.

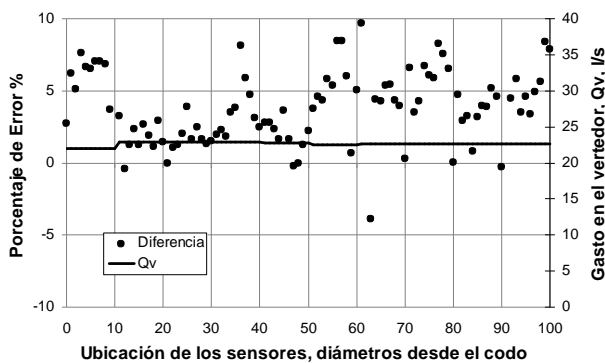


Figura 7. Resultados en la tubería de 12" y gasto cercano a los 22 l/s.

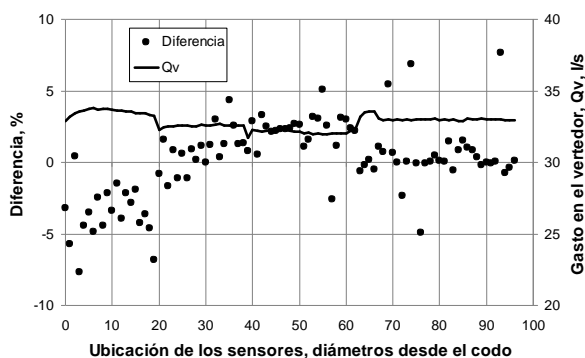


Figura 8. Resultados en la tubería de 12" y gasto cercano a los 32 l/s.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las gráficas correspondientes a los resultados obtenidos en la tubería de 8 pulgadas, se construyeron con el mismo rango tanto en el eje de las abscisas como en los dos ejes de las ordenadas. En las gráficas de las figuras 3 a 5, se puede observar cómo la magnitud de los errores se mantiene en la mayor parte de las gráficas en valores contenidos en su gran mayoría entre un rango de 0 a 10% y sólo para el caso de la prueba con 19 l/s

(figura 3) en el rango de 80 a 100 diámetros se tienen valores negativos. Dichos resultados tienen gran congruencia dada la magnitud tan cercana de cada gasto. La anotación más importante para los fines pretendidos en esta investigación es que no se tiene ninguna tendencia ni leve ni mucho menos evidente del efecto que tenga la posición del medidor en el tramo recto. Contrariamente a la suposición inicial de que a mayor tramo recto mejor desempeño del medidor ultrasónico.

Para la segunda serie de pruebas correspondiente a la tubería de 12 pulgadas se intentó comenzar con gastos muy bajos y los resultados no fueron satisfactorios. La error entre el vertedor y el medidor ultrasónico alcanzaron valores porcentuales mayores al 60%, para el gasto más bajo (8 l/s) y con magnitudes mucho menores para gastos un poco más altos (12 l/s) ya que se mantuvieron rondando el 10% de error. En este caso las primeras pruebas correspondientes a las primeras 40 posiciones de los sensores, no fue posible comparar los gastos porque el vertedor rectangular no fue adecuado para medir gastos tan bajos, menores a los 8 l/s.

En las gráficas de las figuras 7 y 8, se puede apreciar el resultado para gastos de 22 y 32 l/s, respectivamente. En el primer caso los errores se mantuvieron en un rango de 0 a 10%; primeramente se tuvieron errores mayores al 5% para las primeras 10 posiciones y posteriormente dichas errores bajaron entre las posiciones 10 a 50 diámetros y finalmente volvieron a subir pero ahora rondando el valor de 5%.

Para el caso de la figura 8, curiosamente se obtuvieron errores negativos, sin rebasar el -5%, entre los cero y 20 diámetros; entre los 30 y 40 diámetros hay un comportamiento muy favorable de las errores, ya que se mantienen entre el 2 y 3%, después se tiene un ligero aumento para posteriormente tener un rango de posiciones del medidor con errores mínimos entre los dos medidores.

CONCLUSIONES

El comentario común en ambas series de pruebas, es que al parecer, la longitud de los tramos rectos antes y después del medidor no son factores decisivos en la calidad de la medición. Y la otra conclusión importante es la gran dispersión de los resultados; dicha dispersión deviene de la pobre repetitividad de las mediciones obtenidas mediante el medidor ultrasónico.

Como conclusión importante también, en el ámbito de la medición práctica con sensores ultrasónicos de velocidad, es que si se utilizan como mediciones de referencia se deberá tener cuidado porque tanto la incertidumbre como el sesgo tendrán baja confiabilidad si se tienen resultados como los aquí presentados.

Norma ISO 5167, (1, 2, 3, y 4.) C-Medición del gasto - Tuberías cerradas; a- Diferencia de presión.

RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

La recomendación va en el sentido de investigar el origen o la causa de la baja repetitividad del medidor ultrasónico. Será importante indagar si dicha baja repetitividad se deriva de fenómenos turbulentos o de fenómenos acústicos o del funcionamiento electrónico o de programación del medidor ultrasónico.

BIBLIOGRAFÍA

- Crispín Guerra D. (2012). Estudio experimental sobre el efecto de un tramo recto en la medición con un medidor ultrasónico. Tesis de grado. Morelia; México: UMSNH
- Larios Fraga D. (2011). Comportamiento del error de medición en un medidor tipo turbina. Tesis de grado. Morelia; México: UMSNH
- Carreño Alvarado E. P. (2008) Estudio experimental del efecto de acondicionadores de flujo en la medición México: UNAM
- Sierra Martínez C. (2007). Estimación del error en un medidor de propela instalado con insuficientes tramos rectos. México: UGTO
- Pedroza González, E. (2004) Selección, Diseño y Evaluación de Sistemas de Riego. Tomo II Medidores de gasto y volumen para pozos profundos. México; SEMARNAT; CONAGUA; IMTA.
- Arroyo Correa, V. M., Aguilar Chávez, A. Alvarez Bretón R. A., Bonola Alonso I., Gómez Lugo L., López Vázquez A., Mejía Astudillo V. Millán Barrera C., Pedroza González E. y Santana Sepulveda S. (2004) Mejoramiento de la medición en presas de almacenamiento y pozos agrícolas. Jiutepec; México. IMTA