

Rubén Alcides Franco Ibars²
Tarlei Arriel Botrel³
Sérgio Nascimento Duarte⁴

ABSTRACT

The purpose of this study was to develop and evaluate two Venturimeters in order to obtain a flow measurement instrument through electronic devices. The devices were constructed, calibrated and evaluated in the Hydraulic Laboratory of the Department of Rural Engineering / ESALQ, from February 2002 to April 2004. Venturi had a nominal diameter of 50 mm, and Venturi a diameter of 75 mm. The evaluation was carried out using a flow metering system, constituted for a flow sensor, rotor type, and a control unit. The cost of the materials used in the construction was in order of US\$ 73,93 for Venturi (DN 50) and US\$ 81,33 for Venturi (DN 75). The results showed that the handmade construction of Venturimeters is technical and economically feasible. After calibration the devices presented good accuracy ($r^2 = 0,99$). The work range of the is Venturimeter meets the usually recommended speed range for water in irrigation pipes. For speeds lower than $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ the error ($>\pm 2 \%$) increased for both tested Venturimeters.

Key Words: Irrigation, hydraulic, electronic, Venturi.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue desarrollar y evaluar dos medidores de caudal a través de dispositivos electrónicos. Los medidores fueron construidos, calibrados y evaluados en el Laboratorio de Hidráulica perteneciente al Departamento de Ingeniería Rural de la Escuela Superior de Agricultura «Luiz de Queiroz» en Piracicaba, Brasil, en el periodo de febrero de 2002 a abril de 2004. El diámetro principal fue de 50 y 75 mm para los Venturis 1 y 2, respectivamente. La evaluación fue realizada comparando los datos de caudal proveídos por los Venturi, con los datos proporcionados por un sistema de medición de caudal. El costo de los materiales utilizados fue de US\$ 73,93 y de US\$ 81,33 para los Venturis 1 y 2, respectivamente. Los resultados obtenidos mostraron que es viable, técnica y económicamente, la construcción artesanal de tubos Venturi. Los medidores presentaron una buena precisión en las medidas ($r^2 = 0,99$). El rango de trabajo de los Venturis está de acuerdo con las velocidades recomendadas para las tuberías de recalque en riego. Para ambos Venturi, los desvíos medios en las lecturas fueron mayores ($>\pm 2 \%$), para velocidades inferiores a $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Palabras clave: Riego, hidráulica, electrónica, Venturi.

1 Parte de la disertación del primer autor, para acceder al título de Master en Agronomía de la Escuela Superior de Agricultura «Luiz de Queiroz»(ESALQ) de la Universidad de São Paulo (USP), Brasil.

2 Ingeniero Agrónomo, Docente Investigador de la Facultad de Ciencias Agrarias FCA de la Universidad Nacional de Asunción (UNA). Campus Universitario, San Lorenzo Paraguay. E-mail: rubenf27@yahoo.com.mx

3 Prof. Adjunto, Dpto. de Ingeniería Rural, ESALQ-USP, Piracicaba, SP, e-mail: tabotrel@esalq.usp.br

4 Prof. Doctor, Dpto. de Ingeniería Rural, ESALQ-USP, Piracicaba, SP, e-mail: snduarte@esalq.usp.br

INTRODUCCIÓN

La competencia por el uso de agua potable hace necesaria la optimización del uso de los recursos hídricos disponibles, buscando alcanzar una mayor eficiencia en el uso y manejo del agua. Pero, para obtener ese aumento en la eficiencia es preciso implementar sistemas de control y medición del agua. Se denomina Hidrometría al estudio de los métodos de medición de caudal y, entre las diversas alternativas propuestas, algunas precisan de equipamientos sofisticados y caros, al paso que existen también aquellas que son simples y baratas.

Para la medición de caudal en los conductos forzados, se destaca el uso de diafragmas, bocales y medidores Venturi, todos originados de la aplicación del teorema de Bernoulli, que indirectamente permiten la determinación de caudales por medio de la medición de la diferencia de presión en secciones de áreas diferentes (Denículi, 1990).

El medidor Venturi presenta ventajas con relación a otros dispositivos como los de tipo molinete, por ser más preciso, y con relación a los diafragmas y bocales, por ocasionar menor pérdida de carga. El medidor Venturi puede ser construido utilizando diversos materiales como: acero, bronce, aluminio, hierro, PVC, resina plástica reforzada con fibra de vidrio, entre otros.

La mezcla de una matriz plástica con fibras de vidrio proporciona un material estructural leve, que ofrece numerosas ventajas en la construcción de piezas en gran o pequeña escala, ofreciendo resistencia mecánica, resistencia a la corrosión así como economía de transporte, manipulación e instalación.

Para Delméé (1982), dependiendo del material y del tipo de construcción, el Venturi puede ser utilizado en tuberías de 50 a 1200 mm. Según Leopoldo & Souza (1979), Losada (1988) y Denículi (1990), el medidor Venturi se compone de una primera sección (A) del mismo diámetro que la tubería (D), seguido de una sección cónica convergente (B), una garganta cilíndrica (C) con un diámetro (d) menor al de la sección principal y de una sección cónica gradualmente divergente (E), que lleva a una sección cilíndrica con la medida del tubo original. La sección convergente debe tener un ángulo que gira en torno de 20° y la divergente un ángulo entre 5° y 7° .

La Figura 1 presenta la composición típica de un medidor Venturi. De acuerdo con Azevedo Netto et al., (1998) el caudal es calculado a partir de la diferencia de presión (h) entre los puntos A e C:

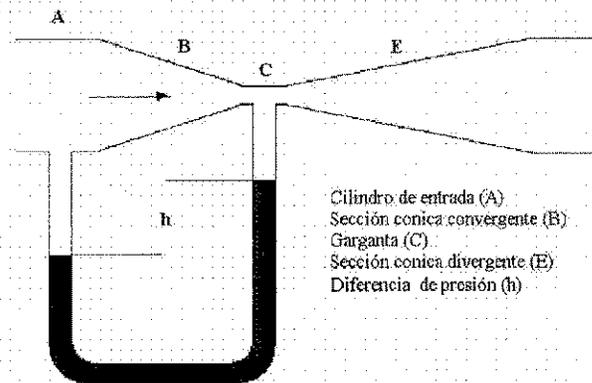


Figura 1. Composición típica de un medidor Venturi.

$$Q = C_d A_A V_A \quad (1)$$

La ecuación (1) también puede ser presentada en la forma de la ecuación (2).

$$Q = m \sqrt{h} \quad (2)$$

en que:

Q = caudal, m^3s^{-1} ;

h = diferencial de presión entre A e C, m.c.a;

m = constante, que engloba las variables conocidas del medidor incluyendo el coeficiente de descarga (C_d).

Según Spink (1967) un valor de C_d de 0,984 puede ser adoptado para todos los diámetros de medidores Venturi de 50 hasta 750 mm. Por otro lado, según Azevedo Netto et al., (1998), para los medidores Venturi de tipo largo, el valor medio del C_d es de 0,975. En la práctica, los valores de m y el exponente de h son determinados, experimentalmente, por medio de una regresión del tipo potencial. Según Vilela et al., (2003) la evolución de la electrónica y la expansión del mercado ha posibilitado el acceso a instrumentos que antiguamente eran disponibles solo en avanzados centros de investigación. La Ingeniería Agrícola se ha beneficiado de este avance tecnológico, sea con el desarrollo de nuevos equipamientos o en la adaptación de los desarrollados en otras actividades, para uso en la agricultura. Los microcontroladores disponibles en el mercado poseen un gran potencial de aplicación en la agricultura, existiendo unidades compactas con precios accesibles, posibilitando la automatización, con el control del funcionamiento hidráulico de la irrigación por medio del uso de sensores de presión y/o caudal.

Buscando obtener un instrumento de medición de caudal, utilizando dispositivos electrónicos, de fácil construcción y bajo costo de materiales, este trabajo tuvo como objetivo construir, calibrar y evaluar dos medidores Venturi.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento fue realizado en el Laboratorio de Hidráulica, del Departamento de Ingeniería Rural de la Escuela Superior de Agricultura «Luiz de Queiroz», de la Universidad de São Paulo, Brasil. Fueron construidos 2 medidores Venturi, siendo las partes cilíndricas de los mismos construidos con tubos soldables de PVC, con un diámetro principal (D) nominal de 50 mm para el Venturi 1 (DN 50) y de 75 mm para el Venturi 2 (DN 75); las gargantas (d) fueron en diámetro nominal de 32 y 40 mm para los Venturi 1 y 2, respectivamente. Los conos convergentes y divergentes fueron fabricados con resina plástica reforzada con fibra de vidrio. Para la construcción de las secciones cónicas se utilizaron moldes de PVC que, posteriormente, fueron cubiertos con resina y fibra de vidrio. Los ángulos fueron de 21° y 10° para las secciones convergente y divergente, respectivamente, en los 2 modelos. Los valores adoptados para los ángulos fueron basados en las dimensiones típicas de Venturi citadas por Delméé (1982). Para determinar la longitud de los Venturi, se consideró una longitud mínima de 12 veces el diámetro de la tubería principal (Azevedo Netto et al., 1998). En la Tabla 1 se encuentran las dimensiones de los medidores de caudal que fueron construidos.

Tabla 1. Dimensiones de los medidores Venturi construidos.

Venturi	Dimensiones (mm)					Relación entre diámetros (d/D)
	Longitud	Diámetro				
		Principal		Garganta		
		Nominal	Interno	Nominal	Interno	
1	680,28	50,00	44,00	32,00	27,80	0,63
2	899,36	75,00	66,60	40,00	35,20	0,53

En cada modelo, en el cilindro de entrada (A) y en la garganta (C), fueron colocadas tomas de presión, para permitir la medición del diferencial de presión entre los dos puntos; la primera fue instalada antes del cono convergente, y la segunda, en el centro de la garganta.

Para la medición del diferencial de presión fue montado un circuito electrónico en que se utilizaron: un transductor de presión Motorola modelo MPX5100, conectado en las tomas de presión de los Venturi por medio de microtubos de 4 mm. El modelo es producido para medir una faja de diferencial de presión de 0 a 100 kPa, emitiendo señales analógicas de 0,2 a 4,7 Vcc, con una alimentación de 5 V (MOTOROLA, 2003). El transductor fue conectado a un conversor analógico-digital de 1 canal modelo ADC0831 (NATIONAL SEMICONDUCTOR CO., 2003). Un microcontrolador (Basic Step 1) fue empleado para recibir y procesar los datos de diferencia de presión. El Basic Step es un microcontrolador con una alimentación de 6,5 a 15,5 V (Angnes, 2003). El caudal era presentado en un «display» digital con una alimentación de 5V. El «Basic step» fue conectado directamente a una fuente de 9 V, los demás componentes utilizaron un regulador de tensión LM7805, con una faja de alimentación de 9 a 24 V y

un voltaje de salida de 5 V. La programación fue hecha posteriormente, de acuerdo con la necesidad. Se utilizaron programas para calibrar y evaluar los Venturi y para la programación fue usado el lenguaje «Tbasic», siendo el programa almacenado en la memoria del microcontrolador y ejecutado al encender el sistema. Todos los componentes fueron montados en una placa de fenolite.

Para calibrar cada medidor Venturi fueron realizadas 200 lecturas de caudal y señal digital por intermedio de la lectura del conversor AD. Existe una lectura residual en el transductor de presión de 200,2 mV, o sea, una señal digital de 10,86. La lectura residual fue sustraída de cada lectura del conversor AD (L_c) como presenta la ecuación (3).

$$L_c = 255 - 10,86 \quad (3)$$

El máximo diferencial de presión, 10 mca, correspondió a una lectura de la señal digital de 244,14, siendo el diferencial de presión expresado por la ecuación (4).

$$h = 0,04096 L_c \quad (4)$$

en que:

h = diferencial de presión, mca;

L_c = lectura del conversor AD.

Substituyendo la ecuación (4) en la (2) y considerando la conversión del caudal para $L \cdot h^{-1}$, el cálculo del caudal puede ser hecho por la ecuación 5:

$$Q = 12,528 \cdot 10^6 \frac{C_d D^2 0,2024 \sqrt{L_c}}{\sqrt{\left(\frac{D}{d}\right)^4 - 1}} \quad (5)$$

en que:

D = diámetro da tubería, en punto A, m;

d = diámetro de la garganta (C), m;

Se puede considerar como única variable la lectura del conversor AD, de modo que el caudal puede ser expresado por la ecuación 6:

$$Q = K \sqrt{L_c} \quad (6)$$

Substituyendo los valores en la ecuación 6 sin considerar el C_d , se obtuvieron las ecuaciones teóricas (7 y 8) para determinar el caudal de los medidores Venturi 1 y 2, respectivamente:

$$Q = 2138,77 \sqrt{L_c} \quad (7)$$

$$Q = 3274,21 \sqrt{L_c} \quad (8)$$

donde:

Q = caudal teórico, L h⁻¹;

L_c = lectura del conversor AD.

Para la calibración se utilizó la ecuación 6, para obtener un valor para K se determinó el caudal, siendo hecha concomitantemente la lectura del conversor AD, por medio de un programa desarrollado con ese propósito. El caudal fue determinado por el método volumétrico, utilizando un tanque con una capacidad de 1.045 litros con una precisión de 100 mL y un cronómetro con precisión de centésimo de segundo. El tanque fue utilizado en fajas de aproximadamente 200 litros. Establecido el valor de K, se procedió al desarrollo de un programa de medición de caudal para cada modelo, en el lenguaje «Tbasic», que proporcionaba la lectura del caudal en L h⁻¹.

La evaluación de los medidores Venturi fue realizada comparando los datos de caudal obtenidos, con los proporcionados por un sistema de medición de caudal fabricado por la GF SIGNET, compuesto por un sensor de caudal y una unidad controladora. Según el fabricante (GF SIGNET, 2003a), el sensor tipo rotor es utilizable en tuberías de 15 a 900 mm, con una faja de trabajo de velocidad de 0,10 a 6,00 m s⁻¹, con una alimentación de 3,3 a 24 Vcc. Para las pruebas, el sensor fue montado en una tubería de 2 pulgadas roscable. El mismo fue previamente calibrado según las especificaciones del fabricante. La precisión es de ±1%, requiriendo un número de Reynolds mínimo de 4.500 para su funcionamiento (GF SIGNET, 2003b). Las evaluaciones fueron hechas basadas en la precisión y exactitud. Para determinar la precisión se utilizó el coeficiente de Willmott o índice de concordancia (d), y para la exactitud se consideró el coeficiente de regresión (r²). El uso del coeficiente de Willmott (d) se realiza cuando el uso aislado del coeficiente de determinación (r²) no se relaciona con el tamaño de la diferencia entre un valor padrón y un valor previsto por modelos de estimativas, lo que puede llevar a errores de interpretación, con lo cual este coeficiente expresa la dispersión de los puntos en relación a la recta 1:1, en conjunto con el coeficiente de determinación.

También fue determinada la pérdida de carga producida por medidores Venturi, por medio de un manómetro diferencial de mercurio, cuya lectura incluyó las pérdidas en las conexiones con la tubería.

Los coeficientes de descarga para los medidores Venturi fueron determinados a partir de las ecuaciones (5), (6), (7) y (8).

El costo total de los materiales utilizados para la construcción del Venturi 1 (DN 50) fue de US\$ 73,93, siendo que los componentes electrónicos representaron un 65,36%. Para la construcción del Venturi 2 (DN 75), se gastó US\$ 81,33, siendo que los componentes electrónicos constituyeron 59,41% del total. El costo de la parte electrónica fue el mismo para los dos modelos de Venturi.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calibración

En la calibración de los medidores Venturi, fueron utilizados los datos de caudal medidos y las lecturas de la señal digital, con un total de 200 pares de datos para cada Venturi. El caudal fue determinado por el método volumétrico y la lectura del conversor AD por medio de un programa en el lenguaje «Tbasic». La Tabla 2 presenta los puntos extremos de velocidad, caudal, número de Reynolds y señal digital entre los que fueron calibrados los Venturi construidos.

Tabla 2. Puntos extremos de velocidad, caudal, número de Reynolds y señal digital durante la calibración de los Venturi.

Modelo	Velocidad (m s ⁻¹)	Caudal (L h ⁻¹)	Número de Reynolds	Señal digital
Venturi 1	De 0,27 a 5,87	De 1.455 a 32.129	De 11.500 a 247.000	De 0 a 231
Venturi 2	De 0,15 a 3,85	De 1.859 a 48.333	De 10.150 a 248.600	De 0 a 240

El ajuste potencial de los datos, caudal y señal digital, de la calibración es presentado en la Figura 2 con un r² de 0,9987 para el Venturi 1 (DN 50) y r² de 0,9984 para el Venturi 2 (DN 75). Las ecuaciones establecidas, poseen un exponente diferente de 0,5 para la señal digital. El exponente fue fijado en la ecuación (6) para determinar el caudal de los Venturi construidos. Con el exponente definido fue preciso establecer el valor de la constante K de cada modelo.

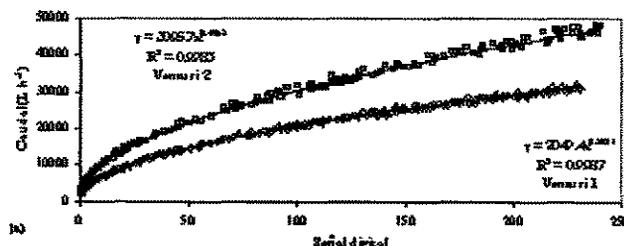


Figura 2. Datos de caudal vs. señal digital para el Venturi 1 (a) y Venturi 2 (b)

El valor de la constante K fue establecido por medio de una regresión lineal entre el caudal y la raíz cuadrada de la señal digital, forzando a la recta a pasar por el origen (coeficiente angular nulo) de forma que el coeficiente angular representa el valor del coeficiente K. En la Figura 3 son presentadas las regresiones lineales, así como los valores de K para cada Venturi.

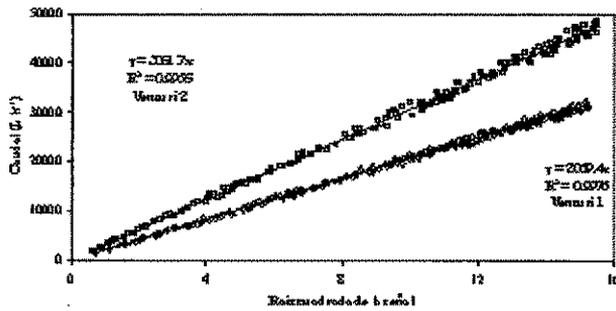


Figura 3. Valores de caudal vs. raíz cuadrada de la señal digital para los Venturi

Una vez determinado el valor de la constante K, el mismo fue aproximado para un valor entero, y de esta forma fueron establecidas las ecuaciones (9) y (10) para el cálculo del caudal de los Venturi 1 e 2, respectivamente.

$$Q = 2069 \sqrt{L_c} \quad (9)$$

$$Q = 3052 \sqrt{L_c} \quad (10)$$

en que:

Q = caudal, L h⁻¹;

L_c = lectura del conversor AD.

Evaluación

A partir de las ecuaciones (9) y (10) fueron desarrollados los programas para la medición del caudal, en el lenguaje «Tbasic». Los datos proveídos por los Venturi fueron comparados con el caudal medido por el sistema GF SIGNET. En la Tabla 3 se presenta un resumen de los datos de evaluación de los Venturi. Los valores corresponden a los proporcionados por el medidor GF SIGNET, considerado como padrón.

Tabla 3. Puntos extremos de velocidad, caudal, número de Reynolds y señal digital durante la evaluación de los Venturi.

Modelo	Velocidad (m s ⁻¹)	Caudal (L h ⁻¹)	Número de Reynolds	Número de puntos para la evaluación
Ventura 1	De 0,41 a 5,95	De 2.329 a 32.230	De 18.160 a 262.000	200
Ventura 2	De 0,23 a 3,85	De 2.909 a 48.259	De 15.295 a 253.751	220

La faja de trabajo del Venturi 2 (DN 75) podría haber sido aumentada con la utilización de un sensor de presión de mayor amplitud de medición, pero con pérdida de precisión en las lecturas. La Figura 5 presenta la dispersión de puntos relativos a la correlación entre los caudales de los Venturi y del medidor GF SIGNET, en torno de la recta 1:1, así como el coeficiente de determinación (r²) y el índice de concordancia (d).

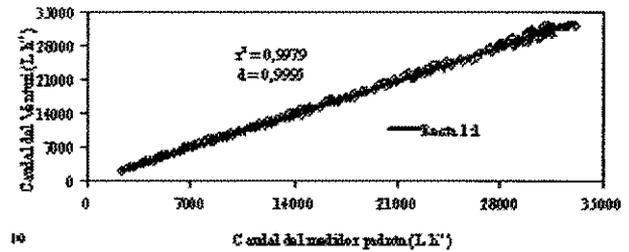


Figura 4. (a) Dispersión de los puntos representativos de la correlación entre los caudales de los Venturi y el medidor padrón para el Venturi 1 (DN 50) (a) y el Venturi 2 (DN 75)

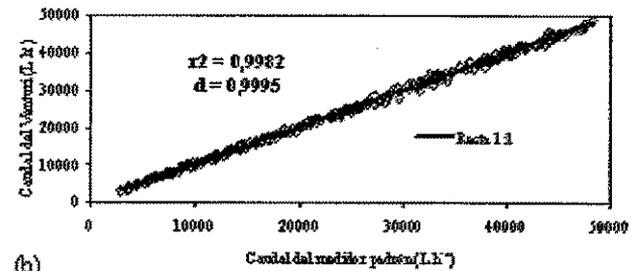


Figura 4. (b) Dispersión de los puntos representativos de la correlación entre los caudales de los Venturi y el medidor padrón para el Venturi 1 (DN 50) (a) y el Venturi 2 (DN 75)

La Tabla 4 presenta el desvío medio por faja de velocidad, para los dos Venturi evaluados. Para los dos modelos, los desvíos de más de 50% de las lecturas fue inferior a ±2,5%.

Considerando que una aplicación potencial de los medidores Venturi sería la medición de caudales en sistemas de irrigación, la faja de trabajo en que los mismos fueron evaluados está de acuerdo con la velocidad recomendada por Bernardo (1995) para dimensionamiento económico de tuberías de recalque, que varía de 0,60 a 2,40 m s⁻¹. Para tuberías de recalque de sistemas de elevación de agua, Porto (1999) recomienda velocidades de 0,60 a 3 mis⁻¹, siendo las más usuales de 1,50 a 2,0 mis⁻¹. Los dos medidores probados presentaron mayores desvíos en la faja de velocidad hasta 1,5 mis⁻¹, siendo que la mayor precisión de los Venturi fue en la faja de velocidad de 3 a 5 mis⁻¹.

En general, los Venturi presentaron menor precisión que la prevista en la literatura, pues la misma debería estar en torno de ±1 a ±1,50% según Bringer (2003). Para Delmée (1982) la precisión del Venturi clásico varía de ±0,75 a ±1,70%.

Tabla 4. Desvío porcentual medio en las lecturas de los Venturi probados por faja de velocidad

Modelo	Velocidad en la tubería (m s ⁻¹)			
	Hasta 1,5	de 1,5 a 3	de 3 a 5	> 5
Venturi 1	De -2,36 a 3,43	De -1,60 a 2,28	De -1,53 a 1,35	De -1,61 a 1,97
Venturi 2	De -2,01 a 3,37	De -1,95 a 1,85	De 1 a 1,29	-

Nota: Velocidad máxima: Venturi 1(DN 50) 5,95 m s⁻¹, Venturi 2 (DN 75) 3,85 m s⁻¹

Coefficiente de descarga

Los coeficientes de descarga (C_d) para los dos modelos, fueron determinados a partir de la razón entre las ecuaciones de caudal real y teórica, o sea, ecuaciones (7) y (9) para el Venturi 1 (DN 50) y ecuaciones (8) y (10) para el Venturi 2 (DN 75). Los valores, de C_d , establecidos fueron de 0,967 para el Venturi 1 y 0,932 para el Venturi 2 (DN 75).

Pérdida de carga

Para determinar la pérdida de carga de los Venturi, fue utilizado un manómetro diferencial de mercurio, siendo que los valores observados incluyen la pérdida de carga localizada de los accesorios utilizados para conectar los Venturi en la línea. Los datos de caudal fueron calculados por el programa desarrollado previamente. La Figura 5 presenta la relación pérdida de carga vs. caudal, así como las ecuaciones de pérdida de carga para ambos Venturi.

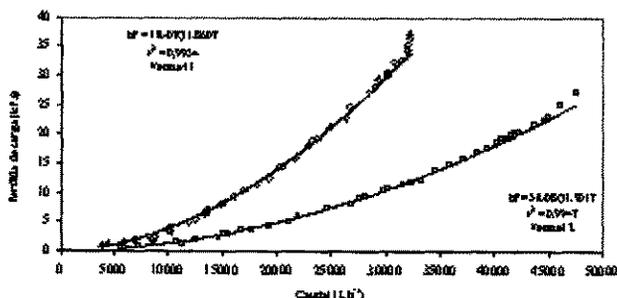


Figura 5. Pérdida de carga observada en el Venturi 1 (a) y el Venturi 2 (b)

CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos, y considerando las condiciones en que fueron realizadas las pruebas de laboratorio, se llegó a las siguientes conclusiones:

La construcción artesanal de medidores de tubos Venturi es viable técnicamente y presenta un costo relativamente bajo.

La evaluación demostró que los Venturi construidos, después de la calibración, proporcionaron medidas con buena precisión y exactitud.

El rango de trabajo de los Venturi está de acuerdo con las velocidades recomendadas para las tuberías de recalque en riego.

Para ambos Venturi, los desvíos medios en las lecturas fueron mayores ($> \pm 2\%$) para velocidades inferiores a 1,5 m s⁻¹.

LITERATURA CITADA

- ANGNES, D.L. 2003. Introdução ao microcontrolador Basic Step. <http://www.tato.ind.br/files/Microcontroladores%20BASIC%20Step1.pdf> (18 set. 2003)
- AZEVEDO NETTO, J.M.; FERNANDEZ, M.; ARAUJO, R. et al. 1998. Manual de hidráulica. 8.ed. São Paulo: Blucher. 669 p.
- BERNARDO, S. 1995. Manual de irrigação. 6 ed. Viçosa: UFV. 657 p.
- BRINGER. 2003. Elementos primários de vazão. <http://www.bringer.com.br/download/befe's-3.pdf> (17 set. 2003)
- DELMÉE, G.J. 1982. Manual de medição de vazão. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher. 476 p.
- DENÍCULI, W. 1990. Medidores de vazão tipo orifício. Viçosa: UFV. 43 p.
- GF SIGNET. 2003. +GF+ SIGNET 2536/3-8512-XX Sensor para baixas vazões. <http://www.gfsignet.com/products/pdf/2536por.pdf> (10 out 2003)
- GF SIGNET. 2003. Instruções do transmissor de vazão 8550-1 +GF+ SIGNET. <http://www.gfsignet.com/products/pdf/8550-2por.pdf> (10 out 2003)
- LEOPOLDO, P.R.; SOUSA, A. P. 1979. Hidrometria: medição de vazão. Botucatu: UNESP. 71p.
- LOSADA, A. 1988. El riego fundamentos hidráulicos. Madrid: Mundi-Prensa. 431 p.
- MOTOROLA. 2003. Integrated silicon pressure sensor, on-chip signal conditioned, temperature compensated and calibrated. http://http://e-www.motorola.com/files/sensors/doc/data_sheet/MPX5100.pdf (04 set. 2003)
- NATIONAL SEMICONDUCTOR CO. 2003. ADC0831/ADC0832/ADC0834/ADC0838 8-bit serial I/O A/D converters with multiplexer options. <http://cache.national.com/ds/AD/ADC0831.pdf> (04 set. 2003)

PORTO, R.M. 1999. Hidráulica básica. 2 ed. São Carlos: USP. 540 p.

SPINK, L.K. 1967. Principles and practice of flow meter engineering. 9. Ed. Foxboro: The Foxboro Company. 575 p.

VILELA, L. A.A.; CARVALHO, H. P.; PRADO, G.; BOTREL, T.A. 2003. Construção e calibração de um manômetro digital microprocessado (compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32., Goiânia, 2003. Goiânia: CONBEA, 2003. 4p.