

# BANCO DE PRUEBAS PARA MEDIDORES DE ULTRASONIDO, CON SIMULACIÓN DE MONTAJE SOBRE TUBERÍA DE Ø 600 MM.

Percy Lature Bustamante

Ingeniero Mecánico de Fluidos, de experiencia en la hidráulica Urbana. Dentro de la Empresa SEDAPAL de Lima ha trabajado en la operación del macrosistema de distribución de agua, ha desarrollado y dirigido el proyecto integral de macromedición y actualmente trabaja en el Equipo Control y Reducción de Fugas.

Dirección: Autopista Ramiro Priale N°210 – El Agustino, Lima (Perú). Teléfono: 51-1-3173493. Correo electrónico: [plature@sedapal.com.pe](mailto:plature@sedapal.com.pe)

Agua Potable: tratamiento y distribución, normativa, I-Lature-01, modalidad de presentación solicitada: oral

Palabras claves: banco de pruebas, medidor de ultrasonido, simulador

## Resumen

Para asegurar la calidad de las mediciones efectuadas con macromedidores de ultrasonido con los que una Empresa de agua cuantifica el Agua No Facturada, se plantean las contrastaciones en bancos de pruebas; sin embargo, lo que ocurre generalmente es que dichos bancos no reproducen las condiciones físicas a que está sometido el macromedidor cuando está instalado en campo y el certificado de calibración no pasa de ser un certificado de pruebas para las condiciones existentes en dicho laboratorio y no para las condiciones que el cliente verdaderamente requiere.

El diseño y construcción de un banco que reproduzca dichas condiciones a escala natural resulta demasiado oneroso, así como el envío del macromedidor, a la fábrica de origen, para su calibración correspondiente; por lo que, se analizaron las componentes que actuaban sobre la onda ultrasónica, en su recorrido entre ambos transductores, proyectándose la construcción de un banco totalmente automatizado, que simule las condiciones físicas de campo, pero que a la vez pueda instalarse en una edificación normal y cuyo costo no sea exorbitante.

# BANCO DE PRUEBAS PARA MEDIDORES DE ULTRASONIDO, CON SIMULACIÓN DE MONTAJE SOBRE TUBERÍA DE Ø 600 MM

## Introducción

En el desarrollo del proyecto integral de macromedición para una ciudad Capital de Latinoamérica, se evaluaron diferentes tipos de macromedidores existentes en el mercado, eligiéndose a los medidores de ultrasonido por su tipo de tecnología no intrusiva, costo medio-bajo respecto a otras tecnologías, y la versatilidad de su reposición o cambio de partes sin perturbar el proceso; es decir, sin cortar el servicio de agua a los usuarios.

Una vez en marcha el proyecto, conformado por un parque de más de sesenta (60) macromedidores de ultrasonido instalados y en funcionamiento, se crea la necesidad de asegurar la precisión de las mediciones efectuadas, lo que conllevó a la búsqueda de nuevas herramientas tecnológicas para asegurar el correcto funcionamiento, en lo que respecta a precisión, de los macromedidores de ultrasonido; es así que en un primer momento se contrastan los medidores instalados en campo, con otro medidor de ultrasonido portátil, de similares características de precisión, no pudiendo sustentar metrológicamente los resultados obtenidos no solo por la resolución del medidor patrón; sino también, por los errores humanos inducidos por el operador.

En suma, se requería efectuar la contrastación de los medidores en un banco de pruebas, con todos los requisitos que ello conlleva y además bajo características físicas e hidráulicas similares a las de su funcionamiento.

Considerando que en el medio no existen laboratorios que brinden dicho servicio, se vio la necesidad de fabricar un banco de pruebas que simule el montaje del medidor sobre una tubería de Ø 600 mm., con un caudal circulante entre 400 y 700 LPS.

## Hipótesis

Los medidores de ultrasonido del tipo tiempo en tránsito utilizan dos (02) transductores (**UP** y **DN**) instalados diametralmente opuestos, formando un ángulo  $\beta$  ( $45^\circ$ ), con el eje de la tubería, ambos son a la vez, emisores y receptores de la onda ultrasónica. El principio de funcionamiento se basa en medir la diferencia de tiempo que demora la onda ultrasónica en viajar desde el transductor **UP** al transductor **DN**, con respecto al tiempo que emplea en retornar desde el transductor **DN** al transductor **UP**. El análisis entonces se debe

de centrar en un cilindro imaginario (líneas punteadas en azul), cuyas bases están delimitadas por las caras internas de los transductores, por la cual viaja la onda ultrasónica afectada solamente por una de las componentes de la velocidad del flujo de la tubería ( $V \cdot \cos 45^\circ$ )

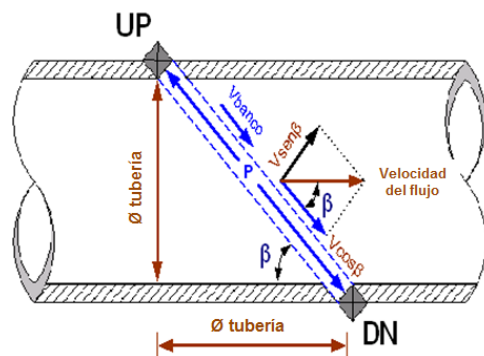


Ilustración 1.- Principio de Funcionamiento del Medidor de Ultrasonido Tiempo en Tránsito

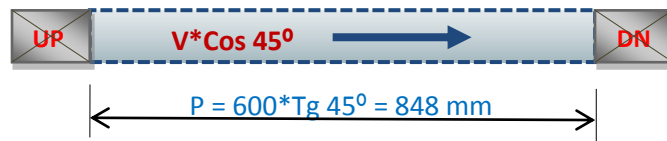


Ilustración 2.- Extracción de la zona de análisis

Donde V = Velocidad del flujo que circula por la tubería Ø 600 mm, la cual se estimará considerando un caudal circulante entre 400 y 700 LPS. La Tabla siguiente muestra las velocidades en una tubería Ø 600 mm., para los valores antes indicados; así como, las características del caudal de la bomba que se empleará para el sistema recirculante, obviamente después se deberán considerar las pérdidas de carga primarias y secundarias propias del sistema.

CAUDAL [Lt/S] DE SIMULACION QUE CIRCULA POR UNA UNA TUBERÍA Ø 600 mm								
		400	450	500	550	600	650	700
Ø 600 mm	Caudal [m3/S]	0.4000	0.4500	0.5000	0.5500	0.6000	0.6500	0.7000
	Area de la sección [m2]	0.2827	0.2827	0.2827	0.2827	0.2827	0.2827	0.2827
	Velocidad [m/s]	1.4147	1.5915	1.7684	1.9452	2.1221	2.2989	2.4757
tubería del banco de pruebas	Componente de la velocidad [m/s]	1.0004	1.1254	1.2504	1.3755	1.5005	1.6256	1.7506
	Area de la sección Ø 1 ¼" [m2]	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008
	Caudal [m3/S]	0.0008	0.0009	0.0010	0.0011	0.0012	0.0013	0.0014
	Caudal [Lt/S]	<b>0.7920</b>	<b>0.8910</b>	<b>0.9900</b>	<b>1.0890</b>	<b>1.1880</b>	<b>1.2870</b>	<b>1.3860</b>

### Metodología empleada

Tanto el diseño como la operación del Banco de pruebas se basan en Ley de Continuidad; es decir el caudal que pasa por el medidor patrón es el mismo que pasa por el medidor contrastado; por lo que, las pruebas no son más que la comparación entre ambos medidores.

La diferencia entre este banco y otros, es que aquí se simula la instalación del medidor sobre una tubería de Ø 600 mm, la instalación especial de los transductores sobre una distancia P = 848 mm, tal como se verifica en la Ilustración 2, así como la descomposición de la velocidad del flujo en dicha dirección han reproducido condiciones hidráulicas en el "volumen de control" aislado el cual ha sido explicado en la sección anterior.

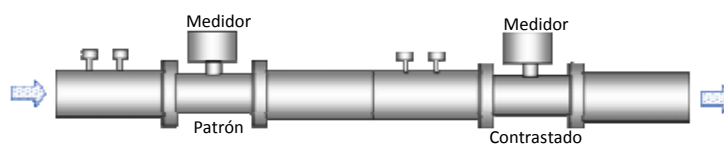


Ilustración 3.- Proceso de calibración por comparación volumétrica

## Etapas desarrolladas

### a) EQUIPAMIENTO REQUERIDO

- Equipamiento electromecánico
  - Construcción de una cuba en acero inoxidable SS316, que servirá como tanque recirculante, capacidad 0.5 m<sup>3</sup> aproximadamente, deberá contar con pantallas internas para disipar oleaje producido por la descarga de agua y la succión de la bomba
  - Tuberías de recirculación Ø 1 ¼", de acero inoxidable SS316
  - Visor de flujo fabricado en acrílico
  - Bridas, coples, niples, reducciones, válvulas de bola, uniones tipo dresser, todo fabricado en acero inoxidable SS316
  - Bomba, con rendimiento de hasta 1.4 LPS, de tal forma que pueda cubrir los requisitos de velocidad demandada para la simulación en la tubería del banco.
  - UPS, para conseguir estabilidad de la corriente y autonomía de funcionamiento en caso se corte la energía eléctrica, la autonomía es de 1 hora lo que permitiría culminar cualquier prueba iniciada sin perder la data.
  - Tableros eléctricos con sus respectivos circuitos de aislación y seguridad, llaves térmicas, interruptores diferenciales, entre otros.
- Equipamiento electrónico
  - Variador de frecuencia, para variar la velocidad de la bomba
  - Medidor patrón electromagnético con certificado de calibración y resolución superior a los medidores que contrastará.
  - Par de Transductores húmedos (en contacto con el fluido), para medidor de ultrasonido, ubicados a los extremos de la tubería horizontal.
  - Válvulas solenoide de admisión y descarga de agua de la cuba
  - Sensores de temperatura y nivel, para el registro de dichas variables
  - PLC lógico programable
- Equipamiento Informático
  - Software personalizado y desarrollado en Labview exclusivamente para esta aplicación, se utiliza tanto para el manejo de los parámetros del banco, captura de mediciones efectuadas por ambos medidores y análisis estadísticos de los resultados.
  - Laptop o computadora personal.



Foto 1.- Vista general del Banco de Pruebas y sus componentes



Foto 2.- Vista interior del tablero eléctrico principal del banco de pruebas con Variador de Frecuencias y PLC programable

### b) ENSAMBLAJE Y PRUEBAS

Según los planos de diseño mecánicos, eléctricos e hidráulicos, se ensamblaron los componentes y partes del Banco y se desarrollaron pruebas preliminares, las

mismas que determinaron que a los 30 minutos de funcionamiento el agua incrementaba su temperatura entre 1º a 2º Celsius, llegando a distorsionar los resultados de los ensayos, esto debido a que al ser un banco recirculante con una cuba de 0.5 m3 de capacidad, debido al continuo turbinado del agua, esta incrementaba su temperatura por fricción.

Esta situación obligó a efectuar mejoras en el software, de tal forma que al detectarse el aumento de la temperatura automáticamente abra las válvulas de admisión y descarga de agua, hasta obtener la temperatura a que fue seteado originalmente el proceso.

### c) OPERACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS

Efectuar las conexiones del medidor a contrastar con el sistema del banco de pruebas, iniciar el software y ejecutar el comando para encender la bomba, el agua empieza a circular por las tuberías y los medidores puedan iniciar su medición y estabilizarla, operación que no demanda más de cinco (05) minutos.

La Ilustración 4, muestra la pantalla de arranque del software mediante la cual se ingresan los parámetros físicos a los que se desarrollarán el proceso.

La Ilustración 5, muestra la pantalla donde se inician los ensayos; previamente se han definido el caudal de simulación, la cantidad de ensayos, el intervalo entre cada captura de datos simultánea de cada medidor, las capturas se pueden efectuar hasta una (01) por segundo; es decir, 100 ensayos, podrían realizarse en apenas 1 minuto y 40 segundos.

La pantalla también muestra los datos instantáneos de caudal de simulación, cálculos estadísticos y el factor de corrección que deberá imputarse a la programación del medidor para disminuir el error obtenido, así también muestra una gráfica de los resultados correspondientes a toda la prueba.

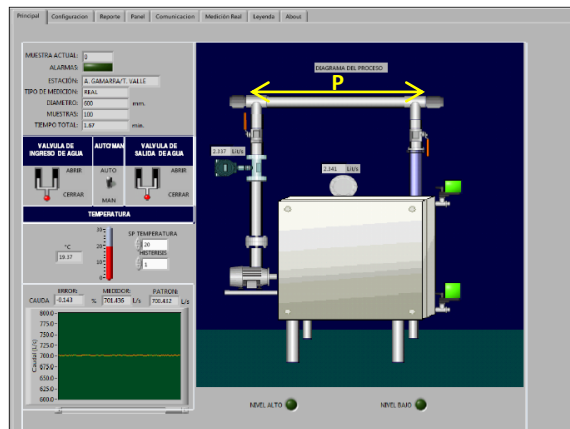


Ilustración 4.- Pantalla de inicio Software de Banco de Pruebas

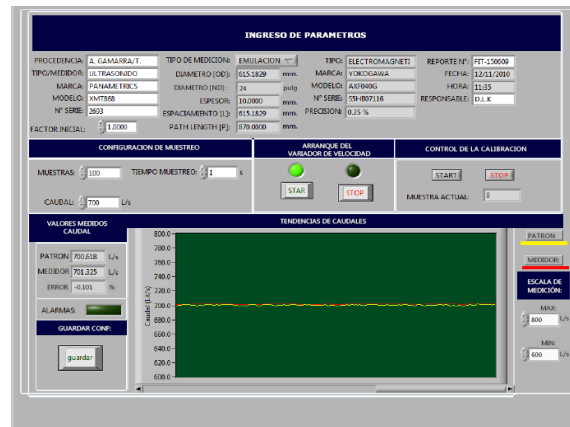


Ilustración 5.- Pantalla de ingreso de parámetros

### Resultados obtenidos

- La Ilustración 6, muestra la pantalla de resultados de una prueba característica de 100 ensayos, que consta de:
  - Identificación del medidor contrastado
  - Cantidad y tiempo entre muestreos
  - Resultados de los caudales simulados para 100 ensayos efectuados

- Promedio de errores relativos
- Factor de calibración que debe imputarse al medidor para seguir mejorando la precisión del mismo.
- Datos estadísticos
- Se ha estandarizado la precisiones, con calibración, por debajo del  $\pm 0.2\%$  en todos nuestros macromedidores de ultrasonido.

Encabezado oculto de acuerdo a las Bases del Congreso

PROCEDENCIA: A. GAMARRAL	DIAMETRO (OD): 595.323 mm	TIPO: ELECTROMAGNETI	REPORTE N°: /IT-130609
TPO: MEDIDOR: ULTRASONIDO	DIAMETRO (ID): 24.0000 pulg	MARCA: YOKOGAWA	FECHA: 01/06/2001
MARCA: PANAMETRICS	ESPACIAMIENTO (L): 615.323 mm	MODELO: AVF040G	HORA: 11:35
MODELO: VMT808	ESPESOR: 10.0000 mm	N° SERIE: 53HB07116	RESPONSABLE: D.L.K
N° SERIE: 2693	PATH LENGTH (P): 870.0000 mm	PRECISION: 0.25 %	PAGINAS: 1 de 5
TIPO DE MEDICION: EMULACION			

MUESTRAS: 100	TIEMPO DE MUESTREO: 1 s
---------------	-------------------------

CALCULO DE ERRORES				
	Hora	Patron (L/s)	Medidor (L/s)	ERROR (%)
FACTOR DE AJUSTE DE LA CORRIENTA (0.9981)	1	699.725	701.325	-0.229
	2	699.166	701.325	-0.309
	3	698.497	700.990	-0.357
PROMEDIO DE ERRORES -0.193 %	4	699.315	701.037	-0.245
	5	699.799	700.655	-0.172
	6	700.059	700.655	-0.085
FACTOR DE CALIBRACION A INGRESAR (0.9981)	7	700.097	701.037	-0.313
	8	700.283	700.990	-0.101
	9	699.464	700.990	-0.218
DEL MEDIDOR: Medida (s) 701.3134 Desviacion Estandar (s) (0.0528) Incertidumbre R (s) (0.1361) Intervalo de confianza del 95% (s): (2.58)	10	699.697	700.990	-0.128
	11	699.613	700.692	-0.154
	12	699.725	700.692	-0.138
	13	700.134	700.655	-0.074
	14	699.799	700.692	-0.128
	15	699.965	700.655	-0.096

Ilustración 2.- Pantalla de resultados alfanuméricos

## Conclusiones y recomendaciones

- La implementación del banco de pruebas para medidores de ultrasonido, con simulación de montaje sobre tubería de  $\varnothing 600$  mm, ha permitido probar los medidores de ultrasonido bajo condiciones físicas similares a los parámetros de funcionamiento reales en campo.
- Nos ha permitido además, por las calibraciones efectuadas, aseverar que los medidores vienen trabajando bajo condiciones de precisión óptimas (en el rango  $\pm 0.2\%$ ), de tal forma que podemos extender dicha confiabilidad a los datos de nuestros balances hidráulicos.
- Dado que el diseño del banco contempló la instalación de un Variador de Frecuencias, las pruebas pueden realizarse a diferentes caudales de simulación.
- De requerirse, bajo este mismo principio, se puede extender la simulación para otros diámetros de tuberías, tan solo variando la longitud del tramo "P" en el banco de pruebas.

## Referencias

- Hidráulica  
Horace W. King - Chester O. Wisler - Jame G. Woodburn  
Editorial Trillas
- Hidráulica básica para Ingenieros Sanitarios  
Manual DTIAPA N° C-1  
Rodolfo Sanes Forero  
CEPIS
- Hidráulica de tuberías. Abastecimiento de agua, redes, riegos  
Juan G. Saldarriaga Valderrama  
Editorial Alfa y Omega