

# Ensayo automatizado para el desarrollo de caudalímetros

Alberto Menéndez, Alberto Molina, Ariel Gómez y Miguel A. Leal

Departamento de Tecnología Electrónica

Escuela Universitaria Politécnica

C/ Virgen de África nº 7, 41010 - SEVILLA

Tfno.: 954552838, FAX: 954552764 E-MAIL: amenen@cica.es

## Resumen

En este artículo se expone la estructura de un banco hidráulico que ha sido desarrollado por el grupo de investigación Instrumentación Electrónica y Aplicaciones, sito en el Departamento de Tecnología Electrónica de la Universidad de Sevilla. Este banco hidráulico sirve como soporte básico para el desarrollo de caudalímetros, permitiendo la generación de diversos caudales (hasta 16 l/min) y el control y adquisición automática de información de cada ensayo por ordenador. Se describen en los siguientes apartados los componentes del banco así como la electrónica y software de control. Asimismo se ha incluido algunos resultados experimentales de la respuesta de un prototipo de medidor de caudal que se está desarrollando.

## 1. Introducción

La investigación y desarrollo de sensores de caudal pasa, obligatoriamente, por la utilización de bancos hidráulicos que sean soportes para la realización de pruebas experimentales y que determinen, de forma más o menos automática, el caudal que se suministra al sensor y los parámetros eléctricos resultantes del mismo. Tras haber diseñado un Banco Hidráulico de 400 m<sup>3</sup>/h para el CENTA [1], en este artículo mostraremos la estructura de un banco hidráulico (BH), de menor capacidad, cuyo objetivo primordial es el de servir, con un coste bastante bajo, como soporte para el estudio de caudalímetros experimentales.

## 2. Diagrama de bloques y principio de funcionamiento del banco hidráulico

Los componentes que conforman el BH son los siguientes: Un Aljibe de Cabecera que alimenta a las dos bombas que constituyen la impulsión. A la salida de estas se realiza la regulación del caudal mediante el grado de apertura de las válvulas instaladas. El BH está dotado de un medidor de referencia constituido por un contador de clase C electrónico de la casa CONTAZARA (error mejor del 2% para  $Q > 0.015 Q_n$  según ISO 4064-1) con comunicación remota mediante puerto serie RS-232. A continuación, se instalan los medidores a ensayar (el Caudalímetro Experimental en nuestro caso) y un sensor de temperatura (Pt100) para la corrección volumétrica del caudal. El agua que circula por la red se vierte en un depósito de metacrilato que denominamos Depósito de Medida

Volumétrico (DMV), el cual tiene por misión permitir la medida precisa del caudal circulante, posibilitar la recirculación de caudal y la calibración por pesada. El DMV lleva acoplado un tubo tranquilizador en el que se encuentran las sondas de nivel y cuya misión es la de evitar los oleajes producidos por el vertido del agua en el DMV. En la fig.1 se indica un esquema del BH.

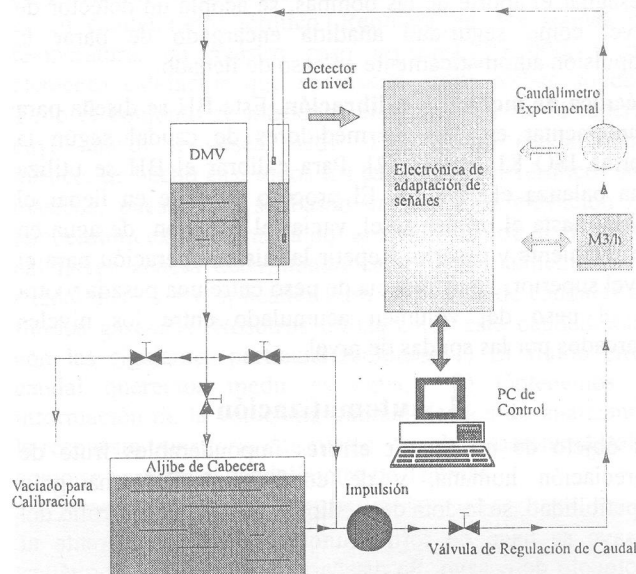


Fig. 1. Diagrama de bloques del banco de prueba

El BH tiene dos estados de funcionamiento: En modo recirculación y en modo registro de datos. El modo recirculación consiste en hacer pasar el agua por el circuito sin acumular en el DMV. Para ello se deja abierta la válvula de vaciado del DMV con lo que el agua que entra sale por ella. Este modo se utiliza para ajustar el caudal del ensayo (mediante la válvula a la salida de la impulsión) y conseguir la estabilización del mismo. El modo registro de datos consiste en registrar la respuesta del Caudalímetro Experimental, la temperatura del agua y el tiempo transcurrido desde que el agua alcanza el nivel de la primera sonda y el de la segunda. Para ello se cierra la válvula de vaciado del DMV. Una vez el nivel rebasa la altura fijada por la segunda sonda, se detiene la impulsión y se abre la válvula de vaciado del DMV.

### 3. Especificaciones del banco hidráulico

Las características del banco hidráulico son:

#### Caudal máximo de 16 l/min.

**Caudal regulable.** El BH está dotado de dos bombas de impulsión de diferentes características (distinto caudal nominal) constituyendo así una primera regulación de caudal discreta (conectar una bomba, la otra o ambas). Además de esta regulación, a la salida de cada bomba existe una válvula con la que se puede regular el caudal de forma continua.

**Medidor de referencia.** El BH está equipado con un medidor mediante el cual el investigador regula el caudal en el punto deseado (ajuste grueso del caudal). Este valor se entiende de referencia y es usado para ajustar el caudal y para comparar datos del sensor en tiempo real. El valor de caudal con máxima exactitud viene expresado por el cálculo del volumen aforado por el DMV dividido por el tiempo transcurrido entre marcas.

**Depósito de Medida por Volumen.** Depósito cilíndrico de metacrilato de 111 cm de altura y 19 cm de diámetro interior. Aunque el DMV posee un rebosadero capaz de desaguar el aporte de las bombas, se acopla un detector de nivel como seguridad añadida encargado de parar la impulsión automáticamente en caso de llenado.

**Técnica de medida y calibración.** Este BH se diseña para implementar ensayos de medidores de caudal según la norma ISO 8316/1987 [2]. Para calibrar el BH se utiliza una balanza electrónica. El proceso consiste en llenar el DMV hasta el primer nivel, vaciar el volumen de agua en un recipiente y pesarlo. Repetir la misma operación para el nivel superior. La diferencia de peso entre una pesada y otra es el peso del volumen acumulado entre los niveles marcados por las sondas de nivel.

### 4. Automatización

Al objeto de no asumir errores imponderables fruto de apreciación humana, y de conferir al BH una gran repetibilidad, se le dota de medios para que el desarrollo del ensayo se haga de forma automática en lo referente al protocolo de ensayo. Se diseña una aplicación informática con la que se implementa un pequeño sistema tipo Scada mediante el cual el investigador trabaja desde el PC de control determinando la excitación del caudalímetro experimental y realizando el ensayo de manera totalmente automatizada. Un ensayo, pues, consistiría en el siguiente proceso:

El investigador inicia desde PC el ensayo, debiendo primero registrar los parámetros que definirán el mismo, esto es, especificar los datos del operador, del medidor, la configuración del BH (bombas para la impulsión, sondas de nivel conectadas y sus alturas, etc.), la configuración del ensayo definido como número de pruebas que se van a realizar y las consignas de caudal de los mismos. Una vez definidos los parámetros del ensayo, se validan los datos quedando los mismos registrados en un archivo, pasando el programa a una pantalla donde se indica el número de pruebas y la consigna de caudal definida, así como un gráfico donde se representarán las entradas analógicas de la TAD. Desde aquí, el investigador regula manualmente el

caudal y comprueba el valor del mismo con el PC de control. Este último, obtiene el caudal mediante el registro del tiempo transcurrido en llenar el volumen entre sondas. Cuando se valida el caudal, se inicia la primera prueba del ensayo. El PC vacía el DMV, cierra la válvula de salida y comienza el llenado; al llegar a la primera sonda de nivel, se generará una interrupción, haciendo que el programa registre el tiempo y comience con la adquisición de datos de la tarjeta. Al llegar a la segunda sonda de nivel, la generación de una nueva interrupción provoca la segunda lectura del tiempo y el cese de la adquisición de datos, las bombas se detienen y comienza el vaciado del DMV. Los datos de la TAD son mostrados en el gráfico así como el caudal medido por el BH. Finalmente el programa solicita una validación de la prueba para registrar los resultados y poder pasar a la siguiente prueba del ensayo. El proceso se repite para todas las pruebas de las que consta el ensayo. La figura 2 muestra la pantalla principal del software de control que ha sido realizado usando LabWindows para la representación del entorno y Borland C para el control del flujo del programa.

The screenshot shows a graphical user interface for a hydraulic bench control system. At the top, there is a menu bar with 'Ficheros' and 'Base Datos'. Below it, a status bar displays the date '05-27-1998', the current level 'Niveles', the state 'INICIO', and the time '17:39:30'. The main area is divided into several sections: 'Operario' with the name 'M. Leal' and buttons 'ABANDONAR' and 'CONTINUAR'; 'Datos del Medidor' with a dropdown for 'Tipo de Medidor' set to 'Caudalímetro', and fields for 'Marca' (Dpto. I. Electronica), 'Modelo', and 'N. Serie' (000-P); 'Configuración de la impulsión' with checkboxes for 'Bomba1' (Para Qn hasta 30 l/min) and 'Bomba2' (Para Qn hasta 3 l/min); 'Elección de sondas de nivel (seleccionar 2)' with checkboxes for 'Sonda D', 'Sonda C', 'Sonda B', and 'Sonda A', and a 'ACEPTAR' button; and 'Volumen entre marcas (l)' set to '8'. A 'Clase' field is set to 'n/a'.

Fig. 2. Pantalla principal del software de control

La automatización de este proceso no sólo implica el diseño de la aplicación informática que lo controla sino también la implementación de una electrónica asociada a los componentes del sistema para conectar los elementos físicos con el PC (detector de nivel de sondas, adaptador para niveles TTL para la comunicación con el contador, control de bombas, etc.).

Para describir con mayor comodidad los distintos componentes electrónicos que conforman el sistema de control del banco vamos a dividirlos en dos grandes bloques: bloque de entorno del ordenador y el bloque del banco.

El primero lo constituye el computador y todos los elementos añadidos o propios que son manejados directamente por él y necesarios para el control automático del banco y para el estudio de caudalímetros experimentales. Estos elementos son: la tarjeta de adquisición de señales (LPM-16 de National Instruments), el puerto serie, una tarjeta GPIB de National Instruments,

Polímetro Fluke con control GPIB y Generador de Funciones Philips, también con control GPIB. La tarjeta de adquisición de señales permite, con sus entradas analógicas, obtener las medidas del caudalímetro experimental y del sensor de temperatura usado para la corrección volumétrica del caudal. Por otro lado, esta tarjeta dispone también de entradas y salidas digitales que son utilizadas, las primeras, para recibir información de cuándo se produce el paso del agua por las sondas de nivel colocadas en el tubo tranquilizador y, las segundas, para la activación/desactivación de los distintos elementos de impulsión y desagüe del agua en el banco (bombas de impulsión, electroválvula y bomba de desagüe). Hay que destacar el hecho de que la detección del paso del agua por las sondas de nivel se realiza mediante interrupciones, esto supone una mejora en la detección del tiempo de llenado y por consiguiente una mejora del caudal medido. El puerto serie permite el control del contador CONTAZARA y la recepción de la información del caudal suministrado. La tarjeta GPIB permite el control remoto del polímetro y del generador de funciones, los cuales son utilizados para la obtención de medidas a baja frecuencia, calibración y generación de señales de excitación para el caudalímetro experimental.

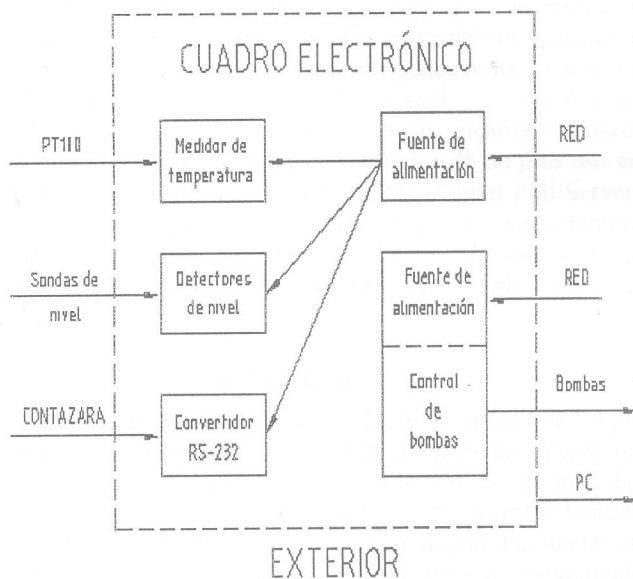


Fig. 3. Esquema del cuadro electrónico

El segundo de los bloques, incluye todos aquellos componentes que son necesarios para el control del banco y la adaptación de señales para su transmisión al PC. En la figura 3 se muestra un diagrama de bloques del sistema de control del banco. La fuente de alimentación suministra tensiones de -15V, 15V y 5V a los dispositivos del banco que lo necesiten. El circuito de control de bombas permite la activación de las tres bombas existentes y de la electroválvula. Este circuito recibe las órdenes de control de tipo digital del PC o de unos conmutadores externos (en caso de que el ordenador no esté conectado al banco) y genera los niveles de tensión adecuados para la activación de los relés de control de las bombas. Este circuito recibe una entrada adicional que procede de un sensor de nivel instalado en la parte alta del DMV y que se utiliza como entrada de seguridad, con el objeto de desactivar las

bombas de impulsión para evitar posibles desbordamientos del depósito. La sonda de temperatura recibe el valor resistivo de una sonda Pt100 situada en la entrada del DMV y genera el nivel de tensión correspondiente con la temperatura del agua. Esta salida está conectado con una de las entradas analógicas de la tarjeta de adquisición de señales. El convertidor rs-232 permite la conversión de niveles TTL usados por el contador CONTAZARA para su comunicaciones serie, con los niveles RS-232 utilizados por el puerto serie del PC. El circuito detector de niveles permite la adaptación de las sondas de nivel a valores digitales. Todos estos circuitos que constituyen el bloque de control están diseñados siguiendo criterios de modularidad, de forma que en caso de avería de alguno de los módulos, estos puedan ser sustituidos con facilidad. Además, dichos módulos se encuentran interconectados entre sí, con el PC y con los componentes del banco, mediante un sistema de embornado, todo ello centralizado físicamente en un armario.

## 5. Descripción del caudalímetro experimental

El caudalímetro que se está desarrollando es una modificación del caudalímetro clásico de Thomas, por tanto es un caudalímetro térmico. Requiere de dos sondas de temperatura, en nuestro caso sensores PT1000, y un elemento calefactor que se inserta entre ambas sondas. Todo el conjunto se introduce en el interior de la tubería cuyo caudal se desea medir. Este es un caudalímetro másico, de hecho casi todos los caudalímetros térmicos son másicos, puesto que se basan en medir la elevación de temperatura experimentada por el fluido cuando el elemento calefactor genera determinado calor. Habitualmente estos caudalímetros son aplicados para la medida de caudales de fluidos gaseosos. Nosotros utilizaremos este caudalímetro con las siguientes particularizaciones: 1) El fluido cuyo caudal queremos medir es agua; 2) Obtenemos la información de la velocidad puntual de líquido analizando la respuesta transitoria del mismo y no la estacionaria, tal y como se haría en el caudalímetro de Thomas.

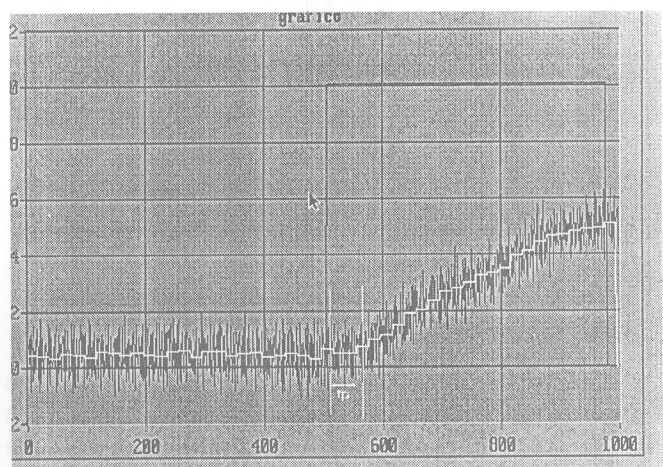


Fig. 4. Respuesta del caudalímetro a un caudal constante cuando es excitado por una señal escalón

En la figura 4 se muestran unos resultados obtenidos por el sistema. Se observa el escalón de tensión aplicado a la sonda calefactora y la respuesta generada por el sensor. Con respecto a esta última, se puede apreciar que existe un

pequeño tiempo de retraso medido desde que se aplicó potencia al calefactor. Este retraso depende, en buena medida, de la distancia que separa las sondas de temperatura del calefactor y de la velocidad del fluido. Midiendo el retraso  $t_p$  y conocida dicha distancia de separación, se puede obtener la medida de la velocidad del fluido.

## 6. Conclusiones

La utilización de bancos de prueba hidráulicos automatizados es vital para la investigación y desarrollo de caudalímetros [3],[4]. Además, el uso de esta automatización permite una total repetibilidad de los ensayos y una gran fiabilidad de los mismos.

Actualmente el Banco Hidráulico BH aquí presentado está instalado en la Escuela Universitaria Politécnica de Sevilla y están en curso toda una serie de ensayos siguiendo un protocolo y verificación automática controlados por ordenador

## 7. Agradecimientos

Este proyecto ha podido realizarse gracias a la ayuda recibida por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT), proyecto HID-0751.

## Referencias

- [1] A. Menéndez, F. Biscarri, A. Gómez; "Diseño de un Banco de Pruebas Hidráulico para 400 m<sup>3</sup>/h". Informe interno del Grupo IEA (I+D en Instrumentación Electrónica y Aplicaciones) de la Universidad de Sevilla relativo a un convenio de colaboración con INNOVA,S.A. y el CENTA (Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua) ref.: 03/9702.1, 1997.
- [2] "Medida de líquidos en conductos cerrados. Método de recolección de líquidos en tanque volumétrico". ISO 8316/1987
- [3] A. Menéndez, F. Biscarri; "Medidas de caudal en una red de Abastecimiento de Agua"; Revista de *Tecnología del Agua*, Julio 1995, n° 140.
- [4] A. Menéndez, F. Biscarri, A. Gómez; "Control de Calidad de Medidas de Caudal en una Red de Abastecimiento de Agua"; Revista de *Tecnología del Agua*, Junio 1997, n° 166.