Estación automática de calibración de caudales con trazadores en ríos efímeros

JAVIER ALEIXANDRE CAMPOS (*);JOSÉ BUENO PÉREZ (*); DANIEL MOLINA MARINAS (*);
JAIME TAMARIT RODRIGUEZ(*); ANTONIO PLATA BEDMAR (**)

RESUMEN Las técnicas para la medida de caudales basadas en el uso de trazadores artificiales representan la única posibilidad para la calibración automática de estaciones de aforo de ríos efímeros. En este artículo, se describe la solución adoptada en el diseño y desarrollo de una estación automática programable que se "despierta" con cada riada y permite realizar la inyección del trazador y toma de muestra de forma automática y sincronizada con el nivel del agua del río. Esta estación experimental se ha instalado en Namibia.

AUTOMATIC TRACER FLOW GAUGING STATIONS IN EPHEMERAL RIVERS

ABSTRACT *The techniques for flowrate measurement in rivers based on the use of artificial tracers represent the only possibility for the calibration of gauging station in ephemeral rivers. In this article, the adopted solution for the design and development of an automatic programmable station is described. This station is waken up with every flood and makes the tracer injection and sampling automatically and synchronised with the river water level. The experimental station has been installed in Namibia.*

Palabras clave: Aforo de ríos, trazadores, método de integración, aforo automático.

1. INTRODUCCIÓN

El equipo que se describe a continuación ha sido diseñado y desarrollado en el Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas gracias a un contrato de cooperación entre el CEDEX y el OIEA (Organismo Internacional de Energía Atómica con sede en Viena, Austria), utilizando fondos del proyecto bilateral de cooperación técnica NAM/008/003 acordado entre este Organismo y el Gobierno de Namibia [1].

Debido a las condiciones meteorológicas reinantes en Namibia, la mayoría de los ríos del país son de carácter efímero. El agua, generalmente, fluye durante unas pocas horas o, excepcionalmente, unos pocos días después de producirse alguna precipitación en la cuenca de drenaje. Aparte de esto, la distribución de las precipitaciones es extremadamente irregular, tanto en el espacio como en el tiempo. Debido a este hecho y a lo extenso del país, en la mayoría de los casos, es imposible para los técnicos de Namibia llevar a cabo la calibración de las estaciones de aforo de los ríos, que están situadas muy lejos del laboratorio. Las técnicas para medida de caudales basadas en el uso de trazadores artificiales representa la única posibilidad de resolver este problema.

En Abril de 1999 se definen las especificaciones del sistema en una reunión de expertos en Windhoek (Namibia). A finales de ese mismo año, se cuenta ya con todos los elementos comerciales necesarios para el desarrollo del sistema en los Laboratorios del CEDEX. Durante el año 2000, se construyen todos los módulos. En Octubre, se cuenta con la presencia en Madrid de Antje Eggers (técnico de Namibia) para familiarizarse con el montaje y programación del sistema y se hacen las primeras pruebas de campo en un canal de la presa de Tous, cuyo caudal es bien conocido, antes de enviar el equipo a Namibia. En una segunda misión en Diciembre de ese mismo año, se deja instalado y programado el sistema en el río Arebbush cerca de Windhoek, justo un poco antes de que comience la estación de las lluvias.

En el artículo presente, se describe el sistema, su principio de funcionamiento e instalación, así como los datos obtenidos durante las primeras avenidas.

2. FUNDAMENTO DEL MÉTODO

Para la construcción del sistema de medida automático de caudal, se ha adoptado la técnica de inyección instantánea de trazador. En este método, una cantidad conocida de trazador se inyecta de forma instantánea en un punto del río (estación de inyección) y, en una segunda estación situada aguas abajo de la anterior (estación de muestreo), se bombea agua a caudal constante durante todo el tiempo que dura el paso del trazador. La distancia entre estas dos estaciones debe ser suficiente para que se cumpla la condición de buena mezcla. Por otra parte, el muestreo debe iniciarse antes que la llegada de la primera fracción de trazador a la estación correspondiente y la duración del muestreo debe ser suficiente para asegurar que toda la nube de trazador haya pasado por dicha estación. El agua bombeada a caudal constante se recoge en un tanque de mezcla, donde se efectúa la integración de la curva de paso. Una vez transcurrido el período de bombeo, se extrae una pequeña fracción del agua colectada en el tanque, la cual se guarda para su medida. Si se denomina C_m a la concentración medida en esta muestra de agua, M a la masa de trazador inyectada y t al

(*) Sector de Técnicas Físicas y Electrónicas. CETA. CEDEX.
(**) Sector de Aplicaciones Nucleares. CETA. CEDEX.

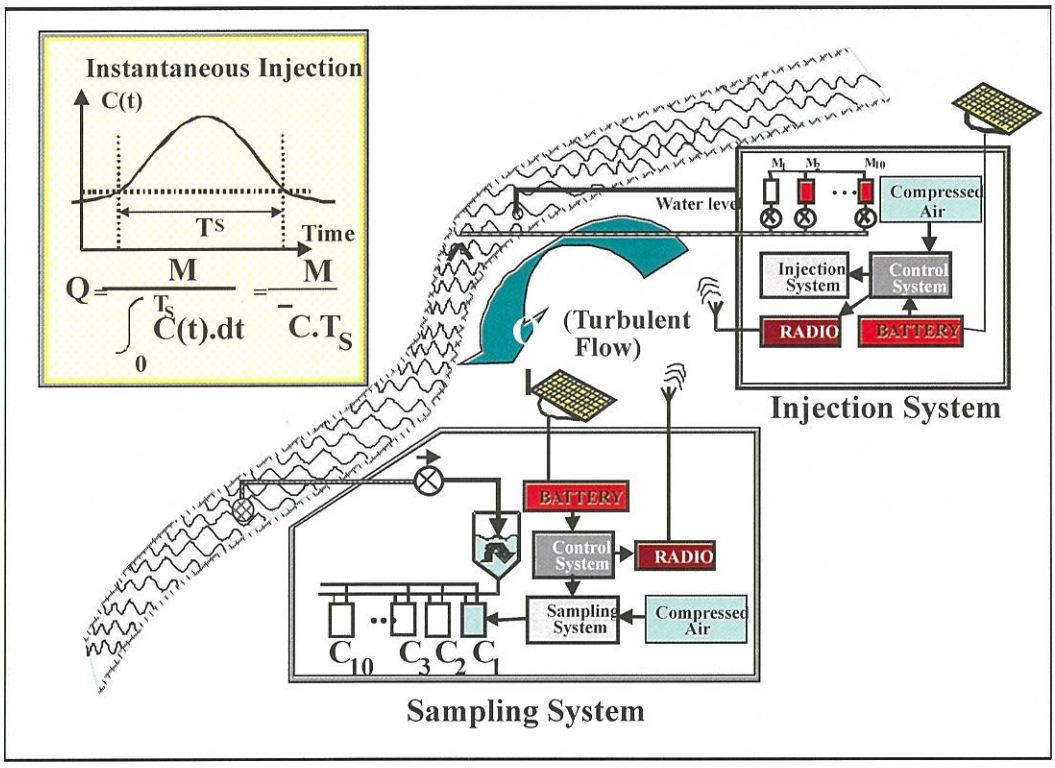

FIGURA 1. Sistema de calibrado automático de estaciones de aforo en ríos efímeros.

tiempo de muestreo (tiempo de funcionamiento de la bomba), el caudal del flujo de agua Q viene dado por la expresión $Q=M/t\cdot C_m$). El valor de C_m se mide en el laboratorio [2]. El equipo ha sido previsto para utilizar rodamina WT o tritio como trazadores. El primero de estos trazadores se recomienda sólo para caudales inferiores a unos 50 m³/s. La rodamina se mide por medio de un fluorímetro y el tritio utilizando un detector de centelleo líquido.

3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema de medida suministra valores del caudal para diferentes niveles del río durante el período de crecida. Para ello el equipo cuenta con una sonda de nivel basada en un sensor de presión. De esta forma, el equipo permite obtener una curva de calibración que relaciona el caudal del río con el nivel del agua en la estación de aforo. El sistema de inyección está preparado para inyectar hasta 10 cantidades diferentes de trazador preparadas para 10 diferentes niveles de calibración. Las medidas del caudal se realizan durante la rama descendente del hidrograma, debido a que ésta tiene mayor duración que la rama ascendente.

El equipo consta de dos sistemas separados que se instalan en sendas casetas al lado del lecho del río: el sistema de inyección (Injection System), que hace de estación maestra y el sistema de toma de muestras (Sampling System), situado aguas abajo de la corriente, que hace de estación esclava.

Cada sistema está formado por un módulo de control y un conjunto de módulos, que contienen los recipientes para la inyección de trazador o para recoger las muestras de agua del río. El sistema modular permite su fácil transporte y posterior montaje en la estación del río. El módulo de con-

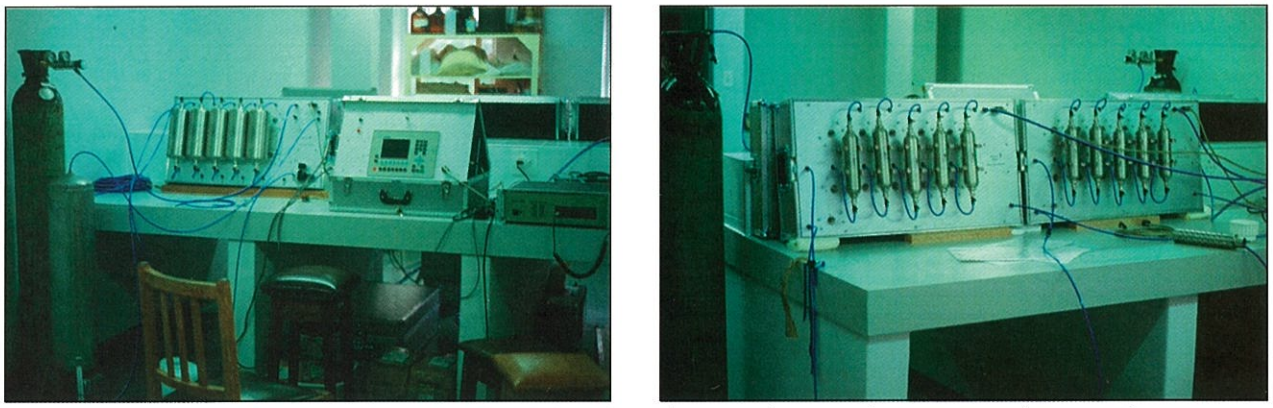

FIGURA 2. Las dos estaciones montadas en el Laboratorio de Hidrología de Namibia. Izquierda: sistema de inyección. Derecha: sistema de muestreo.

FIGURA 3. Instalación de las dos estaciones en el río Arebbush , cerca de Windhoek. Izquierda: sistema de inyección. Derecha: sistema de toma de muestra.

trol es un sistema basado en microprocesador, que tiene capacidad de almacenamiento en memoria, medida en tiempo real, interfaz digital y analógica y canales de comunicación serie. Se le ha dotado de un programa desarrollado en lenguaje de alto nivel, con unas estructuras lógicas que permiten al sistema ser programado por el operador de acuerdo a las necesidades y características de cada río.

Para evitar el consumo de energía, cada sistema está apagado cuando no hay agua en el río. Cada uno, tiene un dispositivo con dos flotadores que detecta la llegada del agua y los despierta, respectivamente. La comunicación entre ambas estaciones es vía radio, ya que éstas pueden estar separadas una distancia de varios kilómetros. La alimentación de cada estación es con baterías y se dispone de una botella de aire comprimido para el accionamiento de las válvulas neumáticas.

La llegada de agua por el río despierta a ambos sistemas. La estación de inyección arranca el proceso de registrar la evolución en el tiempo del nivel del agua y de vigilar la detección de una de las condiciones programadas de disparo del trazador. La estación de muestreo arranca y se queda a la espera de recibir la orden correspondiente de la estación de inyección.

Los hidrogramas de los ríos existentes en Namibia suelen presentar un incremento muy rápido del caudal, debido a lo cual la condición de disparo para la inyección del trazador se realiza una vez que el nivel del río ha alcanzado un máximo y comienza a bajar. El sistema de inyección tiene programados los rangos de los niveles del agua del río en los que se desea determinar el caudal del mismo. El número y los valores de los niveles de agua para estas determinaciones los define el operario del sistema de acuerdo a sus necesidades y los tiene que programar en el equipo antes de dejarlo conectado.

Una vez que la estación de inyección detecta una condición de disparo del trazador, se arranca un proceso de realizar una inyección una vez que el sistema de muestreo le comunique vía radio que esta preparado. En este momento, el microprocesador comienza la siguiente secuencia de operaciones:

1. Dar presión en tanque de limpieza y bloques de electroválvulas.
2. Abrir las válvulas neumáticas del recipiente, que contiene el trazador, y dar presión para inyectar a presión el trazador al río.
3. Limpiar el recipiente con agua destilada a presión e inyectar al río.
4. Cerrar todas las válvulas y apagar el sistema neumático. Fin del proceso

La estación de muestreo está preparada con los datos que le envió vía radio la estación de inyección, esto es, el instante en que tiene que comenzar el bombeo de agua (retardo desde que se inyectó el trazador), en que recipiente tiene que almacenar el agua y el tiempo de muestreo (para coger la nube de paso del trazador). Son datos que el operario introdujo en la memoria del sistema para cada nivel de calibración de acuerdo a las características específicas de cada río. El sistema de bombeo arranca el proceso de acuerdo a estos datos, comenzado la siguiente secuencia de operaciones:

1. Limpieza del filtro y de la línea de toma mediante aire a presión.
2. Arrancar la bomba peristáltica para subir el agua del río al nivel de la estación.
3. Abrir en el instante determinado la válvula del tanque de mezcla y llenar a caudal contante (célula de nivel constante) durante el tiempo de muestreo programado.
4. Almacenar una muestra directamente de agua del río al terminar este proceso, para determinar la cola de la nube de trazador.
5. Almacenar una muestra del tanque de mezcla en el recipiente asignado.
6. Vaciar el tanque de mezcla.
7. Cerrar todas las válvulas y apagar el sistema neumático. Fin del proceso

La muestra de agua mencionada en el punto 4 anterior se toma con el objeto de comprobar "a posteriori" que el paso de la nube de trazador ha sido completo. La concentración en esta muestra debe ser despreciable si esta condición se ha cumplido.

Una vez finalizado el proceso de tomar una muestra, le comunica a la estación de inyección que terminó el proceso y se queda de nuevo a la espera de recibir una nueva orden. El sistema de inyección almacena los datos correspondientes a este nivel de disparo en una memoria no volátil, y sigue registrando la evolución del nivel de agua del río y vigilando la detección de una condición de disparo.

Cuando el río deja de llevar agua, el detector de nivel de cada estación genera la orden de autoapagado y el sistema de muestreo se apaga sin más. El sistema de inyección almacena en un archivo los registros de altura del río y los datos correspondientes al disparo realizado antes de apagarse. Ambas estaciones quedan preparadas para una nueva crecida del río.

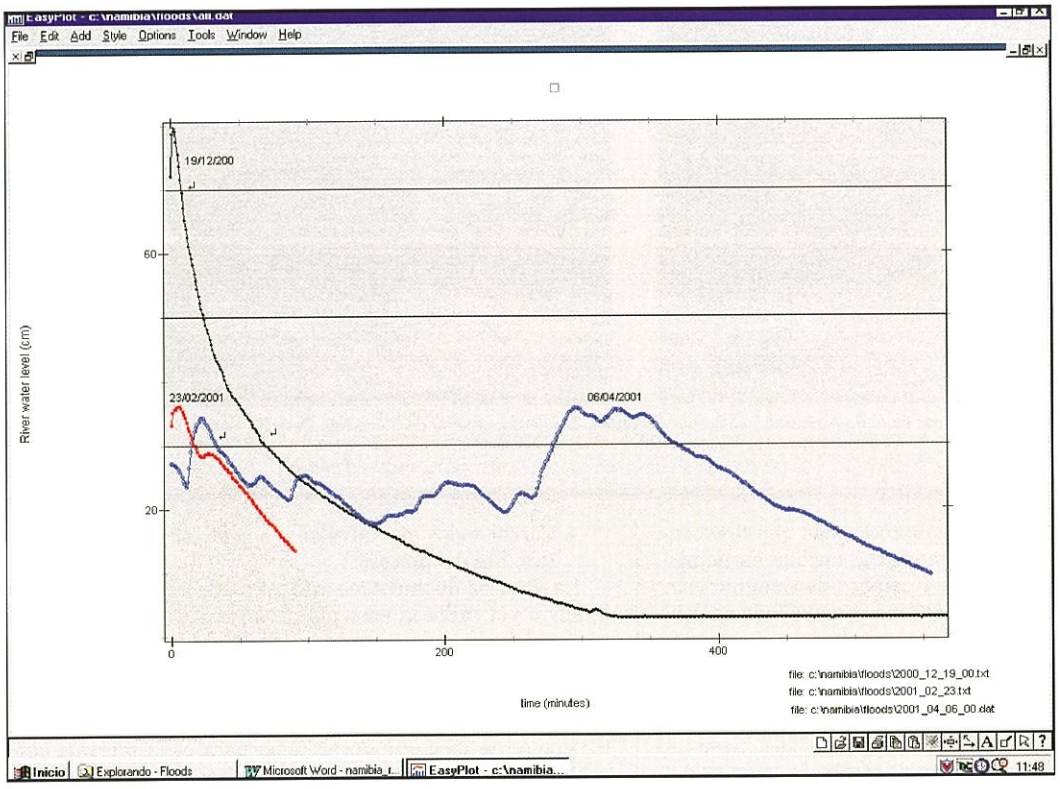

FIGURA 4. Evolución del nivel del río en las primeras crecidas desde su instalación.

Al final del periodo de las lluvias, el operador descarga de la memoria del microprocesador del sistema de inyección los archivos de los registros del nivel del río correspondientes a cada crecida, así como los datos asociados a los procesos de inyección y toma de muestras. Se recogen las muestras de agua tomadas por el equipo y se analizan en el laboratorio.

Obtenidas las concentraciones de cada muestra se tienen todos los datos para calcular los caudales del río, relacionarlos con los niveles del agua correspondientes y obtener así la curva de calibración de la estación de aforos. Siempre que las condiciones de la sección del río en el tramo donde se realizan los aforos no cambien, bastará registrar el nivel del agua en dicha sección del río para conocer el caudal que circula por el mismo.

4. PRIMEROS RESULTADOS

Este año no ha sido especialmente lluvioso en la zona de Namibia donde se instaló el equipo, tal como se puede observar en la figura 4, donde se indica la evolución del nivel del río en las primeras crecidas. En total, el río ha llevado agua unas 18 horas con unos niveles de lámina de agua mucho más bajos que los esperados. Los resultados obtenidos no han permitido calibrar la estación de aforo. Pero, en cambio, sí se han obtenido unos datos muy importantes de estas primeras experiencias relativos a situaciones reales, los cuales permiten conocer de primera mano los flujos de agua generados en este país, sobre todo en lo que se refiere a la masa de sedimentos que arrastran, tanto en suspensión como a

FIGURA 5. Las jaulas de inyección y toma de muestra después de la primera riada.

través del lecho del río. Los problemas generados por estos sedimentos han tenido que ser resueltos mediante determinados cambios en el sistema de bombeo del agua del río, con el objeto de evitar la obstrucción de las tuberías y de los elementos de control del caudal.

De estas curvas podemos resaltar que los algoritmos de filtrado y los de detección de las condiciones de disparo del trazador funcionaron correctamente (niveles de disparo 30 y 70 cm) . No obstante como se puede observar en la figura 5, el río arrastró todo tipo de escombros que encuentra el agua en su cauce, así como gran cantidad de sedimentos. Esto afectó principalmente a los elementos flotadores que despiertan y apagan el sistema, y a la célula de caudal constante en el sistema de muestreo.

5. CONCLUSIONES

Debido al ritmo que impone la naturaleza en Namibia, definitivamente, el sistema se quedará instalado en este mismo río para la próxima estación de las lluvias.

Fruto de estas primeras experiencias, solo podemos extraer las siguientes conclusiones:

- Los algoritmos utilizados en la programación son válidos para la detección de la pendiente y punto de disparo.
- Se requiere la introducción de ciertas mejoras derivadas, básicamente, de el tipo de aguas que se encuentran en los ríos del país. Estas mejoras afectan a los siguientes puntos:
  - Proteger los elementos flotadores que despiertan y apagan el sistema con la llegada del agua con un filtro más tupido y situarlos de forma que drenen bien el agua.
  - Sustituir la célula de caudal contante por una bomba peristáltica de caudal equivalente. El flujo para la toma de muestra debe ser dinámico para evitar decantar las partículas en suspensión.
  - Mejorar la alcachofa de toma de agua del río con un filtro superior, de forma que no deje pasar partículas de tamaño mayor de 200 micras.

Las mejoras en los elementos mencionados ya se han diseñado y probado en los Laboratorios del CEDEX, simulando el agua de aquellos ríos en un contenedor con agua batida con lodo y arena de diferentes tamaños.

Esperamos haber creado una herramienta útil que permita a los técnicos de Namibia conocer mejor el agua que tienen, el bien más preciado en un país desértico. Por otra parte, agradecemos al CEDEX, la OIEA y al "Department of Water Affairs" de Namibia el habernos dado la posibilidad de participar en este proyecto tan enriquecedor, tanto en el aspecto humano, como en el propio desarrollo científico y experimental.

Agradecemos especialmente la colaboración de Antje Eggers y Guido Van Langenhove del Department of Water Affairs (Ministry of Agriculture, Water and Rural Development of Namibia) por su trabajo y entusiasmo, que han hecho posible la realización de este proyecto.

REFERENCIAS

[1] Automatic tracer flow gauging stations in ephemeral rivers. Informe técnico I+D para IAEA (International Atomic Aenergy Agency). Ref: NAM/008/003. Enero 2001. CETA.CEDEX.

[2] PLATA, A. 1999. Manual de fugas en embalses. CEDEX, ISSN 0211-6502, ISBN 84-7790-335-2, Madrid.

PUBLICIDAD

MUROS DE CONTENCIÓN Y MUROS DE SÓTANO

J. Calavera. 3ª edición

La segunda edición de este libro se agotó a finales de 1996 pero el autor decidió no realizar esta tercera edición hasta el momento actual dado que en aquella fecha estaba ya muy avanzada la redacción de la Instrucción EHE que hubiera afectado a la información contenida en el libro.

Esta nueva edición, aparte de estar redactada de acuerdo con la nueva EHE, introduce novedades y ampliaciones muy importantes en relación con las anteriores.

En particular debe destacarse la adopción del reparto uniforme de tensiones de acuerdo con las tendencias del futuro Eurocódigo de Geotecnia, en sustitución del reparto lienalmente variable, empleado hasta nuestros días.

Por otra parte el libro presenta capítulos completos dedicados a temas fundamentalmente nuevos tales como los Detalles Constructivos, el proceso de Ejecució incluyendo el Control de Calidad, las formas de Medición y Abono y recomendaciones de Mantenimiento, un capítulo también completo dedicado a los Aspectos Estéticos de los Muros y otro dedicado a la Patología de Muros.

El libro contiene además seis colecciones de Muros de Contención, que cubren el campo hasta 10m de altura, y ocho de Muros de Sótano, de uno y dos sótanos, que permiten el proyecto inmediato de estos muros proporcionando directamente las dimensiones, las armaduras con su despiece y las mediciones de hormigón y acero por metro lineal de muro, tanto para acero de 400 como de 500.

Edita: INTEMAC
Tel. 91 310 51 58 - Fax: 91 310 25 80
Monte Esquinza, 30 - 28010 Madrid
e-mail: intemac@intemac.es