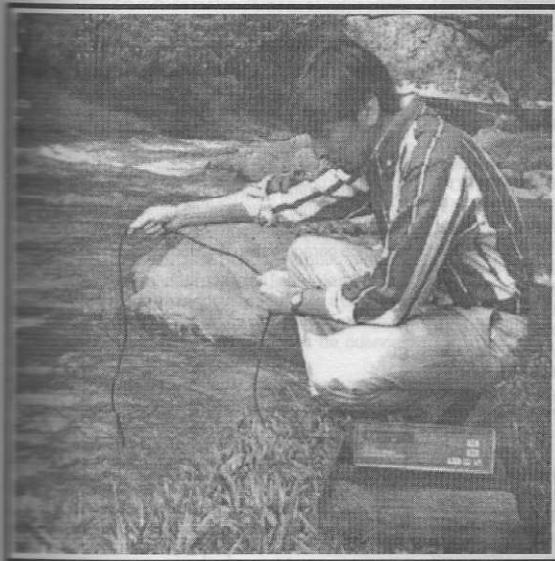


Instrumento IMHE: Aplicación de nuevos desarrollos en la hidráulica



□ **Alfredo José Constain A. Ing.**
Director Científico,
Amazonas Technology
Cali-Colombia.

□ **Oscar Fernando Agredo S.M.Sc**
Director Programa de ing.
Eléctrica y electrónica,
Universidad Autónoma de
Occidente, Cali-Colombia.

□ **Rodrigo Antonio Lemos R. M.Sc.**
Profesor,
Universidad del Cauca
Colombia.

□ **Alejandro Carvajal Ruiz, Ing.**
Director Técnico,
Amazonas Tech,
Cali-Colombia.

*Grupo de Hidrometría de Cali,
reconocido por Colciencias,
A.A. 5931 de Cali*

Recibido: Mayo 2002
Aceptado: Junio 2.002

Computación, Volumen XI, No. 1 - Edición No. 19

RESUMEN

Se presenta en este artículo la fundamentación operativa de la tecnología IMHE (Instrumentación Múltiple Hidrométrica Electrónica) la cual ha permitido la aplicación de nuevas fórmulas de la hidráulica fluvial enteramente desarrolladas en Colombia. Se hacen algunos análisis sobre la calibración y aplicación de un instrumento.

PALABRAS CLAVES

Instrumentación, hidráulica, transporte de masa.

ABSTRACT

The operative foundation of IMHE technology (Multiple Electronic Hydraulic instrumentation) that has allowed the application of new formulas of fluvial hydraulics entirely developed in Colombia is presented in this article. Some analysis on calibration and application of an instrument are shown.

KEYWORDS

Instrumentation, hydraulics, mass transport.

1. INTRODUCCIÓN

Los autores han diseñado y operado durante los tres últimos años un instrumento electrónico digital (Figura

No.1) que basado en nuevas ecuaciones del transporte de masa en los cauces turbulentos ha permitido disponer de una visión muy completa de parámetros físicos e hidráulicos de los flujos naturales [1].



Figura No. 1 . Instrumento IMHE

Este instrumento funciona con la técnica de trazadores iónicos la cual consiste en verter aguas arriba de un cauce una determinada masa de sustancia trazadora, que evoluciona en la turbulencia diluyéndose para ser medida aguas abajo, siendo interpretada la "nube iónica" (riadas) por un programa de microcontrolador que calcula los diferentes parámetros y los muestra en una pantalla digital.

Las subrutinas en ensamblador permiten medir con gran precisión las diferentes informaciones temporales y de concentración que se esconden en las formas de las riadas.

Para realizar estos cálculos la memoria del instrumento ha sido programada con fórmulas que han sido desarrolladas y verificadas por el Grupo de investigación durante el tiempo que ha durado el proyecto [2].

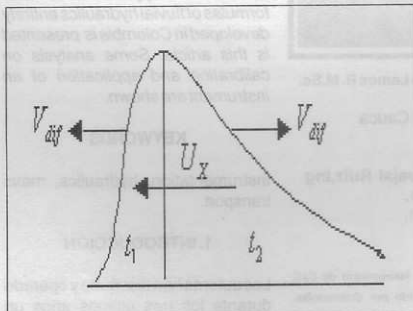


Figura No. 2. Composición de movimientos en la riada

2. ALGUNAS DE LAS NUEVAS FÓRMULAS PROPUESTAS

A partir de la identificación de una composición de velocidades desde el punto de vista de un observador euleriano ha sido posible establecer la relación que existe entre la velocidad advectiva de un cauce turbulento, U_x y la velocidad de difusión-dispersión de los iones del trazador, V_{dif} . Figura No. 2.

Se define un Coeficiente de asimetría, ϕ ,

$$\phi = \frac{V_{dif}}{U_x} \quad (1)$$

Que además, teniendo en cuenta la composición de movimientos, vale:

$$\phi = \frac{t_2 - t_1}{t_2 + t_1} \quad (2)$$

Si se tiene en cuenta la definición general de los desplazamientos totalmente al azar, donde D es el desplazamiento característico para el 68% de la masa vertida, E es el Coeficiente de difusión longitudinal, y τ es el tiempo característico de dilución.

$$\Delta^2 = 2 E \tau \quad (3)$$

Si,

$$V_{Dif} = \frac{\Delta}{\tau} \quad (4)$$

Entonces se puede establecer una expresión para la velocidad general advectiva del cauce turbulento:

$$U_x = \frac{1}{\phi} \sqrt{\frac{2 E}{\tau}} \quad (5)$$

Si se tiene en cuenta la ecuación clásica de Fick para la definición de las riadas de trazador, donde $C_e(x,t)$ es la concentración diferencial medida por el instrumento al paso de la nube iónica y A es el área de la sección transversal del cauce.

$$C_e(x,t) = \frac{M}{A \sqrt{4\pi E t}} e^{-\left(\frac{(x-U_x t)^2}{4 E t}\right)} \quad (6)$$

Despejando E en la ecuación (5) y reemplazando su valor en la ecuación (6) se tiene una definición modificada de la forma de las riadas. Aquí $\beta=0.217$, valor hallado en un análisis de triángulos para la relación entre t y Q es el caudal y es igual al producto U_s por A .

$$C_e(x,t) = \frac{M}{Q \phi t \sqrt{2\pi \beta}} e^{-\left(\frac{(x-U_s t)^2}{2 \beta \phi^2 U_s^2 t^2}\right)} \quad (7)$$

Adicionalmente, han sido desarrollados modelos teóricos para la rugosidad de los lechos (números de Manning), para el coeficiente de resistencia de pérdida del flujo, y para algunos parámetros moleculares asociados con la física del estado líquido, [3].

3. ÁMBITO DE UTILIZACIÓN DEL INSTRUMENTO

Una vez diseñado, el instrumento fue calibrado estáticamente con respecto a la conductividad y posteriormente aplicado a la medición de velocidad y caudal en diferentes cauces naturales de Valle, Cauca y Cundinamarca. Pese a tener un error muy pequeño por resolución del aparato se ha verificado que en cauces contaminados o con alta concentración salina, el error absoluto por fluctuaciones del fenómeno puede llegar a ser muy alto deteriorando la precisión final de la medición. Así mismo, el tipo de trazador utilizado limita a caudales no mayores de los 30 m³/s siendo esto un inconveniente cuando se requiere hacer evaluaciones de cuencas mayores.

Para contrarrestar el problema de las fluctuaciones iónicas y para ampliar suficientemente el rango de caudal, el instrumento está siendo acondicionado a soportar un sensor de Rodamina, un trazador que emite radiación relicta (fluorimétrica) y que opera sin interferencia de variaciones de la salinidad del cauce y con concentraciones comparativas muy bajas, lo que permite usarlo hasta caudales del orden de 600-800 m³/s.

4. CALIBRACIÓN ESTÁTICA DEL INSTRUMENTO

El instrumento fundamenta toda su operación en la medición de conductividad por lo que es muy importante verificar la precisión de la misma. Utilizando el Laboratorio de físico-química de Calidad Ambiental de la CVC se obtuvo la siguiente curva de calibración en la que se comparan los resultados del equipo IMHE y de un conductímetro HANNA HI-9039 (utilizado como referencia). Para la prueba se usó agua destilada y deionizada y con la balanza analítica del laboratorio, calibrada a 4 cifras significativas (>0,05% de error relativo) se midieron masas de cloruro de sodio de buena calidad (tipo REFISAL). Figura No.3.

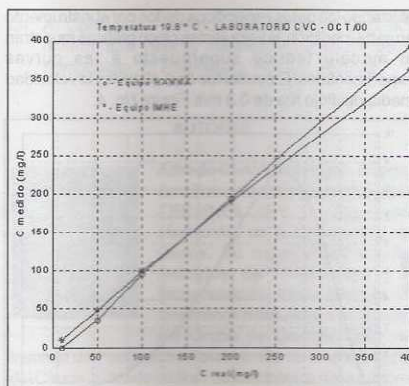


Figura No. 3. Curva de calibración estática de conductividad

Teniéndose que entre 0 ppm y 180 ppm (aprox.) el instrumento IMHE muestra una mejor LINEALIDAD y CONFORMIDAD con el patrón. El instrumento HANNA muestra un offset en el arranque de la gráfica (teniéndose un error sistemático para mediciones por debajo de 100 ppm). A partir de los 200 ppm los dos instrumentos muestran una LINEALIDAD similar pero se nota una mejor conformidad con el patrón por parte del aparato HANNA. Para el rango de 0 - 10 ppm el aparato HANNA muestra un error relativo de 100% mientras que el IMHE muestra un error relativo del 2%. Para el rango de 10-50 ppm el instrumento HANNA muestra un error relativo de 100% mientras que el aparato IMHE tiene un error relativo de 4%. Para el rango de 50-100 ppm el instrumento HANNA tiene un error del 10% mientras que el aparato IMHE tiene uno de 2%. Para un rango de 100-200 ppm el HANNA tiene un error de 3% mientras que el IMHE tiene uno del 6%. Para el rango de 200-400 ppm el HANNA tiene uno del 1% mientras que el IMHE tiene uno del 9%. Como quiera que el instrumento IMHE se usa en ambientes relativamente suaves de concentración (rara vez mayores a 200 ppm) se puede decir que en los rangos usuales de aplicación, la precisión básica del instrumento es satisfactoria, con un error porcentual menor al 4%.

5. APLICACIÓN PRÁCTICA DEL INSTRUMENTO

Durante una jornada de campo en la región de Pradera (Cundinamarca) en compañía de técnicos de la CAR se realizaron pruebas recientes del equipo donde se hicieron 5 vertimientos a una distancia de $X=128$ m., con una masa $M=1000$ g. La primera gráfica muestra el modelamiento teórico con base en la ecuación (7)

utilizando los datos específicos dados por el instrumento en cada medición, las siguientes cinco gráficas muestran el modelo teórico superpuesto a las curvas experimentales. El caudal fue de $0.45 \text{ m}^3/\text{s}$ y la velocidad media del flujo fue de 0.3 m/s Figura No. 4.

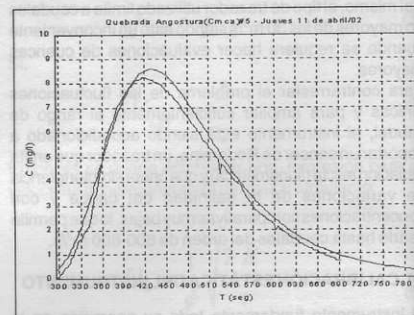
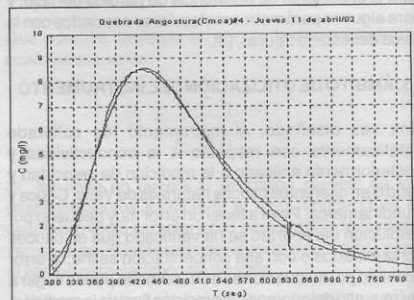
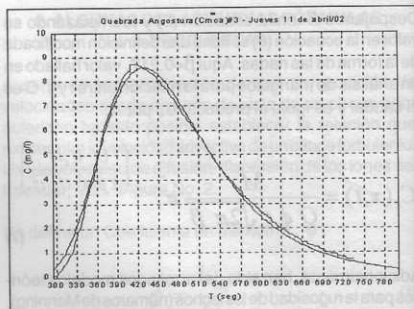
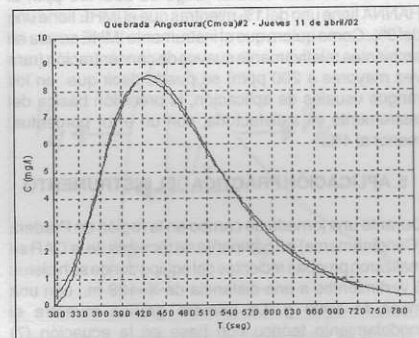
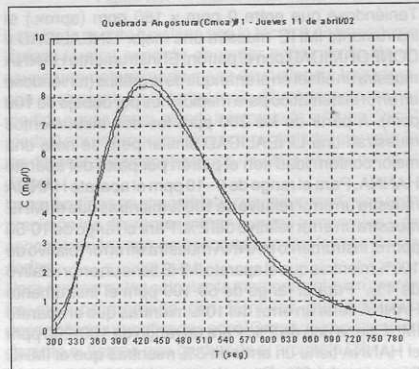
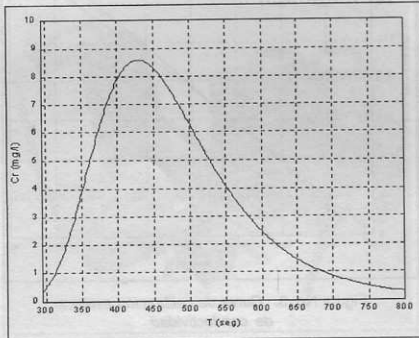


Figura No.4. Modelo teórico y curvas experimentales

El error porcentual de los datos que permitieron dibujar el modelo con respecto a los datos experimentales no es mayor al 5%.

6. PROYECCIÓN FUTURA DE LA TECNOLOGÍA

El Grupo de Hidrometría en la actualidad realiza tareas para obtener un sistema basado en su mayor parte en software de alto nivel que permita modelar "in situ" y en

tiempo real las diferentes alternativas de medición y predicción sobre múltiples parámetros hidráulicos entre los que se hallan: velocidad, caudal, rugosidad (número de Manning), Número de Reynolds, y pendientes entre otros. Este nuevo sistema presentará subprogramas enteramente visuales e interactivos en el que el usuario podrá modificar las condiciones que delimitan un fenómeno en el flujo. Sus sensores serán tanto por efecto iónico como por efecto de fluorescencia.

7. CONCLUSIONES

1. El equipo digital IMHE permite tomar información correspondiente al transporte de masa en cauces turbulentos de manera fácil y directa.
2. La calibración estática de conductividad para el equipo muestra una situación satisfactoria para los propósitos metrológicos que se plantean en hidrometría.
3. La aplicación del equipo en caracterización de riadas de trazador en un cauce natural de la región de Cundinamarca, muestra así mismo una concordancia satisfactoria entre la curva teórica modelada con datos tomados por el instrumento y las curvas experimentales medidas.
4. Esta convergencia entre modelo e información empírica soporta una primera validación de la probable utilidad de las nuevas fórmulas propuestas para el transporte de masa en cauces turbulentos. Mediante este proceso de medición se pueden establecer valores satisfactorios para parámetros como: velocidad advectiva media del cauce, coeficiente de difusión turbulenta y caudal. La aplicación del instrumento entonces ofrece una herramienta valiosa para las labores de monitoreo hídrico en la ingeniería civil, ambiental y sanitaria.
5. Las fórmulas nuevas planteadas alrededor de una reinterpretación de la dinámica física sobre la cual se forma una riada de trazador permiten por otro lado un tratamiento más general y simplificado de los fenómenos de difusión y dispersión en procesos de pérdida en líquidos turbulentos, abriendo una ventana adicional al conocimiento de los parámetros hidráulicos.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. Constain, R. Lemos y A. Carvajal. "Medición de los factores de resistencia y el de difusión turbulenta en cauces naturales", XIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Córdoba, Argentina, 2000.
- [2] A. Constain, J.C. Mena y O.F. Agredo "Diseño de un instrumento para la medición del coeficiente de difusión turbulenta", Metrología 2000, Guadalajara, México, 2000.

- [3] A. Constain, R. Lemos and A. Carvajal "A non uniform flow velocity equation in streams", IAHR Symposium, S. Petersburg, Russia, 2002

AUTORES



Alfredo Constain Aragón. Director científico de la empresa AMAZONAS TECHNOLOGY. Ingeniero electrónico de la Universidad del Cauca. Su especialidad son los modelos de turbulencia y la interpretación físico-química de fenómenos hidráulicos. Fue Director del Grupo de Energía Solar del Instituto de Postgrado en electrónica de la Universidad del Cauca, autor de un libro de electrónica de la editorial Addison Wesley de los Estados Unidos y Premio Brigard & Castro 1993. alfredoconstain@terra.com

Rodrigo Lemos Ruiz. Profesor de la facultad de Ingeniería civil en la Universidad del Cauca, es egresado de la Universidad de la Amistad de los Pueblos de Moscú. Actualmente es Director del Grupo de Ingeniería Hidrométrica avalado por COLCIENCIAS. Su especialidad es la hidráulica fluvial y el diseño de sistemas de hidrometría ralemos@ucauca.edu.co



Alejandro Carvajal Ruiz. Director técnico de AMAZONAS TECHNOLOGY. Ingeniero electrónico de la Universidad Autónoma de Occidente. Diplomado en exportación por Expopyme, participa en el Programa IBERCHIIP. Su especialidad es el software operativo y el diseño de hardware

micro-controlado.
alejandro.inteleat@parquesoft.com

Oscar Fdo. Agredo Satizabal. Director del Programa de ingeniería electrónica de la Universidad Autónoma de Occidente (CUAO). Ingeniero electrónico de la Universidad del Cauca. Su especialidad es el diseño de sistemas de control automático. Ha realizado la modernización de la facultad de electrónica en su universidad. ofagredo@cuao.edu.co