

## XVIII Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología

Sociedad Colombiana de Ingenieros

Bogotá, D.C. 22, 23 y 24 de mayo de 2008

### Estación hidrométrica automática en la cuenca alta del Río de Oro

Laura Isabel HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ

Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander, Ciudad Universitaria, Bucaramanga, Colombia.

Diego Andrés SALTARÍN MESA

Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander, Ciudad Universitaria, Bucaramanga, Colombia.

Jorge Alberto GUZMÁN JAIMES

Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander, Ciudad Universitaria, Bucaramanga, Colombia.

\* Ahora en Oklahoma State University, USA

Sully GÓMEZ ISIDRO

Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander, Ciudad Universitaria, Bucaramanga, Colombia.

sgomez@uis.edu.co

Leonardo David DONADO

Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander, Ciudad Universitaria, Bucaramanga, Colombia.

ldonado@uis.edu.co

**Resumen.** En el Departamento de Santander se han presentado recientemente crecientes que causan catástrofes y pérdidas económicas. El objetivo de este estudio fue la instalación y operación de una nueva estación automática de medición de niveles en la cuenca alta del Río de Oro, en Piedecuesta (Área Metropolitana de Bucaramanga).

El Río de Oro es la fuente de de agua del acueducto municipal de Piedecuesta, y abastece una población de 200,000 habitantes. En esta zona existe una gran deficiencia y escasez de registros, haciendo imposible un estudio hidrológico detallado de la cuenca. En la actualidad, utiliza un caudal derivado del Río de Oro de valor indefinido. En general es preocupante que no se tengan definidas ni la cantidad ni la calidad del agua de la fuente.

La Estación Hidrométrica Automática Conquistador Alto se instaló en noviembre de 2006 y su operación inició correctamente en Abril de 2007, con un registro automático de datos de niveles y temperatura del agua por medio de los dispositivos Diver de Schlumberger ©, CT Diver y BaroDiver con programación de medida cada cinco minutos.

Simultáneamente se hicieron aforos por medio de un rastreador de flujo (Flowtracker ADV ©), en una sección transversal 20 m aguas debajo de la estación. Los caudales fueron medidos diariamente durante 2 semanas durante la última semana de octubre.

Además se tiene un modelo hidrodinámico del sector en HEC-RAS © para la representación de diferentes eventos de caudal. Con el modelo se logran representar diferentes eventos y condiciones de operación de la bocatoma del acueducto en la cuenca alta del Río de Oro.

**Palabras Clave:** Caudal, Nivel, Calibración, HEC-RAS

## **1. Introducción**

El río de Oro, objeto de este estudio en su parte alta, es de gran importancia para el abastecimiento del acueducto del municipio de Piedecuesta, pero lamentablemente al igual que a muchos otros en el país no se le presta atención al monitoreo constante de sus parámetros Hidrológicos.

El Grupo de Predicción Hidroclimática G.P.H. de la UIS, adelanta estudios de control de niveles y caudales desde el año 2006, cuando se instaló la Estación Hidrométrica Automática Conquistador Alto, con un convenio con La Empresa Piedecuestana de Servicios. Esta estación, lleva dos dispositivos de medición automática, un Diver (DI241) y un Barodiver (DI250), capaces de proporcionar registros de nivel y temperatura de forma continua y con cualquier intervalo de tiempo.

Simultáneo a estos registros se realizaron aforos con tecnología avanzada, utilizando el ADV Flowtracker, equipo de medición acústica portátil, que reemplazo la medición mecánica del molinete por ser mas práctico y preciso.

Este documento muestra el avance que se lleva desde el montaje, los inconvenientes superados, el análisis de los datos registrados en el año 2007, las relaciones de nivel y caudal; y la modelación del río en HEC RAS, el cual sirvió para determinar de que forma las estructuras hidráulicas presentes en la zona, pueden influir en los datos tomados por la estación. Además de esto, se expone la instrumentación hidrológica actualizada en la cuenca, identificando cuales estaciones continúan en operación y que mediciones realiza cada una, como elemento clave para estudios posteriores.

## **2. Descripción de la Estación**

### **2.1 Generalidades**

La Estación Hidrométrica Automática Conquistador Alto, fue instalada en el año 2006 como proyecto de grado (Díaz y Rincón, 2006) por medio del convenio entre la UIS-Grupo Predicción Hidroclimática (GPH) y la empresa prestadora de servicios del municipio de Piedecuesta, Santander; Piedecuestana de Servicios.

El montaje de la estación, surgió ante la necesidad de obtener registros precisos del sitio donde se encuentra la bocatoma de captación de la planta de tratamiento y tener un mejor conocimiento de la respuesta rápida de caudales del Río de Oro. En la estación se instalo un CT Diver (D1241) y un Barodiver (D1250) de Van Essen - Schlumberger en un tubo de acero inoxidable de 6 pulgadas de diámetro, obteniendo mediciones de presión atmosférica, temperatura y presión de la lámina de agua desde el 7 de octubre del 2006 hasta la fecha, septiembre de 2007.

La estación se encuentra localizada en el municipio de Piedecuesta, departamento de Santander, en la subcuenca del Río de Oro Alto. El acceso en vehiculo se puede realizar por el barrio cabecera del llano hasta la entrada que da acceso a la bocatoma de la Piedecuestana de Servicios, en la carrera 22 con calle 21B Barrio La Colina. Después se debe hacer un recorrido aproximado de 20 minutos a pie por la montaña para al llegar al sitio de la bocatoma. Desde este lugar hasta la estación hay aproximadamente 100 metros, siguiendo la margen izquierda del río, dirección aguas arriba.

El sitio donde está ubicada la estación, tiene un ancho aproximado de 7 m y cubija un tramo recto de 150 m. Por ser un río de alta montaña, presenta bastantes sedimentos y rocas de diferentes tamaños; además de una espesa vegetación y taludes rocosos naturales de gran pendiente. El área de la cuenca es de 23000 Ha y la pendiente promedio del río es del 12%, dada la diferencia de alturas desde el nacimiento (3500 msnm), hasta el sitio de la estación (1105 msnm), para una longitud del río aproximada de 20 Km. Esta pendiente corrobora la respuesta rápida del río, que se pudo observar en los eventos de precipitación presentados durante los aforos y también desde los primeros registros obtenidos por la estación.

## 2.2 Componentes de la estación

Para monitorear los niveles de agua usando Divers (dataloggers), se necesitó: (ver Fig. 1)

- Un tubo Limnimétrico en acero inoxidable 6"x 3m
- Un Diver® (DI241)
- Un Baro-Diver® (DI 250)
- Un dispositivo para lectura de Divers (Diver® read-out unit)
- Software LDM 5 (Logger data manager)
- Un computador o PDA



Fig. 1 Sitio de la Estación

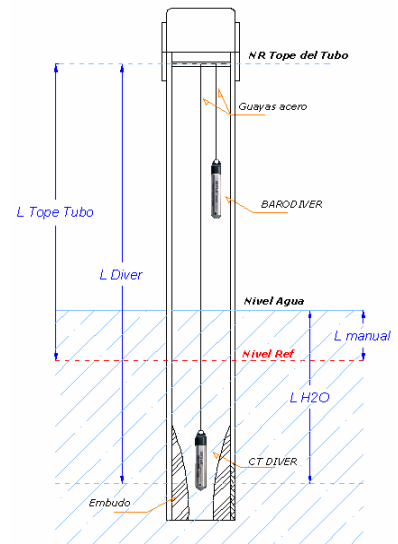


Fig. 2 Medición de Nivel

Se instaló un tubo que provee el medio necesario para las mediciones realizadas por los dispositivos automáticos de la estación; en cuanto a condiciones de flujo, seguridad y protección contra obstáculos arrastrados por el río. Está anclado a la roca maciza del talud con 8 pernos de superficie corrugada para una mejor adherencia con el epóxico.

El tubo es de acero inoxidable, hueco y cilíndrico (SCH 40); de 6 pulgadas de diámetro interno, espesor de 7.5 mm, 3m de longitud y esta perforado en la parte inferior, para permitir la entrada horizontal de flujo. La tapa esta fabricada del mismo material y con dos agujeros en la parte superior para permitir la entrada y salida de aire, evitando presiones diferentes a la atmosférica, resultado de un efecto pistón. Para el acceso, posee una escalera que está unida al tubo con soldadura (Díaz y Rincón, 2006).

Dentro del tubo limnimétrico se encuentran suspendidos con guayas de acero inoxidable, los dispositivos electrónicos de medición y registro automático. Son dos, un CT Diver (DI241) el cual va sumergido en el agua y registra datos de nivel y temperatura del agua, y un Barodiver (DI250) que está suspendido en el aire y nos da información de temperatura y presión atmosférica. La longitud del tubo se estimó teniendo presente que el instrumento para la medición de la variación de la presión atmosférica colocado hacia la parte superior del tubo, no este nunca sumergido en el agua.

Ambos equipos cuentan con una memoria interna de 24000 mediciones, con capacidad teórica de 5.000.000 mediciones, 500 descargas de la memoria y 500 programaciones. Cada medida consta de fecha, hora, nivel y temperatura; con rango de presión de 10 m. (Schlumberger, 2006).

Para la ubicación del CT Diver, se tuvo cuidado con los niveles mínimos del río para identificar su posición mas óptima. Viendo una profundidad promedio de 50 cm., se descolgó a 281 cm., medidos desde el punto de apoyo hasta el sensor de presión, dejándolo a 17.5 cm. del fondo. Esta posición permite lecturas de niveles superiores a esta medida y asegura que el equipo no choque con algún elemento arrastrado. La ubicación del Barodiver es de 45 cm. desde el mismo punto de apoyo hasta su respectivo sensor de presión

### 3. Mediciones

#### 3.1 Medición de la temperatura

Todos los Divers miden temperatura utilizando un sensor semiconductor. La temperatura no solo se registra, sino que también se utiliza para compensar el sensor de presión por influencias de la misma, utilizando el compensador Barométrico del LDM5.

En el caso de la estación, se tienen valores de temperatura del agua y también de la atmósfera, en el mismo instante de tiempo. Se considera que la temperatura del aire medida en el Barodiver es no representativa de la temperatura ambiente, sin embargo da una idea de las temperaturas dentro del tubo.

#### 3.2 Medición del Nivel

Tanto el Diver como el Barodiver, poseen un sensor el cual me indica la presión en unidad de longitud de H<sub>2</sub>O, permitiéndome determinar el nivel del río; ya sea medido desde el fondo:

$$L_{H_2O//Fondo} = P_{DIVER} - P_{BARO} + L_{FONDO} \quad [1]$$

o desde un nivel de referencia escogido:

$$L_{H_2O//NR} = P_{DIVER} - P_{BARO} - (L_{DIVER} - L_{TOPE TUBO}) \quad [2]$$

Lo anterior es una simple diferencia de presiones, en la que al registro de presión absoluta obtenido por el CT Diver se le quita la presión atmosférica obtenida por el Barodiver (Ver Fig. 2). Si se mide desde el fondo, debe sumarse la distancia hasta este de 17.5 cm.

#### 3.3 Operación de la Estación

Es el proceso administrativo como tal de la estación; donde se destacan labores como el mantenimiento físico, la verificación periódica del correcto estado de los equipos, el monitoreo de la capacidad de su memoria interna (que incluye la programación y disposición de visitas), y también la certificación de la calidad de las mediciones, entre otras.

Este proceso se ha realizado en dos etapas dependiendo del operador. La primera desde que fue instalada y se empezaron a tomar los primeros datos en octubre de 2006, como un proyecto de grado (Díaz

y Rincón, 2006), donde la estación fue operada por un corto tiempo y con algunos inconvenientes propios del montaje de la misma. La segunda etapa, desde el mes de febrero de 2007; operada por los autores en su trabajo de grado.

### **3.4 Monitoreo de datos**

Los Divers almacenan los registros en una memoria electrónica interna con un número finito de mediciones, haciendo necesario un trabajo de monitoreo, que consiste en visitas periódicas a la estación para descargar información.

Se debe tratar en lo posible de no perder muchos registros, lo que por el momento resultó imposible, debido a la necesidad de traer los equipos a la ciudad para descargar la información. Ahora se cuenta con un DELL Pocket PC con software LDM2.1 Reader, el cual permite descargar directamente en la zona, pero no cambiar la configuración de la programación de los dispositivos.

La frecuencia de las visitas depende únicamente de la selección del intervalo de tiempo de medición escogido, que es el que condiciona la duración de la memoria. Se recomienda realizar 2 visitas al mes, para realizar el mantenimiento y verificar el funcionamiento de los dispositivos.

### **3.5 Descarga de datos y programación de los sensores**

Una vez programada y realizada la visita a la zona, y terminada la labor de mantenimiento de la estación, se deben bajar los Divers para descargar los registros en un computador. El software para el procesamiento de datos es el Logger Data Manager 5 (LDM5) (Schlumberger, 2005) proporcionado con la compra junto con el dispositivo de lectura (Diver® read-out unit). Este programa sirve para todo tipo de Divers y funciona solo con Microsoft Windows 2000 o Windows XP.

Con el LDM5 es posible descargar la información y cambiar la configuración de los dispositivos. Ofrece además una visualización gráfica de los datos descargados con posibilidad de imprimir y exportar a distintos formatos de archivo.

Cuando los datos ya hallan sido descargados y no se observe ningún problema en las mediciones, como presiones o temperaturas extremas que puedan estar ligadas a problemas de funcionamiento del registrador, deben ser programados de nuevo y devueltos a la estación lo más pronto posible.

## **4. Relación Nivel Caudal**

### **4.1 Aforos en el río**

El sitio de aforo escogido se ubica 30 m aguas abajo de la estación. Se considera el más óptimo por ser un tramo de corriente recto con orillas paralelas, con lecho de corriente estable y por no presentarse ninguna obstrucción considerable aguas arriba.

En el año 2006 los encargados de la operación realizaron los aforos con el molinete (equipo OTT hélice 2, del laboratorio de hidráulica UIS). Se pudo calcular el caudal para la sección, utilizando el método de relación sección-velocidad, el cual consiste en medir varios puntos de la sección transversal (dovelas) y después calcular el caudal por medio de la ecuación de continuidad.

Para el año 2007, se deja de aforar con el molinete para implementar el ADV Flowtracker de Sontek, equipo de última generación adquirido por la Universidad Industrial de Santander. Este dispositivo utiliza el efecto Doppler, que es el que se produce cuando una fuente de onda se mueve respecto a un punto. Mientras la fuente de onda se acerca, las ondas se comprimen de modo que se perciben como si la frecuencia fuera mayor de lo que es; y cuando la fuente se aleja, se perciben como si fuera de frecuencia más baja. Se realizaron aforos durante los meses de marzo, abril, mayo y agosto, relacionándolos con los respectivos registros de nivel obtenidos por la estación Automática.

Tabla 1. Aforos seleccionados

Archivo	Fecha	Q (m3/s)	Nivel (cm.)	Ecuación	Abertura Comp (cm.)
MED1	16/04/2007 08:15 a.m.	1.4151	26.9	Mid	sin registro
MED2	17/04/2007 08:15 a.m.	1.4453	28.3	Mid	sin registro
MED3	09/05/2007 07:45 a.m.	2.8151	25.2	Mid	sin registro
MED4	11/05/2007 08:10 a.m.	2.7635	27	Mid	sin registro
MED6	18/08/2007 08:30 a.m.	2.6564	32.8	Mean	30
MED7	18/08/2007 09:06 a.m.	2.4255	32.3	Mean	30
MED8	24/08/2007 08:52 a.m.	1.8294	25.8	Mean	30
MED9	24/08/2007 01:26 p.m.	1.7197	24.5	Mean	30

Los aforos realizados en marzo y el primero realizado en abril, poseen un incierto registro de nivel de agua debido al problema presentado en el sensor de presión del CT Diver, siendo descartados del estudio. El último aforo realizado este mismo mes y el primero realizado en mayo, tuvieron la misma suerte por haberse presentado errores en operación del equipo. Estos últimos no se consideraron imprescindibles ya que los registros de la relación caudal-nivel eran muy similares a otros obtenidos durante estos mismos meses.

Los datos procesados en la construcción de la curva de calibración antes del mes de Julio arrojaron nuevamente, al igual que el año anterior (Díaz y Rincón, 2006) una gran variación, al no presentarse una relación directamente proporcional en la relación Caudal – Nivel.

Agregando estos registros a los puntos ya obtenidos en el 2006, se generó una nube de puntos muy dispersa sin ninguna tendencia visible, observando además la falta de datos en temporada de verano, que desde que se montó la estación no se ha presentado.

Ante el hecho de la falta de una relación directa entre las variables medidas, hubo la necesidad de revisarlo todo. Sin embargo, desde entonces, se previó una influencia en las mediciones de la estación, de un remanso generado por la estructura hidráulica ubicada cerca de 100 m aguas abajo. Esta estructura está compuesta por un vertedero de cresta ancha y una compuerta reguladora de nivel, que aseguran la captación de la bocatoma lateral del acueducto. Debido a esto, surge la necesidad de modelar el sistema siendo necesaria la realización de nuevos aforos en el mes de Agosto, relacionando cada uno, con su respectivo dato de abertura de compuerta.

## 5. Análisis de datos

### 5.1 Comportamiento del Nivel

Los incrementos de nivel se dan casi siempre entre el intervalo de 4 p.m. hasta las 7 a.m. del otro día. Esto resalta la importancia del registro automático ya que durante este periodo casi en ningún limnómetro se toman lecturas.

El máximo nivel registrado fue durante el mes de mayo, de 1.38 m para un total de 1.55 m medidos desde el fondo. Este incremento de nivel fue de 1 m respecto al nivel inicial y se dio en un lapso de una hora, resaltando la respuesta rápida de la zona.

El mínimo nivel registrado fue durante el mes de abril con solo 11cm. Durante todos los registros el nivel nunca estuvo por debajo del nivel de medición de los equipos, demostrando que su posición dentro del tubo es la más óptima (ver Fig. 3)

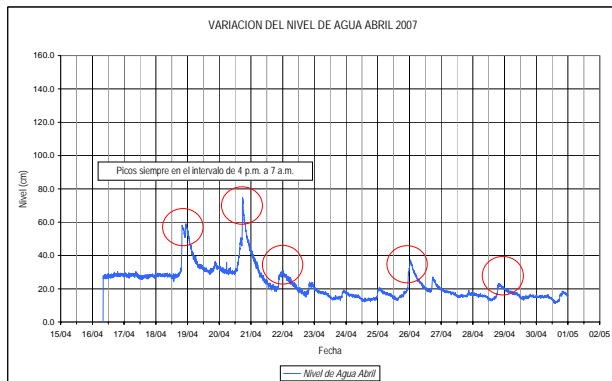


Fig. 3 Variación tipo del Nivel de Agua

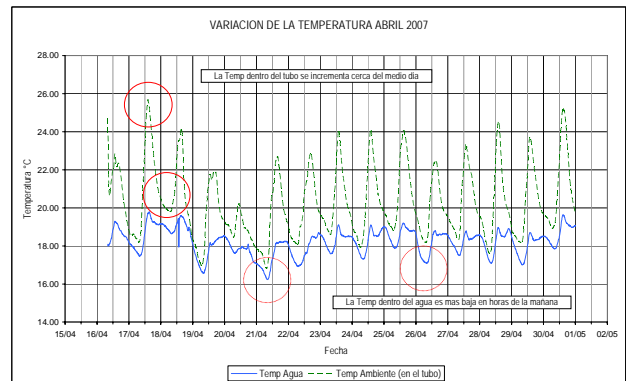


Fig.4 Variación tipo de la temperatura

### 5.2 Comportamiento de la temperatura

La mínima temperatura dentro del tubo se registra en horas de la mañana, casi siempre en el intervalo de 7 a.m. a 9 a.m. Ascende en cercanías del medio día hasta alcanzar su valor máximo en horas de la tarde y comienza a descender hasta el otro día, retomando el ciclo.

La mínima temperatura del agua ocurre siempre en horas de la mañana en el intervalo de 6 a.m. a 11 a.m. como producto del escurrimiento de aguas de la zona del picacho.

La máxima temperatura del agua registrada fue el 17 de abril a las 3:20 p.m. con 19.79 °C y la mínima de 15°C registrada el 27 de agosto y el 6 de septiembre ambas a las 7:30 a.m.

La máxima temperatura ambiente registrada fue el 14 de Julio a las 2:45 p.m. con 26.21 °C y la mínima de 14.94 °C registrada el 21 de mayo a las 11:00 a.m. (ver Fig. 4).

## 6. Modelación en HEC – RAS

### 6.1 Generalidades

Se modeló un tramo de 180 m del río, desde el inicio del tramo recto aguas arriba de la estación, hasta la estructura hidráulica reguladora, representado a través de 20 secciones transversales separadas

entre sí 10 m en promedio. Por ser un río de alta montaña con taludes rocosos de gran pendiente, no hay planicies de inundación, por lo que el canal principal fue definido de lado a lado en cada sección (Haestad Methods, 2003).

El tramo modelado no presenta ninguna corriente tributaria pero sí una salida de flujo, que representa el caudal promedio de trabajo en la planta de tratamiento de 300 L/s. Esta se definió como una estructura lateral, con el fin de ingresar al sistema una curva de desviación constante dada para cualquier flujo del río (salida puntual).

## **6.2 Condiciones de frontera**

Por analizarse como flujo mixto son necesarias las condiciones de frontera de aguas arriba y aguas abajo. Se decidió tomar la profundidad crítica como condición de frontera en ambos sitios, específicamente por:

- Dificultades de acceso a las fronteras del modelo para obtener después de cada aforo una profundidad de agua conocida.
- Falta de curvas de calibración en la zona.
- Por considerar la pendiente del río calculada después de la batimetría, como no representativa de la pendiente de la línea de energía; debido a que se procuró obtener perfiles longitudinales descendentes, evitando tramos en contrapendientes o pendientes cercanas a cero.
- Con la profundidad crítica como condición de frontera, el software calcula automáticamente la profundidad crítica para cada perfil y la usa como condición de frontera para iniciar los cálculos. (Ver plano secciones transversales)

## **6.3 Calibración del modelo**

Se establecieron como parámetros de calibración los siguientes: la rugosidad del cauce, la topografía y los distintos coeficientes de los vertederos y la compuerta. El coeficiente de Manning inicial definido para ríos de Montaña, sin vegetación en el canal, con grandes taludes en las orillas, y estas a su vez con árboles y vegetación. Con fondo de grava, guijarros y algunos cantos rodados; para un valor mínimo ( $n=0.03$ ), normal ( $n=0.04$ ) y máximo ( $n=0.05$ ) (Chow, 1973). Los coeficientes Contracción/Expansión son definidos para transiciones graduales en flujo subcrítico: coeficiente de contracción 0.1 y coeficiente de expansión 0.3 (Chow, 1973).

## **6.4 Definición del régimen de flujo**

El procedimiento común es ajustar el modelo a las condiciones reales de río dadas como régimen no permanente, comparando después los resultados obtenidos con los medidos físicamente. En este caso, la parte alta del río de oro, se modela como régimen permanente; básicamente porque la zona no poseía ningún tipo de estudio previo, limitando las condiciones de entrada del modelo (condiciones de frontera). Además de esto, el tramo modelado tiene características de muy corto, con lecho rocoso y sin ningún afluente, considerándosele como ideal en cuanto a conservación de la materia se refiere. Al analizarse como flujo permanente, el software realiza las siguientes consideraciones: (i) Los procedimientos computacionales básicos están basados en la solución de la ecuación de energía unidimensional; (ii) Las pérdidas de energía son evaluadas por fricción (Ecuación de Manning) y contracción/expansión (coeficiente



multiplicador del cambio de la cabeza de velocidad), y (iii) La ecuación de momento es utilizada donde el perfil de la superficie del agua es rápidamente variado.

### **6.5 Análisis de sensibilidad**

Para determinar la influencia de los diferentes parámetros numéricos y físicos en la modelación se realizó un análisis de sensibilidad. Este análisis permite establecer la forma en que varía la respuesta del modelo con la variación de cada uno de estos parámetros. En el sitio de la estación, un incremento de Manning a 0.05 representa un incremento del 10% en el nivel y un 12% en la velocidad promedio de la sección.

Se redefinió la ubicación del canal principal, pero no representó ninguna variación en la profundidad del sitio de la estación. El coeficiente de descarga de los vertederos afecta la superficie del agua solo en la zona represada hasta en un 1.94%.

### **6.6 Verificación del modelo**

Para la calibración exacta del modelo, basándose en los datos obtenidos por los sensores, entran como fuentes de imprecisión, la oscilación del nivel de agua y la variación en sensor de presión de hasta 10 cm., descubierta en el CT Diver. Los 6 primeros caudales simulados fueron obtenidos por medio de aforos y los dos últimos, son casos hipotéticos pero no lejanos de la realidad, para un total de 8 condiciones de flujo representativas de la zona. En cada situación, se corrieron seis perfiles, cada uno con una abertura diferente de compuerta.

El objetivo de esto, fue identificar para que caudales y con que abertura de compuerta, el remanso estaba afectando las mediciones. Como puntos de comparación se tomó la estructura hidráulica, el sitio de aforo y el sitio de la estación. En el sitio de aforo se calculó la profundidad hasta el fondo modelada y se comparó con la registrada por el ADV; y en el sitio de la estación, se comparó la profundidad modelada hasta el nivel de referencia de registro del Diver (sensor de presión), con la medición obtenida por la estación.

### **6.7 Verificación de la influencia del remanso**

Se introdujeron al modelo como referencia, los datos de flujo con abertura de compuerta registrada; y como modelación base, se trató de plantear la situación ocurrida durante las pruebas físicas realizadas. El día del represamiento controlado, se tuvo un caudal bajo; similar al simulado de 1.4151 m<sup>3</sup>/s. Para esta situación, en el modelación puede verse que con estas condiciones no puede generarse un gran represamiento, rectificando lo sucedido esos días (*ver Fig. 5*).

Se realizó entonces el modelación con los otros caudales obtenidos y se encontró que para flujos mayores a 2.5 m<sup>3</sup>/s, si la compuerta no está lo suficientemente abierta (mayor a 35 cm.), es seguro que el remanso generado por el represamiento en la estructura reguladora, llegue hasta el sitio de la estación y afecte las mediciones (*ver Fig. 6*).

Según el operador de la bocatoma, la mínima abertura de compuerta que se maneja es de aproximadamente 30 cm, lo que incrementa las probabilidades de influencia del remanso en la estación; especialmente en horas de la noche, que es cuando ocurren los mayores incrementos de nivel. Lamentablemente el operador no puede saber el valor exacto de la abertura de la compuerta puesto que en

la zona no existe ningún mecanismo de medición proporcional a las revoluciones de la manivela, como es costumbre.

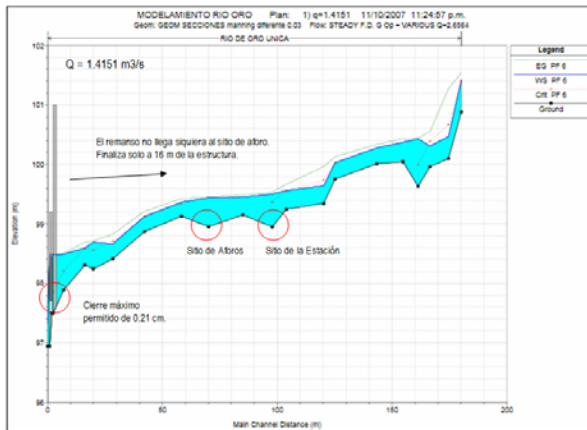


Fig. 1 Simulación de prueba física realizada. (Perfil HEC RAS)

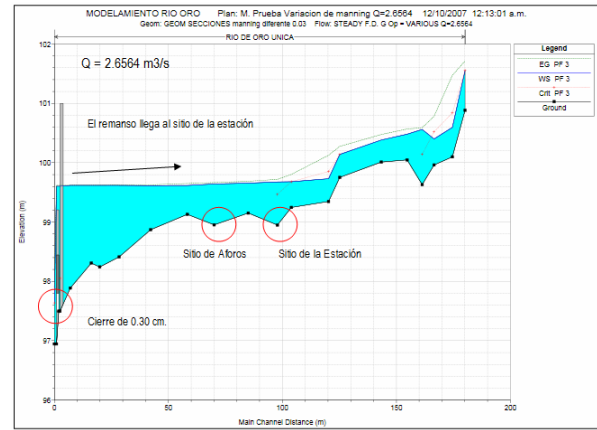


Fig. 2 Simulación de flujo mayor a 2.5 m3/seg. (Perfil HEC RAS)

Se modelaron con el fin de encontrar las profundidades del río para flujos altos, sin efectos de represamiento; encontrándose que para generar una superficie de agua de más de 50 cm., es necesario un flujo mayor a 5 m3/seg. Esto indicó que en dado caso que la compuerta no hubiera afectado las mediciones, el caudal en horas de la noche ha superado por mucho este valor; incluso hasta los 10 m<sup>3</sup>/s., si se piensa en los niveles de hasta 1.4 m registrados por la estación.

Como factor contribuyente a la generación del remanso por represamiento, además de la relación entre el flujo y la abertura de compuerta, se suma el taponamiento de esta por sedimentos arrastrados. Esto ocurre con frecuencia y necesita de la intervención del operador para solucionar el inconveniente. Se sabe que los incrementos de nivel generalmente ocurren avanzada la tarde o en horas de la noche y durante este lapso de tiempo, el acceso del operador a la zona esta condicionado sólo, si se obstruye la desviación al Acueducto. Esto genera un incremento en las probabilidades de generar un represamiento cuyo remanso afecte los datos registrados por la estación.

## 7. Conclusiones

Los niveles máximos registrados ocurrieron casi siempre en altas horas de la tarde o avanzada la noche, resaltando la importancia de la automatización de las mediciones.

La parte alta del río de Oro, tiene una respuesta rápida. Cualquier precipitación por pequeña que parezca, cambia el nivel y la descarga del cauce. Esto se pudo comprobar en los datos registrados durante los aforos y también por los Divers, ya que se utilizó un intervalo de medición de 5 minutos.

El CT Diver DI241 con numero de inventario 65536, presenta actualmente un problema en el sensor de presión que cambia su precisión de 1 cmH<sub>2</sub>O hasta valores desviados 10 cmH<sub>2</sub>O.

Las mediciones en la estación, están siendo afectadas por el represamiento producido por la estructura hidráulica reguladora situada aguas abajo.

En el momento de elegir el sitio donde se va a ubicar la estación, se debe tener en cuenta las estructuras hidráulicas ya existentes, y analizar de qué forma pueden influir en los resultados esperados.

El modelo necesita datos de entrada verídicos para aproximar los acontecimientos simulados lo más cercano a la realidad. Para este caso, la variación del sensor de presión del CT Diver, no permitió realizar una calibración exacta; pero a pesar de esto, fue posible identificar la influencia del represamiento en los registros obtenidos. Independientemente del buen estado de los equipos medidores, valores cambiantes como la topografía hacen que los modelos requieran actualizaciones.

A pesar de los problemas presentados con los equipos y demás inconvenientes, se cumplen todas las expectativas esperadas con la estación hidrométrica automática como prototipo. Una vez puesta a punto, arroja datos confiables, el procesamiento de la información recopilada es muy básico, no requiere casi mantenimiento y a pesar de ser de última tecnología, su operación en realidad es muy sencilla. Se considera viable su aplicación para el monitoreo de otros ríos.

Para realizar una curva de calibración de la estación, no se deben unir datos de diferentes equipos utilizados para aforar. Para este caso, si se comparan los dos instrumentos utilizados, se obtuvo un porcentaje de error mayor con el molinete utilizado en el 2006, comparándolo con el ADV Flowtracker que realizó los aforos de una forma más precisa.

El coeficiente de Manning que mejor se ajustó fue el valor mínimo del intervalo propuesto en los coeficientes iniciales de 0.03. Los coeficientes de expansión y contracción no fueron modificados respecto a los propuestos inicialmente.

## **8. Agradecimientos**

Los autores expresan su agradecimiento al convenio entre la Pedecuestana de Servicios ESP y la UIS. Este proyecto se realizó en el marco del Proyecto Hidraulika del GPH-UIS.

## **9. Bibliografía**

- Army Corps of Engineers, (2005). HEC-RAS River Analysis System User's manual, version 3.1.3. <http://www.hec.usace.army.mil>.
- Chow, V.T. (1973). Hidráulica de los canales abiertos, 6ta. impresión. México, DC: Ed. Diana.
- Díaz, W., & Rincón, W. (2006). Montaje y calibración de una Estación Hidrométrica Automática para medición de niveles en el Río de Oro. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Haestad Methods (2003). Floodplain Modeling Using HEC-RAS, 2 Ed. Waterbury, CT: Ed. Haestad Methods.
- Digman, S. L. (2002). Physical Hydrology, 2 Ed. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- SCHLUMBERGER Water Services by Van Essen Instruments BV (2006). Diver Product Manual. <http://www.vanessen.com>.
- SCHLUMBERGER Water Services by Van Essen Instruments BV (2006). CTD Diver Product Manual. <http://www.vanessen.com>.
- SonTek/YSI, Inc (2006). Flowtracker Handheld ADV User's Manual, Version 3.0. <http://www.sontek.com>.