

MONTAJE, OPERACIÓN Y CALIBRACION DE LA ESTACION HIDROMETRICA AUTOMATICA
PARA MEDICION DE NIVELES EN EL RIO DE ORO, ESTACION CONQUISTADOR ALTO.

LAURA ISABEL HERNANDEZ HERNANDEZ
DIEGO ANDRES SALTARIN MESA



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA

2007

**MONTAJE, OPERACIÓN Y CALIBRACION DE LA ESTACION HIDROMETRICA AUTOMATICA
PARA MEDICION DE NIVELES EN EL RIO DE ORO, ESTACION CONQUISTADOR ALTO.**

**LAURA ISABEL HERNANDEZ HERNANDEZ
DIEGO ANDRES SALTARIN MESA**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de
Ingeniero Civil

Director

**Jorge Alberto Guzmán Jaimes
Ingeniero Civil, M.Sc**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA**

2007

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Industrial de Santander y la Escuela de Ingeniería Civil por la oportunidad de realizarnos como profesionales.

Al ingeniero Jorge Alberto Guzmán, Director de Tesis, por su valiosa dedicación y enseñanzas en el desarrollo de este proyecto.

Al ingeniero Leonardo David Donado, por su apoyo, y enseñanzas para el proyecto y nuestra vida profesional.

A la Ingeniería Sully Gómez, Directora del Grupo GPH, por su colaboración.

A la Piedecuestana de Servicios, por su contribución a la investigación e inmensa colaboración en el trabajo de campo realizado

A Dios, por guiarme en cada paso de mi vida
A mi mamá Bety por ser mi inspiración en todo
A mis hermanas y sobrinos por su colaboración y apoyo
A Diego por su compañía, amor, comprensión y amistad incondicional
Con todo el cariño del mundo.
Laura Isabel

A Julio mi Padre, por enseñarme a luchar en la vida.
A Miriam mi Madre, por ser la mejor mujer del mundo.
A Juan mi hermano, por ser un ejemplo a seguir.
A Laura mi novia, por su amor y comprensión.
A toda de mi familia por quererme tanto
y apoyarme incondicionalmente.
Diego Andrés

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	XVI
1. ESTACION HIDROMETRICA AUTOMATICA CONQUISTADOR ALTO	1
1.1. GENERALIDADES DE LA ESTACION	1
1.1.1. RESEÑA HISTÓRICA	1
1.1.2. LOCALIZACIÓN	1
1.1.3. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA	2
1.2. COMPONENTES DE LA ESTACIÓN	2
1.2.1. DESCRIPCIÓN	2
1.2.2. TUBO LIMNIMÉTRICO	2
1.2.3. DISPOSITIVOS DE REGISTRO AUTOMÁTICO: CT DIVER Y BARODIVER	3
1.2.4. MEDICIONES REALIZADAS POR LOS EQUIPOS	4
Medición de la temperatura	4
Medición del Nivel	4
1.3. NUEVO DISPOSITIVO INSTALADO A LA ESTACIÓN: CTD DIVER	4
Calibración e instalación del equipo	5
1.4. OPERACIÓN DE LA ESTACION	5
1.4.1. MANTENIMIENTO	6
1.4.2. MONITOREO DE DATOS	6
Monitoreo de la capacidad de la memoria	6
Descarga de datos y programación de los sensores	7
1.5. RELACION NIVEL-CAUDAL	8
1.5.1. AFOROS EN EL RÍO	8
Descripción del Sitio de Aforo	8
Aforos con Molinete	8
Aforos con ADV Flowtracker	9
1.5.2. PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN	10
1.5.3. SELECCION DE DATOS DE AFOROS	11

1.6.	HISTORIAL DE OPERACION 2007	13
1.6.1.	PROBLEMAS PRESENTADOS	13
1.6.2.	CAUSAS POSIBLES (FALTA RELACIÓN CAUDAL-NIVEL)	14
1.6.3.	PRUEBAS FISICAS REALIZADAS	14
	Revisión de topografía	14
	Revisión de influencias externas	14
	Prueba de descarga y represamiento controlado	16
	Prueba del ADV	16
	Prueba de programación y calibración de Divers	16
1.6.4.	ANALISIS DE DATOS OBTENIDOS	18
	Comportamiento del Nivel	18
	Comportamiento de la temperatura	19
	Comportamiento de la Presión Atmosférica	20
2.	MODELAMIENTO	21
2.1.	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	21
2.1.1.	EN CAMPO	21
2.1.2.	EN OFICINA	22
2.1.3.	DEFINICIÓN DE SECCIONES TRANSVERSALES	24
2.1.4.	OBSERVACIONES DEL LEVANTAMIENTO	24
2.1.5.	OBSERVACIONES EN LOS CÁLCULOS	24
2.2.	MODELAMIENTO EN HEC RAS	24
2.2.1.	GENERALIDADES	24
2.2.2.	CONDICIONES DE FRONTERA	25
2.2.3.	CALIBRACION DEL MODELO	25
	Coeficiente de Manning inicial	25
	Coeficientes Contracción/Expansión	26
2.2.4.	DEFINICION DE REGIMEN DE FLUJO	26
2.2.5.	ANALISIS DE SENSIBILIDAD	26
2.2.6.	VERIFICACION DEL MODELO	27
	Verificación de la influencia del remanso	27
	Verificación de profundidades obtenidas (manuales y automáticas)	29
2.2.7.	CONSIDERACIONES DEFINITIVAS DEL MODELAMIENTO	30
2.2.8.	ARCHIVOS	30
3.	INSTRUMENTACION HIDROLOGICA EN LA CUENCA	33
3.1.	ESTACIONES DEL IDEAM	33

ESTACION EL CONQUISTADOR	33
ESTACION EL PICACHO	33
ESTACION BERLIN	34
3.2. ESTACIONES CDMB	34
ESTACION EL RASGON	34
ESTACION DE SEVILLA	35
CONCLUSIONES	36
OBSERVACIONES	38
BIBLIOGRAFIA	39
ANEXOS	40

LISTA DE FIGURAS

FIG. 1 SITIO DE LA ESTACIÓN	2
FIG. 2 CT DIVER (SCHLUMBERGER, 2006).....	3
FIG. 3 MEDICIÓN DE NIVEL	4
FIG. 4 CTD DIVER (SCHLUMBERGER, 2006)	5
FIG. 5 MEDICIÓN DOOPLER (MANUAL DEL USUARIO 3.0 ADV)	9
FIG. 6 CONSIDERACIONES DEL ADV (SONTEK /YSI INC ,2006)	10
FIG. 7 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN	11
FIG. 8 PROBLEMAS EN LA VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA DURANTE MARZO	15
FIG. 9 PROBLEMAS EN LA VARIACIÓN DEL NIVEL DE AGUA DURANTE MARZO	15
FIG. 10 PRUEBA DE LA VARIACIÓN EN LA MEDICIÓN DEL NIVEL	17
FIG. 11 VARIACIÓN TIPO DEL NIVEL DE AGUA.....	18
FIG. 12 VARIACIÓN TIPO DE LA TEMPERATURA	19
FIG. 13 VARIACIÓN TIPO DE LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA.....	20
FIG. 14 DETALLE DEL CAMBIO DE SISTEMA COORDENADO	23
FIG. 15 SIMULACIÓN DE PRUEBA FÍSICA REALIZADA. (PERFIL HEC RAS)	28
FIG. 16 SIMULACIÓN DE FLUJO MAYOR A 2.5 M3/SEG. (PERFIL HEC RAS).....	28
FIG. 17 OSCILACIONES DE LA SUPERFICIE DE AGUA.....	29
FIG. 18 TAPONAMIENTO DE LA COMPUERTA	30
FIG. 19 CASETA EL RASGÓN (FUENTE CDMB)	35
FIG. 20 MIRA EL RASGÓN (FUENTE CDMB).....	35
FIG. 21 IMAGEN PLUVIÓMETRO (CDMB).....	35
FIG. 22 DETALLE PLUVIÓMETRO (CDMB)	35

LISTA DE TABLAS

TABLA 1 CONFIGURACIÓN DE REGISTRADORES	7
TABLA 2 CONFIGURACIONES DEL ADV FLOWTRACKER	11
TABLA 3 TOTAL DE AFOROS REALIZADOS EN EL 2007	12
TABLA 4 AFOROS ESCOGIDOS PARA EL ESTUDIO	12
TABLA 5 FORMATO DE CARTERA TOPOGRÁFICA.....	22
TABLA 6 RESULTADOS DEL MODELAMIENTO EN HEC RAS v 3.1.3.....	32
TABLA 7 ESTACIONES DISPONIBLES FUENTE GPH	33

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. ACUERDO ENTRE LA PIEDECUESTANA DE SERVICIOS Y LA UIS.....	41
Anexo B. PLANO DE LOCALIZACIÓN.....	43
Anexo C. PLANO DE LA ESTACIÓN CONQUISTADOR ALTO.....	44
Anexo D. FORMATO DE AFOROS ADV FLOWTRACKER.....	45
Anexo E. PLANO DE LOCALIZACIÓN ESTACIONES EN LA CUENCA.....	47

RESUMEN

TITULO:

MONTAJE, OPERACIÓN Y CALIBRACION DE LA ESTACION HIDROMETRICA AUTOMATICA PARA MEDICION DE NIVELES EN EL RIO DE ORO, ESTACION CONQUISTADOR ALTO.*

AUTOR:

LAURA ISABEL HERNANDEZ, DIEGO ANDRES SALTARIN MESA. **

PALABRAS CLAVES:

Estación Hidrométrica Automática, Diver, Barodiver, ADV Flowtracker, Modelamiento.

DESCRIPCION:

El actual estado de abandono de las estaciones de monitoreo hidrológico en Colombia, no permite realizar avances en el estudio de sus ríos, debido a la información imprecisa y al gran porcentaje de error generado por las mediciones manuales. Pensando en estos factores, se crea el convenio entre la Empresa Piedecuestana de Servicios y el Grupo de Predicción Hidroclimática GPH de la universidad industrial de Santander, con el cual se realiza el montaje de una Estación Hidrométrica Automática en la parte Alta del Río de Oro, denominada “Estación Conquistador Alto”.

Durante la realización de esta segunda fase del proyecto, se evaluó la implementación de este sistema de registro automatizado, dando inicio como tal a la operación de los equipos instalados. Estos dispositivos de registro son el Diver y el Barodiver, los cuales están ubicados dentro un tubo de acero inoxidable, que provee el medio necesario para las mediciones, permitiendo registros de series de tiempo de niveles y temperatura a una alta resolución temporal, utilizando tecnología de Schlumberger Water Services y Van Essen Instruments BV.

Además de la automatización de las mediciones manuales, para la realización de los aforos se utilizo tecnología de punta con un medidor de flujo acústico portátil (ADV Flowtracker) de Sontek, el cual permite registros de caudales con un porcentaje mínimo de error. Como estudios complementarios, se realizo el modelamiento del tramo del río que cobija la estación, estudiando la influencia por represamiento de la estructura hidráulica reguladora de aguas abajo, en los registros obtenidos por la estación.

* Proyecto de Grado.

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Director: Guzmán Jaimes, Jorge Alberto.

ABSTRACT

TITLE:

INSTALLATION, OPERATION AND CALIBRATION OF AN AUTOMATY HIDROMETRIC STATION FOR MEASUREMENTS OF LEVELS ON RIO DE ORO, CONQUISTADOR ALTO STATION. *

AUTHOR:

LAURA ISABEL HERNANDEZ HERNANDEZ, DIEGO ANDRES SALTARIN MESA. **

KEY WORDS:

Automatic Hydrometric Station, Diver, Barodiver, ADV Flowtracker, Modeling.

DESCRIPTION:

The current condition of abandonment of hydrologic monitoring stations in Colombia, does not allow carrying out advances in the study of its rivers, due to imprecise information and to the great error percentage generated by manual mensurations.

Thinking of these factors, an agreement between Piedecuestana de servicios and the hydroclimatic prediction group GPH of the Universidad industrial de Santander was created, with which the assembly of an automatic hydrometric station in the high part of the Rio de Oro is carried out, denominated "Estación Conquistador Alto".

During the realization of this second phase of the project, the implementation of this system of automated registration was evaluated, beginning the operation of the installed equipment as such. These registration devices are the Diver and the Barodiver, which are located inside a stainless steel tube that provides the necessary means for the mensurations, allowing time series registrations of levels and temperature in a high temporary resolution, using technology of Schlumberger Water Services and Van Essen Instruments BV.

In addition to the automation of the manual mensurations, the latest in technology was used to make the gauglings, with a portable acoustic flow tracker (ADV Flowtracker) of Sontek, which allows registrations of flows with a minimum percentage of error. As complementary studies, the modeling of this river's stretch that is covered by the station was made, studying the influence by damming caused by the downstream hydraulic structure, in the registrations obtained by the station.

* Degree Project

** UIS Faculty of Physical-Mechanical Engineering, School of Civil Engineering, Director: Guzmán Jaimes, Jorge Alberto.

INTRODUCCION

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 el modelamiento 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.

1. ESTACION HIDROMETRICA AUTOMATICA CONQUISTADOR ALTO

1.1. GENERALIDADES DE LA ESTACION

1.1.1. RESEÑA HISTÓRICA

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. (Ver *Anexo A: Acuerdo entre la Empresa Piedecuestana de Servicios y la UIS*)

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.

1.1.2. LOCALIZACIÓN

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. (Ver *Anexo B: Localización*)

1.1.3. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA

El sitio donde está ubicada la estación, tiene un ancho aproximado de 7 m y cobija 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.

1.2. COMPONENTES DE LA ESTACIÓN

1.2.1. DESCRIPCIÓN

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

1.2.2. TUBO LIMNIMÉTRICO

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).

1.2.3. **DISPOSITIVOS DE REGISTRO AUTOMÁTICO: CT DIVER Y BARODIVER**

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



Fig. 2 CT Diver (Schlumberger, 2006)

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. (Ver *Anexo C: Plano de la estación*)

1.2.4. MEDICIONES REALIZADAS POR LOS EQUIPOS

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.

Medición del Nivel

Tanto el Diver como el Barodiver, poseen un sensor el cual me indica la presión en unidad de longitud de H₂O, permitiéndome determinar el nivel del río; ya sea medido desde el fondo:

$$L_{H_2O // Fondo} = P_{DIVER} - P_{BARO} + L_{FONDO}$$

o desde un nivel de referencia escogido:

$$L_{H_2O // NR} = P_{DIVER} - P_{BARO} - (L_{DIVER} - L_{TOPE TUBO})$$

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. 3). Si se mide desde el fondo, debe sumarse la distancia hasta este de 17.5 cm.

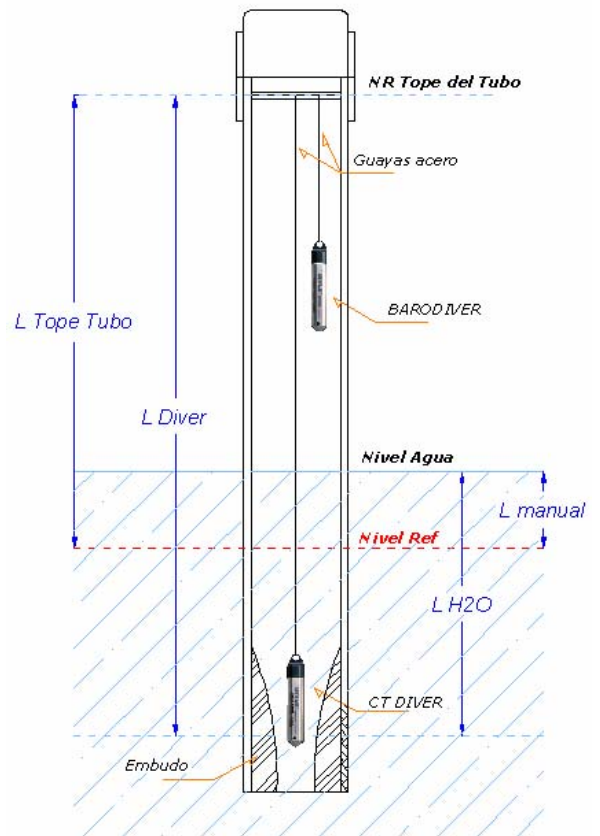


Fig. 3 Medición de Nivel

1.3. NUEVO DISPOSITIVO INSTALADO A LA ESTACIÓN: CTD DIVER

La estación se encuentra ubicada justo antes de la captación del acueducto de Piedecuesta, y cualquier incremento en los valores de electroconductividad, puede ser una indicación de

contaminación proveniente de aguas arriba. Como se estima que no existen fuentes contaminadoras importantes, la medición continua servirá básicamente para valorar a futuro, la respuesta de las componentes del flujo base.

El dispositivo automático que se instala en la estación es el CTD Diver (DI263) (Ver Fig. 4), que además de nivel y temperatura, mide también la conductividad eléctrica del agua en un campo de medición inigualable (0-80 mS/cm.). Esta es medida usando una celda de cuatro electrodos que es ideal ya sea para medir desde valores bajos a altos.



Fig. 4 CTD Diver (Schlumberger, 2006)

Posee una carcasa de cerámica resistente incluso a las sustancias más agresivas, su memoria da cabida a un máximo de 16.000 datos de medición por parámetro, la precisión de la temperatura es de $\pm 0,1$ °C y la de la conductividad de $\pm 1\%$ del valor de medición; para una vida útil de la batería aproximada de 10 años (Schlumberger, 2006).

Calibración e instalación del equipo

A diferencia de los demás Divers instalados en el tubo, que poseen la calibración de fábrica, el CTD se debe recalibrar en el momento de su funcionamiento. Esta calibración es sencilla y utiliza el asistente de calibración del LDM5.

Para obtener precisión en todo el intervalo se debe calibrar el equipo en cuatro puntos de concentración (1.413, 5, 12 y 80 mS/cm.). Por esperarse bajos registros de conductividad, para este caso se utilizó solo el primer punto de concentración. La temperatura de la solución buffer debe hallarse entre los 5°C y 30°C durante el proceso.

Para el montaje del equipo en el tubo, se realiza el mismo proceso de mantenimiento, programación y seguimiento de los datos ya explicado para los demás dispositivos.

1.4. OPERACIÓN DE LA ESTACION

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.

1.4.1. MANTENIMIENTO

A pesar de la excelente calidad de los equipos utilizados para la medición, esta puede verse entorpecida por factores externos, haciendo absolutamente indispensable un mantenimiento periódico para garantizar y certificar la calidad de los registros obtenidos.

Entre muchos factores externos se ha presentado:

- Sedimentos que se depositan en el fondo del tubo alterando el flujo normal del agua en la base.
- Sedimentos que se adhieren en los sensores, afectando directamente las condiciones de medición por obstrucción del flujo en el orificio de registro del aparato. Cuando esto ocurra se limpian los sensores solamente con agua, sin utilizar ningún tipo de químico ni jabón.
- Obstrucciones del flujo en cercanías al tubo debido a palos, rocas, y basura depositada por visitantes de la zona.
- Maleza y guarida de animales entre el tubo que pueden obstruir los orificios de la tapa cambiando las condiciones de presión existentes dentro de la estación.

1.4.2. MONITOREO DE DATOS

Monitoreo de la capacidad de la memoria

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.

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 grafica de los datos descargados con posibilidad de imprimir y exportar a distintos formatos de archivo.

CONFIGURACION REGISTRADORES		
Equipo	Diver DI241	Barodiver DI250
Código Interno	70114	66323
Ubicación	<i>Conquistador-Alto</i>	<i>Conquistador-Baro</i>
Altura (msnm)	<i>1000</i>	<i>1000</i>
Factor Peso Esp Agua	<i>1</i>	<i>1</i>
Intervalo de Medición	<i>5 min.</i>	<i>5 min.</i>
Método de Muestreo	<i>Fijo</i>	<i>Fijo</i>

Tabla 1 Configuración de Registradores

Los registros del 2007 están archivados en una hoja de cálculo de Microsoft Excel (Archivo "Datos Divers Organizados").

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 mas pronto posible.

1.5. RELACION NIVEL-CAUDAL

1.5.1. AFOROS EN EL RÍO

Descripción del Sitio de Aforo

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.

Aforos con Molinete

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. El caudal que pasa por una dovela es

$$q_i = v_{mi} * a_i$$

Donde:

v_{mi} = Velocidad media de la dovela i

a_i = Área de la dovela i

La velocidad media se puede tomar comúnmente como la medida a una profundidad de $0.6Y_i$, pero para este caso, se tomaron dos medidas a profundidades $0.2Y_i$ y $0.8Y_i$, siendo la velocidad media:

$$v_{mi} = \frac{v_{20} + v_{80}}{2}$$

Donde v_{20} y v_{80} son las velocidades medidas a $0.2Y_i$ y $0.8Y_i$ respectivamente.

El caudal total Q será igual a la sumatoria de los caudales de cada una de las dovelas, siendo n el número de dovelas.

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i$$

Aforos con ADV Flowtracker

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.

Para utilizar este principio, el transmisor genera un pequeño pulso a una frecuencia conocida. Los receptores acústicos reciben la señal reflejada en las partículas del agua como sedimentos, pequeños organismos o burbujas y el Flowtracker mide el cambio en dicha frecuencia para cada receptor, traduciéndolo a velocidad (ver Fig. 5). La medición de la velocidad se realiza a $0.6 Y_i$

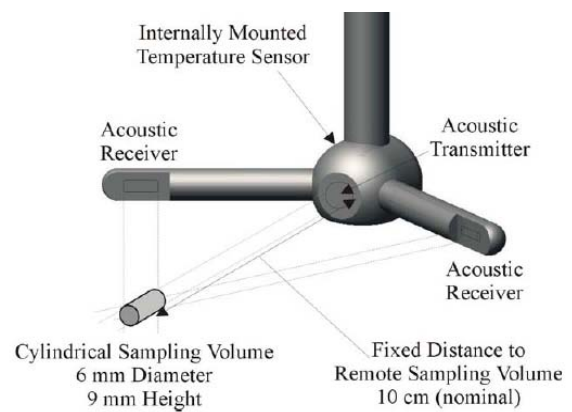


Fig. 5 Medición Doppler (Manual del Usuario 3.0 ADV)

por ser un río poco profundo y con un tiempo de muestreo de 10 seg.

Para el cálculo de la descarga, el ADV Flowtracker trabaja con 3 tipos de ecuaciones, media, promedio y japonesa, las cuales están programadas internamente en el equipo, y solo es cuestión de definir la que se usará (SonTek,2006). En este proyecto se trabajó con la ecuación media (Mid Section Discharge Equation) para los aforos realizados antes de julio y con la Promedio (Mean Section Discharge Equation), para el resto, ambas usadas por la U.S. Geological Survey (USGS).

En la Fig. 6 se muestra como se divide la sección del río, para calcular los datos de velocidad y caudal en cada estación, y así obtener el dato de descarga de la sección del río utilizando la Mean Section Discharge Equation.

El ADV Flowtracker proporciona muchas ventajas respecto al mecanismo que se venía utilizando en cuanto a facilidad de manejo en campo, tiempo de realización del aforo, precisión medida y al

excelente desempeño ante todos los posibles caudales presentados, tanto así, que podría decirse que cualquier error en la medición, esta condicionado únicamente al operador.

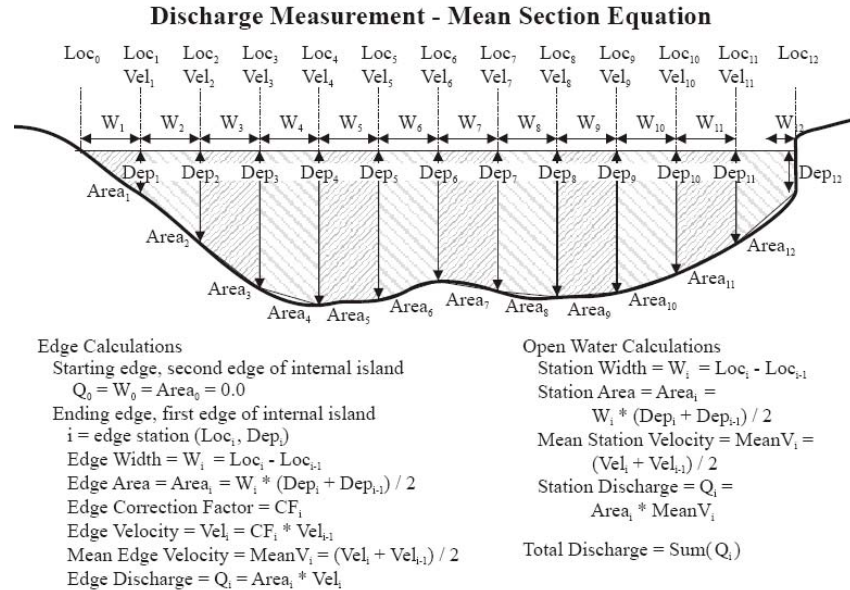


Fig. 6 Consideraciones del ADV (SonTek, 2006)

1.5.2. PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN

Una vez ubicados en la sección de aforo, se divide el ancho del cauce en secciones utilizando una cuerda amarrada de lado a lado en la que se demarcan los puntos de medición (ver Fig. 7). La primera dóvela se situó a 0.90 m de la orilla izquierda dirección aguas abajo, lugar donde se encontró una profundidad optima para poder iniciar medidas. Se demarcaron otras 10 dovelas internas de 0.5 m y la ultima aproximadamente de 0.7 m, para un total de 6.6 m de ancho variables dependiendo del nivel del cauce. (Ver sección de aforo en plano de secciones)

Antes de iniciar cualquier medida se revisa toda la sección, quitando obstáculos considerables aguas arriba y en el fondo de la misma, principalmente piedras de gran tamaño arrastradas por la corriente que puedan obstruir el flujo, impedir un punto de apoyo fijo o básicamente golpear el sensor durante la operación del equipo.



Detalle Equipo



Sección Transversal

Fig. 7 Procedimiento de medición

Se realizan mediciones en cada punto, calculando en cada uno la velocidad promedio para que al final el equipo procese internamente según la ecuación de descarga escogida, el dato de caudal de la sección, junto con un resumen complementario con datos de temperatura del agua, número de secciones, ancho del cauce, etc.

CONFIGURACION AFOROS ADV (ANTES JUNIO 2007)	
Unidades	Métricas
AVG time	20 seg.
Modo	Discharge
Ecuación de descarga	Mid
Método de medida	$0.6 * depth$

CONFIGURACION AFOROS ADV (DESP JULIO 2007)	
Unidades	Métricas
AVG time	10 seg.
Modo	Discharge
Ecuación de descarga	Mean
Método de medida	$0.6 * depth$

Tabla 2 Configuraciones del ADV Flowtracker

Para observar toda la información captada con más detalle, los registros de caudal obtenidos deben ser descargados en un computador, por medio del software de SonTek/YSI, generando un completo informe en el que se pueden observar graficas de descarga, velocidad y profundidad, en cada punto de medición. (Ver *Anexo D: Formato de aforos 2007*)

1.5.3. SELECCION DE DATOS DE AFOROS

Se realizaron aforos durante los meses de marzo, abril, mayo y agosto, relacionándolos con los respectivos registros de nivel obtenidos por la estación Automática.

Archivo	Fecha	Q (m3/s)	Nivel (cm.)	Ecuación	Abertura Comp (cm.)
AFORO1	24/03/2007 09:53 a.m.	1.1666	-	Mid	<i>sin registro</i>
AFORO2	25/03/2007 09:31 a.m.	1.2737	-	Mid	<i>sin registro</i>
AFORO3	14/04/2007 08:15 a.m.	1.4411	-	Mid	<i>sin registro</i>
MED1	16/04/2007 08:15 a.m.	1.4151	26.9	Mid	<i>sin registro</i>
MED2	17/04/2007 08:15 a.m.	1.4453	28.3	Mid	<i>sin registro</i>
MED2.1	20/04/2007 08:24 a.m.	1.4416	30	Mid	<i>sin registro</i>
AFORO4	8/05/2007 07:15 a.m.	2.8023	25	Mid	<i>sin registro</i>
MED3	09/05/2007 07:45 a.m.	2.8151	25.2	Mid	<i>sin registro</i>
MED4	11/05/2007 08:10 a.m.	2.7635	27	Mid	<i>sin registro</i>
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

Tabla 3 Total de aforos realizados en el 2007

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.

Archivo	Fecha	Q (m3/s)	Nivel (cm.)	Ecuación	Abertura Comp (cm.)
MED1	16/04/2007 08:15 a.m.	1.4151	26.9	Mid	<i>sin registro</i>
MED2	17/04/2007 08:15 a.m.	1.4453	28.3	Mid	<i>sin registro</i>
MED3	09/05/2007 07:45 a.m.	2.8151	25.2	Mid	<i>sin registro</i>
MED4	11/05/2007 08:10 a.m.	2.7635	27	Mid	<i>sin registro</i>
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

Tabla 4 Aforos escogidos para el estudio

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 genero una nube de puntos muy dispersa sin ninguna tendencia visible, observando además la falta de datos en temporada de verano, que desde que se monto 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 este entonces, se previo 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 esta 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.

1.6. HISTORIAL DE OPERACION 2007

1.6.1. PROBLEMAS PRESENTADOS

El registro automático se detuvo el mes de enero, por presentarse inconsistencias en los datos de temperatura registrados por el CT Diver. En febrero de 2007, reiniciaron los registros; pero a finales del mismo mes y durante todo marzo, se vuelven a presentar problemas con la temperatura (ver *Fig. 8*) marcando valores extremos de 80 °C y -20 °C, sumándosele además, fallas en el sensor de presión (ver *Fig. 9*).

Se decide enviar a revisión el equipo, remplazándolo y reiniciando nuevamente mediciones el 16 de abril de 2007, obteniendo registros continuos hasta la fecha.

Independientemente de este cambio, se estableció como problema principal la falta de relación directa entre los datos de caudal y nivel. El procedimiento fue definir, probar y descartar una a una; todas las posibles fuentes de error.

El estudio también estuvo afectado por otros factores de menor escala pero que igualmente afectan su precisión, como la falta de información verídica en la estación, especialmente en planos y en la exactitud del posicionamiento interno de los sensores dentro del tubo. Esto obligo a realizar el respectivo levantamiento y procesamiento de la información, para poder determinar los niveles de

referencia reales de la medición. A diferencia de la falta de relación Caudal-Nivel, en este problema fue claramente identificable su solución.

1.6.2. CAUSAS POSIBLES (FALTA RELACIÓN CAUDAL-NIVEL)

El orden de importancia que se adjudico para rastrear las posibles fuentes de error fue el siguiente:

1. Errores en el procesamiento de la información de campo
2. Influencias externas en la estación
3. Influencia en los registros por represamiento de la estructura hidráulica
4. Fallas en el ADV
5. Fallas en los sensores

1.6.3. PRUEBAS FISICAS REALIZADAS

Revisión de topografía

Se reviso todo el levantamiento topográfico, empezando por carteras, planos y demás información consignada sin encontrarse error alguno. El único dato curioso que ameritaba revisión, fue la diferencia de nivel de solo 8.5 cm. entre el fondo de la estación y la cresta del vertedero obtenida durante la batimetría realizada en Abril de 2007 (fondo de la estación por debajo de la cresta del vertedero).

La prueba consistió en tomar un nivel de referencia en la estación, y por medio de una manguera transparente con acpm llevarlo hasta el vertedero, para encontrar la diferencia entre estos dos puntos (fondo de la estación y cresta).

En este caso se encontró un valor de 11 cm., que considerando el margen de error producido por las oscilaciones de los vasos comunicantes durante la prueba, corroboro la exactitud del levantamiento.

Revisión de influencias externas

Se encontró después de varias mediciones que el sitio de ubicación de la estación, posee la sección transversal con mayor velocidad del flujo debido características propias de su geometría, asegurando un arrastre continuo de sedimentos que puedan cambiar las condiciones de nivel de agua dentro del tubo.

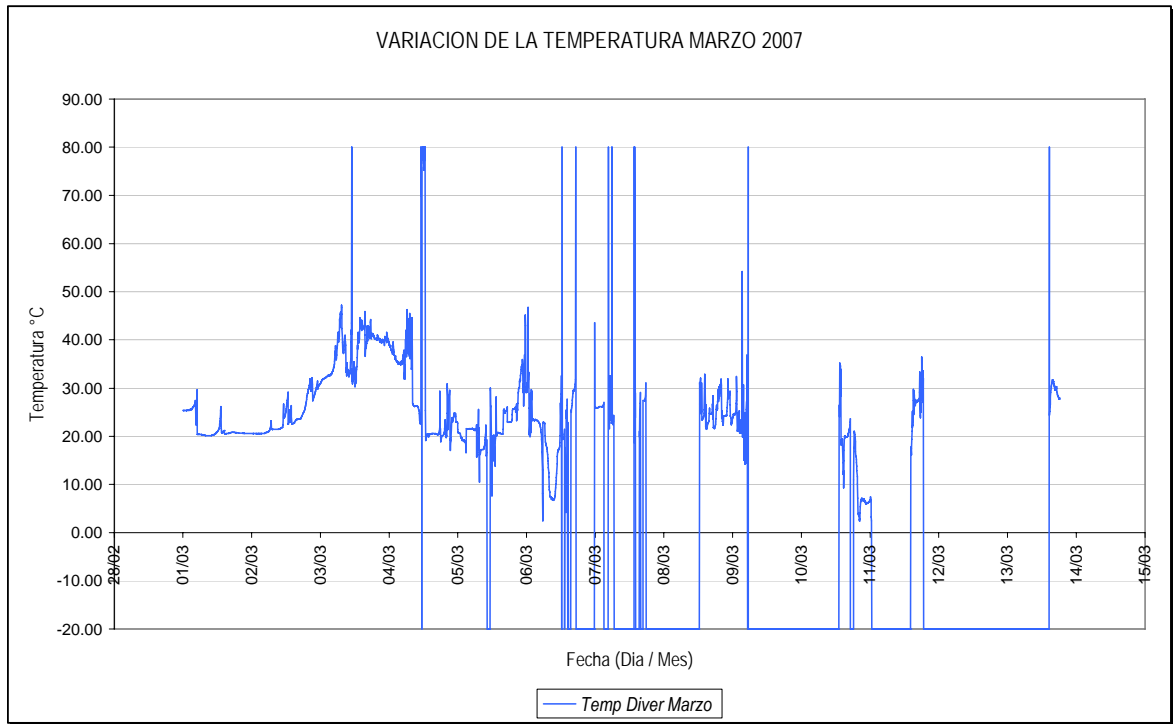


Fig. 8 Problemas en la variación de la temperatura durante marzo

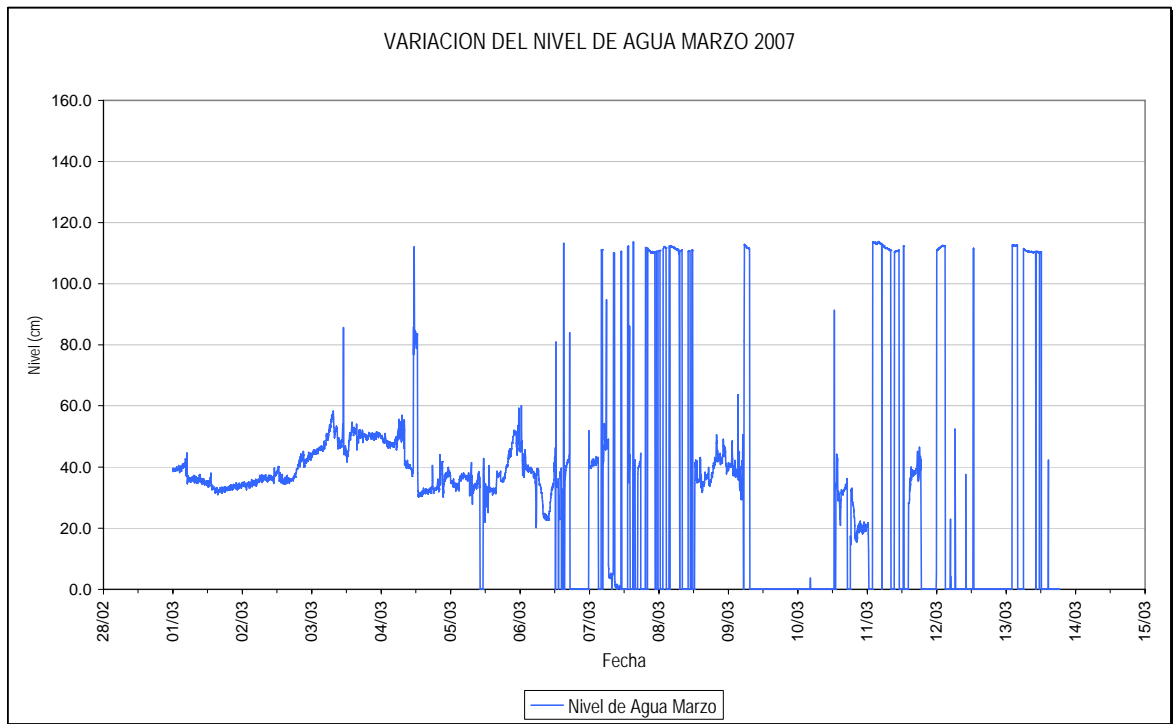


Fig. 9 Problemas en la variación del nivel de agua durante marzo

Prueba de descarga y represamiento controlado

La primera se realizó el 24 de agosto y consistió en abrir la compuerta para ver la influencia de esta acción en los registros de niveles, pero no se encontró ninguna variación considerable.

En la segunda, se creó un represamiento controlado cerrando la compuerta lo máximo permitido por el acueducto (0.21 cm.). Antes del cierre se determinó el nivel en la mira que está en la sección de aforo y se clavaron estacas marcadas en diferentes puntos a lo largo de la orilla, referenciadas todas desde a una misma cota (utilizando nivelación con manguera); con el fin de visualizar claramente el represamiento y hasta que punto iba a llegar exactamente. Al cerrarse la compuerta este solo subió aproximadamente unos 40 m sin alcanzar siquiera el sitio de aforo.

A pesar de los resultados obtenidos no se descartó la influencia del represamiento en las mediciones debido a que en ambas pruebas, lamentablemente el caudal fue considerado bajo. Este hecho corrobora la necesidad del modelamiento.

Prueba del ADV

Antes de iniciar los aforos (marzo de 2007) y antes de realizar los últimos con registro de abertura de compuerta (agosto de 2007), se probó el equipo de medición portátil ADV Flowtraker en el laboratorio de Hidráulica de la UIS. En ambas ocasiones se pudo comprobar que el dato de descarga en el canal de vidrio, coincidía con el arrojado por el caudalímetro electromagnético considerando que para este caso el ADV encuentra el valor del caudal con medición de velocidad en un solo punto, a diferencia del medidor electromagnético que traduce el flujo electromagnético producido por la corriente en la tubería cerrada.

Prueba de programación y calibración de Divers

Los sensores tipo Diver, poseen calibración de fábrica y no fueron probados al inicio de la operación continua en el 2007 (después del cambio de equipo). A pesar de esto, los datos arrojados en la zona de la estación presentaron un comportamiento normal, propio de un río, con muchas oscilaciones y unos cuantos picos representativos de los eventos de escurrimiento.

Los sensores fueron bajados de la estación la última semana de septiembre. Se sometieron a pruebas físicas diferentes durante tres días, revisando la sensibilidad del equipo a factores de programación como msnm, ubicación, tipo de muestreo, etc.

La Fig. 10 muestra el resultado de uno de estos ensayos, realizado en profundidades de agua conocidas y con superficie estable sin ningún tipo de oscilación. La profundidad medida manual desde el indicador del sensor del Diver fue de 32.5 cm. Se configuraron los Divers con un intervalo de 30 segundos y se dividió la prueba en 7 lapsos, con el fin de observar si la variación es global o determinada a cada programación.

La presión atmosférica presentó un valor promedio durante la prueba de 917 cmH₂O, muy propio de la ciudad de Bucaramanga.

Sacando del estudio los datos arrojados por el primer minuto (esperando estabilización del sensor) y los arrojados por los últimos minutos (descarte de registros obtenidos en plena descarga de la información) de todos los lapsos, se encuentra una oscilación hasta de casi 10 cmH₂O, cuando el error por precisión del equipo es de solo 1 cmH₂O. Sin embargo esta variación permanece constante en cada programación, por ejemplo, en el lapso de 10:01 a.m. a 10:12 a.m. el registro osciló alrededor de 20.05 cmH₂O.

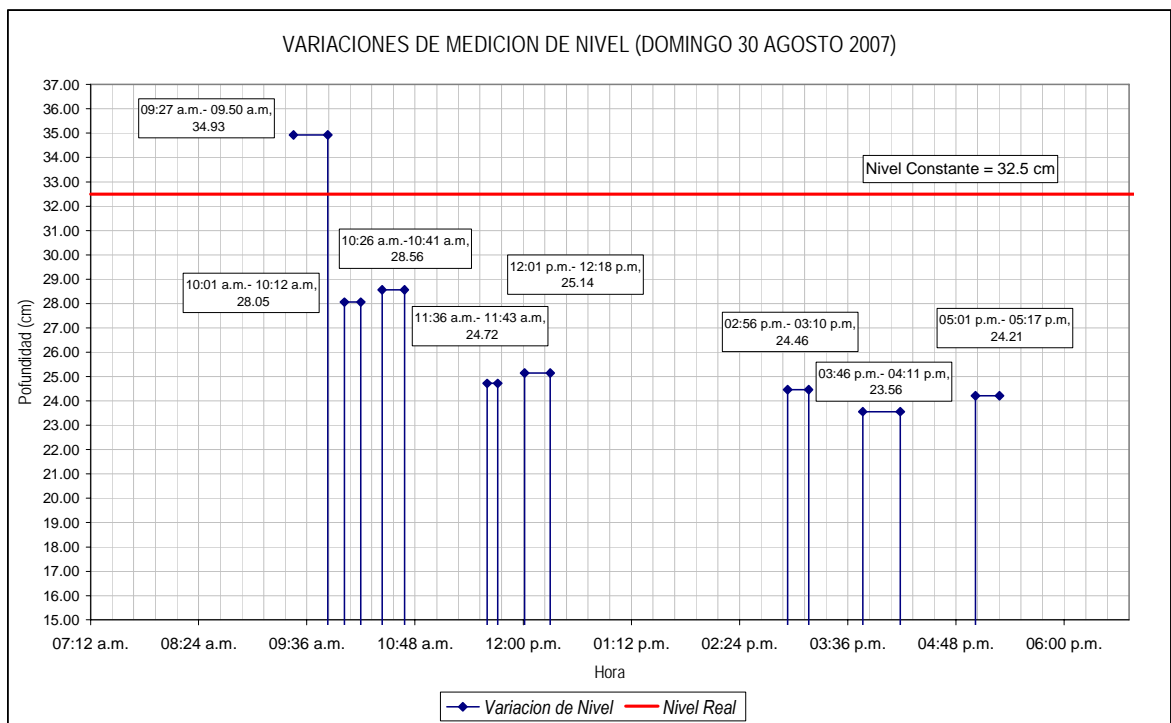


Fig. 10 Prueba de la variación en la medición del nivel

Se descartan por completo errores de programación durante la operación y se prevé que el sensor de presión, esta presentando problemas para marcar desde el nivel de referencia de medición fijo, establecido por el fabricante. Este varia hasta 10 cm. en cada programación reduciendo la precisión del modelo, al no poderse calibrar con la exactitud deseada.

1.6.4. ANALISIS DE DATOS OBTENIDOS

Comportamiento del Nivel

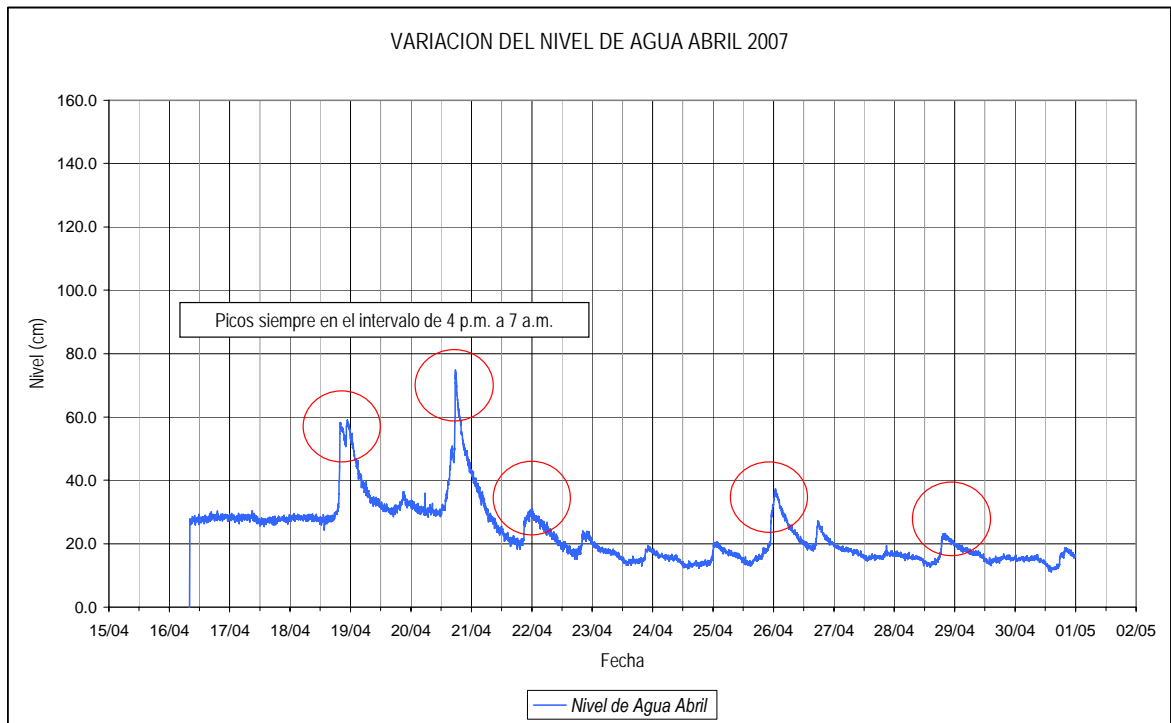


Fig. 11 Variación tipo del Nivel de Agua

- 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. 11)

Comportamiento de la temperatura

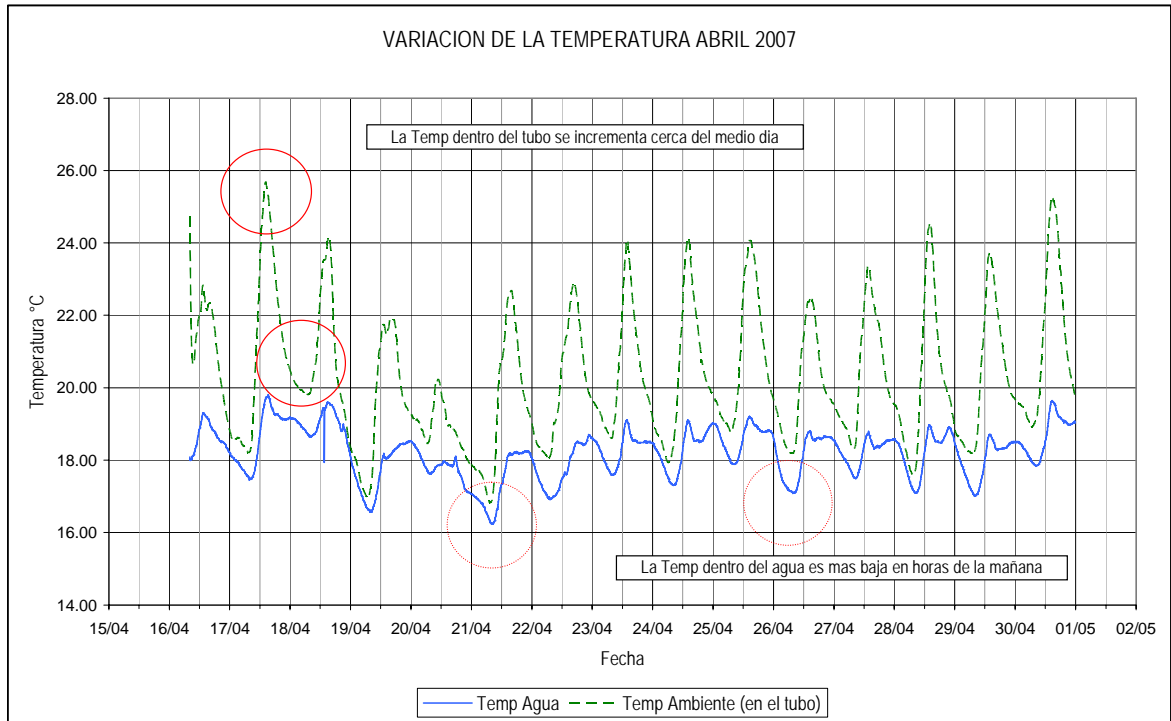


Fig. 12 Variación tipo de la temperatura

- 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. 12).

Comportamiento de la Presión Atmosférica

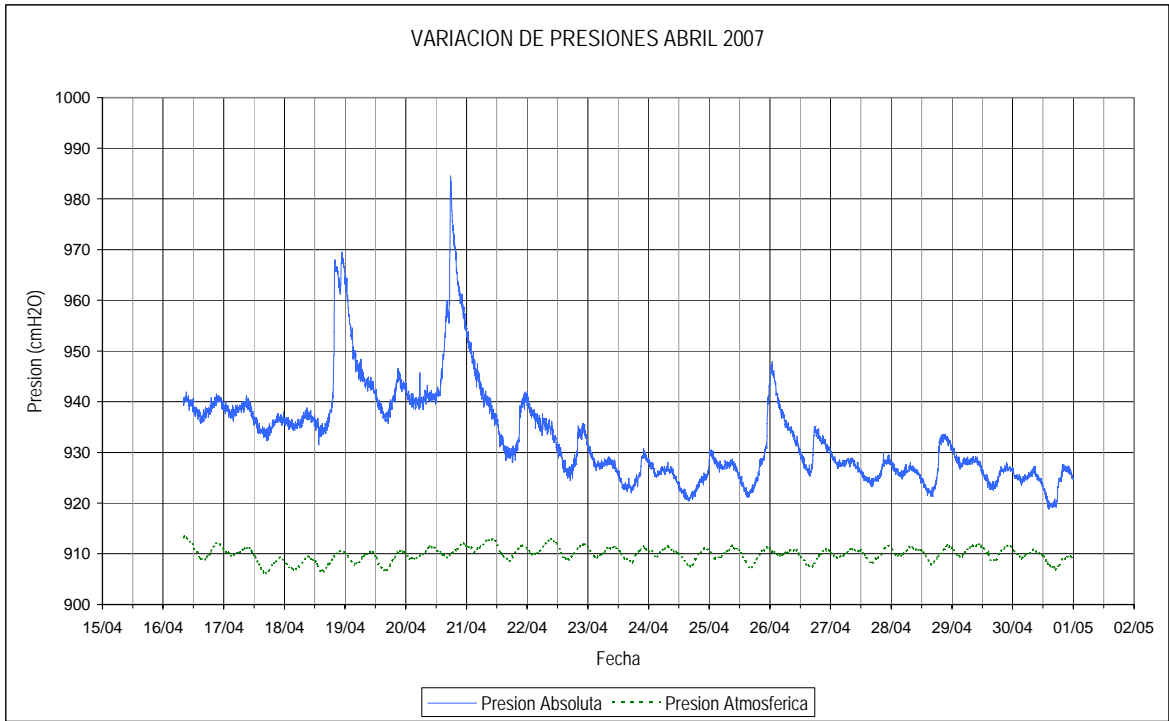


Fig. 13 Variación tipo de la Presión Atmosférica

- Se comporta de la misma manera todos los días. Es alta en horas de la noche y la madrugada, desciende alrededor de las 7 a.m., sube un poco antes de mediodía, vuelve y desciende en la tarde para finalmente incrementarse en la noche y cumplir el ciclo.
- La menor presión atmosférica siempre se da en horas de la tarde en el intervalo de 12 m a 7 p.m.
- El máximo valor registrado fue 914 cmH2O el 28 de agosto a las 9:20 p.m. y el mínimo valor registrado fue de 905.3 cm. H2O el 7 de mayo a las 4:20 p.m. El valor promedio en la zona es de 909 cmH2O (ver Fig. 13).

2. MODELAMIENTO

Se utilizó HEC RAS v3.1.3 software de uso libre para análisis hidráulico unidimensional, del US ARMY Corps of Engineers (HEC RAS, 2005).

Un modelo de simulación, ya sea hidráulica o hidrológica, permite guiar la formulación para estrategias de manejo del recurso hídrico (incluyendo el diseño de estructuras) o simplemente como herramienta de investigación (Physical Hydrology, 2005). En este caso, el objetivo del modelamiento radicó en encontrar si existían en la zona, las condiciones necesarias para que el remanso generado por la estructura hidráulica de aguas abajo, afectara las mediciones de la estación. El montaje del modelo comenzó desde el inicio de sospecha del remanso y fue calibrándose a medida que avanzaba el estudio.

2.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Para obtener los datos geométricos de entrada, se realizó un levantamiento topográfico; cuya finalidad es la representación espacial de la zona de estudio. Se realizó desde el inicio del tramo recto del río, aproximadamente 80 m aguas arriba de la estación automática, hasta la bocatoma y el vertedero; definiendo secciones transversales en diferentes tramos, que además de ser necesarias para el modelamiento, permitieron definir las curvas de nivel del terreno.

Su tuvo un cuidado especial, ya que la correcta definición de estas secciones, influye directamente con los resultados obtenidos en la simulación.

2.1.1. EN CAMPO

El equipo utilizado fue una Estación Total (Topcom), un trípode, un prisma con bastón, brújula, plomada y cinta métrica.

Para el levantamiento se realizó una radiación con la Estación Total, recorrido realizado desde aguas arriba hacia aguas abajo; tomando lecturas en varios puntos, para poder definir las secciones transversales del río.

El tramo recto del río logro radiarse desde un mismo punto (Δ_1) con un total de 88 puntos (13 secciones transversales), pero para la curva y detalles de la bocatoma, fue necesario realizar un cambio (Δ_2) con un total de 46 puntos radiados (6 secciones transversales, detalles del fondo y de la bocatoma).

Para las secciones transversales se trato de conservar en lo posible la perpendicularidad a la hora de definir los puntos; pero factores como rocas, puntos de apoyo y la corriente del río en algunos sitios; afectaron la dirección del trazado. Una vez ubicados los puntos en un plano se pudo comprobar la variación de dicha perpendicularidad.

2.1.2. EN OFICINA

Básicamente, en la cartera topográfica se tenía para cada punto la distancia, altura del prisma, ángulos horizontal y vertical.

Δ	θ	A Horizontal	A Vertical	Distancia	Observaciones	hp	Coordenadas		
		Grados / Minutos / Segundos	Grados / Minutos / Segundos				X	Y	Z

Tabla 5 Formato de Cartera Topográfica

Con geometría básica se procedió a definir las coordenadas para cada punto tomando como referencia (Δ_1) con coordenadas (X=100, Y=100, Z=100).

Siendo Φ (Angulo vertical) y θ (Angulo horizontal), para cada punto:

$$X = 100 + (d \cdot \text{sen } \Phi \cdot \text{sen } \theta)$$

$$Y = 100 + (d \cdot \text{sen } \Phi \cdot \text{cos } \theta)$$

$$Z = 100 + Ha + d \cdot \text{cos } \Phi - Hp$$

Para los puntos radiados desde (Δ_2) inicialmente se tenían en otro sistema de coordenadas, diferentes al sistema de los puntos radiados desde (Δ_1), ya que los ángulos horizontales aquí son barridos desde (Δ_1). Para tener todo en un mismo sistema coordenado simplemente se utilizo el contrazimut de (Δ_2), siendo:

$$\alpha (\text{azimuth de } \Delta_2)$$

$$\beta = 360 - \alpha (\text{contrazimuth})$$

Así a todos lo ángulos barridos desde ($\Delta 2$), siendo:

γ el ángulo medido con otro sistema coordenado y φ el ángulo transformado al sistema coordenado inicial. Se aplicó:

$$si (\gamma > \beta); \varphi = (\gamma - \beta)$$

$$si (\gamma < \beta); \varphi = 360 - (\beta - \lambda)$$

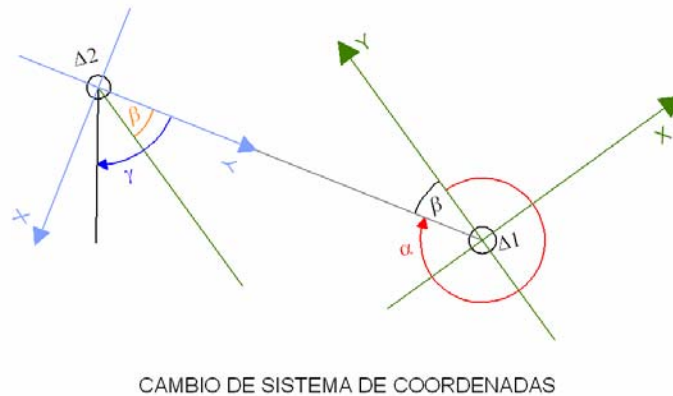


Fig. 14 Detalle del cambio de sistema coordenado

Una vez convertido el ángulo, se procedió de igual forma que antes, solo que acá el punto de referencia será ahora ($\Delta 2$), con coordenadas ($X=54.5458$, $Y=175.9819$, $Z=99.8629$)

$$X = 54.5458 + (-d \cdot \text{sen } \Phi \cdot \text{sen } \theta)$$

$$Y = 175.9819 + (-d \cdot \text{sen } \Phi \cdot \text{cos } \theta)$$

$$Z = 99.8629 + Ha + d \cdot \text{cos } \Phi - Hp$$

Como el sistema coordenado acá esta invertido, las formulas originales se modificaron. Por ejemplo para una coordenada (Y) el coseno en el IV cuadrante siempre es positivo, por lo que fue necesario agregar un (-) para que restara de la coordenada (Y) de referencia.

2.1.3. DEFINICIÓN DE SECCIONES TRANSVERSALES

Una vez establecidas las coordenadas de todos los puntos se ubicaron estos en un plano digital, utilizando dibujo asistido por computador (CAD), Autocad V2006.

Se ubicaron tridimensionalmente con el mismo sistema coordenado todos los puntos generados en el levantamiento, observando claramente todas las secciones transversales medidas, con los problemas de perpendicularidad comentados anteriormente.

Para definir cada sección transversal, se trazo una línea que unió el punto inicial con el punto final de cada sección. Se ubicó una vista en plano que pasara por esta línea y se proyectaron los demás puntos en dicho plano. De esta forma se obtuvo como tal una sección transversal completamente perpendicular.

El error a la hora de realizar este procedimiento fue considerado mínimo; ya que en las proyecciones de los puntos al plano de referencia de cada sección, no se superó en la mayoría de los casos los 20 cm.

2.1.4. OBSERVACIONES DEL LEVANTAMIENTO

La descripción cualitativa de la zona (casilla de observaciones en la cartera topográfica), sirvió para la definición correcta de las secciones transversales especialmente en zonas de difícil acceso.

2.1.5. OBSERVACIONES EN LOS CÁLCULOS

Vale la pena aclarar que la distancia medida es la distancia real entre el prisma y la Estación Total, por lo que hay que calcular la proyección horizontal y vertical de esta para los diferentes cálculos.

Los cálculos de las coordenadas fueron realizados en una hoja de cálculo de Microsoft Excel.

2.2. MODELAMIENTO EN HEC RAS

2.2.1. GENERALIDADES

Se modelo 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 si 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 si una salida de flujo, que representa el caudal promedio de trabajo en la planta de tratamiento de 300 lps. 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).

2.2.2. 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)

2.2.3. CALIBRACION 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.

Coefficiente 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, V.T. , 1973).

Coefficientes Contracción/Expansión

Definido para transiciones graduales en flujo subcrítico: coeficiente de contracción 0.1 y coeficiente de expansión 0.3 (Chow, V.T. ,1973).

2.2.4. DEFINICION DE REGIMEN 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 modelo 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:

- Los procedimientos computacionales básicos están basados en la solución de la ecuación de energía unidimensional.
- Las pérdidas de energía son evaluadas por fricción (Ecuación de Manning) y contracción/expansión (coeficiente multiplicador del cambio de la cabeza de velocidad).
- La ecuación de momento es utilizada donde el perfil de la superficie del agua es rápidamente variado.

2.2.5. ANALISIS DE SENSIBILIDAD

Para determinar la influencia de los diferentes parámetros numéricos y físicos en la modelación se realizo 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 represento 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%.

2.2.6. VERIFICACION 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 tomo 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.

Todos los resultados del modelamiento están consignados en la Tabla 6.

Verificación de la influencia del remanso

Se introdujeron al modelo como referencia, los datos de flujo con abertura de compuerta registrada; y como modelamiento base, se trato 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 m³/s. Para esta situación, en el modelamiento puede verse que con estas condiciones no puede generarse un gran represamiento, rectificando lo sucedido esos días (*ver Fig. 15*).

Se realiza entonces el modelamiento con los otros caudales obtenidos y se encontró que para flujos mayores a 2.5 m³/s, si la compuerta no esta 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. 16*).

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

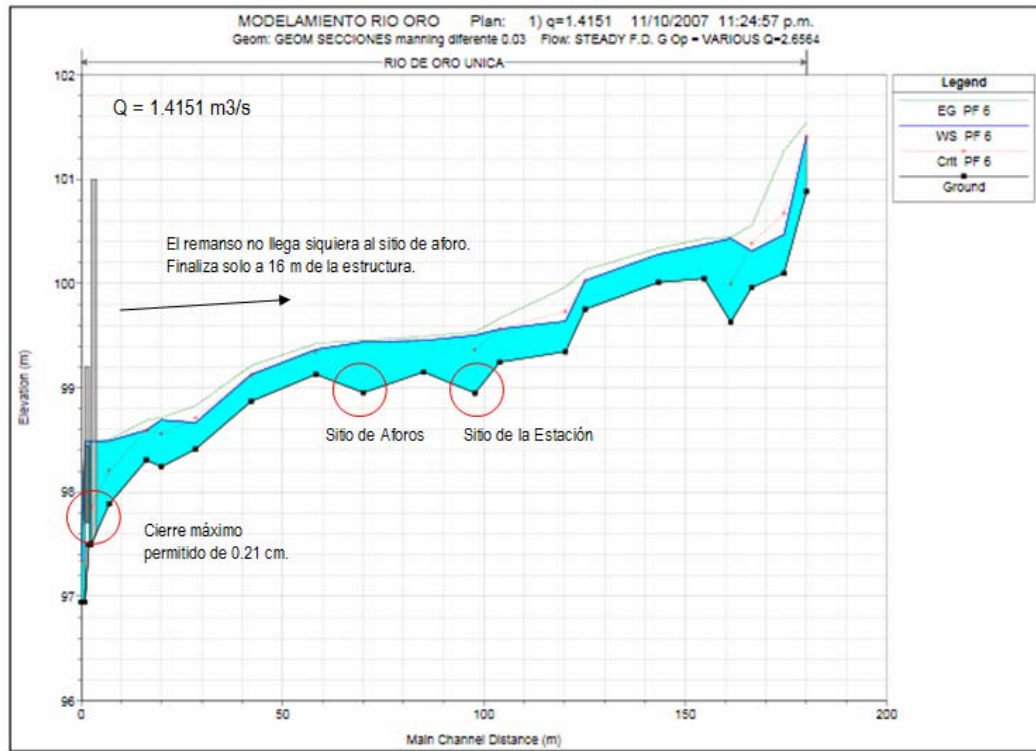


Fig. 15 Simulación de prueba física realizada. (Perfil HEC RAS)

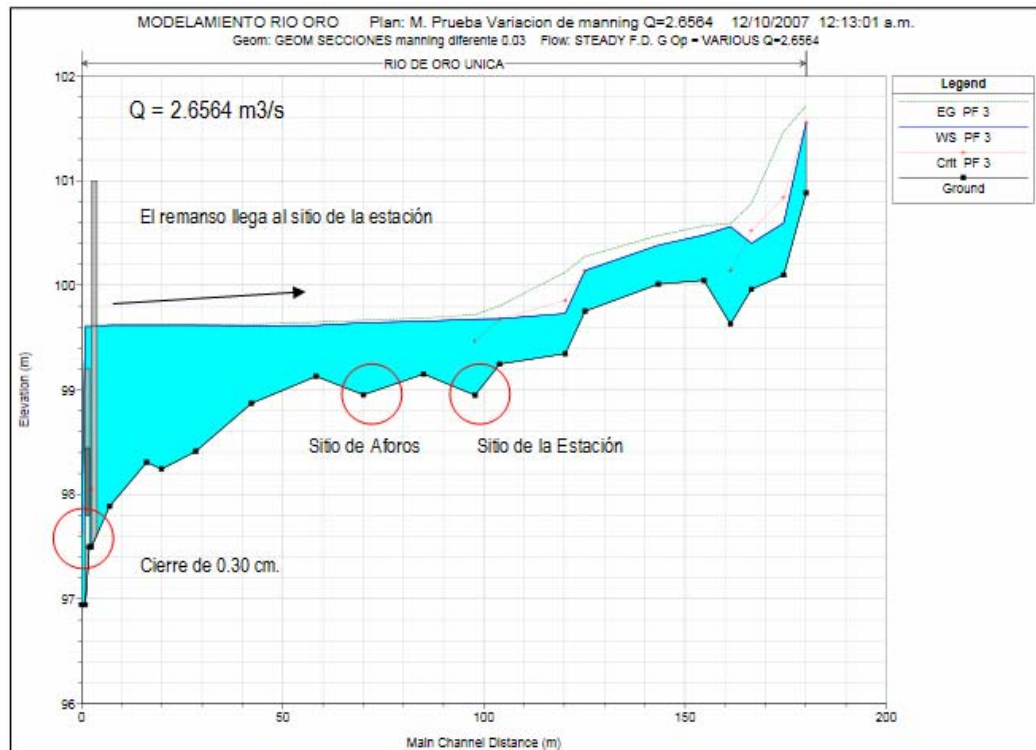


Fig. 16 Simulación de flujo mayor a 2.5 m³/seg. (Perfil HEC RAS)

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.

Verificación de profundidades obtenidas (manuales y automáticas)

Para los flujos de 1.4151 m³/s y 2.8151 m³/s, el nivel registrado por la estación, difiere con el generado por el modelo hasta en 8.3 cm., pero para los otros 4 siguientes, la diferencia de nivel máxima fue solo de 2 cm.; todo para flujo no represado.

Para la diferencia de 2 cm. se adjudica el error a las oscilaciones de la superficie de agua en el momento del registro, pero para la de 8.3 cm. el error es adjudicado a la acción conjunta de la oscilación de superficie de agua y al problema de variación del sensor de presión del equipo sumergido.



Fig. 17 Oscilaciones de la superficie de agua

Los dos últimos caudales son datos hipotéticos pero no lejanos de la realidad. 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 m³/seg., si se piensa en los niveles de hasta 1.4 m registrados por la estación. Para comprobar esta hipótesis se tendría que realizar un aforo nocturno, pero dadas las condiciones de seguridad de la zona, esto es imposible.

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 (*Ver Fig. 18*). 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.

**2.2.7. CONSIDERACIONES
DEFINITIVAS DEL MODELAMIENTO**

El coeficiente de Manning que mejor se ajusto 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.



Fig. 18 Taponamiento de la compuerta

2.2.8. ARCHIVOS

NOMBRE PROYECTO: MODELAMIENTO RÍO ORO

Datos geométricos de entrada

NOMBRE ARCHIVO: GEOM SECTION whit lateral structure

Datos de entrada para Flujo Permanente

NOMBRE ARCHIVO: STEADY F.D. G Op = VARIOUS Q = el modelado para cada caso

Datos de entrada para Flujo Permanente

NOMBRE ARCHIVO: STEADY F.D. G Op = VARIOUS Q = el modelado para cada caso

RESULTADOS DEL MODELAMIENTO RIO DE ORO								n=0.03		Tramo: UNICA			
Q (m3/s)	ABERTURA COMP (m)	NIVEL DE LA SUPERFICIE DE AGUA (m)						PROF SITIO AFORO (cm)		PROF SITIO ESTACION (cm)			
		ESTRUCTURA	vel	SITIO AFORO	vel	SITIO ESTACION	vel	AL FONDO	REGISTRADO	AL FONDO	Niv Ref DIVERS	REGISTRADO	
1.4151	↓	0.4	97.69	3.61	99.44	0.53	99.5	0.77	49	45.2	38	20.5	26.9
		0.35	97.69	3.61	99.44	0.53	99.5	0.77	49		38	20.5	
		0.3	97.69	3.61	99.44	0.53	99.5	0.77	49		38	20.5	
		0.25	98.17	0.85	99.44	0.53	99.5	0.77	49	Ab Comp NR	38	20.5	Abertura Compuerta NO Registrada
		0.23	98.31	0.69	99.44	0.53	99.5	0.77	49		38	20.5	
		0.21	98.48	0.56	99.44	0.53	99.5	0.77	49		38	20.5	
1.7197	↓	0.4	97.73	3.63	99.47	0.6	99.54	0.85	52	47.6	42	24.5	24.5
		0.35	97.73	3.63	99.47	0.6	99.54	0.85	52		42	24.5	
		0.3	98.25	0.96	99.47	0.6	99.54	0.85	52		42	24.5	
		0.25	98.62	0.62	99.47	0.6	99.54	0.85	52	Ab Comp 30	42	24.5	Ab Comp 30
		0.23	98.84	0.52	99.47	0.6	99.54	0.85	52		42	24.5	
		0.21	99.11	0.42	99.47	0.6	99.54	0.85	52		42	24.5	
1.8294	↓	0.4	97.75	3.63	99.48	0.63	99.55	0.88	53	51.8	43	25.5	25.8
		0.35	97.75	3.63	99.48	0.63	99.55	0.88	53		43	25.5	
		0.3	98.38	0.86	99.48	0.63	99.55	0.88	53		43	25.5	
		0.25	98.81	0.57	99.48	0.63	99.55	0.88	53	Ab Comp 30	43	25.5	Ab Comp 30
		0.23	99.06	0.47	99.48	0.63	99.55	0.88	53		43	25.5	
		0.21	99.35	0.4	99.48	0.63	99.55	0.88	53		43	25.5	
2.4255	↓	0.4	98.43	1.12	99.53	0.74	99.6	1	58	56.3	48	30.5	32.3
		0.35	98.77	0.81	99.53	0.74	99.6	1	58		48	30.5	
		0.3	99.26	0.58	99.53	0.74	99.6	1	58		48	30.5	
		0.25	99.87	0.43	99.88	0.43	99.89	0.57	93	Ab Comp 30	77	59.5	Ab Comp 30
		0.23	100.14	0.38	100.15	0.32	100.15	0.4	120		103	85.5	
		0.21	100.21	0.37	100.22	0.3	100.22	0.37	127		110	92.5	

RESULTADOS DEL MODELAMIENTO RIO DE ORO								n=0.03		Tramo: UNICA			
Q (m3/s)	ABERTURA COMP (m)	NIVEL DE LA SUPERFICIE DE AGUA (m)						PROF SITIO AFORO (cm)		PROF SITIO ESTACION (cm)			
		ESTRUCTURA	vel	SITIO AFORO	vel	SITIO ESTACION	vel	AL FONDO	REGISTRADO	AL FONDO	Niv Ref DIVERS	REGISTRADO	
2.6564	↓	0.4	98.68	0.97	99.55	0.78	99.62	1.05	60	59.5	50	32.5	32.8
		0.35	99.08	0.72	99.55	0.78	99.62	1.05	60		50	32.5	
		0.3	99.6	0.54	99.64	0.67	99.68	0.92	69		56	38.5	
		0.25	100.16	0.42	100.17	0.34	100.18	0.42	122	Ab Comp 30	106	88.5	Ab Comp 30
		0.23	100.22	0.41	100.23	0.32	100.23	0.4	128		111	93.5	
		0.21	100.27	0.4	100.28	0.31	100.28	0.38	133		116	98.5	
2.8151	↓	0.4	98.86	0.9	99.56	0.81	99.63	1.08	61	57.6	51	33.5	25.2
		0.35	99.3	0.67	99.57	0.81	99.63	1.08	62		51	33.5	
		0.3	99.83	0.51	99.85	0.52	99.86	0.69	90		74	56.5	
		0.25	100.22	0.44	100.23	0.35	100.23	0.42	128	Ab Comp NR	111	93.5	Abertura Compuerta NO Registrada
		0.23	100.26	0.43	100.27	0.33	100.28	0.4	132		116	98.5	
		0.21	100.31	0.43	100.32	0.32	100.32	0.38	137		120	102.5	
3.8	↑	0.3	100.33	0.59	100.35	0.41	100.35	0.5	140	-	123	105.5	-
		0.35	100.24	0.61	100.25	0.45	100.26	0.55	130		114	96.5	
		0.4	100.02	0.66	100.05	0.56	100.05	0.7	110		93	75.5	
		0.45	99.57	0.81	99.66	0.93	99.72	1.21	71	Ab Comp NR	60	42.5	Abertura Compuerta NO Registrada
		0.5	99.18	1	99.63	0.97	99.7	1.25	68		58	40.5	
		0.55	98.85	1.26	99.63	0.97	99.7	1.25	68		58	40.5	
5	↑	0.4	100.38	6.06	100.41	0.52	100.41	0.62	146	-	129	111.5	-
		0.45	100.29	5.88	100.32	0.56	100.33	0.67	137		121	103.5	
		0.5	100.19	5.66	100.22	0.61	100.23	0.75	127		111	93.5	
		0.55	99.94	5.12	99.98	0.79	100	1	103	Ab Comp NR	88	70.5	Abertura Compuerta NO Registrada
		0.6	99.57	4.34	99.72	1.11	99.78	1.41	77		66	48.5	
		0.65	99.26	3.67	99.71	1.13	99.78	1.42	76		66	48.5	

Tabla 6 Resultados del Modelamiento en HEC RAS v 3.1.3

3. INSTRUMENTACION HIDROLOGICA EN LA CUENCA

El presente capítulo describe y analiza la instrumentación de tipo climático e hidrológico disponible en la cuenca alta del río de oro. Se analizan pluviógrafos, pluviómetros, limnigrafos y limnímetros, con el fin de mantener actualizados los datos de los equipos existentes, los cuales serán de importancia para cualquier estudio que se realice en esta zona. (Ver *Anexo E: Localización de las estaciones en la cuenca*)

NOMBRE	TIPO	ENTIDAD	ALTURA
El conquistador	Limnimétrica	IDEAM	1100
Sevilla	Pluviométrica	CDMB	1900
El Rasgón	Limnigráfica	CDMB	1950
El Picacho	Pluviométrica	IDEAM	3310
Berlín	Pluviométrica	IDEAM	3214

Tabla 7 Estaciones disponibles Fuente GPH

Algunos de los principales datos fueron obtenidos de las entidades encargadas de su operación.

3.1. ESTACIONES DEL IDEAM

ESTACION EL CONQUISTADOR

(Código 2319743) Funciona desde julio de 1978, es de tipo limnimétrica y se utiliza para medir los niveles del río, se encuentra ubicada en el municipio de Piedecuesta en el barrio Cabecera del Llano en inmediaciones de la cancha de fútbol. La estación está localizada en un tramo recto de aproximadamente 80 m de largo y 3.5 m de ancho, no se observan cambios de pendiente bruscos. (IDEAM. Ing. J. Duarte)

ESTACION EL PICACHO

(Código 2319030) De tipo pluviométrica, proporciona datos de lluvias desde julio de 1967, en ella actualmente se tiene un pluviómetro de marca Franco Hermanos tipo 200100. (IDEAM. Ing. J. Duarte)

ESTACION BERLIN

(Código 3701502) Es quizás la más completa que se tenga en este momento, los primeros aparatos de medición se montaron en mayo de 1968 y a la fecha se sigue actualizando en equipos de alta tecnología, en ella se miden parámetros como son: temperatura, lluvia, evaporación, insolación, humedad relativa, punto de rocío, tensión, vapor, recorrido del viento, entre otras variables. Los equipos con los que cuenta son: tanque de evaporación clase A, sicrómetro (aspirador Thiees tipo Assmann, termómetro seco y termómetro húmedo, termómetro de máximo, termómetro de mínimo) anemómetro Lambrecht, Heliógrafo Lambrecht Fuese tipo Cambell Stokes, Pluviógrafo Lambrecht tipo Hellman, Pluviómetro marca Franco Hermanos 200100. (IDEAM. Ing. J.Duarte)

3.2. ESTACIONES CDMB

ESTACION EL RASGON

Coordenadas: Norte: 1270362.46, Este: 119076.51, elevación: 2120 m

Características: se encuentra en funcionamiento desde agosto de 1985, localizada 300 metros aguas arriba de la entrega al río de oro, es de fácil acceso. La CDMB se encarga de realizar aforos con molinete tratando de obtener datos mensualmente, la sección de aforos actual esta a 6 metros de la mira con fuerte pendiente, en el lugar se presenta muy poca sedimentación, aguas abajo no se encuentra ningún tipo de estructura, se presentan altas velocidades y rocas cercanas a la sección, por lo cual el lecho del río no esta libre de obstáculos. Los datos que se obtienen en el rasgón son los niveles y caudales del río, y para esto se cuenta con:

- 1 Limnógrafo mensual SEBA
- 3 miras en lámina calibre 14
- 1 caseta (foto 2)
- 1 tubo en la mira

Algunos de los datos obtenidos del último aforo, que hasta la fecha era del mes de octubre de 2006 ya que por problemas internos de la corporación no se había podido actualizar fueron:

- Caudal: 0.533m³/s
- Velocidad media: 0.586m/s
- Ancho de la sección: 3.80m

-
- Nivel inicial=nivel final=0.28 m
 - Área de la sección: 0.775 m²
 - Equipo: molinete tipo universal rotos 4-145650
 - Tipo de aforo: vadeo
 - Método: superficial (CDMB, ing. E.Castro)



Fig. 19 Caseta El Rasgón (Fuente CDMB)



Fig. 20 Mira El Rasgón (Fuente CDMB)

ESTACION DE SEVILLA

Coordenadas: Norte: 1267670.10 m; Este: 1119427.61m; Elevación: 1907 msnm.

Características: la estación presenta registros desde el primero de agosto de 1981, es de tipo pluviométrica, se registran datos mensuales por parte de la entidad encargada de su operación, en este caso al igual que en la estación el rasgón, los datos no están actualizados ya que el ultimo mes que se tomo fue el de octubre de 2006, en este sitio se encuentra localizado un pluviómetro el cual se emplea en la medición de la precipitación de la zona. (CDMB, ing. E.Castro)



Fig. 21 Imagen Pluviómetro (CDMB)



Fig. 22 Detalle Pluviómetro (CDMB)

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 número de inventario 65536, presenta actualmente un problema en el sensor de presión que cambia su precisión de 1 cmH₂O hasta valores desviados 10 cmH₂O.
- 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.

OBSERVACIONES

- Se recomienda realizar visitas periódicas a la estación, máximo cada 15 días, para verificar el correcto funcionamiento de los sensores y realizar el mantenimiento del tubo, evitando que este se encuentre taponado con sedimentos que impidan el paso normal del flujo.
- Los Divers son equipos muy sensibles y deben ser protegidos al máximo durante el transporte hasta el lugar de descarga de datos. Al desenroscarse del protector, el lente queda descubierto y nunca debe ser expuesto a la luz, debido a que el equipo piensa que esta puesto en el lector óptico y consume batería interna.
- Antes de colocar cualquier dispositivo en la estación, se debe realizar pruebas en el laboratorio con datos conocidos, para más adelante poder descartar problemas con los equipos. También se deben leer muy bien los manuales de funcionamiento de los Diver y del ADV Flowtracker, ya que presentan algunas especificaciones importantes para su funcionamiento.
- Como inconveniente ajeno al estudio, se destacó el problema seguridad en la zona, que condicionó el proceso de operación en cuanto a duración y número de visitas.

BIBLIOGRAFIA

- 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>.

ANEXOS

ANEXOS

ANEXO A

Convenio celebrado entre la Empresa Piedecuestana de Servicios y la Universidad Industrial de Santander.

CONVENIO DE COOPERACIÓN INTERINSTITUCIONAL CELEBRADO ENTRE LA PIEDECUESTANA DE SERVICIOS Y LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER "UIS"

Entre los suscritos a saber : **RAMIRO RANGEL PARRA**, mayor de edad e identificado con cédula de ciudadanía número 91.347.824 expedida en Piedecuesta, quien en su calidad de Gerente (E), mediante resolución No. 122 de agosto 28 de 2006, obra en nombre y representación legal de la **PIEDECUESTANA DE SERVICIOS** y legalmente autorizado por la Ley. Que mediante acuerdo número 004 de 2004 (junio 11) de la junta directiva de la empresa Piedecuestana de Servicios ESP se adopta "el manual de contratación interna de la empresa de acueducto, alcantarillado y aseo Piedecuestana ESP", y concordante con la resolución 0003 de 2004 (enero 02), se hace nombramiento en propiedad al ingeniero **RAMIRO RANGEL PARRA**, que en adelante se denominará "La Piedecuestana de Servicios" y el ingeniero **JORGE ALBERTO GUZMAN JAIMES** mayor de edad, identificado con la cédula de ciudadanía número 91'229.470 expedida en Bucaramanga, quien en calidad de Director de la Escuela de Ingeniería Civil obra en nombre y representación legal de la Universidad Industrial de Santander, designado por el Consejo Superior según acta de posesión No. 12 del 11 de junio de 2003 y quien en adelante se denominará "UIS", hemos acordado celebrar el presente convenio de cooperación interinstitucional.

CLÁUSULAS

PRIMERA. – OBJETO: Instalación, montaje y operación del limnógrafo de la estación El Conquistador sobre el río de Oro.

SEGUNDA. – APORTES Y OBLIGACIONES: La Piedecuestana de Servicios ESP se compromete a:

1. Realizar la instalación y montaje de un tubo de acero para limnógrafo y respectivo anclaje a la roca.
2. Tomar las medidas necesarias para el aseguramiento del equipo instalado por la UIS ante eventos naturales, robo, vandalismo y cualquier otro que ponga en riesgo dicho equipo.
3. Adquirir las pólizas de seguros necesarias para garantizar la seguridad de los equipos instalados por la UIS.
4. Designar al ingeniero **URIEL ANDRES ESCALANTE** como responsable y encargado de coordinar las actividades necesarias para desarrollar este convenio.

TERCERA. – APORTES Y OBLIGACIONES: La UIS se compromete a:

1. Suministrar e instalar el equipo electrónico, un Diver y un Barodiver para la medición continua de niveles de agua dentro del tubo de acero.
2. Realizar la toma de datos, almacenamiento y manipulación durante el tiempo de vigencia de este convenio.

3. Realizar los aforos necesarios para obtener las curvas de calibración del río de Oro en el Sitio de la estación El Conquistador.

1.Designar a la Ingeniera SULL y GOMEZ ISIDRO profesora de la UIS y directora del Grupo GPH, como responsable y encargada de coordinar las actividades necesarias para el desarrollo del convenio.

CUARTA. LA INFORMACION OBTENIDA, estará a disposición de ambas entidades y será de libre utilización.

QUINTA. - VALOR DEL CONVENIO: El valor del presente convenio es de 20 millones de pesos (Veinte millones de pesos), representados en el valor del equipo instalado por parte de la UIS y del trabajo e instalación del tubo limnógrafo realizado por la PIEDECUESTANA DE SERVICIOS, distribuidos en partes iguales.

SEXTA. - DURACIÓN Y CAUSALES DE TERMINACIÓN: El presente convenio de cooperación tendrá una duración de cinco años contado a partir de la fecha de suscripción del presente convenio. La PIEDECUESTANA DE SERVICIOS se reserva la facultad de dar por terminado en cualquier momento sin lugar a indemnización de cualquier naturaleza, por incumplimiento de la UIS a cualquiera de sus obligaciones. Igualmente la UIS se reserva la facultad de dar por terminado en cualquier momento sin lugar a indemnización de cualquier naturaleza, por incumplimiento de la PIEDECUESTANA DE SERVICIOS a cualquiera de sus obligaciones Las partes podrán de mutuo acuerdo terminar este convenio cuando lo consideren oportuno.

SEPTIMA. - CESIÓN. Ninguna de las partes podrá ceder a persona o entidad alguna los derechos que se deriven del presente convenio.

OCTAVA. - LIQUIDACIÓN: Las partes acuerdan, una vez finalizado el término del convenio, revisar la necesidad de renovar este convenio, o proceder a su liquidación para lo cual se suscribirá un acta en la cual se dejarán constancias del trabajo realizado; en un término no superior a dos meses a la fecha de terminación del presente convenio. A la terminación del convenio los equipos instalados (Diver y Barodiver) regresan a la UIS, al grupo de Investigación GPH de la Escuela de Ingeniería Civil y la Piedecuestana conservará la propiedad del tubo limnográfico instalado en la estación El Conquistador. En señal de acuerdo con los términos anteriores firmamos el presente convenio de cooperación en dos ejemplares del mismo tenor, con destino a cada una de las partes, en Bucaramanga (Santander), a los 30 días del mes de agosto de 2006.

Por la PIEDECUESTANA DE SERVICIOS Por la UIS,



RAMIRO RANGEL PARRA
PIEDECUESTANA DE SERVICIOS ESP

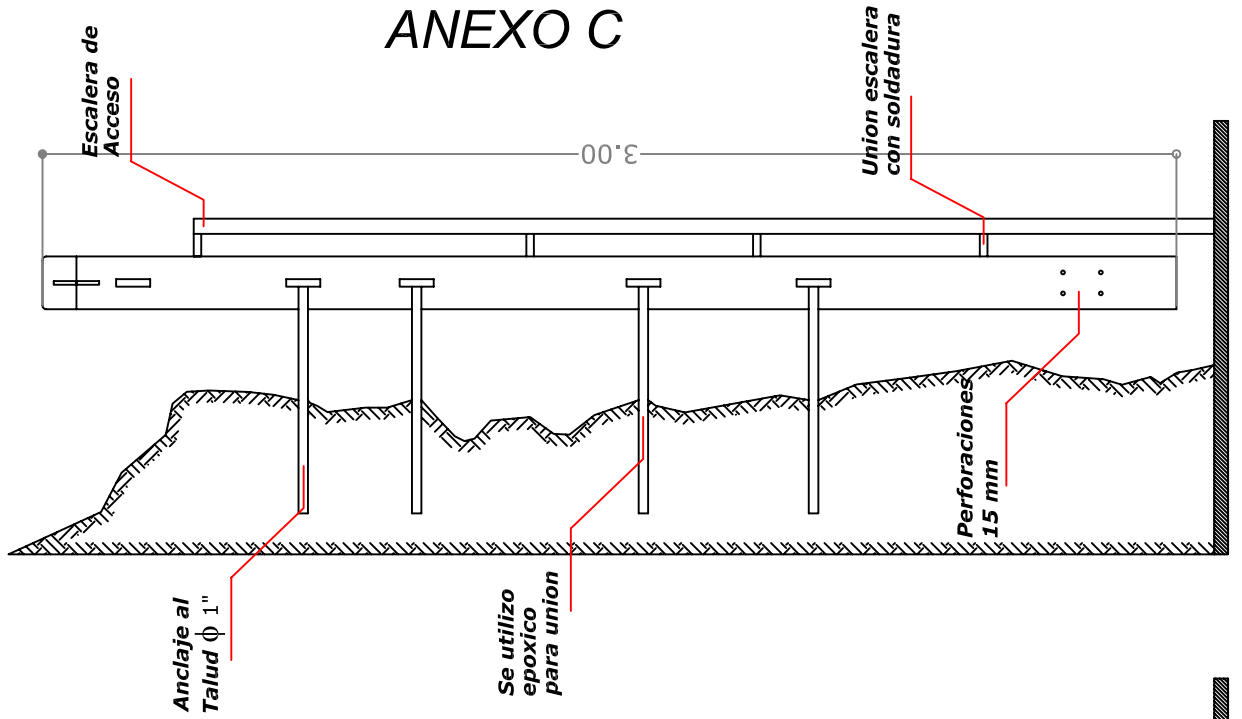


JORGE ALBERTO GUZMAN
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

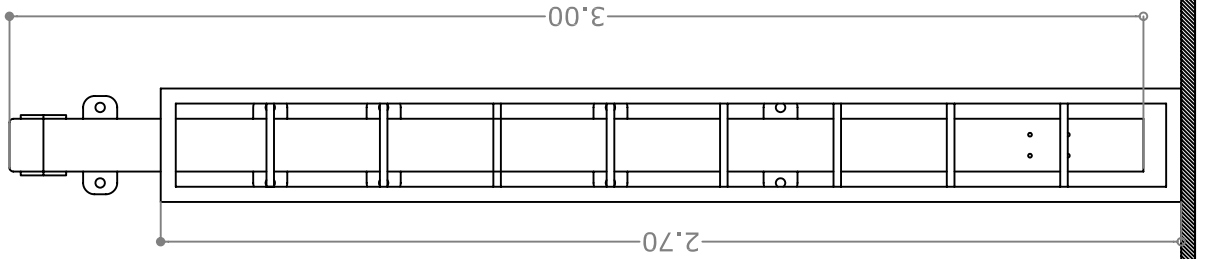
PLANO ESTACION CONQUISTADOR ALTO ESC 1:20

ANEXO C

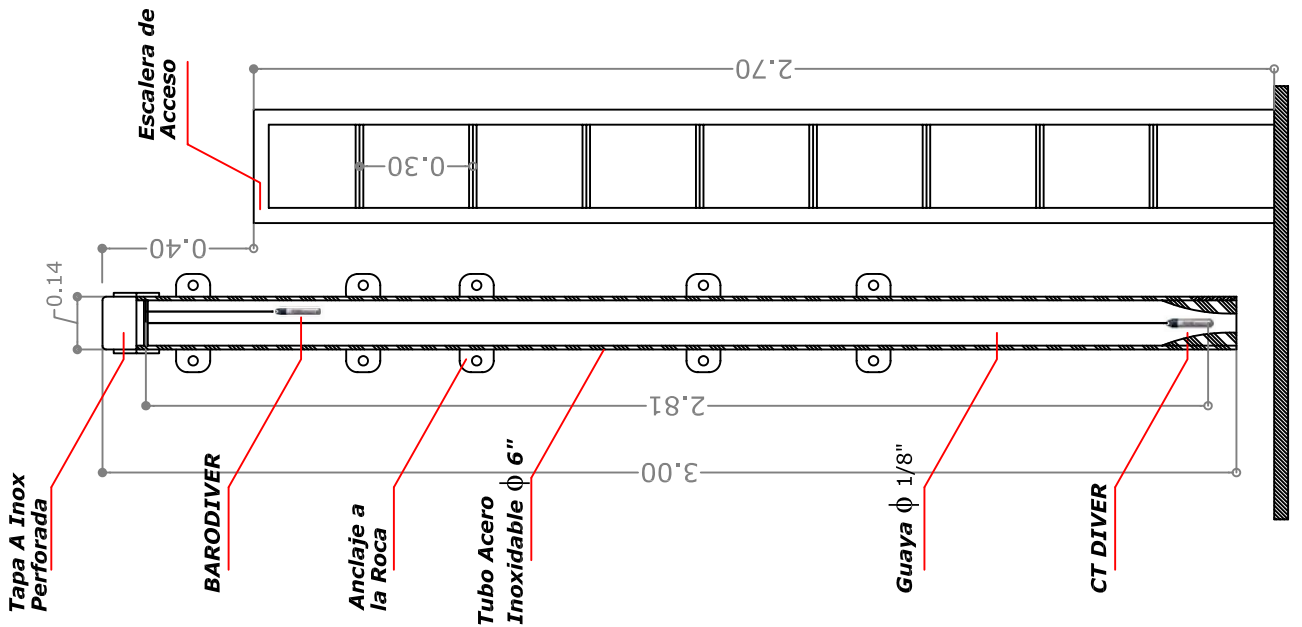
VISTA LATERAL



VISTA FRONTAL



DETALLES TUBO



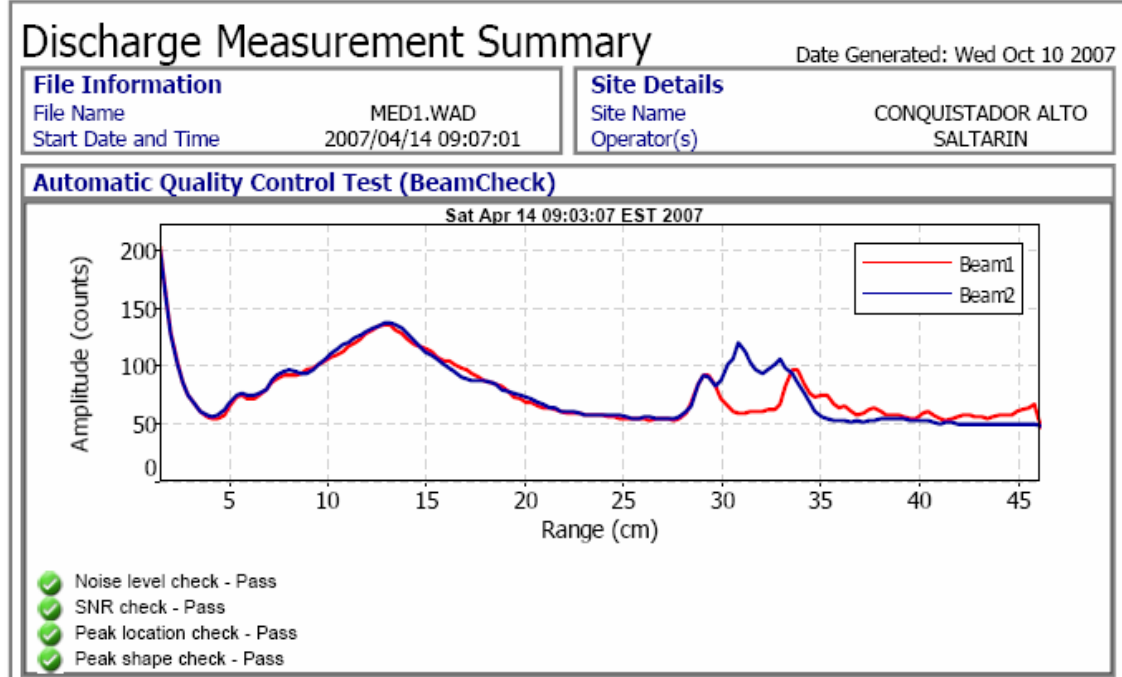
ANEXO D

FORMATO DE AFOROS ADV FLOWTRACKER

Discharge Measurement Summary				Date Generated: Wed Oct 10 2007	
File Information			Site Details		
File Name	MED1.WAD		Site Name	CONQUISTADOR ALTO	
Start Date and Time	2007/04/14 09:07:01		Operator(s)	SALTARIN	
System Information		Units (Metric Units)		Discharge Uncertainty	
Sensor Type	FlowTracker	Distance	m	Category	ISO Stats
Serial #	P1443	Velocity	m/s	Accuracy	1.0% 1.0%
CPU Firmware Version	3.0	Area	m ²	Depth	0.2% 1.1%
	2.01	Discharge	m ³ /s	Velocity	1.4% 3.5%
				Width	0.2% 0.2%
				Method	2.5% -
				# Stations	3.9% -
				Overall	4.9% 3.8%
Summary					
Averaging Int.	20	# Stations	13		
Start Edge	LEW	Total Width	6.600		
Mean SNR	38.5 dB	Total Area	2.587		
Mean Temp	17.71 °C	Mean Depth	0.392		
Disch. Equation	Mid-Section	Mean Velocity	0.5587		
		Total Discharge	1.4453		

Measurement Results												
St	Clock	Loc	Method	Depth	%Dep	MeasD	Vel	CorrFact	MeanV	Area	Flow	%Q
0	09:07	0.00	None	0.040	0.0	0.0	0.0000	1.00	0.1393	0.018	0.0025	0.2
1	09:07	0.90	0.6	0.416	0.6	0.166	0.1393	1.00	0.1393	0.291	0.0406	2.8
2	09:12	1.40	0.6	0.440	0.6	0.176	0.4823	1.00	0.4823	0.330	0.1592	11.0
3	09:15	2.40	0.6	0.452	0.6	0.181	0.6855	1.00	0.6855	0.339	0.2324	16.1
4	09:21	2.90	0.6	0.468	0.6	0.187	0.8207	1.00	0.8207	0.234	0.1920	13.3
5	09:25	3.40	0.6	0.440	0.6	0.176	0.8950	1.00	0.8950	0.220	0.1969	13.6
6	09:30	3.90	0.6	0.424	0.6	0.170	0.7067	1.00	0.7067	0.212	0.1498	10.4
7	09:32	4.40	0.6	0.432	0.6	0.173	0.6501	1.00	0.6501	0.216	0.1404	9.7
8	09:34	4.90	0.6	0.412	0.6	0.165	0.5798	1.00	0.5798	0.206	0.1194	8.3
9	09:37	5.40	0.6	0.376	0.6	0.150	0.4563	1.00	0.4563	0.188	0.0858	5.9
10	09:38	5.90	0.6	0.360	0.6	0.144	0.4382	1.00	0.4382	0.180	0.0789	5.5
11	09:42	6.40	0.6	0.428	0.6	0.171	0.3105	1.00	0.3105	0.150	0.0465	3.2
12	09:42	6.60	None	0.030	0.0	0.0	0.0000	1.00	0.3105	0.003	0.0009	0.1

Rows in italics indicate a QC warning. See the Quality Control page of this report for more information.



Discharge Measurement Summary

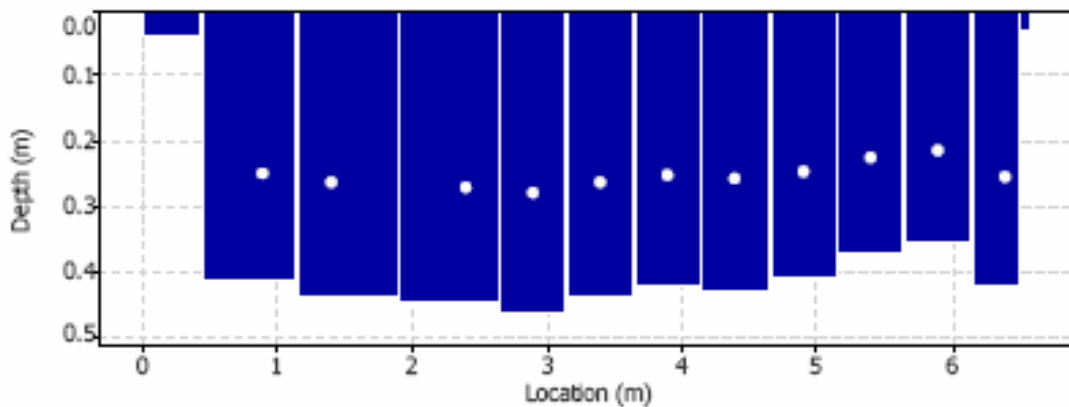
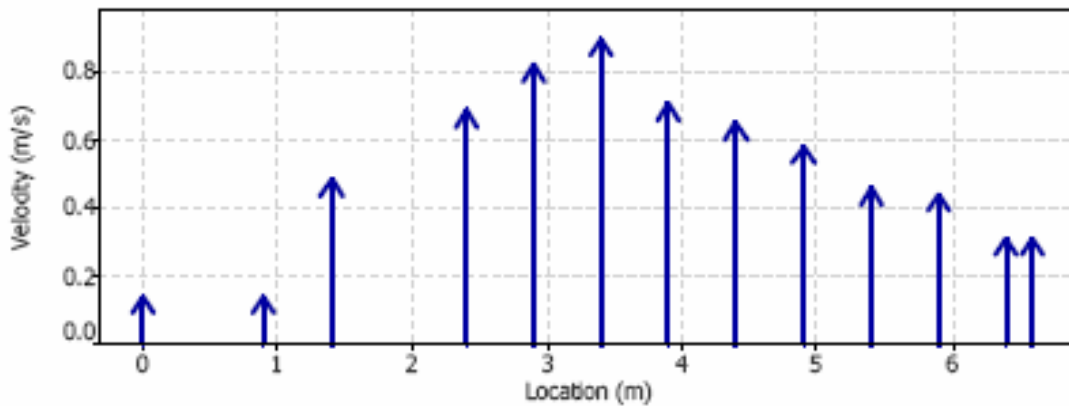
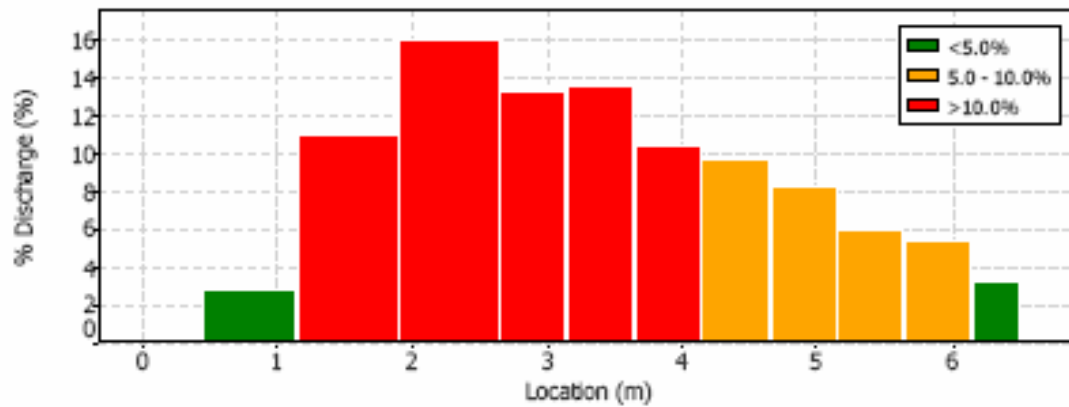
Date Generated: Wed Oct 10 2007

File Information

File Name: MED1.WAD
Start Date and Time: 2007/04/14 09:07:01

Site Details

Site Name: CONQUISTADOR ALTO
Operator(s): SALTARIN



ANEXO E

PLANO DE LOCALIZACION DE ESTACIONES

