

**CURVA DE CALIBRACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA ESTACIÓN  
HIDROMETRICA AUTOMATICA DEL RIO DE ORO**

**WILMER FLOREZ LEAL**

**JOSÉ ALFREDO RUEDA NÚÑEZ**

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

**2009**

**CURVA DE CALIBRACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA ESTACIÓN  
HIDROMETRICA AUTOMATICA DEL RIO DE ORO**

**WILMER FLOREZ LEAL  
JOSÉ ALFREDO RUEDA NÚÑEZ**

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

**Directora:  
PhD. Sully Gómez Isidro**

**Co-Director:  
Ing. Juan Carlos Forero**

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

**2009**

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Industrial de Santander y su Escuela de Ingeniería Civil, en donde con mucho esfuerzo nos formaron como ingenieros.

A la profesora Sully Gómez Isidro, quien siempre creyó y alentó nuestro trabajo.

A Juan Carlos Forero por su compañía y siempre oportunas recomendaciones.

A la Piedecuestana de Servicios Públicos, por su colaboración para el trabajo realizado en campo.

## *DEDICATORIA*

*Especialmente a Dios, por brindarme la vida*

*A Ilba Teresa mi madre, por su amor incondicional y  
por ser fuente de mi inspiración*

*A Florindo mi padre, por su apoyo y  
por ser mi modelo a seguir*

*A Maribel mi hermana, por la confianza que  
siempre ha depositado en mí*

*A José Alfredo por su positivismo y  
por la amistad que siempre me ha brindado*

*A todos mis amigos por brindarme siempre su apoyo*

*A mi familia porque siempre creyeron en mí*

*Wilmer Flórez*

## *DEDICATORIA*

*A Dios, que me da la vida cada día.*

*A mis Padres, Alirio y Olinda, quienes con su esfuerzo forjaron lo que soy.*

*A mis hermanos, que han sido mi apoyo siempre firme.*

*A Kelly, con la suave mano que me lleva siempre a la felicidad.*

*A mis amigos, quienes siempre han creído en mí.*

*Gracias UIS por brindarme el mejor espacio para formarme.*

*José Alfredo.*

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCION</b> .....	1
<b>1. ESTACIÓN HIDROMETRICA AUTOMATICA DEL RIO DE ORO</b> .....	2
<b>1.1. UBICACIÓN</b> .....	2
<b>1.2. COMPONENTES</b> .....	4
1.2.1. Diver y BaroDiver .....	4
1.2.2. Tubo Limnimétrico.....	5
1.2.3. USB Diver Reading.....	7
1.2.4. Software Diver Office.....	8
<b>2 MANEJO PRELIMINAR DE EQUIPOS DE MEDICIÓN DE NIVELES EN LABORATORIO</b> .....	9
<b>2.1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO EN LABORATORIO</b> .....	9
<b>2.2. PROCEDIMIENTO</b> .....	10
<b>2.3. OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS EN LABORATORIO</b> .....	12
<b>2.4. PROGRAMACIÓN DEL EQUIPO</b> .....	17
<b>3. MEDICIONES EN CAMPO</b> .....	20
<b>3.1. MEDICIÓN DE NIVELES</b> .....	20
<b>3.2. AFOROS</b> .....	21
3.2.1. ADV Flow Tracker .....	22
3.2.2. Métodos de cálculo de caudal del ADV .....	26
<b>4. ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS</b> .....	28
<b>4.1 TEMPERATURA</b> .....	28
4.1.1 Temperatura del agua .....	28

4.1.2. Temperatura del ambiente.....	29
<b>4.2. PRESIÓN ATMOSFERICA.....</b>	<b>31</b>
<b>4.3. NIVELES.....</b>	<b>32</b>
<b>5. CURVA DE CALIBRACION.....</b>	<b>35</b>
5.1. NIVELES DE AGUA VS. CAUDALES .....	35
5.2. CURVA DE CALIBRACIÓN .....	38
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>40</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>44</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>45</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ruta de acceso.....	3
Figura 2. BaroDiver .....	4
Figura 3. Diver .....	4
Figura 4. Tubo limnimétrico .....	6
Figura 5. Herramienta para abrir tapa .....	7
Figura 6. Llave hexagonal.....	7
Figura 7. Detalle tapa del tubo limnimétrico.....	7
Figura 8. Detalle Terminal para conexión Diver del USB Diver Reading.....	8
Figura 9. Montaje Diver suspendido.....	10
Figura 10. Ventana principal para manejo de los Divers .....	18
Figura 11. Ventana de dialogo para iniciar mediciones .....	19
Figura 12. Sección de medición de niveles.....	20
Figura 13. Sección de aforo.....	22
Figura 14. Detalle de ADV .....	23
Figura 15. Detalle sonda .....	24
Figura 16. Detalle forma de medición del ADV .....	24
Figura 17. Distribución de velocidades.....	25

## LISTA DE TABLAS

Tabla1. Ajustes para programar Equipos .....	11
Tabla 2. Primera programación en laboratorio .....	12
Tabla 3. Resumen de errores.....	17
Tabla 4. Programación definitiva .....	19
Tabla 5. Métodos de medición del ADV .....	26
Tabla 6. Aforos realizados y nivel de agua tesis actual .....	36
Tabla 7. Aforos realizados y nivel de agua tesis Saltarín & Hernández.....	36
Tabla 8. Datos utilizados en la curva de calibración .....	38

## LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 1. Nivel de agua primera experiencia.....	13
Gráfica 2. Nivel de agua segunda experiencia.....	14
Gráfica 3. Nivel de agua segunda programación.....	15
Gráfica 4. Nivel de agua escenario de prueba de la programación 2.....	15
Gráfica 5. Nivel de agua a diferentes alturas.....	16
Gráfica 6. Ciclo diario temperatura del agua .....	29
Gráfica 7. Ciclo diario temperatura del ambiente.....	30
Gráfica 8. Ciclo diario de la presión atmosférica.....	31
Grafica 9. Niveles vs. Tiempo tesis Saltarín & Hernández.....	32
Grafica 10. Niveles vs. Tiempo Tesis Actual .....	33
Grafica 11. Datos de nivel – caudal existentes .....	37
Grafica 12. Curva de calibración.....	39

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Temperatura del Agua mes a mes de octubre de 2008 a enero de 2009 .	46
Anexo 2. Temperatura de Ambiente mes a mes de octubre de 2008 a enero de 2009 .....	48
Anexo 3. Presión Atmosférica mes a mes de octubre de 2008 a enero de 2009 ....	50
Anexo 4. Caudales octubre de 2008 a enero de 2009 .....	52
Anexo 5. Caudales abril a agosto de 2007 .....	53
Anexo 6. Hidrograma época de no lluvias fin de año 2008 e inicio de 2009 .....	54
Anexo 7. Registros de Nivel existentes .....	55
Anexo 8. Niveles – Temperatura vs. Tiempo del 17 al 19 de octubre de 2008. ....	56

## RESUMEN

**TITULO:**

CURVA DE CALIBRACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA ESTACIÓN HIDROMETRICA AUTOMATICA DEL RIO DE ORO.\*

**AUTOR:**

WILMER FLOREZ LEAL, JOSÉ ALFREDO RUEDA NÚÑEZ. \*\*

**PALABRAS CLAVES:**

Estación Hidrométrica Automática, Diver, Barodiver, ADV Flow tracker, Curva de Calibración.

**DESCRIPCIÓN:**

En el río de Oro se estudian parámetros hidrológicos como la temperatura, presión atmosférica, niveles y caudales. El municipio de Piedecuesta se surte de la aguas de este río, este servicio es prestado por la Empresa Piedecuestana de Servicios, debido a esto se hace importante el estudio del río para conocer su comportamiento y brindar un servicio de calidad.

En el río de Oro se creó la estación Hidrométrica en el año 2006, luego fue operada en el año 2007 por un proyecto de grado (Saltarín & Hernández, 2007) y en el 2008 por los autores del presente proyecto de grado, está estación consta de equipos capaces de registrar de forma continua los parámetros mencionados anteriormente, los equipos son Diver y Barodiver, los cuales miden presión absoluta y atmosférica respectivamente. Debido al desconocimiento de la exactitud de las medidas de estos equipos se realizó una fase experimental en laboratorio, de allí se pudo conocer su comportamiento y las variables que inciden en su programación.

Se realizó una campaña de aforo comprendida entre los meses de octubre de 2008 y enero de 2009, se realizaron un total de 10 aforos, en los cuales se midieron caudales entre  $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $3.5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Con los datos de caudal y los registros de nivel que midieron en la estación se creó la curva de calibración que relaciona estos parámetros.

---

\* Proyecto de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Director: Gómez isidro, Sully, Codirector: Forero, Juan Carlos.

## ABSTRACT

**TITLE:**

CALIBRATION CURVE AND OPERATION OF THE RIO DE ORO AUTOMATIC HYDROMETRIC STATION.\*

**AUTHOR:**

WILMER FLOREZ LEAL, JOSÉ ALFREDO RUEDA NÚÑEZ. \*\*

**KEY WORDS:**

Automatic Hydrometric Station, Diver, Barodiver, ADV Flow tracker, Calibration Curve.

**DESCRIPTION:**

In the Rio de Oro are studied parameters such as temperature, atmospheric pressure, levels and discharges. The township Piedecuesta is supplied of this river, this service is provided by the Empresa Piedecuestana de Servicios, and because of this it's important to study the river to understand its behavior and to provide a quality service.

The Rio de Oro hydrometric station was established in 2006, then was traded in 2007 by a project degree (Saltarín & Hernández, 2007) and in 2008 by the authors of this project degree, consisting of station equipment is capable of registering continuously the parameters outlined above. The instruments are Diver and Barodiver, which measure absolute pressure and atmospheric pressure respectively. Due to the lack of accurate measurements of these instruments was an experimental phase in the laboratory, there was to know their behavior and the variables that affect their programming.

Was conducted a gauging campaign between October 2008 and January 2009, there were a total of 10 data, which were between 1.0 m<sup>3</sup>/s and 3.5 m<sup>3</sup>/s. With the data flow and the measured level at the station was created the curve that relates these parameters.

---

\* Project

\*\* UIS Faculty of Physical-Mechanical Engineering, School of Civil Engineering, Director: Gómez Isidro, Sully, Codirector: Forero, Juan Carlos.

## INTRODUCCION

El río de oro nace el alto del picacho, aproximadamente a 3.500 msnm. En su recorrido pasa por los municipios de Piedecuesta y Girón. El primero de ellos se surte de sus aguas para sus necesidades básicas; este servicio es prestado por la Empresa Piedecuestana de Servicios Públicos.

Para el estudio de esta fuente de agua se construyó en el año 2006 la estación hidrométrica automática del río de oro en el marco de un convenio celebrado entre la Empresa Piedecuestana de Servicios y la UIS-GPH. En esta estación se monitorean niveles del río, temperatura del agua y del ambiente, y presión atmosférica. El conocimiento de estos factores es de vital importancia para prestar un servicio óptimo.

En el presente trabajo se manejarán niveles de agua, caudales y temperatura. Se tienen registros de estas variables de trabajos anteriores los cuales serán analizados y acoplados a los registros actuales. Para validar el error propuesto por el fabricante de los equipos de medición de niveles se realizaron pruebas en el laboratorio en condiciones controladas, en donde se estudio la sensibilidad de los equipos a las variables que se proporcionan en su programación.

Para la creación de la curva de calibración se utilizaron los registros tomados por dispositivos automáticos ubicados en la estación y los caudales medidos con el ADV flow tracker.

## **1. ESTACIÓN HIDROMETRICA AUTOMATICA DEL RIO DE ORO**

La estación Hidrométrica Automática del Río de Oro fue construida en el año 2006 (Díaz & Rincón, 2006) en el marco del convenio celebrado entre la UIS y la Empresa Piedecuestana de Servicios.

La estación estuvo en funcionamiento en el año 2007 en una nueva tesis de grado (Hernández & Saltarín, 2007) obteniendo datos de niveles, temperatura y caudal que serán analizados para evaluar su calidad y la posibilidad de ser usados en la curva de calibración que se propondrá en el presente trabajo.

Después de Agosto de 2007 la estación no estuvo en funcionamiento debido a la terminación del proyecto anterior (Hernández & Saltarín, 2007), esto fue así hasta octubre de 2008 cuando los medidores de presión fueron instalados nuevamente en el presente proyecto para hacer la curva de calibración de la estación y mantener un registro continuo de caudales.

### **1.1. UBICACIÓN**

La estación se encuentra en la subcuenca del río de Oro, la cual hace parte de la cuenca superior del río Lebrija al sur de esta. El contorno de la subcuenca es bastante irregular y su cauce principal se forma por la unión de los ríos Oro y Hato o Lato, los cuales nacen cerca al alto del Picacho.

El río de Oro nace en alta montaña a una altura aproximada de 3500 msnm. Este río pasa por los municipios de Girón y Piedecuesta. A la altura de este último está ubicada la estación de medición. La pendiente del cauce en dicha zona es constante y el tramo es recto, por lo cual fue el sitio preciso para su ubicación.

La población del municipio de Piedecuesta se surte de las aguas del río de Oro para el consumo diario y se suministra por parte de la Empresa Piedecuestana de Servicios Públicos, la bocatoma del acueducto se encuentra aguas abajo de la estación aproximadamente a 100m, dicha captación está a una altura de 1090msnm.

La estación se encuentra a una altura de aproximadamente 1105 msnm y unas coordenadas de 6°59'41.36" N; 73°02'10.91" O, la sección de aforo se encuentra aproximadamente a 40m aguas abajo de allí.

**Figura 1: Ruta de acceso.**



**Fuente:** Google earth

Para acceder a la estación desde la ciudad de Bucaramanga se debe tomar la vía autopista de Piedecuesta hasta el puente vehicular de Piedecuesta y atravesar el

barrio Cabecera hasta margen del río y de ahí en adelante se realiza un trayecto a pie de aproximadamente 25 minutos por la montaña en una trocha existente (Figura 1), utilizada por los bañistas del río y por el encargado de la bocatoma, sistema desarenador y la conducción, quien guió a los autores en primera instancia.

## 1.2. COMPONENTES

La estación hidrométrica automática del río de Oro está capacitada para el registro continuo de parámetros hidrológicos del río tales como la temperatura, el nivel de agua y la presión atmosférica. Para que esto sea posible la estación cuenta con la siguiente instrumentación:

### 1.2.1. Diver y BaroDiver

Figura 2. BaroDiver



Figura 3. Diver



Fuente: Los autores

Para la medición de la altura de agua en la estación se utilizan los equipos Diver (Figura 3) y BaroDiver (Figura 2) que registran presiones absolutas y barométricas, respectivamente.

Los equipos se encuentran suspendidos con una guaya de 3/16" que está amarrada a la parte superior del tubo limnimétrico, la longitud de la guaya del BaroDiver es de 45cm y la del Diver es de 281cm.

El Diver se encuentra sumergido en el agua a una altura de 17.5 cm del fondo del tubo para garantizar el correcto funcionamiento de este sin ser golpeado por objetos arrastrados ni dejar de estar sumergido en el agua en épocas de estiaje. Ambos equipos tienen capacidad para almacenar 24.000 medidas en la memoria interna y una batería para aproximadamente 10 años. Además de medir presiones los equipos toman datos de temperatura.

El Diver que se usó para la toma de datos es el DI241, con un rango de medición en la altura de agua de 10 m H<sub>2</sub>O y una precisión de 1 cm H<sub>2</sub>O. El BaroDiver usado es el DI250.

Tanto el Diver como el BaroDiver tienen una longitud de 125 mm, un diámetro exterior de 22 mm y un peso aproximado de 160 gr. Cuentan con un sensor de presión que está hecho en óxido de aluminio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Los datos de temperatura los toman en un rango de -20 °C a 80 °C y la toma de datos se pueden hacer en un delta de tiempo de 0.5 s a 99 Horas.

### **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 objetos arrastrados por el río. Está anclado a la roca maciza del talud con 8 pernos de superficie corrugada, (Figura 4)

La longitud del tubo se estimó teniendo en cuenta que el BaroDiver ubicado en la parte superior del tubo nunca esté sumergido en el agua.

El tubo es de acero inoxidable, hueco y cilíndrico de 6 pulgadas de diámetro interno, espesor de 7.5 mm, 3 m de longitud y está perforado en la parte inferior para permitir la entrada horizontal del flujo. En el tercio inferior de su longitud posee tres agujeros. La tapa está 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. Para su acceso posee una escalera que está unida al tubo con soldadura (Ver proyecto de grado Díaz & Rincón).

**Figura 4. Tubo limnimétrico**



**Fuente:** Los autores

Para abrir el tubo, se utilizan dos herramientas, una barra con dos varillas soldadas (Figura 5), las cuales encajan exactamente en los orificios superiores de la tapa del tubo limnimétrico y otra llave hexagonal (Figura 6) con la cual se aflojan los tornillos que unen la tapa (Figura 7) con el tubo.

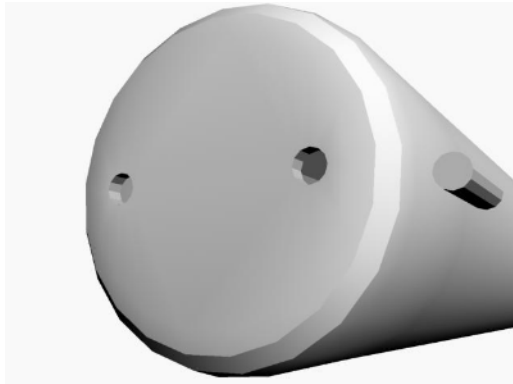
**Figura 5. Herramienta para abrir tapa**



**Figura 6. Llave hexagonal**



**Figura 7. Detalle tapa del tubo limnimétrico**



**Fuente:** Los autores

### **1.2.3. USB Diver Reading**

Dispositivo que se utiliza para conectar los equipos que se tienen en la estación hidrométrica a un PC por medio de conexión USB para poder descargar la información y reprogramar la toma de datos en la estación.

El dispositivo cuenta con dos Terminales, uno de ellos es para conectar el Diver y el BaroDiver, (Figura 8).

El otro Terminal es una conexión USB para establecer la comunicación entre el instrumento y el computador.

**Figura 8. Detalle Terminal para conexión Diver del USB Diver Reading**



**Fuente:** Los autores

#### **1.2.4. Software Diver Office**

Diver office es un programa desarrollado para leer, descargar, programar y procesar la información de los equipos que se utilizan en la estación hidrométrica para la medición de niveles.

Este software fue creado por Schlumberger Water Services para ser utilizado con los equipos Diver, BaroDiver, CTD Diver y OTD Diver los cuales son producidos por Eijkelkamp Agrisearch Equipment.

## **2 MANEJO PRELIMINAR DE EQUIPOS DE MEDICIÓN DE NIVELES EN LABORATORIO**

En esta capítulo se presenta la fase preliminar al trabajo en campo, en laboratorio se estudiaron los errores de los equipos en condiciones controladas y se comparan con el error propuesto por el fabricante (Eijkelkamp Agrisearch Equipment).

### **2.1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO EN LABORATORIO**

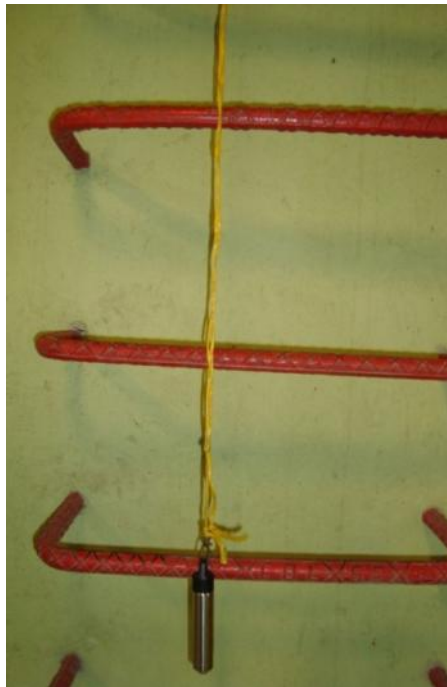
Teniendo en cuenta la falta de conocimiento del error real de los dispositivos automáticos de medición de presión y procurando disminuir la incertidumbre de su comportamiento y de los datos que se desean obtener en campo, se experimentó en laboratorio durante el mes de septiembre de 2008 llegando a un reconocimiento de los instrumentos que serán usados en el presente proyecto.

Para tal fin se utilizó como apoyo el tanque subterráneo del Laboratorio de Hidráulica UIS. Este tanque es un receptáculo construido en concreto y ubicado en la parte baja del edificio. Dispone de un volumen de  $34.5 \text{ m}^3$ . El tanque tiene un rebose a una altura de 1.90 m del piso del fondo, lo cual brinda unas condiciones perfectas para probar los divers en un rango de alturas lo más parecido posible a las alturas en el río.

## 2.2. PROCEDIMIENTO

Para probar la exactitud de las medidas de los Divers fue necesario llevar a cabo pruebas en el laboratorio (tanque subterráneo). Se generó un montaje que simulaba las condiciones en las que se encuentran los equipos en el tubo limnimétrico (Figura 9).

**Figura 9. Montaje Diver suspendido**



**Fuente:** Los autores

Estas pruebas se realizaron bajo condiciones controladas, con un nivel de agua conocido y estable, la densidad del agua cercana a 1g/cm<sup>3</sup>, esto último es muy importante porque la medida de cabeza de agua depende de la densidad del agua, según la ecuación de presión hidrostática se tiene:

$$P = \gamma * H$$

Evidenciando la importancia de la densidad en el propósito del presente proyecto. Se comprobó el valor de la densidad en laboratorio utilizando un picnómetro, se obtuvo un valor de densidad de  $0.972 \pm 0.0003 \text{ g/cm}^3$ .

En la oficina del laboratorio se utilizó el software Diver Office en el cual se programa y se baja la información de los equipos. Para tal es necesario conocer algunos datos (Tabla 1). El proceso en laboratorio fue iterativo, buscando conocer que variables afectan la exactitud de las medidas que se toman.

**Tabla1. Ajustes para programar Equipos**

<b>Programación</b>		
Equipo	Diver DI241	BaroDiver DI250
Código Interno	70114	66323
Ubicación	---	---
Altura (msnm)	Cota real $\pm 3$ m	Cota real $\pm 3$ m
Intervalo de Medición	0.5 seg a 99 hr	0.5 seg a 99 hr
Método de Muestreo	Fijo	Fijo

**Fuente:** Manual Diver

La altura en msnm es a la cual se encuentran los equipos en el sitio de interés y debe ser suministrada con cierta precisión (Tabla 1). Para el intervalo de medición es necesario tener en cuenta la capacidad de la memoria interna de los equipos, que en este caso es de 24.000 datos, con ella se estima el periodo de muestreo ininterrumpido y se fija de tal modo que sea cómodo para los operadores en cuanto a la frecuencia con que deben descargar los datos almacenados en los instrumentos. El método de muestreo para el presente proyecto es fijo, esto significa que se toman datos de forma continúa para tener registros que permitan conocer el comportamiento del río cada instante que se necesite.

### 2.3. OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS EN LABORATORIO

El valor del nivel de agua que está por encima del Diver se obtiene de mediciones de presión absoluta (Diver) y de presión Barométrica (BaroDiver), ambas dadas en unidades de cabeza de agua (cmH<sub>2</sub>O). La forma de calcularla es la siguiente:

$$H = \textit{Presión Absoluta(Diver)} - \textit{Presión Barométrica(BaroDiver)}$$

El procedimiento anterior se conoce como compensación y se puede hacer en una hoja de calculo o en Diver Office directamente, los datos que toman los equipos son exportados en un formato compatible con MS Excel.

En laboratorio la primera aproximación que se obtuvo de la medición de los niveles de agua fue con la programación que se encuentra en la tabla 2.

**Tabla 2. Primera programación en laboratorio**

<b>Programación</b>		
Equipo	Diver DI241	BaroDiver DI250
Código Interno	70114	66323
Ubicación	Laboratorio	Laboratorio
Altura (msnm)	960	960
Intervalo de Medición	0.5 seg	0.5 seg
Método de Muestreo	Fijo	Fijo

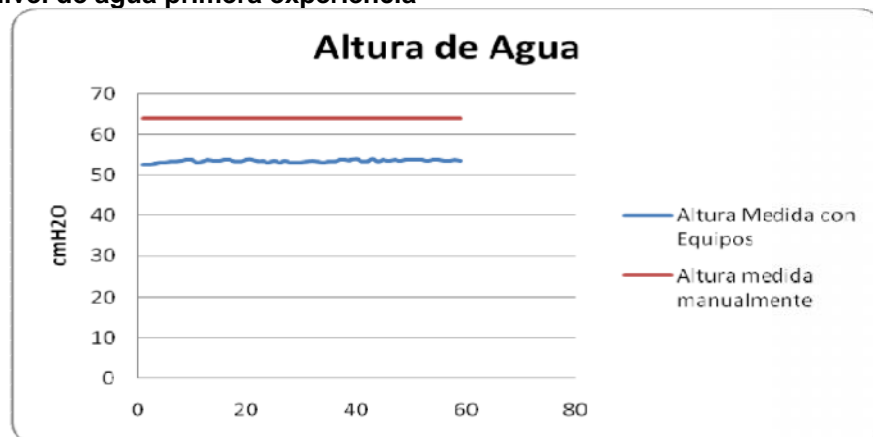
**Fuente:** Los autores

En la primera programación en laboratorio se manejó un valor de altura de 960 msnm el cual fue propuesto como un valor promedio de la ciudad de

Bucaramanga. El intervalo de medición de 0.5seg para verificar las variaciones que se pueden dar en las medidas en tan corto intervalo de tiempo.

Para probar esta programación se produjo una altura constante de agua de 64 cm por encima del Diver, esta experiencia se realizó en el tanque subterráneo. Con los instrumentos se registraron datos compensados de cabeza de agua (Gráfica 1). Las medidas que se obtuvieron con los equipos no fueron satisfactorias porque se encontró una gran diferencia con el valor real.

**Gráfica 1. Nivel de agua primera experiencia**

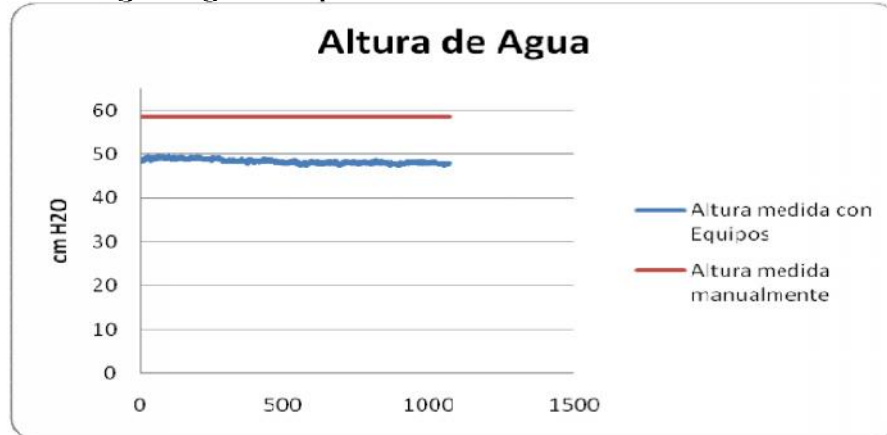


**Fuente:** Los autores

Después de esta experiencia se probó la misma programación para comprobar lo obtenido anteriormente, en esta ocasión se produjo un nivel de agua estable de 58.5cm y se tomaron datos nuevamente (Grafica 2).

Para este caso se hizo el mismo tratamiento de los datos que en la experiencia inicial, obteniendo errores semejantes, lo que sugiere que se han cometido errores al suministrarles a los equipos datos incorrectos.

**Gráfica 2. Nivel de agua segunda experiencia**



**Fuente:** Los autores

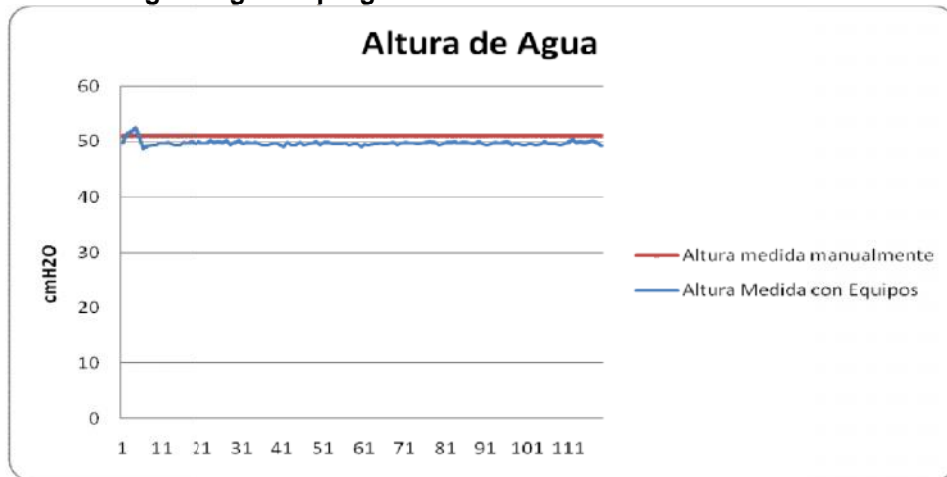
Al ver estos valores tan alejados de la realidad, se realizó una observación de las condiciones del laboratorio y de cómo se había hecho la programación, cotejando paso a paso con el manual del software. En dicho análisis se encontró que al programar los equipos se debe proporcionar una medida de la altura en msnm de los equipos con un error aceptable de  $\pm 3$ m, se dedujo que al estar condicionada la altura a un valor cercano a la realidad, esta puede afectar de alguna forma los datos que se obtienen con los equipos.

En ese orden de ideas se consultó la cota del laboratorio de hidráulica, se encontró un valor aproximado de 986 msnm, este fue usado en la nueva programación de los equipos como única variación a la experiencia inicial.

Para probar esta nueva programación se sumergió el Diver a una profundidad de 51cm y se obtuvo una serie de datos (Gráfica 3).

En esta prueba las medidas de los equipos estuvieron muy cercanas al valor real, el error absoluto fue mucho menor que en ocasiones anteriores y comparando con la sensibilidad del equipo se hacen mucho más confiables las medidas tomadas.

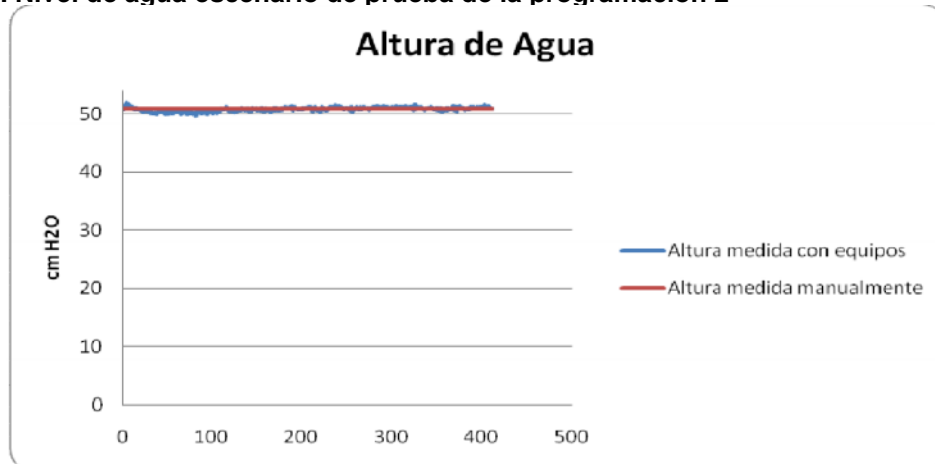
**Gráfica 3. Nivel de agua segunda programación**



**Fuente:** Los autores

Para comprobar la confiabilidad de la nueva programación se generó un nuevo escenario con una nivel de agua sobre el Diver de 51cm y cambiando el intervalo de medición a 10 segundos, en esta ocasión se obtuvo una serie de datos que reafirmó la confiabilidad del comportamiento de los equipos, la serie que se obtuvo se encuentra en la Gráfica 4.

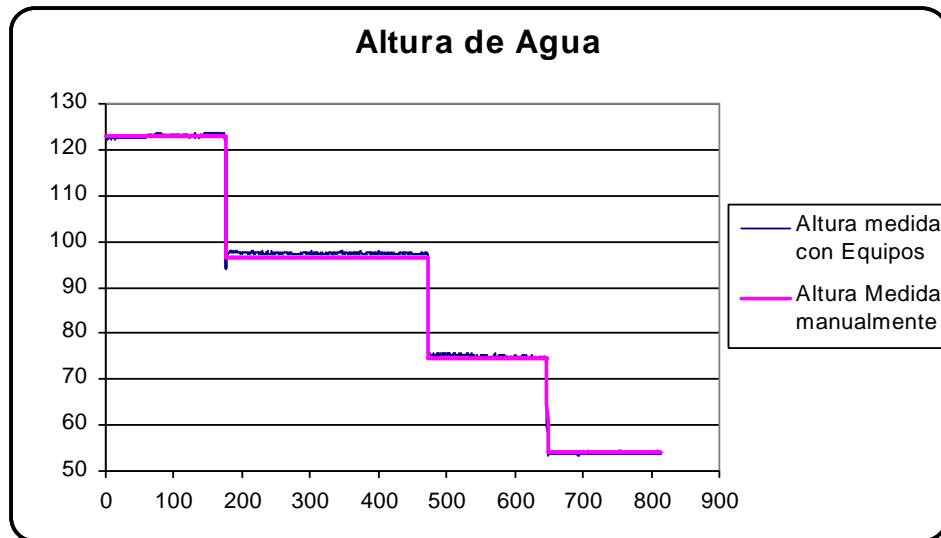
**Gráfica 4. Nivel de agua escenario de prueba de la programación 2**



**Fuente:** Los autores

Por último se probaron los equipos variando las alturas para conocer su comportamiento en estas condiciones. Se tomaron medidas en cuatro alturas, encontrando que el desempeño de los equipos fue bueno, los errores son en promedio menores a 1 cm. (Gráfica 5).

**Gráfica 5. Nivel de agua a diferentes alturas**



**Fuente:** Los autores

El trabajo que se realizó en laboratorio en condiciones controladas fue muy importante para desarrollar destreza y confianza en el uso de los equipos. Se calculó el error de cada uno de los escenarios y programaciones propuestas (Tabla 3).

Se comprobó la importancia de conocer las condiciones reales a las que están los equipos para poder realizar una programación adecuada que nos asegure los resultados más exactos posibles y que nos de tranquilidad al usarlos, por que con esta información se creará la curva de calibración.

**Tabla 3. Resumen de errores**

<b>Altura del Equipo</b>	<b>H real (cm)</b>	<b>H prom. Medida (cm)</b>	<b>Error Absoluto (cm)</b>	<b>Error Relativo %</b>
960	64	53,48	10,52	16,43
	58,5	48,92	9,58	16,37
986	51	49,82	1,18	2,31
	51	50,6	0,4	0,78
	123	123.03	0.03	0.02
	96.5	97.52	1.02	1.06
	74.5	75.08	0.58	0.78
	54	53.9	0.1	0.19

**Fuente:** Los autores

## **2.4. PROGRAMACIÓN DEL EQUIPO**

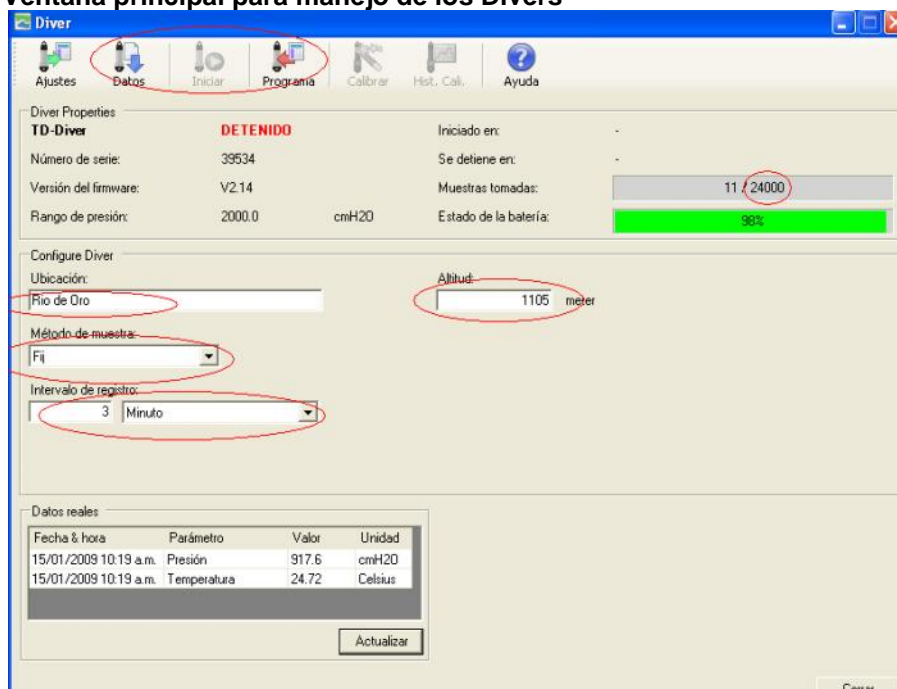
Con la información y la experiencia conseguida en laboratorio se procede a programar los equipos para la toma de medidas en campo, para esto fue necesario consultar la altura a la que se encuentra ubicada la estación, se encontró un valor de cota de 1105 msnm (Díaz & Rincón, 2006), el cual se tomó con a ayuda de un equipo GPS.

Para escoger el intervalo de medición se tuvo en cuenta la respuesta rápida que tiene el río de Oro; esto se debe a que la estación se encuentra ubicada en la juventud del río en la que se tiene una zona montañosa y pendientes fuertes, otro factor importante para la elección del intervalo de medición era la frecuencia con la que se llena la memoria interna de los dispositivos y que hacen necesaria una visita para bajar datos y reprogramar, teniendo en cuenta estos aspectos se programaron los equipos con un intervalo de medida de 3 min. Con lo que se

podrá observar la respuesta rápida que tiene el río además de tener un tiempo cómodo de llenado de la memoria interna de 50 días.

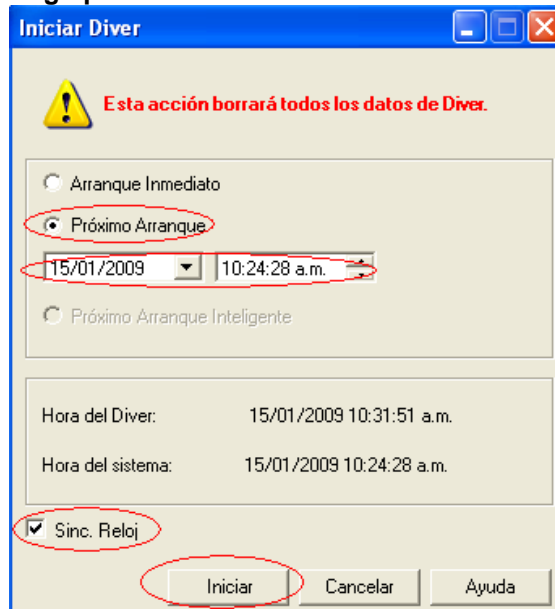
En el software Diver Office se deben llenar los campos con esta información (Figura 10). En esa ventana también se observan las opciones de programar, iniciar, bajar datos y detener. Estas opciones solo necesitan de un clic y para iniciar se despliega la ventana donde se realizan los ajustes de la fecha y hora de inicio de la toma de medidas (Figura 11). En la opción próximo arranque se puede definir una hora exacta teniendo en cuenta que el sitio en donde se tiene el montaje de los equipos no está exactamente en donde se programan, también es importante ajustar la hora del Diver con la del equipo en que se está programando ya que el reloj interno del instrumento se ajusta automáticamente para que todas las medidas tengan la misma referencia y sean compatibles entre los dos equipos e igualmente con los aforos que se realizan.

**Figura 10. Ventana principal para manejo de los Divers**



**Fuente:** Los autores

**Figura 11. Ventana de diálogo para iniciar mediciones**



**Fuente:** Los autores

La programación definitiva utilizada en el presente proyecto es la siguiente:

**Tabla 4. Programación definitiva**

Programación		
Equipo	Diver DI241	BaroDiver DI250
Código Interno	70114	66323
Ubicación	Río de Oro	Río de Oro
Altura (msnm)	1105	1105
Intervalo de Medición	3 min.	3 min.
Método de Muestreo	Fijo	Fijo

**Fuente:** Los autores

### 3. MEDICIONES EN CAMPO

#### 3.1. MEDICIÓN DE NIVELES

Para la ubicación de los equipos de medición de niveles se tomó un tramo recto de aproximadamente 200 metros aguas arriba y 100 metros aguas abajo con una pendiente bastante uniforme. Posee en una sección un poco estrecha y además superficie rocosa en ambas márgenes (Figura 12).

**Figura 12. Sección de medición de niveles**



**Fuente:** Los autores

Los equipos utilizados para la medición de niveles fueron un Diver DI (241) y un BaroDiver (DI 250), los cuales se situaron en el sitio de medición dentro del tubo limnimétrico, los Diver se programaron para que tomaran datos de alturas de lámina de agua ininterrumpidamente cada 3 minutos.

Con el fin de asegurar el correcto funcionamiento de los equipos y el libre flujo de agua en el tubo, en cada visita al río se realizaba una inspección física del fondo del tubo y de los orificios. En ningún momento se observaron factores que pudieran entorpecer la medición de niveles.

### **3.2. AFOROS**

Para la toma de los caudales se decidió tomar un sitio de aforo en un tramo recto con pendiente estable, sin erosión ni sedimentación y libre del crecimiento de vegetación con márgenes estables y permanentes ya que tanto en el margen izquierdo como en el derecho dispone de una superficie en roca sólida. Además en este sitio el flujo es aproximadamente uniforme y posee un nivel de turbulencia bastante bajo, ya que no se observan remolinos. (Figura 13).

Debido al bajo nivel del río en el sector donde se encuentra ubicada la estación hidrométrica, se realiza un aforo por vadeo.

Para a poder iniciar el aforo de debe realizar en primera instancia un retiro manual de cualquier obstáculo que interfiera con la medición de las velocidades, posteriormente es necesario colocar una cinta o lazo a lo largo de la sección de aforo la cual mide 6.60 m. Inmediatamente después se divide la sección en dovelas para este caso en particular la sección se dividió en 11 dovelas de 0.6 m, a continuación se realizan las mediciones de las velocidades en cada unas de las

diferentes dovelas con el ADV Flow Tracker y finalmente el mismo equipo calcula el caudal que está pasando por la sección mediante un procedimiento interno.

**Figura 13. Sección de aforo**



**Fuente:** Los autores

### **3.2.1. ADV Flow Tracker**

Para la medición del caudal se utilizó el ADV (Acoustic Doppler Velocimeter), el cual consta principalmente de una sonda y un control manual, los cuales se instalan en un soporte de acero inoxidable que sirve de apoyo al momento de realizar mediciones. Este cuenta con un ojo de pollo para asegurar su verticalidad, también posee una reglilla para poder medir la altura a la cual está realizando la respectiva medición (Figura 14).

**Figura 14. Detalle de ADV**



**Fuente:** ADV user's manual

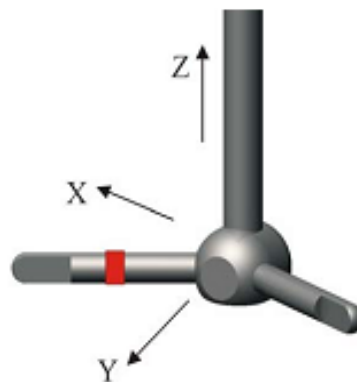
### **3.2.1.1. Funcionamiento de equipo**

El ADV con el que cuenta el GPH tiene un rango de medición de velocidades desde 0.001 m/s hasta 4.5 m/s en 2D, es decir, mide la velocidad en la dirección paralela el flujo y en la dirección transversal en planta a este. La sonda del ADV consta de un transmisor y 2 receptores (Figura 15) entre los cuales se ubica el punto de medición, localizado a 10 cm. del transmisor, lo cual evita que el equipo interfiera en el flujo al momento de realizar la medición (Figura 16).

El equipo utiliza el principio del efecto doppler para medir la velocidad de las partículas, ya sean sólidos en suspensión o burbujas de aire que se desplazan en un fluido, según el cual si la fuente de sonido se mueve relativa al receptor, la frecuencia del sonido en el receptor es diferente a la frecuencia de transmisión. Posee un transductor emisor que emite señales acústicas de frecuencia conocida,

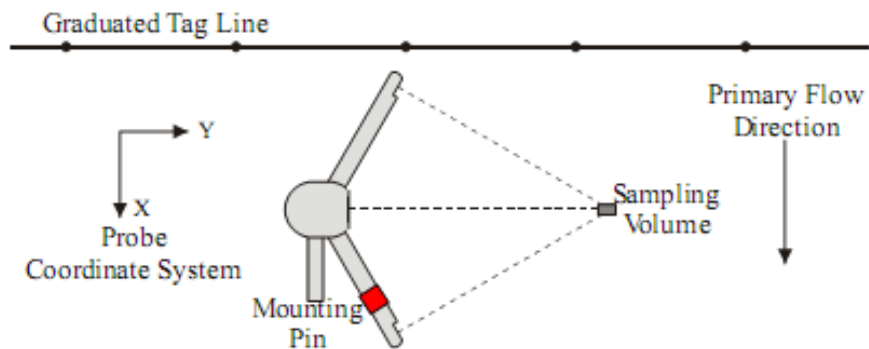
que son reflejadas por las partículas en movimiento y que son captadas por un transductor receptor, el ADV analiza los cambios de frecuencia que se presentan entre la señal emitida y la señal recibida y el resultado promedio de estos cambios se relacionan directamente con la velocidad media de las partículas que se están moviendo dentro del fluido, proporcionando de esta manera la velocidad del flujo cada segundo.

**Figura 15. Detalle sonda**



**Fuente:** ADV user's manual

**Figura 16. Detalle forma de medición del ADV**



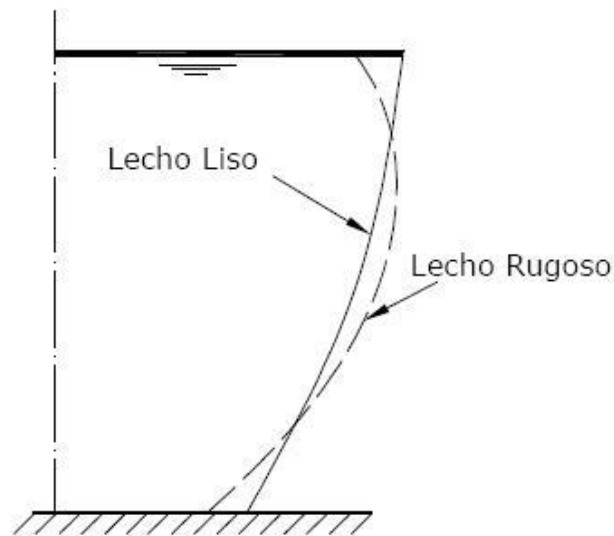
**Fuente:** ADV user's manual

### 3.2.1.2. Distribución de velocidades

En un río, las velocidades en la corriente de agua presentan distintos valores, desde valores cercanos a cero en las orillas y en el fondo, hasta valores muy altos en las proximidades de la superficie.

Generalmente las velocidades máximas ocurren aproximadamente a  $0.25h$  por debajo de la superficie libre, siendo  $h$  la profundidad del flujo. La velocidad media se encuentra aproximadamente a  $0.6h$ , a partir de la superficie. (Figura 17).

Figura 17. Distribución de velocidades



Fuente: ADV user's manual

La distribución de velocidades en una sección del canal depende de factores como la forma de la sección transversal, la rugosidad del canal y la presencia de curvas. La rugosidad del canal causa un incremento en la curvatura de la línea de distribución vertical de velocidades.

### 3.2.2. Métodos de cálculo de caudal del ADV

Dependiendo de las condiciones que se tengan en la sección del río por donde pasa el flujo a medir, existen distintos métodos para calcular la velocidad media del mismo en cada una de las estaciones que se marcan en la línea de medición ubicada a lo largo de la sección transversal que se desea aforar. Los métodos van desde un solo punto de medición hasta la toma de cuantos puntos se consideren necesarios a lo largo del nivel de agua (Tabla 5).

**Tabla 5. Métodos de medición del ADV**

Method	Measurement Locations	Mean Velocity Equation
0.6	0.6 * depth	$V_{mean} = V_{0.6}$
0.2/0.8 0.8/0.2	0.2 * depth 0.8 * depth	$V_{mean} = (V_{0.2} + V_{0.8}) / 2$
.2/.6/.8 .8/.6/.2	0.2 * depth 0.6 * depth 0.8 * depth	$V_{mean} = (V_{0.2} + 2*V_{0.6} + V_{0.8}) / 4$
Ice 0.6	0.6 * effective depth	$V_{mean} = 0.92*V_{0.6}$ (Correction Factor 0.92 can be changed by user)
Ice 0.5	0.5 * effective depth	$V_{mean} = 0.89*V_{0.5}$ (Correction Factor 0.89 can be changed by user)
Ice 2/8 Ice 8/2	0.2 * effective depth 0.8 * effective depth	$V_{mean} = (V_{0.2} + V_{0.8}) / 2$
Kreps 2- Kreps 2+	0.0 (near surface) 0.62 * depth	$V_{mean} = 0.31*V_{0.0} + 0.634*V_{0.62}$
5 Point+ 5 Point-	0.0 (near surface) 0.2 * depth 0.6 * depth 0.8 * depth 1.0 (near bottom)	$V_{mean} = (V_{0.0} + 3*V_{0.2} + 3*V_{0.6} + 2*V_{0.8} + V_{1.0}) / 10$

**Fuente:** ADV user's manual

El número de puntos en que se debe medir la velocidad en cada estación depende principalmente de la profundidad del nivel de agua y de las condiciones de flujo que se observen en el campo. Para la sección de aforo escogida en el río de oro se tomaron dos puntos en los segmentos bajos y tres puntos en los segmentos más profundos, siendo así los métodos más comunes: 0.2/0.8 y 0.2/0.6/0.8.

Cuando el nivel de agua no es muy significativo se consideró correcto tomar un solo punto de medición, ubicado al 60% de la altura de nivel de agua medido desde la superficie libre, ya que se considera que en este punto se registra la velocidad media del flujo.

## **4. ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS**

En este capítulo se estudiará la información obtenida en campo en el presente proyecto, dicha información está clasificada como temperatura, presión atmosférica y niveles de agua del río. Cada uno de estos ítems será estudiado detenidamente para observar el su patrón de comportamiento, valores extremos y su significado.

### **4.1 TEMPERATURA**

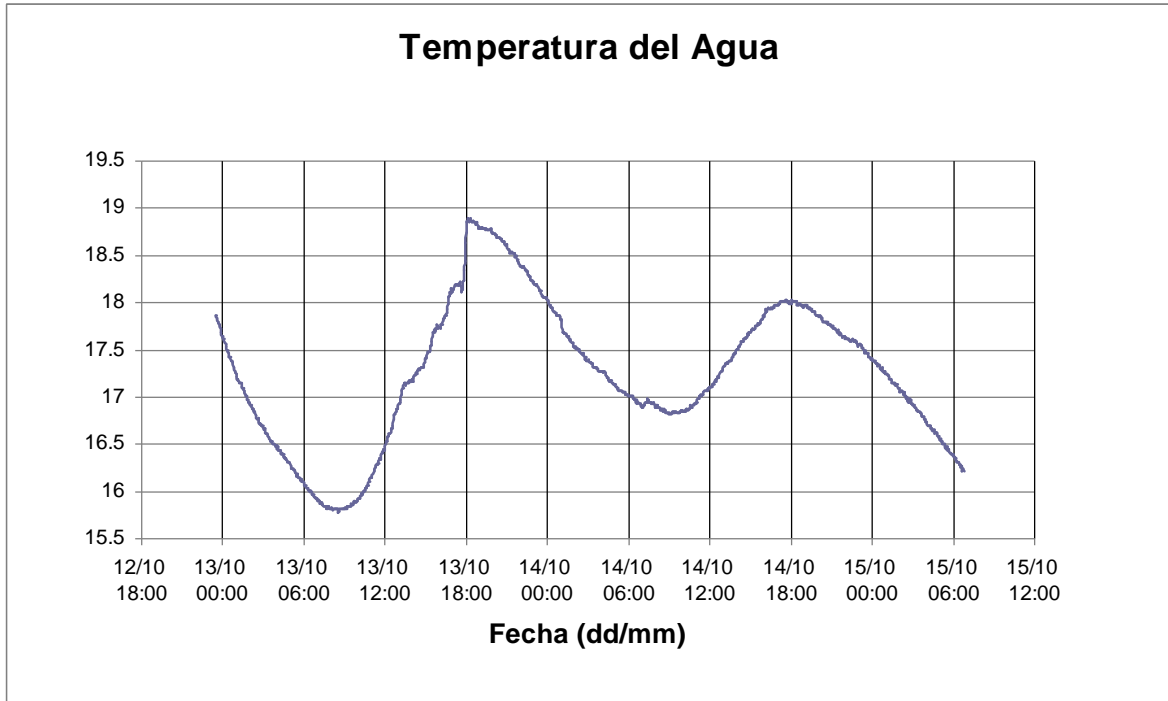
Con los equipos que están en la estación se tomaron datos de temperatura tanto dentro del agua como fuera de ella, dichas mediciones se encuentran consignadas en unas series de tiempo que se almacenan automáticamente en los equipos y que luego se descargan al computador para ser analizadas, los registros mensuales de la temperatura del agua y del ambiente se encuentran en los Anexos A y B.

#### **4.1.1 Temperatura del agua**

En la estación hidrométrica automática del río de Oro se mide la temperatura del agua de forma ininterrumpida con el equipo Diver, esto es posible gracias a que este se encuentra sumergido en el agua siempre.

En el río de oro la temperatura del agua oscila entre 15.36 y 19.01 °C, la temperatura tiene un ciclo diario en el cual en las horas de la madrugada hasta aproximadamente las 8:00 a.m. se experimentan los valores mínimos y de allí comienza a aumentar hasta las horas de la tarde en donde tiene su pico aproximadamente a las 4:00 p.m. y comienza a decrecer hasta las horas de la madrugada para reanudarse el ciclo, (Gráfica 6)

**Gráfica 6. Ciclo diario temperatura del agua**



**Fuente:** Los autores

La temperatura del agua mínima que se registró con los instrumentos en el tubo limnimétrico fue de 15.36 °C, se produjo el día 11 de octubre de 2008 a las 7:36 a.m.

La temperatura del agua máxima que se registró con los instrumentos en el tubo limnimétrico fue de 19.01 °C, se produjo el día 16 de octubre de 2008 a las 7:51 a.m.

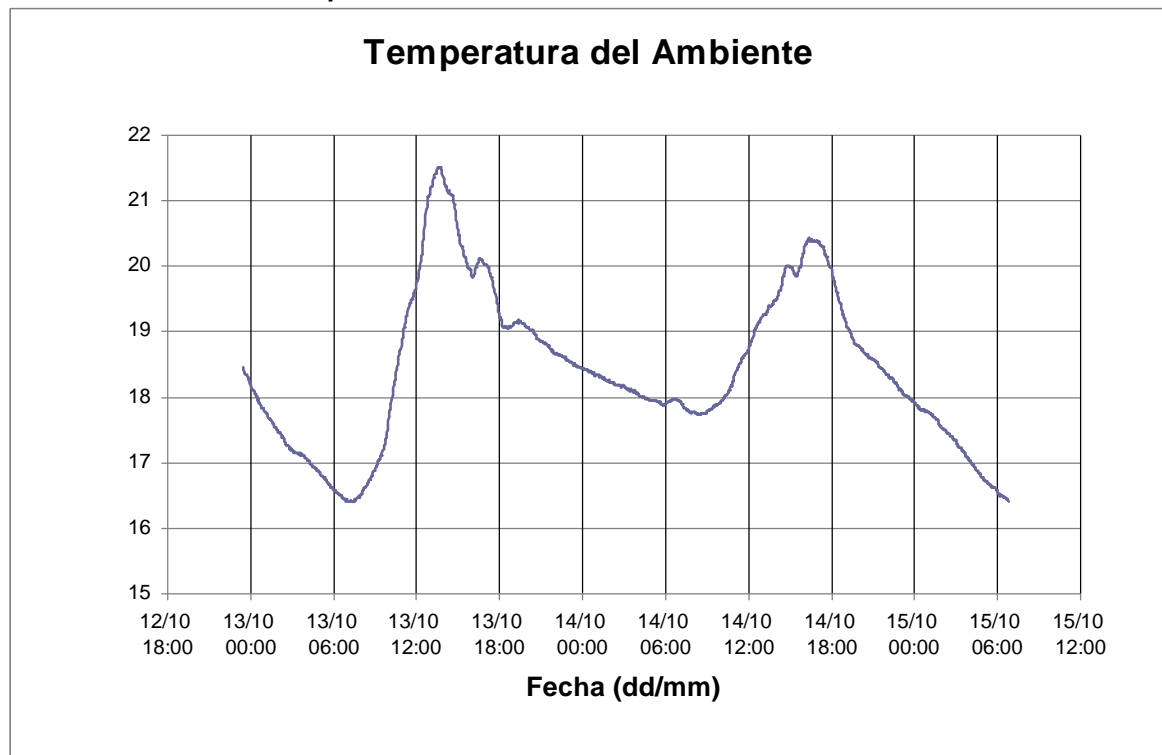
#### **4.1.2. Temperatura del ambiente**

En el tubo limnimétrico se encuentra el dispositivo llamado BaroDiver, el cual se encuentra siempre suspendido por encima del nivel de agua, con este instrumento se registra la temperatura del ambiente, los registros tomados en el tubo son tan solo una aproximación al valor real de la temperatura del ambiente ya que es

posible que dentro del tubo se genere un microclima o algún fenómeno físico que afecte un poco los resultados. Para poder tener registros veraces de la temperatura del ambiente es necesario según los autores tener un equipo que se encuentre al aire libre, pero esto resulta muy peligroso porque estaría expuesto a los problemas de inseguridad.

El registro de temperaturas del BaroDiver tiene un comportamiento similar al de la temperatura del agua, con valores bajos en las mañanas y con un pico al atardecer, solo que esta temperatura es mayor a la del agua como es lógico, (Gráfica 7)

**Gráfica 7. Ciclo diario temperatura del ambiente**



**Fuente:** Los autores

El valor mínimo de la temperatura del ambiente que se obtuvo fue de 15.22 °C, el 28 de diciembre de 2008 a las 7:18 a.m.

El valor más alto registrado fue de 26.53 °C, el día 11 de enero de 2009 a la 1:33 p.m. y la temperatura promedio del ambiente es de 19.46 °C,

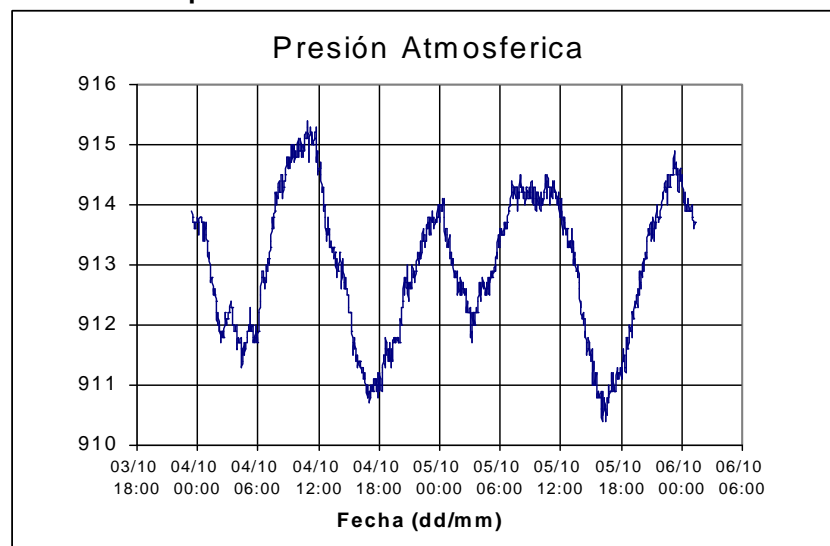
#### 4.2. PRESIÓN ATMOSFERICA

La presión atmosférica se mide con el BaroDiver, el cual se encuentra suspendido en el tubo limnimétrico garantizando que esté siempre fuera del agua, las unidades en las que se presenta la presión atmosférica es en cm. H<sub>2</sub>O.

En los registros actuales el valor más alto de presión atmosférica fue de 916.3 cm. H<sub>2</sub>O y se presentó el día 2 de diciembre de 2008 a las 8:48 a.m.

El valor más bajo de presión atmosférica registrado fue de 906.6 cm. H<sub>2</sub>O y se presentó el día 20 de noviembre de 2008 a las 3:30 p.m.

Gráfica 8. Ciclo diario de la presión atmosférica



Fuente: Los autores

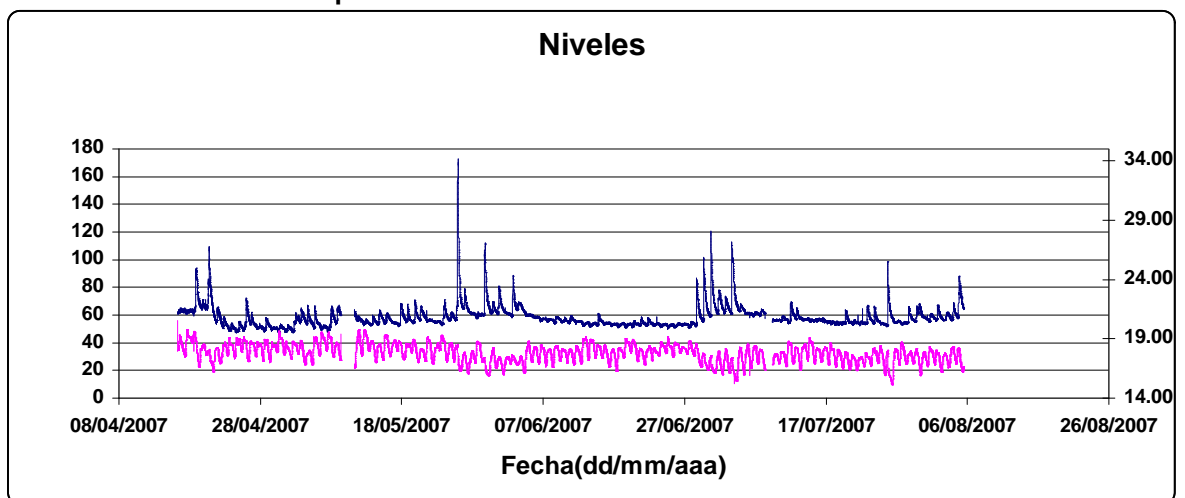
El valor promedio de la presión atmosférica de los registros de la actual tesis es de 911.74 cmH<sub>2</sub>O.

El ciclo de la presión atmosférica es el siguiente: En la mañana entre las 3:00 y 6:00 a.m. se presenta un mínimo, comienza a aumentar hasta el medio día y luego vuelve a disminuir tomando su valor más bajo del ciclo en la tarde entre 3:00 y 5:00 p.m. después de este pico aumenta nuevamente hasta la media noche y por último disminuye en la madrugada para completar el ciclo (Grafica 8).

### 4.3. NIVELES

En el presente trabajo de grado se realizó un registro de niveles de río de forma continua durante los meses de octubre de 2008 a enero de 2009, estas medidas se llevaron a cabo en la estación hidrométrica automática del río de oro, esta ya había sido usada para ese fin en un trabajo de grado anterior (Saltarín & Hernández, 2007) esa información está acoplada a los registros actuales.

**Grafica 9. Niveles vs. Tiempo tesis Saltarín & Hernández**



**Fuente:** Saltarín & Hernández, 2007

Se tienen un poco mas de 4 meses de mediciones (Grafica 9), del 16 de abril de 2007 hasta el 24 de agosto del mismo año, en este periodo se presentaron lluvias muy fuertes como se nota en el final de mayo e inicio de junio teniendo niveles de agua del río de más de un metro en los picos, al igual en la semana final de junio e inicial de julio donde algunos picos sobrepasaron el nivel de un metro, también al final de abril hubo lluvias fuertes un poco menos intensas.

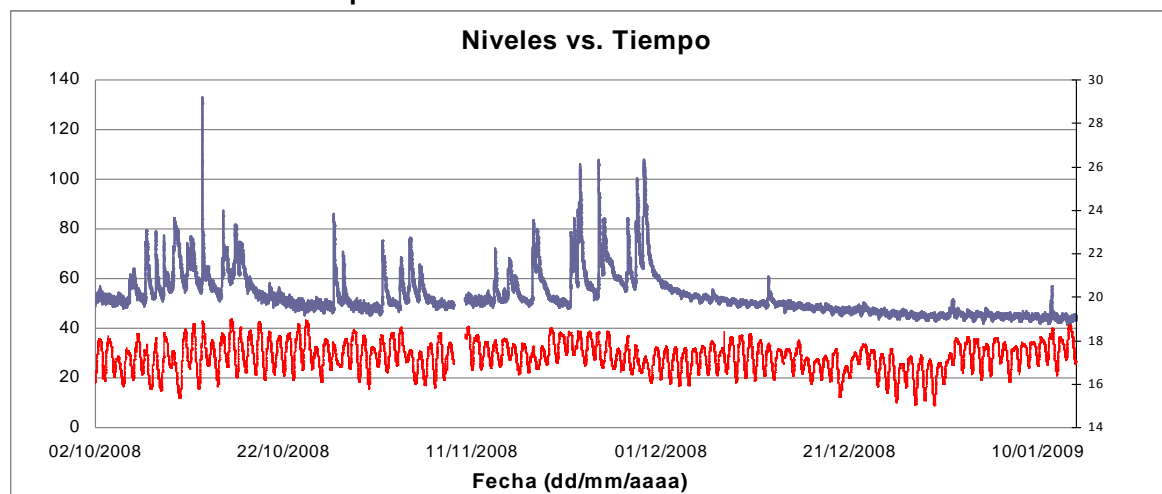
En el resto del tiempo hubo lluvias de menor importancia que no generaron niveles muy altos.

El nivel máximo que se presento en este periodo de tiempo fue de 172.9 cm. y se dio el día 25 de mayo de 2007 en la época en la que se presentaron las lluvias más fuertes que se registraron.

El nivel más bajo fue de 48.8 el día 24 de abril de 2007.

Las secciones en las que se interrumpen los registros son el tiempo en que los operadores de la estación bajan la información acumulada en la memoria interna de los equipos.

**Grafica 10. Niveles vs. Tiempo Tesis Actual**



**Fuente:** Los Autores

Los datos de niveles de la tesis actual fueron tomados desde el 2 de octubre de 2008 hasta el 14 de enero de 2009, se puede observar una época de lluvias bastante fuerte en los primeros meses de medida, octubre y noviembre, lo cual es evidencia de las fuertes lluvias que se presentaron en el año 2008 (Grafica 10).

En los meses de diciembre y enero se observa una época de no lluvias bastante amplia de 45 días, con tan solo dos pequeñas precipitaciones el 31 de diciembre de 2008 y el 11 de enero del presente año, las cuales se evidencian en el registro de niveles.

El valor de nivel máximo que se obtuvo en el actual trabajo fue de 133.1 cm el día 13 de octubre de 2008, con lo cual se puede apreciar la respuesta rápida del río debido a que el nivel subió más de 70 cm. en tan solo 30 minutos.

Después de la temporada de no lluvias los niveles alcanzan un valor mínimo 41.7 cm. el día 13 de enero de 2009, debido a la recesión que se presento en esta época.

## 5. CURVA DE CALIBRACION

Una curva de calibración o curva nivel – caudal es la relación que existe entre un caudal y el nivel que se presenta en ese momento en el río, esta curva se construye con datos de caudal que den una buena confiabilidad en un rango amplio de valores que representen caudales altos y bajos.

En el presente trabajo se realizaron aforos cada semana durante los meses de octubre de 2008 a enero de 2009, en algunas ocasiones fue imposible la realización del aforo debido a que el nivel del río era muy alto y representaba una amenaza tanto para el equipo de medición (ADV flow tracker) como para sus operadores.

En el tubo Limnimétrico se tiene un registro continuo de niveles, los cuales son usados para la creación de la curva de calibración.

Para la creación de la curva de calibración se uso el método logarítmico, el cual se basa en la siguiente ecuación:

$$Q = K \times (H)^n$$

Donde K y n son constantes, los valores de estas constantes se hallan haciendo una regresión por medio de MS Excel.

### 5.1. NIVELES DE AGUA VS. CAUDALES

Para cada aforo que se realizó se tiene un valor de nivel de agua que fue registrado en el tubo Limnimétrico, los puntos nivel – caudal obtenidos en el presente trabajo de grado fueron 10 y representan un rango de caudales entre 1.367 m<sup>3</sup>/s y 3.4179 m<sup>3</sup>/s, dichos puntos se encuentran en la (tabla 6).

**Tabla 6. Aforos realizados y nivel de agua tesis actual**

Fecha	Hora	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Nivel (cm)
04/10/2008	08:55:00 a.m.	1.9678	51.02
18/10/2008	07:23:00 a.m.	3.4179	60.86
25/10/2008	08:06:00 a.m.	2.0044	48.82
09/11/2008	08:14:00 a.m.	1.7994	49.4
27/11/2008	10:20:00 a.m.	2.6858	55.5
27/11/2008	09:32:00 a.m.	2.8124	57
14/12/2008	09:01:00 a.m.	1.9741	50.12
19/12/2008	08:06:00 a.m.	1.7505	48.1
09/01/2009	08:10:00 a.m.	1.4	45.12
14/01/2009	08:30:00 a.m.	1.3667	44.3

Fuente: Los autores

Del trabajo de grado anterior (Saltarín & Hernández) se tienen puntos nivel-caudal que se presentan en la tabla 7.

**Tabla 7. Aforos realizados y nivel de agua tesis Saltarín & Hernández**

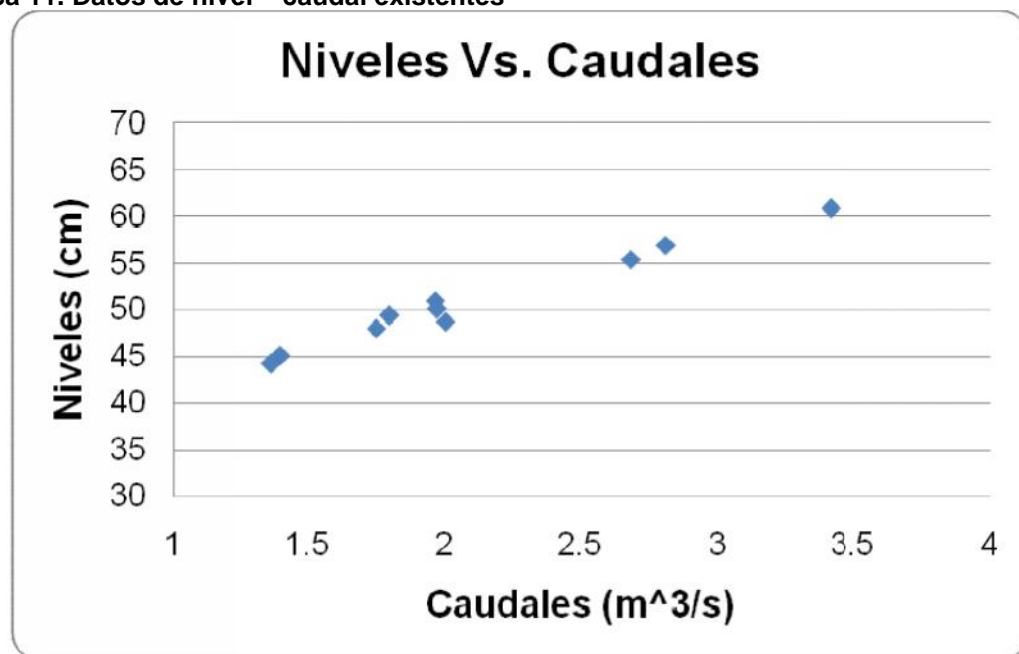
Fecha	Hora	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Nivel (cm)
16/04/2007	08:15:00 a.m.	1.4151	61.9
17/04/2007	08:15:00 a.m.	1.4453	63.3
09/05/2007	07:45:00 a.m.	2.8151	60.2
11/05/2007	08:10:00 a.m.	2.7635	62
18/08/2007	08:30:00 a.m.	2.6564	67.8
18/08/2007	09:06:00 a.m.	2.4255	67.3
28/08/2007	08:52:00 a.m.	1.8294	60.8
28/08/2007	09:26:00 a.m.	1.7197	59.5

Fuente: Saltarín & Hernández, 2007

Al observar estos datos se evidencia que no son coherentes con los de la tesis actual, al parecer por problemas en la toma de caudales, por lo cual no serán usados en la curva de calibración.

Con los datos actuales se procede a realizar una gráfica de nivel vs. Caudal (Grafica 11) para observar la tendencia que tienen y poder elegir que datos serán usados para construir la curva de calibración.

**Grafica 11. Datos de nivel – caudal existentes**



**Fuente:** Los autores

Todos puntos de la presente tesis de grado serán usados para la creación de la curva de calibración debido a su tendencia clara y la poca dispersión de los datos.

## 5.2. CURVA DE CALIBRACIÓN

Los datos que se utilizaron para la creación de la curva de calibración son los que se presentan en la tabla 8.

**Tabla 8. Datos utilizados en la curva de calibración**

Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Nivel (cm)
1.9678	51.02
3.4179	60.86
2.0044	48.82
1.7994	49.4
2.6858	55.5
2.8124	57
1.9741	50.12
1.7505	48.1
1.4	45.12
1.3667	44.3

**Fuente:** Los autores

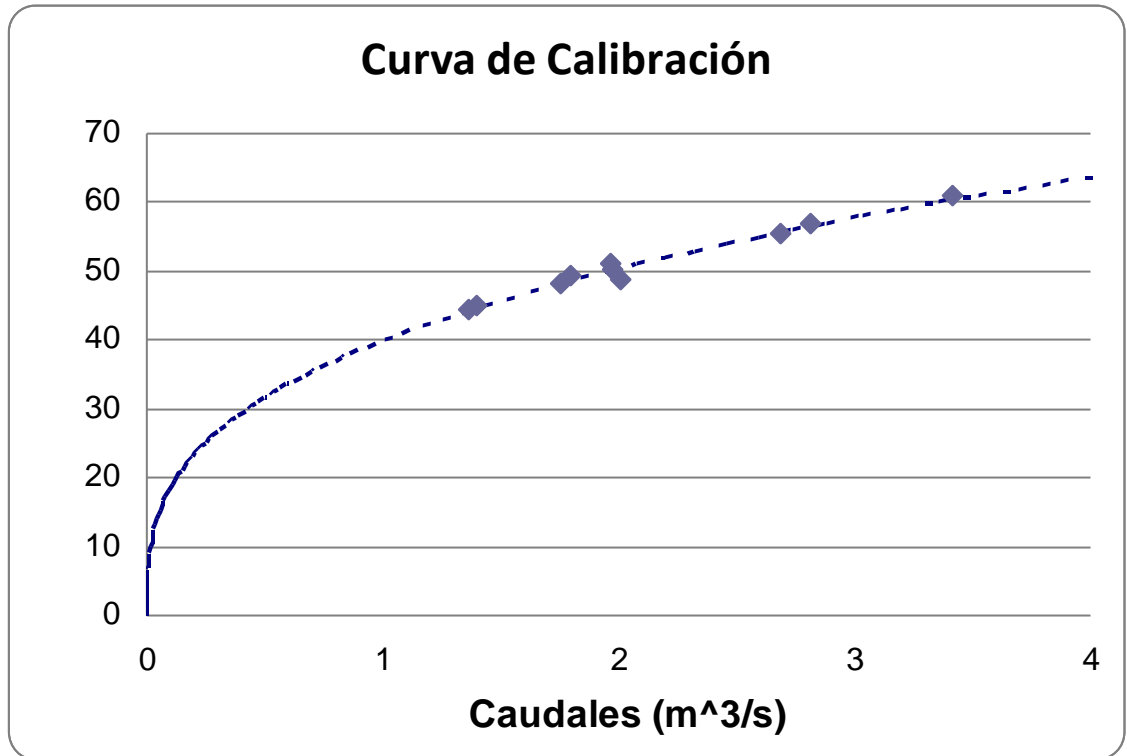
La curva de calibración que se obtuvo se trazó con ayuda de una hoja de cálculo (Grafica 12).

La ecuación de la curva de calibración que se obtuvo es:

$$Q = 1.83 \times 10^{-5} \times H^{2.96}$$

Con una correlación  $R^2$  de 0.98, esto nos demuestra que la curva de calibración se ajusta muy bien a los datos obtenidos en campo.

**Grafica 12. Curva de calibración**



**Fuente:** Los autores

## CONCLUSIONES

- A partir de observaciones realizadas en laboratorio bajo condiciones controladas se pudo verificar la precisión de la medición propuesta por el fabricante del equipo de hasta 1 cm. Por otro lado, se identificó la cota del sitio como una variable sensible en la programación del equipo, diferencias mayores a 3 metros en la cota generan errores en las medidas de los niveles.
- Los equipos de medición de nivel se probaron para diferentes alturas en el laboratorio, obteniendo errores absolutos cercanos a 1 cm y errores relativos cercanos al 1%
- La curva de calibración que se obtuvo con los aforos realizados se puede representar con la ecuación potencial,  $Q = 1.83 \times 10^{-5} \times H^{2.96}$  con un coeficiente de correlación de 0.98 y es confiable para valores de caudal entre 1.367 y 3.41 m<sup>3</sup>/s. Con esta curva de calibración se calcula el hidrograma de caudales del Río de Oro en la estación hidrométrica automática de Conquistador Alto, con un intervalo de tiempo de tres minutos. Estas mediciones abarcan un periodo de tiempo del año 2007 y otro periodo de tiempo del año 2008.
- El ciclo diario de la temperatura encontrado en los datos tomados en el agua es el siguiente: en las horas de la mañana antes de las 10:00 a.m. tiene un valor mínimo, comienza a aumentar hasta que llega a su máximo en el día al terminar la tarde para comenzar a descender hasta el próximo día y completar el ciclo.

- El ciclo que se observa en la temperatura del ambiente es similar aunque un poco desfasado, su valor mas alto se da cerca de las 2 p.m. y su valor mas bajo en las horas de la mañana antes de las 8 a.m.
- El ciclo de la presión atmosférica que se observó es el siguiente: en la mañana entre las 3:00 y 6: a.m. se presenta un mínimo, comienza a aumentar hasta el medio día y luego vuelve a disminuir tomando su valor más bajo del ciclo en la tarde entre 3:00 y 5:00 p.m. después de este pico aumenta nuevamente hasta la media noche y por último disminuye en la madrugada para completar el ciclo.

## RECOMENDACIONES

- Es recomendable adquirir instrumentos que transmitan vía radio los registros en tiempo real, para así poder disponer de la información al instante y no tener que esperar largos periodos de tiempo para poder procesarla.
- Para realizar la programación de los equipos automáticos de medición de niveles es necesario conocer las condiciones reales en las que se encuentra la estación donde van a ser instalados, en especial la cota o elevación sobre el nivel del mar.
- Antes de comenzar con el trabajo en campo es muy importante la familiarización con los equipos que se van a manipular, se deben realizar pruebas con los Divers en el laboratorio en condiciones controladas y conocer plenamente el funcionamiento del ADV.
- Con el fin de mejorar la curva de calibración en cuanto a rango de caudales y confiabilidad, se debe mantener el registro continuo de niveles y los aforos al río.
- El ciclo de la temperatura del agua y el de la temperatura atmosférica presentan un desfase. Para trabajos posteriores es recomendable estudiar su justificación.
- El aforo por vadeo es imposible llevarlo a cabo cuando hay niveles y velocidades muy altas en el río. Se recomienda crear un modelo con la ecuación de Manning para disminuir la incertidumbre en cuanto a los caudales que transporta el río en esas ocasiones.

- La densidad es muy importante en la medida del nivel de los equipos. Se recomienda estudiar el fenómeno en futuros trabajos.
- Se debe continuar realizando los aforos en el río en diferentes épocas y tomando los niveles en la estación hidrométrica para contar con registros continuos y posibles series de tiempo de caudales, temperaturas y conductividad eléctrica.

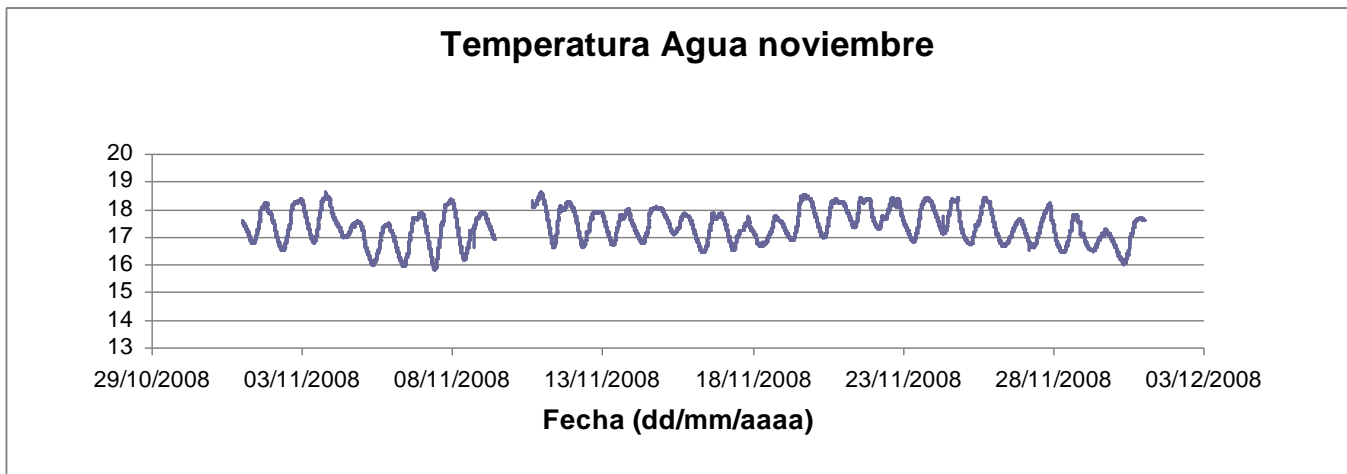
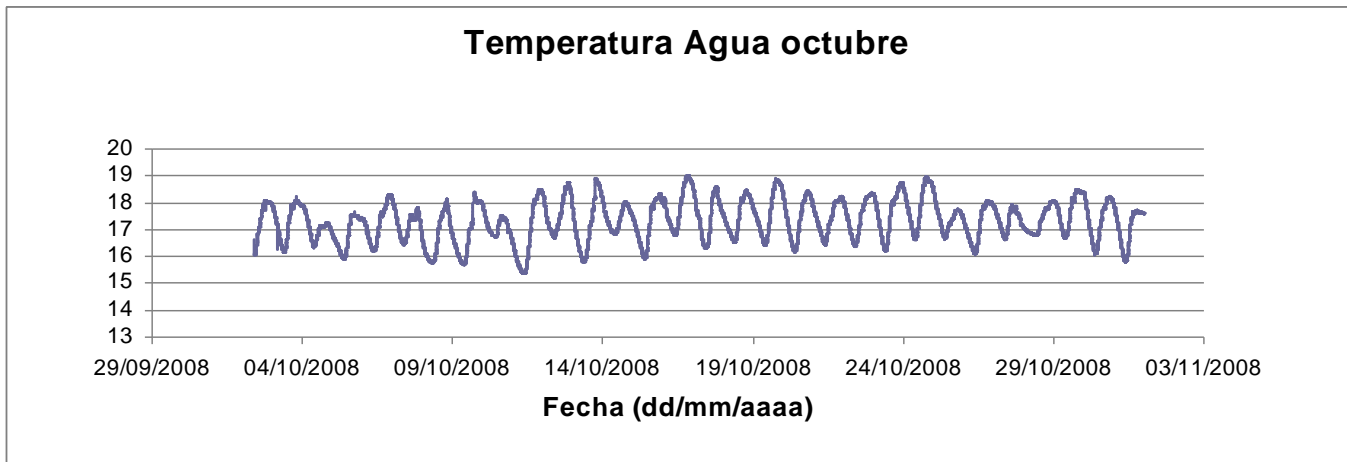
## BIBLIOGRAFIA

- SCHLUMBERGER Water Services by Van Essen Instruments BV (2006). Diver Product Manual. <http://www.vanessen.com>.
- Hernández Hernández, Laura Isabel & Saltarín Mesa, Diego Andrés (2007); Montaje operación y calibración de la estación hidrométrica automática para medición de niveles en el río de oro, estación conquistador alto. Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander.
- Díaz Ardila, Wilfredo Arturo & Rincón Hernández, William Yesid (2006); Montaje y calibración de una estación hidrométrica automática para medición de niveles en el río de oro. Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander.
- SonTek/YSI, Inc (2006); Flowtracker Handheld ADV User's Manual, Version 3.0. <http://www.sontek.com>
- Linsley & Coller & Paulus, Hidrología para ingenieros, Editorial Mc Graw Hill, segunda edición 1985.
- Chow, Ven Te, Hidrología Aplicada, Editorial Mc Graw Hill
- Jiménez, José Fernando; Tratamiento de datos experimentales. Universidad Nacional de Colombia.

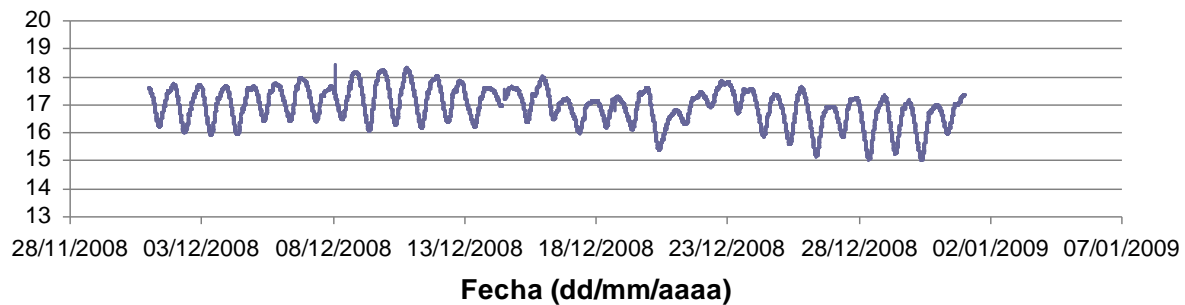
## **ANEXOS**

## ANEXO A

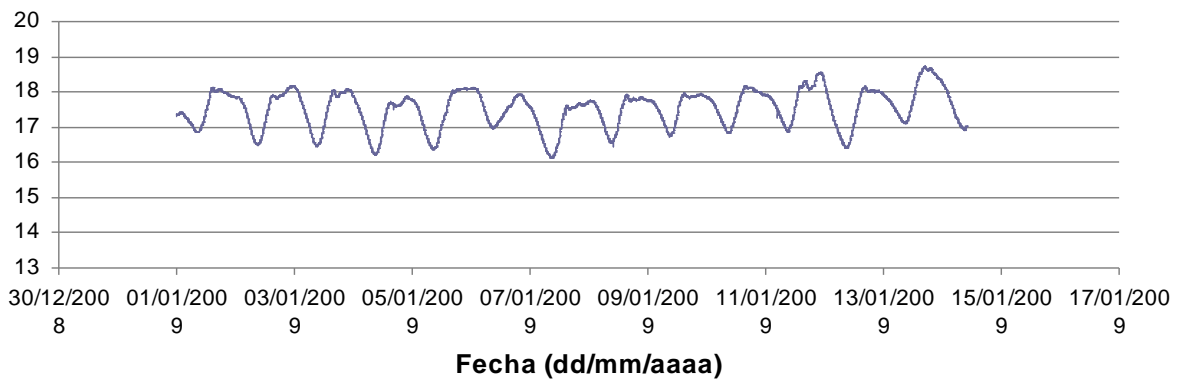
Temperatura del Agua mes a mes de octubre de 2008 a enero de 2009



### Temperatura Agua diciembre

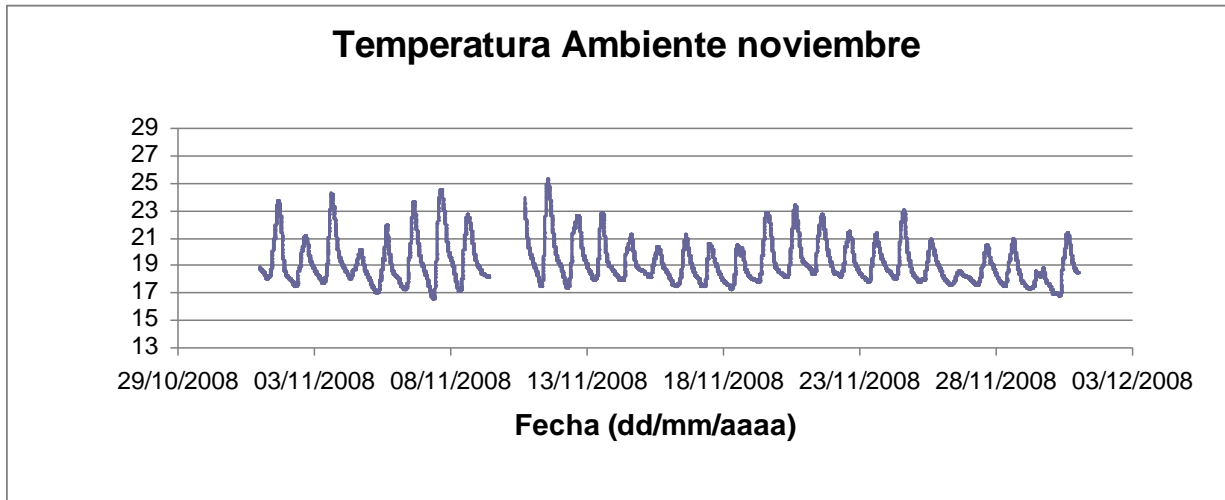
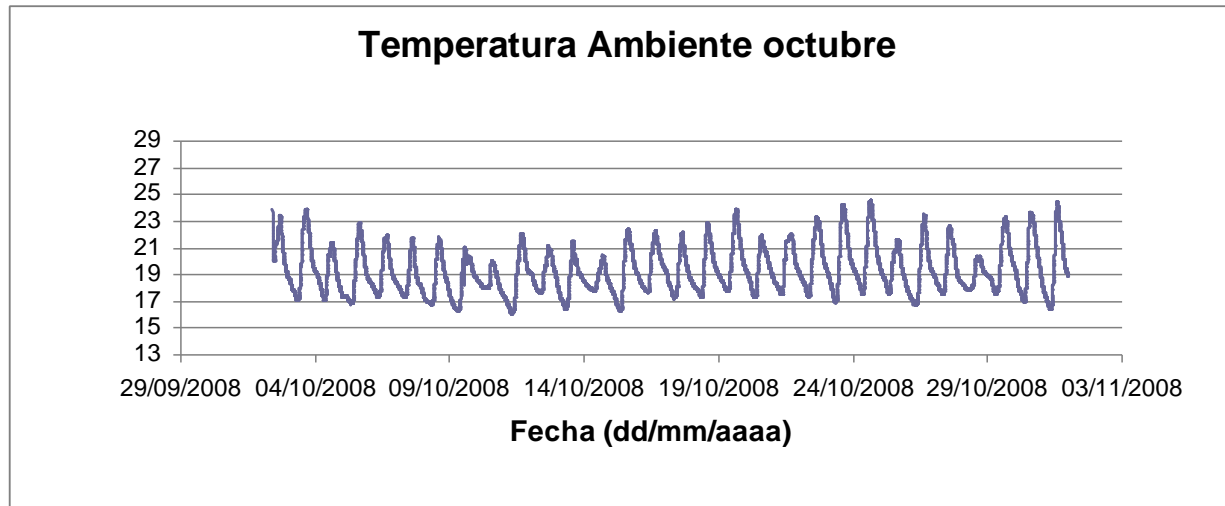


### Temperatura Agua enero

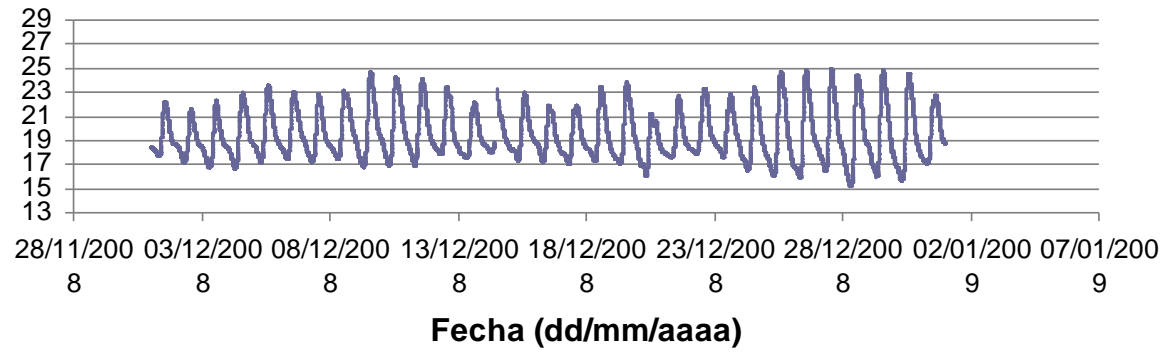


## ANEXO B

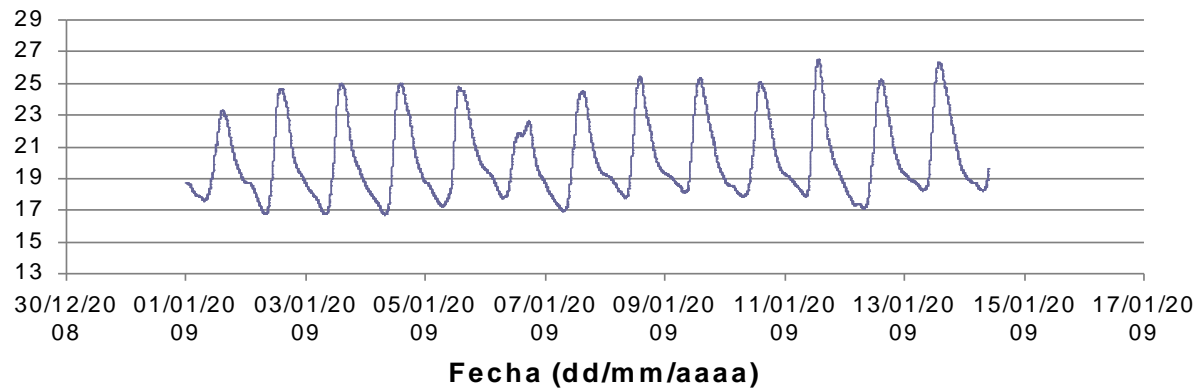
Temperatura de Ambiente mes a mes de octubre de 2008 a enero de 2009



### Temperatura Ambiente diciembre

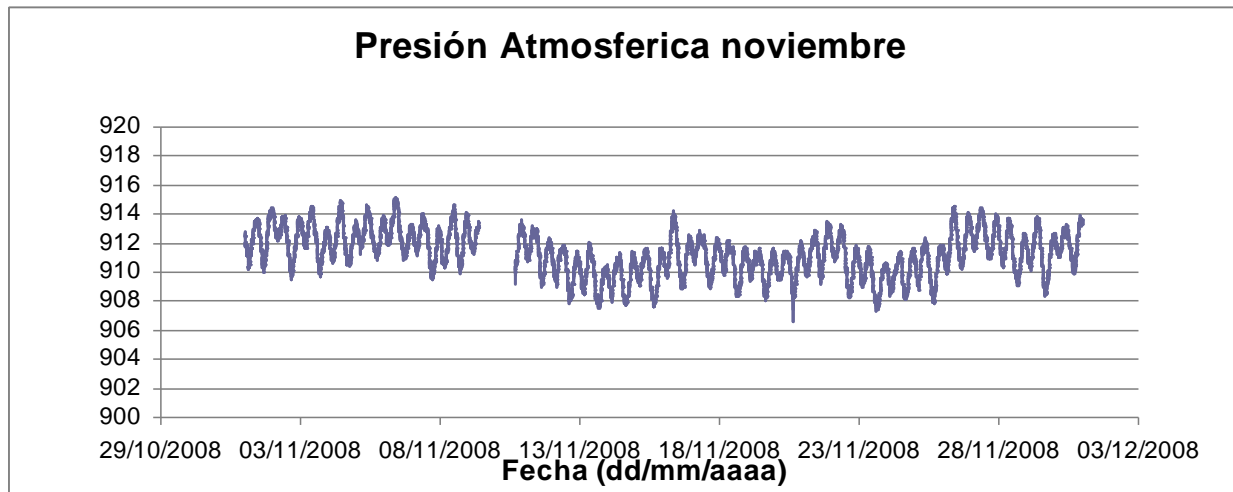
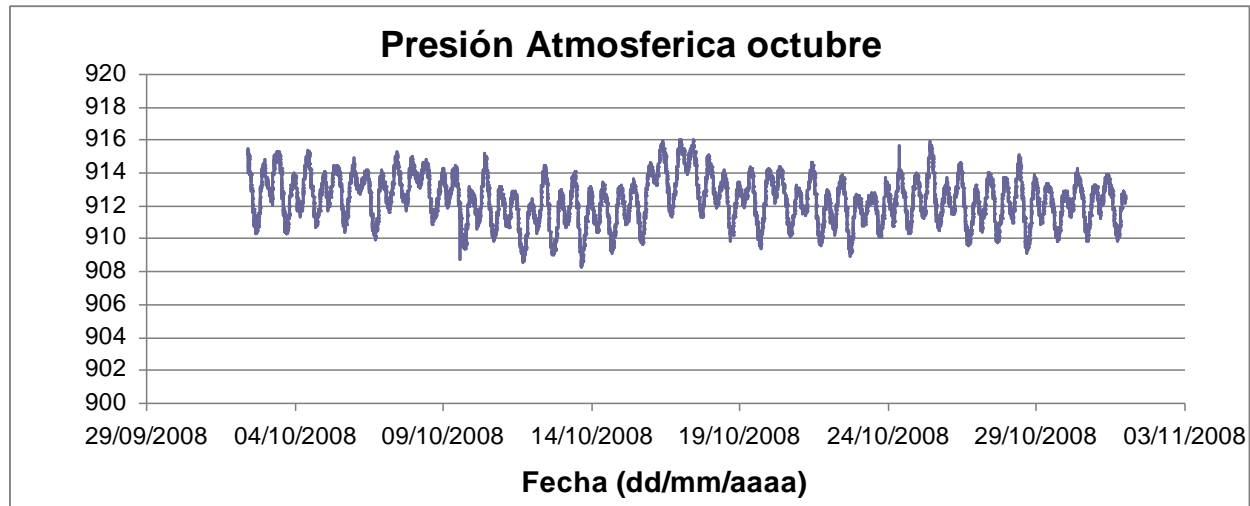


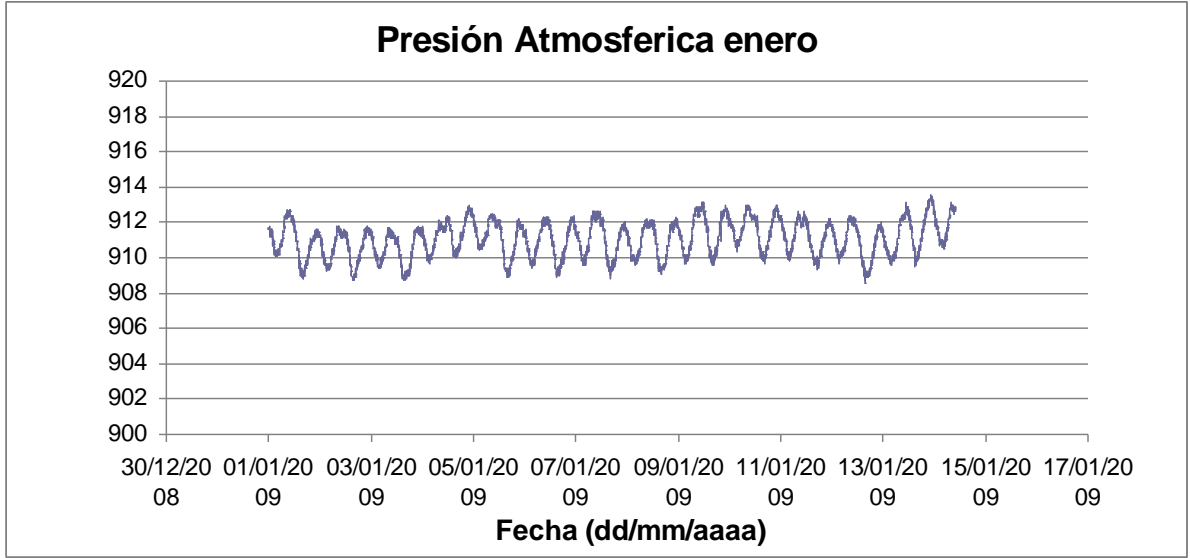
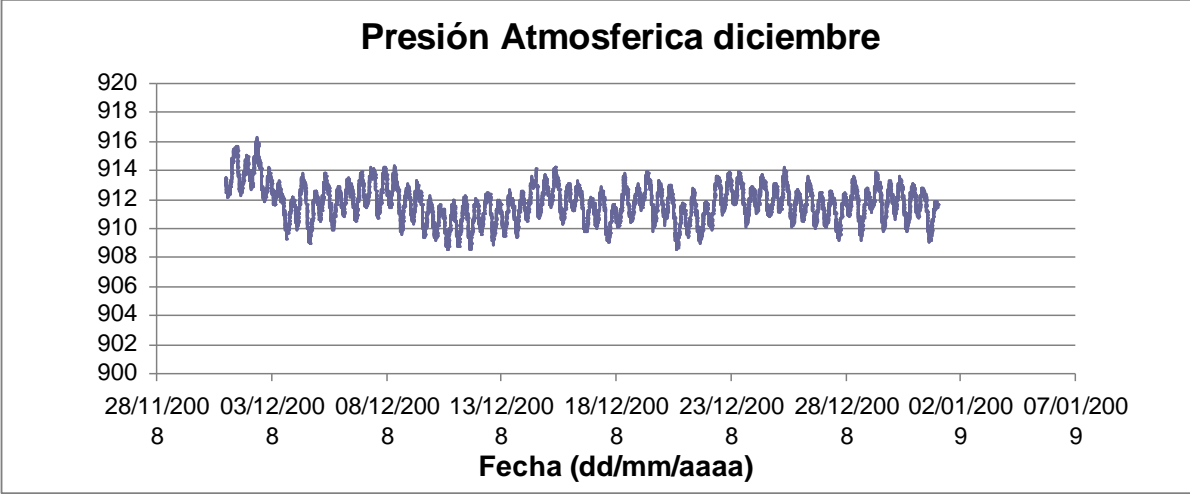
### Temperatura Ambiente enero



## ANEXO C

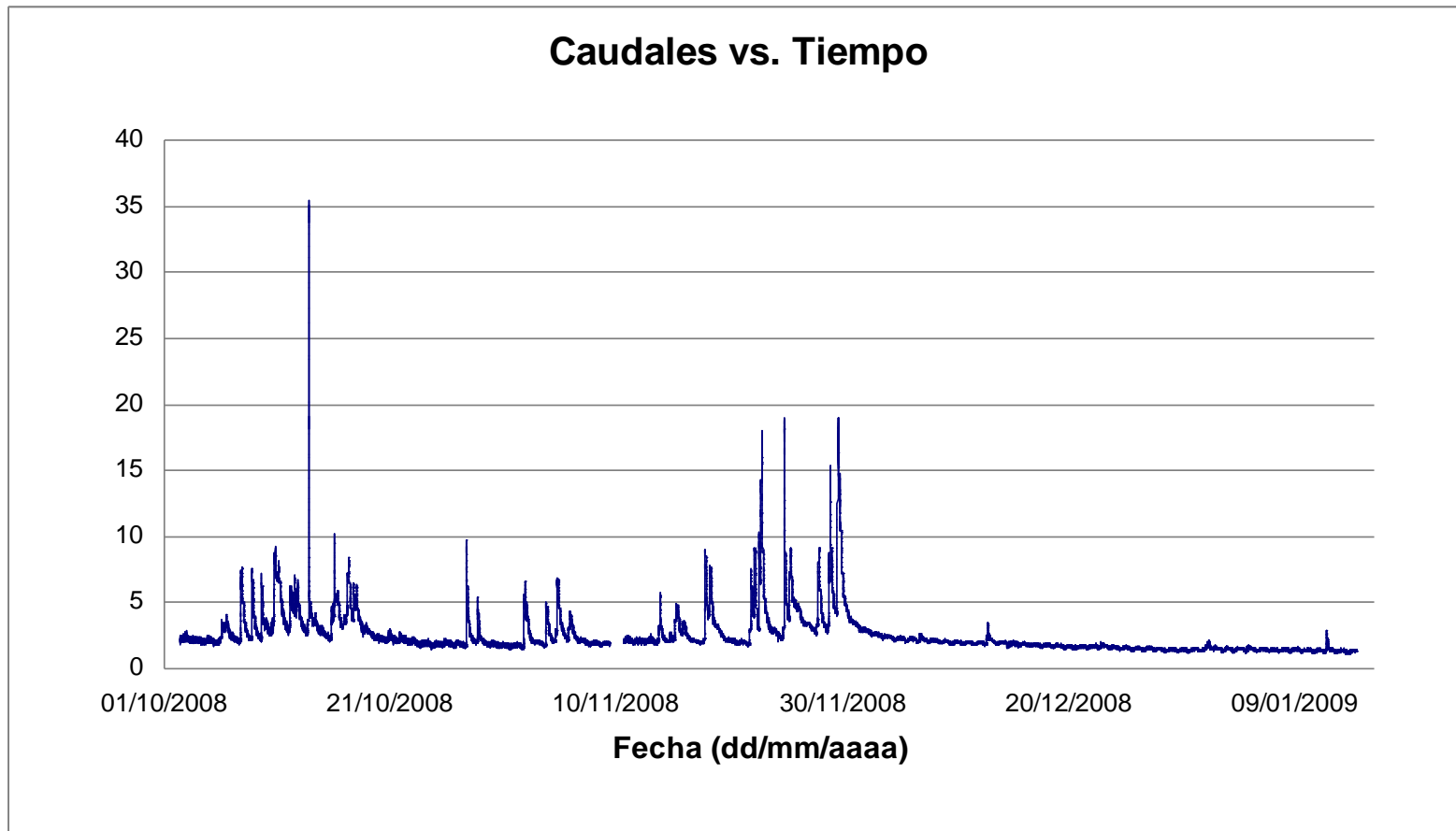
Presión Atmosférica mes a mes de octubre de 2008 a enero de 2009





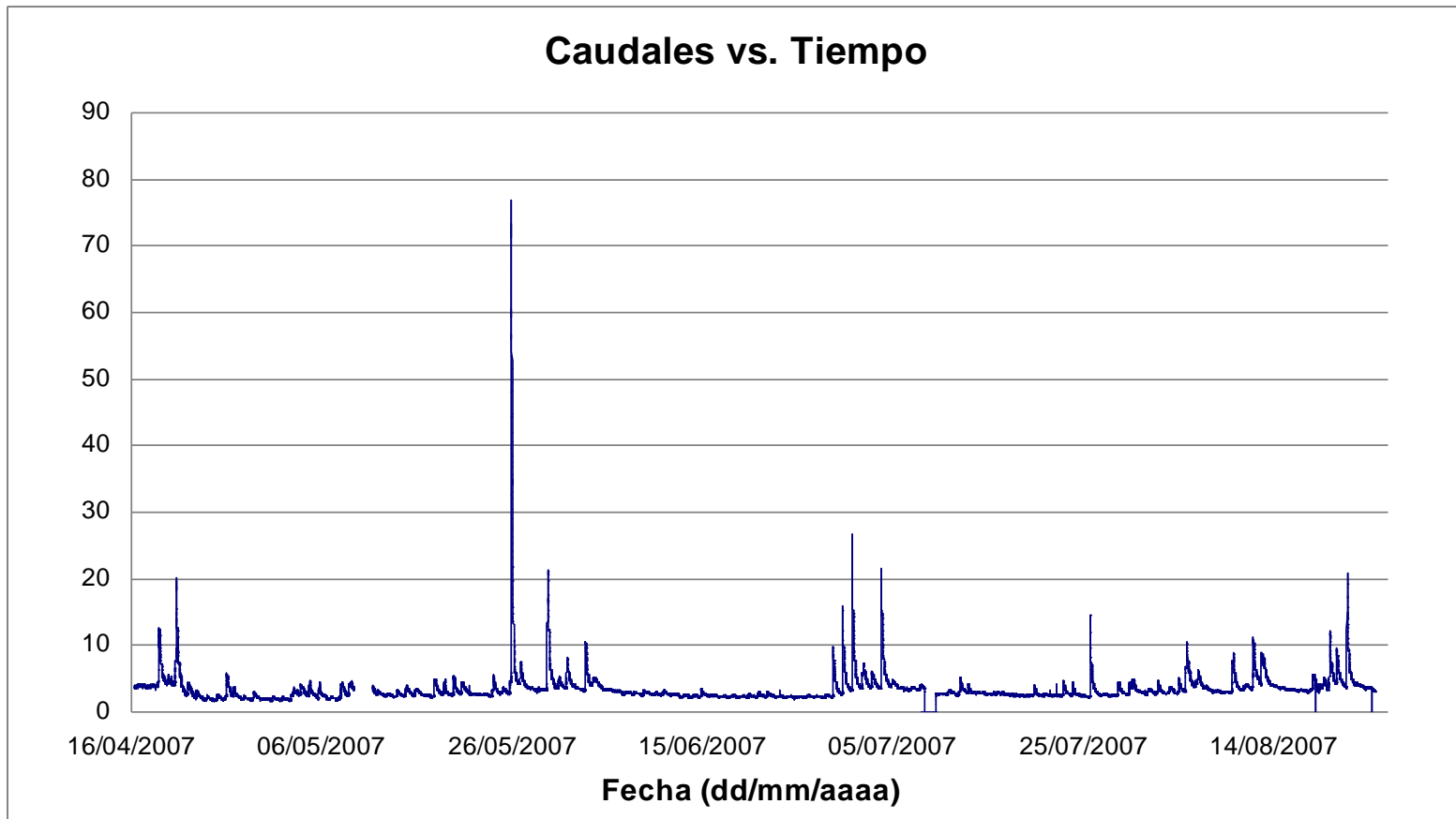
## ANEXO D

Caudales octubre de 2008 a enero de 2009



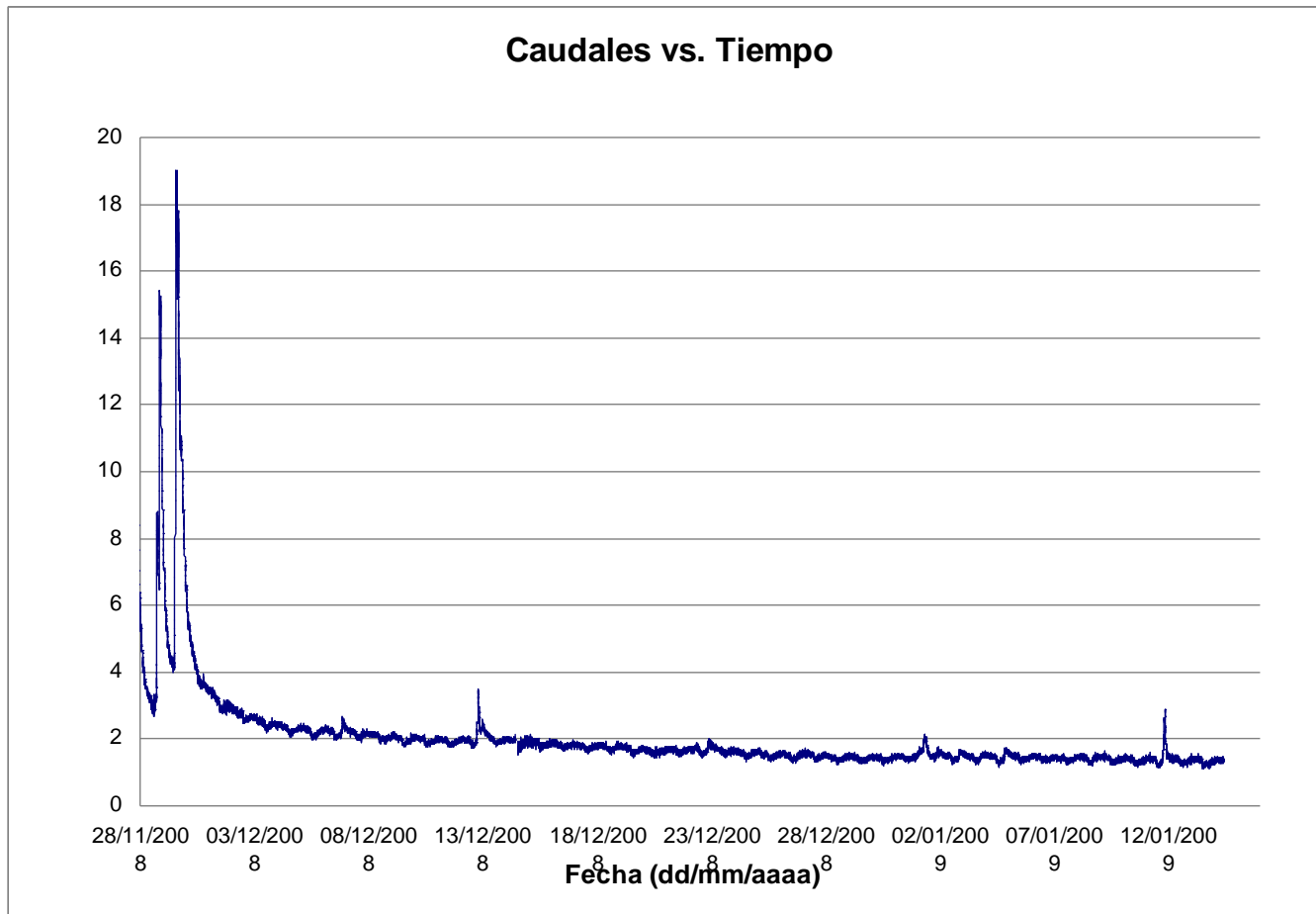
## ANEXO E

Caudales abril a agosto de 2007



## ANEXO F

Hidrograma época de no luvias fin de año 2008 e inicio de 2009



**ANEXO G**

Registros de Nivel existentes.



## ANEXO H

Niveles – Temperatura vs. Tiempo del 17 al 19 de octubre de 2008.

