



# **UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO.**

---

---

## **FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**Uso del Flow Tracker en el diagnóstico de la  
socavación en la pila de un puente conforme a la  
velocidad de flujo.**

### **TESIS PROFESIONAL**

**Para obtener el título de:  
INGENIERO CIVIL**

**Presenta:  
Gustavo Tapia Rodríguez**

**Asesor de tesis:  
Juan Pablo Molina Aguilar**

**Área:  
Hidráulica**

**Morelia Michoacán, Diciembre 2011**





# **Dedicatorias**

## **A mis papás**

Primeramente gracias por darme la vida, por darme su apoyo incondicional, comprensión amor y cariño. En forma muy especial agradezco a mi madre como un homenaje por el esfuerzo que siempre sostuvo para ayudarme en todo. Sin su apoyo no habría terminado la carrera de ingeniería civil.

**María Rodríguez García**

**Pedro Tapia Montoya**

## **A mis hermanos**

Por su apoyo durante la carrera, y por la ayuda incondicional durante las mediciones en el puente para el desarrollo de esta tesis.

**Ismael Tapia Rodríguez**

**Ofelia Tapia Rodríguez**

**Irving Cesar Tapia Rodríguez**

# Agradecimientos

- **A mi asesor de Tesis** “M.I. Juan Pablo Molina Aguilar”. Por el tiempo dedicado y el interés mostrado en todo momento para el correcto avance en el desarrollo de esta tesis. Pero muy en especial por su amistad y ser una gran persona.
- **A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y en especial a la Facultad de Ingeniería Civil.** Por permitirme obtener la profesión y guiarme en el conocimiento, en beneficio de la sociedad.
- **Al laboratorio de Hidráulica “Ing. David Hernández Huéramo” de la Facultad de Ingeniería Civil.** Por la importante contribución en el desarrollo de mi carrera. Y por la confianza que depositó en mi el Ing. Jorge Leonel al facilitarme el Flow Tracker.
- **Al personal del laboratorio de hidráulica.** M.C. Guillermo Benjamín Pérez, Ing. Jorge Leonel Ángel, M.I. Jesús Martín Caballero. Por el agradable ambiente de trabajo y por los consejos que me brindaron.
- **A la profesora Ma. Concepción Figueroa Correa.** Por el enorme apoyo y consejos de su parte. Por su interés en que yo estudiara una carrera universitaria y sus palabras que siempre me motivaron a seguir adelante.
- **A mis amigos de la carrera.** Heriberto Puga, Oscar Gonzalo Martínez, Ma. Carmen Espinosa, Miguel Neri, Jorge Saúl Martínez y muchos más amigos de la sección y de generación. Por el tiempo y experiencias que compartimos juntos y la incondicional amistad que me brindaron.
- **A mis profesores de la facultad.** Por su valiosa enseñanza, sus innumerables consejos y tiempo dedicado.
- **A mis amigos del F.U.E.P.** Por los consejos recibidos y su amistad que me brindaron.





# Resumen

Todas las obras diseñadas y construidas por los ingenieros civiles se tienen que enfrentar a los agentes atmosféricos, con el paso del tiempo las estructuras van perdiendo sus características iniciales de construcción, producto de la acción de todos los elementos que tienen que soportar, llevando a las estructuras a un punto en el que pueden fallar.

Un puente por ejemplo es una estructura emblemática de la ingeniería y que da paso al desarrollo de la sociedad, pensemos que la parte más importante en el diseño de un puente es precisamente su resistencia estructural ante las cargas permanentes y las cargas accidentales y en segundo plano la resistencia del suelo. Cuando el puente tiene que cruzar por un río es necesario también hacer un análisis hidráulico para tener conocimiento del comportamiento del flujo por la presencia de pilas interpuestas en la corriente y de esta manera garantizar la seguridad total del puente, además del mantenimiento continuo y de la instrumentación necesaria que permita monitorear el desempeño del puente.

Al colocar un obstáculo en medio de la corriente de un río se modifican las condiciones hidrodinámicas, principalmente se modifica la velocidad generándose un flujo turbulento provocando socavación al pie de las pilas y por consiguiente pone en riesgo la seguridad de la estructura al quedar al descubierto la cimentación.

En el desarrollo de este trabajo de tesis se hizo un análisis de la velocidad en las inmediaciones de la pila de un puente localizado en la comunidad de Chincua del municipio de Tlalpujahua, Michoacán.

El análisis de velocidad frente a la pila se basa en una medición puntual de velocidades en tres dimensiones (X, Y, Z), medidas con el Flow Tracker, que es un instrumento electrónico que permite medir velocidades y caudales en cauces abiertos. Para ello se usó el método de las dovelas para obtener la distribución de velocidades en una sección transversal, este método se aplicó desde 4.85 m aguas arriba del puente, hasta 9.15 m aguas abajo del mismo con una separación entre sección y sección de 1.00 m.

En el capítulo 2 se mencionan los instrumentos de medición de velocidades más actuales y que utilizan la tecnología Doppler. Se hace también una descripción del fenómeno de socavación en pilas de puentes y las variables que más inciden en este proceso.



Posteriormente en el capítulo 3 se describe la metodología empleada en la recogida de datos usando el Flow Tracker así como la descripción del instrumento y del sitio donde está construido el puente.

De toda la información obtenida, se procesó y analizó y en el capítulo 4 se muestran los resultados obtenidos después de las mediciones en sitio, donde se analiza desde diferentes perspectivas la velocidad, es decir, la velocidad media, máxima, en secciones longitudinales y en puntos específicos cercanos a la pila del puente.

En último capítulo se tienen las conclusiones generales y recomendaciones referentes al uso del Flow Tracker principalmente, donde se indica los cuidados más importantes que se deben tomar cuando se hace uso del instrumento.



## Índice

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1	Planteamiento del problema.....	1
1.2	Hipótesis.....	2
1.3	Objetivos.....	2
1.4	Importancia del estudio.....	3
1.5	Limitaciones del estudio.....	4
1.6	Definición de términos.....	5
<b>2</b>	<b>REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>7</b>
2.1	Introducción.....	7
2.2	Necesidad de la medición de velocidades y caudal en ríos.....	8
2.2.1	Concepto de distribución de velocidades.....	9
2.2.2	Medición de velocidades.....	11
2.3	Uso del molinete mecánico en la medición de velocidades en cauces naturales.....	12
2.3.1	Principio de funcionamiento.....	12
2.4	Uso de instrumentos electrónicos en la medición de velocidades en cauces naturales.....	13
2.4.1	Efecto Doppler.....	14
2.4.2	Medición de la velocidad.....	15
2.4.3	Perfiladores de corriente de efecto Doppler: funcionamiento.....	15
2.4.4	Velocímetro acústico Doppler.....	17
2.5	Socavación general en un río.....	18
2.6	Socavación local en pilas de puentes.....	21
2.7	Uso de instrumentos de medición de velocidad en monitoreo de la socavación.....	28
<b>3</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>30</b>
3.1	Introducción.....	30
3.2	Descripción del sitio.....	31
3.2.1	Ubicación.....	31
3.2.2	Descripción del puente.....	32
3.2.3	Descripción de la corriente.....	33
3.3	Descripción del Flow Tracker.....	35
3.3.1	Generalidades.....	35
3.3.2	Panorama general de uso del Flow Tracker.....	36
3.4	Pruebas diagnóstico de pre-utilización del Flow Tracker.....	40



3.5 Procedimiento de medición de velocidades con el Flow Tracker en el puente.....	44
<b>4 RESULTADOS.....</b>	<b>48</b>
4.1 Introducción.....	48
4.2 Comportamiento general de la velocidad aguas arriba de la pila, en la longitud de la pila y aguas abajo de la pila.....	52
4.2.1 Velocidad media.....	52
4.2.2 Velocidad máxima.....	54
4.3 Análisis del comportamiento de la velocidad en el sentido longitudinal del río.....	57
4.3.1 Sección longitudinal 1.....	59
4.3.2 Sección longitudinal 2.....	61
4.3.3 Sección longitudinal 3.....	62
4.4 Análisis de la velocidad en puntos específicos.....	66
4.4.1 Punto 1.....	66
4.4.2 Punto 2.....	68
4.4.3 Punto 3.....	69
<b>5 DISCUSIÓN.....</b>	<b>74</b>
5.1 Conclusiones.....	74
5.2 Recomendaciones.....	76
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>78</b>
<b>ANEXO 1.....</b>	<b>81</b>



# Lista de tablas

## Capítulo 4

<b>Tabla 4.1</b> Reporte generado por el Flow Tracker.....	49
<b>Tabla 4.2</b> Datos promedio de SNR, temperatura, y velocidad en X, Y, Z.....	52
<b>Tabla 4.3</b> Velocidades de la sección longitudinal 1.....	59



# Lista de figuras

## Capítulo 2

<b>Figura 2.1</b> Distribución bidimensional de velocidades en un cauce natural de ancho infinito.....	9
<b>Figura 2.2</b> Distribución típica de velocidades en un cauce natural que más se ajusta a la realidad.....	10
<b>Figura 2.3</b> Características de las verticales de la sección transversal en el punto de aforo.....	12
<b>Figura 2.4</b> Ejemplo de un molinete y sus partes principales.....	12
<b>Figura 2.5</b> Diagrama de representación del efecto Doppler.....	15
<b>Figura 2.6</b> Proceso de sedimentación y socavación en secciones transversales en cauces naturales.....	19
<b>Figura 2.7</b> Proceso de socavación en una pila circular. Comportamiento del flujo y el área en la que incide.....	21
<b>Figura 2.8</b> Se muestra esquemáticamente las trayectorias del agua y de las partículas de suelo alrededor del obstáculo y los avances sucesivos de la socavación.....	26
<b>Figura 2.9</b> Formas de pila más comunes.....	27



## Capítulo 3

<b>Figura 3.1</b> Ubicación del municipio de Tlalpujahua en el estado de Michoacán...	31
<b>Figura 3.2</b> Micro-Localización de la presa de Chincua y del puente, objeto de estudio.....	32
<b>Figura 3.3</b> Esquema del puente en planta donde se perciben los estribos, la pila y el espejo del agua.....	33
<b>Figura 3.4</b> Fotografía del puente objeto de estudio, vista aguas arriba (izquierda) y vista aguas abajo (derecha).....	33
<b>Figura 3.5</b> Fotografía del puente donde se ilustra la pila y el estribo.....	35
<b>Figura 3.6</b> Fotografías aguas arriba y aguas abajo del puente respectivamente, donde se ilustra la granulometría del fondo del río.....	34
<b>Figura 3.7.a</b> Partes principales del Flow Tracker.....	35
<b>Figura 3.7.b</b> Configuración del sensor del Flow Tracker.....	35
<b>Figura 3.8.a</b> Ejes coordenados del sensor.....	36
<b>Figura 3.8.b</b> Sensores del Flow Tracker para medir velocidad en 2D o velocidad en 3D respectivamente.....	36
<b>Figura 3.9</b> Medida de caudal usando el método de la sección media.....	38
<b>Figura 3.10</b> Pantalla del Software de diagnóstico Beam Check.....	41
<b>Figura 3.11</b> Diagnóstico de pre-utilización del Flow Tracker.....	42
<b>Figura 3.12</b> Diagnóstico de datos de velocidad.....	44
<b>Figura 3.13</b> Planta de secciones en el río.....	46
<b>Figura 3.14</b> Detalle de donde se tomaron estaciones adicionales con datos de velocidades a diferentes profundidades. También se muestran los ejes X, Y del sensor.....	47



## Capítulo 4

<b>Figura 4.1</b> Gráfica de velocidad y profundidad que muestra el archivo generado por el Flow Tracker.....	50
<b>Figura 4.2</b> Tabla de control de calidad y gráfica similar a la del Beam Check.....	51
<b>Figura 4.3</b> Gráfica de la velocidad media en la dirección X.....	53
<b>Figura 4.4</b> Gráfica de la velocidad media en la dirección Y.....	54
<b>Figura 4.5</b> Gráfica de la velocidad media en la dirección Z.....	54
<b>Figura 4.6</b> Gráfica de la velocidad máxima en la dirección X.....	55
<b>Figura 4.7</b> Gráfica de la velocidad máxima en la dirección Y.....	55
<b>Figura 4.8</b> Gráfica de la velocidad máxima en la dirección Z.....	55
<b>Figura 4.9</b> Ubicación de la velocidad máxima en el entorno de la pila.....	56
<b>Figura 4.10</b> Ubicación de las secciones transversales.....	58
<b>Figura 4.11</b> Gráfica de la velocidad en X de la sección longitudinal 1.....	60
<b>Figura 4.12</b> Gráfica de la velocidad en Y de la sección longitudinal 1.....	60
<b>Figura 4.13</b> Gráfica de la velocidad en Z de la sección longitudinal 1.....	61
<b>Figura 4.14</b> Gráfica de la velocidad en X de la sección longitudinal 2.....	61
<b>Figura 4.15</b> Gráfica de la velocidad en Y de la sección longitudinal 2.....	62
<b>Figura 4.16</b> Gráfica de la velocidad en Z de la sección longitudinal 2.....	62
<b>Figura 4.17</b> Gráfica de la velocidad en X de la sección longitudinal 3.....	63
<b>Figura 4.18</b> Gráfica de la velocidad en Y de la sección longitudinal 3.....	63
<b>Figura 4.19</b> Gráfica de la velocidad en Z de la sección longitudinal 3.....	64
<b>Figura 4.20</b> Gráfica de la velocidad en X de las tres secciones longitudinales.....	65
<b>Figura 4.21</b> Gráfica de la velocidad en Y de las tres secciones longitudinales.....	65
<b>Figura 4.22</b> Gráfica de la velocidad en Z de las tres secciones longitudinales.....	65



<b>Figura 4.23</b> Esquema del puente donde se muestran los puntos donde se midieron velocidades a diferentes profundidades.....	66
<b>Figura 4.24</b> Perfil de velocidades en el punto1 en la dirección X.....	67
<b>Figura 4.25</b> Perfil de velocidades en el punto1 en la dirección Y.....	67
<b>Figura 4.26</b> Perfil de velocidades en el punto1 en la dirección Z.....	68
<b>Figura 4.27</b> Perfil de velocidades en el punto2 en la dirección X.....	68
<b>Figura 4.28</b> Perfil de velocidades en el punto2 en la dirección Y.....	69
<b>Figura 4.29</b> Perfil de velocidades en el punto2 en la dirección Z.....	69
<b>Figura 4.30</b> Perfil de velocidades en el punto3 en la dirección X.....	70
<b>Figura 4.31</b> Perfil de velocidades en el punto3 en la dirección Y.....	70
<b>Figura 4.32</b> Perfil de velocidades en el punto3 en la dirección Z.....	70
<b>Figura 4.33</b> Distribución de velocidades en época de estiaje en la dirección X....	71
<b>Figura 4.34</b> Distribución de velocidades en época de estiaje en la dirección Z....	72
<b>Figura 4.35</b> Distribución de velocidades en época de lluvias en la dirección X....	72
<b>Figura 4.36</b> Distribución de velocidades en época de lluvias en la dirección Z....	72
<b>Figura 4.37</b> Gráfica de valores de SNR promedio de cada sección transversal medida.....	73



## 1

# INTRODUCCIÓN

## 1.1 Planteamiento del problema

Uno de los elementos que conforman a un camino son las estructuras de cruce o puentes, la finalidad de un puente es pasar con el eje del camino por encima de un accidente geográfico o cualquier otro obstáculo físico, ejemplo de ello es un río o un cuerpo de agua, y de esa manera lograr la comunicación, pero para lograr lo anterior es necesario apoyar los puentes sobre estribos que se construyen en las márgenes de los ríos, pero cuando son estos de gran longitud es necesario apoyarlos en pilas que se desplantan sobre el lecho del río.

En el proyecto de un camino es importante la interacción de varias disciplinas de la ingeniería civil con el fin de lograr que el diseño de los elementos que lo conforman garanticen un buen desempeño durante su operación, seguridad y factibilidad económica, entre las diferentes disciplinas que participan se tiene la hidráulica.

Un puente es una estructura vulnerable a diversos factores derivados de la acción de los agentes naturales. La principal problemática desde el punto de vista de la hidráulica es que los estribos de los puentes y las pilas intermedias que soportan la estructura del puente, se ven afectadas por la socavación local. Esto deriva que la estructura se vea en peligro de un colapso a causa de que el material que se encuentra en el fondo del río y al pie de la estructura, es extraído por el cambio brusco de velocidades dando como resultado que la pila o estribo del puente pierda profundidad en su cimentación o en el peor de los casos que quede totalmente al descubierto la zapata de cimentación.



## 1.2 Hipótesis

Hoy en día se cuenta con numerosos instrumentos de medición que nos permiten conocer las velocidades en conductos abiertos o en cauces naturales y no solo velocidades sino también cuantificar caudales, para tal caso se tienen instrumentos mecánicos como es el caso del molinete e instrumentos electrónicos como el caso del Flow Tracker que es un instrumento fabricado con la intención de medir caudales en ríos generalmente o en cualquier conducto abierto, pero que también se puede usar para medir velocidades en X, Y, Z. Sin embargo es un instrumento que puede también usarse para ver el comportamiento del agua frente a estructuras que están interpuestas en las corriente de los ríos, debido a que cualquier variación de la velocidad en cualquier sentido es detectada por los sensores del instrumento y esto permite identificar las corrientes de agua que chocan con la pila y que descienden hasta el lecho del río provocando el desprendimiento del material del fondo.

Por lo anterior, en este trabajo se plantea hacer una revisión, al pie de la pila de un puente, de las velocidades que llegan a esta, haciendo uso del Flow Tracker. Con los datos de velocidades que registra el instrumento se hará un análisis a fin de identificar los problemas de socavación que pudiera ya presentar un puente, y aprovechando que el instrumento mide velocidades en tres dimensiones ver el comportamiento de la velocidad cuando llega de frente a la estructura, de la vorticidad que se presenta alrededor de la pila, para de esa manera poder determinar el área que está expuesta a la socavación y diseñar alguna medida de protección.

## 1.3 Objetivos

Dada la importancia de la estabilidad de un puente y el uso de nuevos instrumentos de medición de velocidades en tres dimensiones, el principal objetivo que se persigue con el desarrollo de este trabajo de tesis, es hacer la revisión de la velocidad que llega de frente a la pila de un puente por medio del Flow Tracker.

Para alcanzar el objetivo principal de este trabajo se deberán de cumplir una serie de objetivos específicos.

- Hacer un estudio a detalle sobre el funcionamiento del Flow Tracker, su calibración e identificar que limitaciones tiene y determinar si es un instrumento útil para lo que se pretende en el objetivo principal.



- Hacer una comparativa entre la zona de socavación medida con el Flow Tracker y la zona que se supondría se socava de acuerdo a lo que se menciona en la literatura. Se hará un análisis de velocidades en cada dirección y determinar si la magnitud local de la velocidad es capaz de provocar socavación.
- Hacer un análisis general de velocidades en las tres direcciones desde aguas arriba del puente, en el tramo que cubre el puente y aguas abajo de este, para tener un amplio panorama del comportamiento de la velocidad por la presencia de la estructura.
- Dar recomendaciones sobre el uso del Flow Tracker en la obtención de datos de velocidad y la interpretación de datos que proporciona.

## **1.4 Importancia del estudio**

Los instrumentos mecánicos de medición de velocidad en cauces naturales, como son los molinetes, nos dan una idea del comportamiento de las partículas líquidas, generalmente lo que nos proporcionan es la velocidad en sentido del flujo. La importancia de hacer uso de un instrumento electrónico como lo es el Flow Tracker que su funcionamiento se basa en la tecnología probada del Velocímetro Acústico Doppler (ADV), en la medición de velocidades es que nos proporciona información más real de las velocidades del agua es decir la velocidad en sus componentes X, Y, Z.

Es evidente que cuando el agua escurre en un cauce natural no tiene un comportamiento laminar sino que siempre se presentan turbulencias y vórtices, lo que ocasiona que el vector velocidad tenga una u otra dirección, sin embargo el Flow Tracker nos proporciona esta información. Esto facilita la interpretación de la velocidad que llega a una pila ya que se generan vórtices de herradura y vórtices de estela o de Karman.

Por otro lado si se tiene conocimiento más real del comportamiento de la velocidad frente a una pila del puente se puede pronosticar si va a presentar socavación al paso de una avenida en función de los resultados, es decir si se detecta que el flujo se modifica bruscamente en la zona de la estructura se puede concluir que es una estructura vulnerable a sufrir socavación por el contrario si el flujo no se modifica en gran medida entonces se puede decir que la estructura es capaz de soportar el proceso de socavación, además teniendo la



información de hasta donde se ve afectado el flujo es posible determinar hasta qué zona es necesario proteger a la pila contra la socavación.

## 1.5 Limitaciones del estudio

Las limitaciones están directamente relacionadas con la utilización del Flow Tracker:

*La profundidad del río.* Es importante mencionar que para medir con el Flow Tracker el operador debe recorrer toda la sección transversal dentro del agua y eso limita a que solo se pueda utilizar el instrumento en profundidades pequeñas y suelos firmes que garanticen la seguridad del operador. Sin embargo si se tiene un puente u otro elemento que permita tomar las mediciones desde afuera del agua entonces podría alcanzarse una mayor profundidad.

El cable del instrumento apenas mide 2 metros de largo, situación que impide hacer mediciones a profundidades muy grandes.

*Uso correcto del Flow Tracker.* Es necesario que la persona que va a usar el Flow Tracker tenga una capacitación previa sobre el manejo del instrumento, esto debido a que se debe tener una serie de cuidados previo a hacer alguna medición, y durante la medición, más adelante se mencionaran que tipo de cuidados es necesario tomar en cuenta, esto refleja que el uso del Flow Tracker no es tan sencillo al inicio.

*Recogida de datos de velocidad o caudal tardado.* El funcionamiento del Flow Tracker no es tal cual como un molinete mecánico o electrónico en el sentido de cómo obtienen la velocidad. El Flow Tracker para mostrarnos la velocidad en un punto cualquiera, primero toma mediciones de velocidad durante 40 segundos, una lectura por cada segundo, después hace un análisis interno de control de calidad de datos, para después mostrar un promedio como resultado, no solo es tardado sino que también si se tuviese mucha variación de la velocidad en el lapso de los 40 segundos o cambios de sentido de la velocidad, (por ejemplo en cierto segundo la velocidad en Z es positiva y un segundo después es negativa), esto provoca que el instrumento muestre como resultado una serie de errores debido a que excede el criterio previsto en el control de calidad de datos. Y además el resultado mostrado no necesariamente es el correcto debido al promedio final que hace el programa interno

Sin embargo se pueden modificar algunos criterios en la definición de parámetros del instrumento.



*Altas velocidades.* El fabricante recomienda no usarse en flujos con velocidades mayores a 4 m/s. Sin embargo en las pruebas del laboratorio que se hicieron mostro errores a tan solo 2 m/s cuando no se tiene mucha turbiedad en el agua.

## 1.6 Definición de términos

***Dovelas.*** Franjas de igual ancho en las que se divide una sección transversal de un cauce natural. Cada dovela o franja encierra una fracción de área en relación al área total de la sección transversal, a la mitad del ancho de la dovela es donde se mide la velocidad ya sea a una determinada profundidad o a diferentes profundidades. Para después obtener el gasto de dicha franja o dovela.

***Lecho aluvial.*** Fondo de un río donde se tiene material fino como limo y arcilla y material grueso como arena y grava

***Lecho cohesivo.*** Fondo de un río donde predomina material fino como limo y arcilla.

***Estación hidrométrica.*** Es un lugar fijo en una sección del río donde se realizan un conjunto de operaciones que permiten determinar el caudal circulante en momento y tiempo de terminado. La idea es obtener información de gastos en una determinada sección en un cauce natural

***Isotacas.*** Línea que une puntos de velocidad con igual valor en una sección transversal de un cauce, la forma en que se trazan es similar a trazar curvas de nivel, en lugar de tener puntos con elevaciones se tiene puntos con una velocidad puntual.

***Hidráulica Fluvial.*** Combina conceptos de Hidrología, Hidráulica General, Geomorfología y Transporte de sedimentos. Estudia el comportamiento hidráulico de los ríos en lo que se refiere a los caudales y niveles medios y extremos, las velocidades de flujo, las variaciones del fondo por socavación y sedimentación, la capacidad de transporte de sedimentos y los ataques contra las márgenes

***Velocímetro electrónico.*** Son medidores electrónicos de velocidad de corrientes de agua que utilizan técnicas acústicas, de radar o por imágenes y que están revolucionando la medida de caudales y la dinámica de corrientes.

***Pings.*** Pulsos de sonido



**AdcpXP.** Es un software desarrollado en la Universidad de Iowa. El software proporciona una amplia gama de características de flujo derivado de velocidades medidas por perfiladores de corriente Doppler (ADCP).

**Meandros.** Se llama así a la curva o sinuosidad por efecto del cambio de dirección que presenta el cauce de un río, que puede originarse por la resistencia de los materiales del lecho a la erosión fluvial, el proceso de formación de meandros en un cauce está determinado por la erosión y socavación de la margen exterior o cóncava y el depósito de sedimentos a lo largo de la margen interior o convexa.

**Avenidas.** La avenida o crecida es el rápido aumento del nivel de agua que desciende por un curso fluvial.

**Vórtices.** Un vórtice es un flujo turbulento en rotación espiral con trayectorias de corriente cerradas. Como vórtice puede considerarse cualquier tipo de flujo circular o rotatorio que posee vorticidad

**Línea de corriente.** Es una línea imaginaria que es tangente en todos sus puntos al vector velocidad de distintas partículas en un instante dado. Las líneas de corriente pueden ser convergentes, divergentes o paralelas, pero nunca se cruzan, ya que esto implicaría que en un punto dado existieran dos velocidades en un mismo instante, lo cual no es físicamente posible.

**Agua clara.** En hidráulica fluvial se considera agua clara cuando en un cauce no hay transporte de sedimentos del lecho desde aguas arriba hasta un sitio determinado y se presenta en cauces acorazados o formados por materiales muy gruesos o cauces con vegetación o bien corrientes de baja pendiente.

**Flujo no permanente.** El flujo en un canal o cauce natural es no permanente si la profundidad cambia con el tiempo, es decir sus características varían en el tiempo y en el espacio.

**ISO.** Es la Organización Internacional de Normalización, y es el organismo encargado de promover el desarrollo de normas internacionales de fabricación, comercio y comunicación para todas las ramas industriales a excepción de la eléctrica y la electrónica. Su función principal es la de buscar la estandarización de normas de productos y seguridad para las empresas u organizaciones a nivel internacional

**Perfiles hidrodinámicos.** Es la modelación del flujo en una corriente donde se aprecia líneas de corriente y es posible identificar patrones de flujo en cauce para diferentes condiciones.



# REVISIÓN DE LITERATURA

## 2.1 Introducción

El conocimiento de la velocidad y el caudal en cauces naturales son de los parámetros más importantes en el diseño de las obras hidráulicas. Existen dos posibles formas de obtener estos datos, la primera se refiere a generar esta información a partir de datos topográficos de la sección transversal y de estudios hidrológicos e hidráulicos donde se determine el gasto en determinada sección de un cauce y por consiguiente la velocidad, la segunda forma es medir directamente tanto velocidad como gasto en el punto de interés, para ello se pueden emplear estaciones hidrométricas o bien hacer las mediciones con el uso de instrumentos como el molinete o medidores ultrasónicos. En México es más común recurrir a esto último dado que la información hidrométrica a veces es imprecisa y en otras no la hay.

En este capítulo se mencionará sobre el porqué de la necesidad de conocer la velocidad en cauces naturales así como una idea general de la distribución de velocidades de Prandtl-Von Karman en cauces naturales y la forma de medir la velocidad media en una sección haciendo uso de dovelas para obtener las Isotacas. Además que es un parámetro que se toma en cuenta en la determinación de la profundidad de socavación, que es importante para determinar el inicio del movimiento de una partícula.

Se mencionará sobre el uso del molinete mecánico en la obtención de velocidades en la sección transversal de un río y el principio de funcionamiento. Se referirá a los instrumentos eléctricos con los que se cuentan en la actualidad para medir velocidades en cauces naturales, pero se hará énfasis en los instrumentos que usan la tecnología doppler. Sobre las ventajas que tienen en comparación al molinete mecánico, y los usos más comunes en la actualidad.



En la última parte de este capítulo se referirá a la socavación general en cauces y a la socavación local en pilas así como de los principales parámetros que se deben tomar en cuenta en la determinación de la profundidad de socavación.

## 2.2 Necesidad de la medición de velocidades y caudal en ríos

Desde hace varios siglos el ser humano ha tenido la necesidad de medir el comportamiento físico del agua en reposo o en movimiento. Es por ello que ha inventado muchos aparatos que registran la velocidad, la presión, la temperatura y el gasto de agua, entre otros. Todos estos ingeniosos dispositivos aprovechan los principios que rigen el comportamiento físico del agua.

La velocidad son los metros por segundo que recorre el agua en un río por ser más específicos al tema. El caudal son los metros cúbicos de agua que pasan por segundo en un sitio determinado. Estas dos características son de gran importancia para iniciar proyectos de construcción de puentes, canales, estudios de hidráulica pluvial, y de diseño de obras hidráulicas en general.

Desafortunadamente, medir directamente el gasto, a través del volumen descargado en un intervalo de tiempo, es una tarea sumamente complicada en la práctica, sobre todo si se trata de medición en canales de riego o de suministro de agua potable a las ciudades, donde los caudales son muy grandes y requerirían recipientes enormes. Es por eso que normalmente se recurre a la medición de gasto en forma indirecta, ya sea midiendo la velocidad y el área.

Por consiguiente, medir estas variables para calcular indirectamente el gasto repercute en un aumento de la posibilidad de cometer errores de medición asociadas a errores humanos, defectos de aparatos y a la variabilidad física del propio fenómeno que se está midiendo y perder calidad en la medición. Con todo lo dicho anteriormente, el objetivo de la medición será entonces obtener el valor de un parámetro físico con la mayor exactitud y precisión posible, disminuyendo al máximo los errores posibles. (Leonel H. Ochoa Alejo. IMTA. 968-7417-64-1)

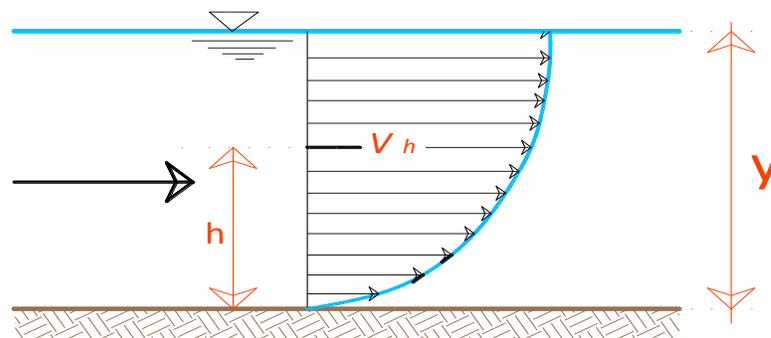
En la hidráulica fluvial la velocidad juega un papel muy importante ya que forma parte de uno de los criterios para determinar el inicio del movimiento de una partícula (Criterio de la velocidad media crítica), la cual determina si hay o no transporte de sedimentos.

También es importante en el cálculo de transporte de sedimentos así como en el cálculo de la profundidad de socavación general y local, sin embargo en estos estudios se cuentan con formulas muy específicas y propuestas por diversos investigadores, por citar un ejemplo, en el cálculo de la socavación general, el método de Lischtvan Lebediev considera una velocidad media real de la corriente en el proceso de socavación y que está asociada a la profundidad inicial del cauce en época de estiaje, la profundidad total de la socavación y de las características hidráulicas del cauce. Lo que se quiere hacer notar es que la velocidad es un parámetro importantísimo en el dimensionamiento de ciertos elementos de la ingeniería civil, como cauces con o sin transporte de sedimentos, diseño de tanque sedimentadores, cálculo de la capacidad muerta de un embalse, determinación de la profundidad de desplante de las pilas de un puente, entre otros.

### 2.2.1 Concepto de distribución de velocidades

En canales así como en cauces naturales el flujo del agua es evidentemente tridimensional para cada punto de la corriente, es decir el vector velocidad tiene componentes en las tres direcciones (X, Y, Z). Para hacer un análisis de la variación de velocidades en una sección cualquiera se deberá tomar muy en cuenta la forma de la sección transversal, pues la naturaleza y características geométricas del contorno, definen básicamente la curva de distribución de velocidades. (Arturo Rocha. 2007)

En términos de análisis se considera el caso más simple en el que se supone un ancho infinito y que solo se tiene influencia por el fondo del cauce, por lo que el flujo se analiza de la siguiente manera. En cada punto de la sección transversal hay una velocidad particular ( $V_h$ ). La velocidad es máxima en la superficie, en el fondo la velocidad es mínima y tiene una distribución como se muestra en la figura 2.1.

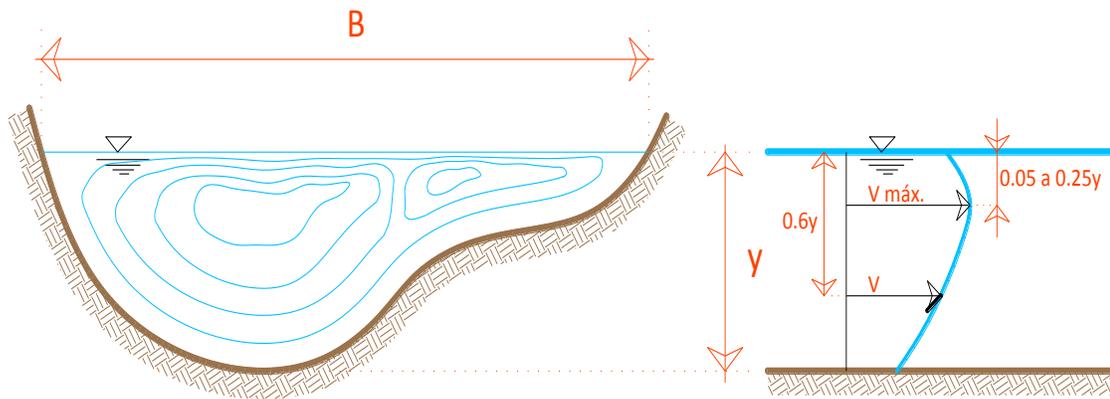


**Figura 2.1** Distribución bidimensional de velocidades en un cauce natural de ancho infinito.



Sin embargo si se toma en cuenta otros factores que inciden en la distribución de velocidades como lo es la fricción que existe entre el agua y el aire ya que generalmente el aire es un fluido estacionario y que está en contacto con el agua en movimiento, la geometría o configuración del fondo y taludes de la sección transversal, la rugosidad superficial, el gasto, la acción de corrientes que contribuyen de manera lateral con gasto al cauce principal o bien obstáculos interpuestos en la corriente, afectan la distribución típica de velocidades de la sección transversal de un río natural, teniéndose una distribución más compleja, la más simple puede ser similar a la de la figura 2.2 donde la distribución de velocidades se representa por medio de las isotacas que indican velocidad de igual magnitud. (Gilberto Sotelo Ávila. 1993)

Estas curvas se obtienen a partir de datos medidos en campo en la sección transversal de interés. La recogida de datos se obtiene por medio de molinetes o velocímetros electrónicos en puntos específicos, se hace una interpolación entre puntos tal como se hace para obtener las curvas de nivel en topografía.



**Figura 2.2** Distribución típica de velocidades en un cauce natural que más se ajusta a la realidad. (Apuntes de hidráulica II, Gilberto Sotelo Ávila)

Nótese que la velocidad máxima no se presenta a nivel de la superficie libre del agua, sino que se presenta a una pequeña profundidad (de 0.05 a 0.25 del tirante) y la velocidad mínima está en la proximidad del fondo y taludes del cauce.

La velocidad media se localiza a una profundidad aproximada de 0.6 del tirante y es el promedio de la velocidad a 0.2 y 0.8 del tirante o bien entre 0.8 y 0.95 de la velocidad superficial. Dichas variaciones de la ubicación de la velocidad máxima y la velocidad media son debidas a las condiciones locales de la sección transversal.



Si se toma en cuenta que en una sección de un río se interpone una estructura como lo es una pila de un puente este perfil de velocidades se modificara localmente adoptando una nueva forma casi impredecible.

### 2.2.2 Medición de velocidades

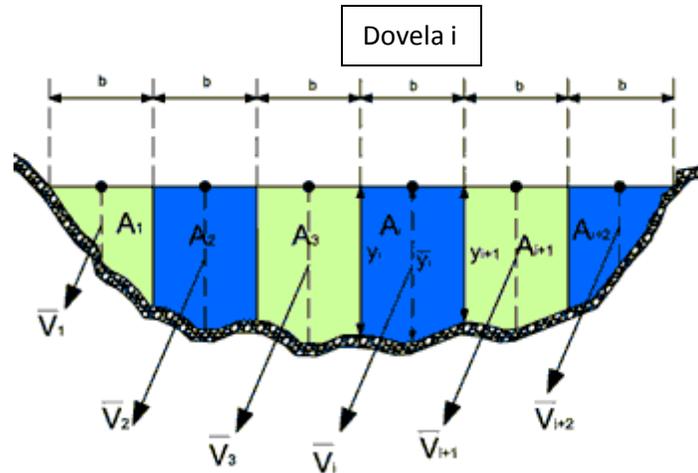
Según Ven Te Chow uno de los métodos más simples y aproximado para medir velocidades en cauces naturales es por medio de dovelas. Este procedimiento consiste en dividir en un determinado número la sección transversal en franjas verticales sucesivas, posteriormente se procede a medir la velocidad usando algún instrumento de medición de velocidades como lo es un molinete mecánico o un velocímetro electrónico. Se determina midiendo a 0.6 de la profundidad en cada vertical, o bien tomando el promedio de las velocidades a 0.2 y 0.8 de la profundidad cuando se requieren resultados más confiables. Con el promedio de velocidades en cada una de las verticales se multiplica por el área entre verticales dando como resultado el caudal de esa franja vertical o dovela. La suma de los caudales a través de todas las franjas es el caudal total. La velocidad media en toda la sección es igual al caudal total dividido entre al área completa.

$$Vm_i = \frac{V_{0.2} + V_{0.8}}{2} \text{ ó } V_{0.6}$$

$$Q_i = A_i * Vm_i$$

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

Debido a que la distribución de velocidades no es uniforme en un cauce natural, la energía cinética que aporta la velocidad a la carga total o energía específica es mayor que el valor calculado con  $V^2/2g$  por lo que se corrige con el coeficiente  $\alpha$  el cual se le conoce como coeficiente de energía o coeficiente de Coriolis. Además de otras afectaciones que no se mencionaran en este trabajo.



**Figura 2.3** Características de las verticales de la sección transversal en el punto de aforo.

## 2.3 Uso del molinete mecánico en la medición de velocidades en cauces naturales

Hasta hace pocas fechas, la forma en la que los instrumentos medían el caudal y la dinámica de la corriente había permanecido invariable. Las medidas del caudal se basaban en medidores mecánicos de velocidad, que empleaban la fuerza del agua para hacer girar una hélice, método que se había empleado desde principios del siglo pasado.

Los instrumentos que utilizan el empuje dinámico del agua para determinar el caudal del flujo son denominados medidores de velocidad y se clasifican en:

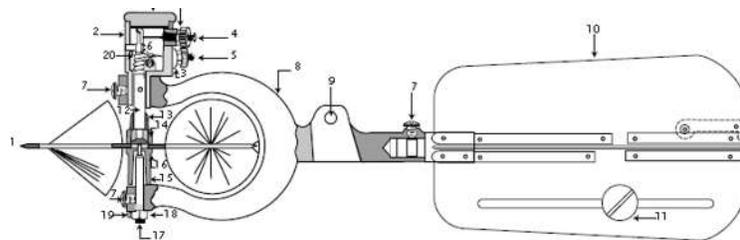
- Hélice o propela
- Turbina
- Molinete

### 2.3.1 Principio de funcionamiento

El funcionamiento de los tres instrumentos es muy similar. El molinete en particular es un instrumento de medición de velocidad en cauces naturales o en canales el cual se compone de dos partes principalmente. Contiene un elemento giratorio (Hélice), que se coloca en el punto donde se desee conocer la velocidad de frente a la corriente, las revoluciones de la hélice son proporcionales a la velocidad del flujo. El número de giros se transmite mecánicamente a un registrador de vueltas y con ello se determina la velocidad angular. Por medio de una ecuación de calibración se puede determinar la velocidad lineal a partir de la velocidad angular del punto de interés.

El medidor tipo molinete puede utilizarse en conductos a presión y en conductos a superficie libre. Existen diferentes medidores que funcionan con este principio en el cual, como en los de propela, también se relacionan las vueltas que da una rueda provista de una especie de conos o copas con la velocidad del agua.

Generalmente, la rueda que gira lleva unas copas. Al chocar el agua con ellas, ejerce una fuerza que imprime un movimiento de rotación, siendo éste más rápido mientras mayor sea la velocidad de la corriente. De esta forma, al conocer el número de vueltas que da la rueda y el tiempo empleado en darlas, es posible interpretar la velocidad del agua con la ayuda de la tabla de calibración para cada molinete.



**Figura 2.4** Ejemplo de un molinete y sus partes principales. (World Meteorological Organization, 2010 WMO-No. 1044)

## 2.4 Uso de instrumentos electrónicos en la medición de velocidades en cauces naturales

Durante los últimos 20 años, la posibilidad de disponer de sistemas informáticos, electrónicos y con mejores baterías a precios reducidos ha conducido al desarrollo de instrumentos electrónicos para medir la velocidad, contribuyendo así al trazado de mapas de las condiciones hidrodinámicas de los ríos, algo que anteriormente, hubiera sido imposible.

Hoy en día, los medidores electrónicos de velocidad que utilizan técnicas acústicas, de radar o por imágenes están revolucionando la medida de caudales del agua de la superficie y la dinámica de corrientes. En la mayor parte de emplazamientos de medida, estos sistemas están reemplazando a los instrumentos mecánicos, convirtiéndose así en los instrumentos predilectos para medir la velocidad. Estos instrumentos ofrecen ventajas superiores en términos de eficacia, rendimiento y seguridad. Además, los instrumentos electrónicos pueden medir velocidades más rápido en áreas más extensas, con una mayor resolución espacial y a un costo más razonable que los instrumentos mecánicos previos.



Esta nueva instrumentación es capaz de medir características cinemáticas distribuidas espacialmente en dos y tres dimensiones y que pueden estar relacionadas con importantes aspectos morfológicos e hidrodinámicos de los cursos fluviales naturales.

En la actualidad se cuenta con nuevos instrumentos basados en tecnologías de radar y de imágenes, el instrumento en sí no entra en contacto con el agua durante el proceso de medición. Según la OMM ninguna de las guías existentes hace referencia a la instrumentación más reciente. Sin embargo, muchos grupos de investigadores están pendientes del rendimiento y de la capacidad del nuevo instrumental.

Dos instrumentos electrónicos de velocidad, como son los perfiladores de corriente de efecto Doppler acústicos (ADCP) y los velocímetros gráficos de partículas a gran escala (LSPIV), constituyen ejemplos de instrumentos nuevos y emergentes de medida de la velocidad que están cambiando el modo de medir los recursos hídricos de la superficie.

Estos instrumentos pueden medir de forma eficaz las velocidades de los ríos que sean necesarias para comprender mejor los complejos procesos geomórficos, hidrológicos y ecológicos que afectan a los cauces fluviales, así como su interacción en condiciones normales y extremas.

#### ***2.4.1 Efecto Doppler***

Antes de empezar con la descripción de los instrumentos que se basan en la tecnología doppler para medir velocidades, es conveniente hacer mención en qué consiste el efecto doppler.

El efecto doppler es la alteración de la frecuencia de las ondas, en función del movimiento, ya sea del receptor o del emisor de las ondas de sonido. Christian Andreas Doppler en 1842 mencionó que había una variación de la longitud de onda de cualquier tipo de onda emitida o recibida por un objeto en movimiento. Es relativamente común encontrarlo a diario. Se puede apreciar cuando una persona escucha el sonido de la sirena de un camión y nota que es más agudo conforme se acerca el camión, y más grave al alejarse.

Cuando la fuente se desplace hacia el observador, los frentes de onda estarán más cerca uno del otro. En consecuencia, el observador percibe sonidos más agudos debido a una menor longitud de onda. En contraparte cuando la fuente se aleja del observador la frecuencia y longitud de la onda son más grandes, percibiendo un sonido más grave el observador.

Figura 2.5

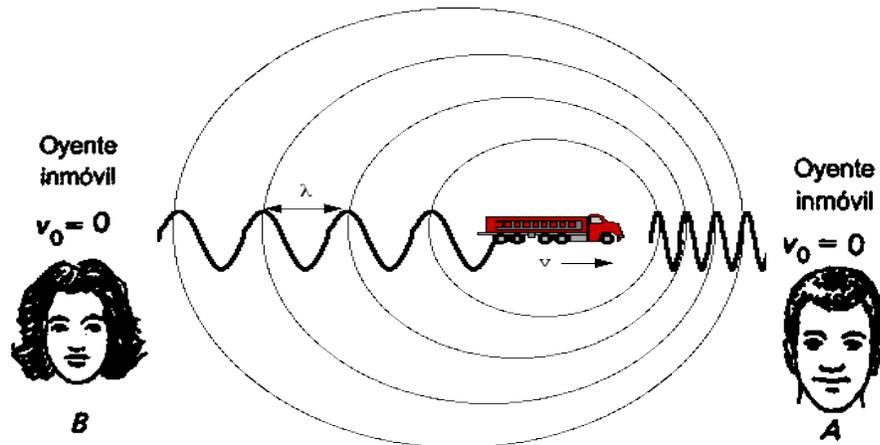


Figura 2.5 Diagrama de representación del efecto Doppler.

#### 2.4.2 Medición de la velocidad

El medidor doppler calcula el gasto en función de dos variables principales: el área hidráulica y la velocidad media. Estos medidores tienen unos emisores de ondas de ultrasonido y unos receptores de las mismas. Primeramente el emisor envía una onda a una determinada frecuencia y el receptor capta las ondas que son reflejadas en el agua, inclusive, la onda puede reflejarse en partículas de sólidos en suspensión o en burbujas de aire. Si el agua está en movimiento, las ondas reflejadas tendrán una frecuencia diferente de la emitida; la diferencia de frecuencia indica al dispositivo la velocidad de la corriente. (Edmundo Pedroza González. IMTA. 968-7417-67-6).

#### 2.4.3 Perfiladores de corriente de efecto Doppler: funcionamiento

El ADCP es un nuevo instrumento que suele instalarse sobre embarcaciones (mirando hacia abajo), aunque también puede fijarse en el fondo (mirando hacia arriba) o en la orilla (mirando hacia un lado). Los ADCP necesitan que el sensor esté en contacto con el agua, para así poder transmitir y medir los pulsos sonoros (pings) dirigidos a través de la columna de agua. Los reflejos de estos pulsos sonoros, o bien el eco procedente de partículas o burbujas pequeñas y suspendidas que se mueven en el medio acústico, producen un desplazamiento en el sonido transmitido, a partir del cual se determina la velocidad. Este fenómeno, el desplazamiento Doppler, es el mismo que el cambio en el tono percibido por una persona cuando un tren que está accionando un silbato pasa junto a ella. Los pulsos enviados en diferentes direcciones o haces, desde el ADCP detectan diferentes componentes de la velocidad, de forma paralela a cada uno de los haces. Suponiendo que



las corrientes sean uniformes (homogéneas) dentro de las capas de espesor constante, se emplea una transformación trigonométrica para convertir la velocidad registrada a lo largo de los haces en tres componentes de velocidad asociadas a un sistema de coordenadas cartesianas orientado hacia el instrumento.

Los dispositivos ADCP instalados sobre una embarcación en movimiento pueden medir con relativa facilidad el perfil multi-componente de la velocidad por debajo de aquella, proporcionando de forma automática información sobre la velocidad, profundidad y localización por donde se desplace la embarcación. Los fabricantes de estos instrumentos (por ejemplo, Teledyne RD Instruments) establecen un 0.25 por ciento de margen de error en la precisión de las mediciones de velocidad efectuadas en condiciones ideales de velocidades horizontales uniformes. Unas malas condiciones de medida, en las que el agua cuenta con pocas o inexistentes pequeñas partículas suspendidas para reflejar los pulsos sonoros o con excesivas concentraciones de sedimentos que absorben los pulsos sonoros, puede impedir la utilización de los dispositivos ADCP. Asimismo, en algunas condiciones de medición, como en las existentes junto a una pared vertical, no es válida y pueden producirse errores de medición.

Aunque los medidores acústicos de velocidad se emplearon en primera instancia para medir la velocidad en entornos oceanográficos, el desarrollo de los ADCP para condiciones de aguas más someras derivó en su aplicación a los caudales fluviales. El United States Geological Survey (Servicio Geológico de los Estados Unidos, USGS) utilizó por primera vez los ADCP en 1985, y publicó la descripción de un sistema para medir el caudal en tiempo real mediante un ADCP en 1993.

Los ADCP constituyen una herramienta establecida para las medidas fluviales y son varias las empresas que los fabrican (RDI, 1996; SonTek, 2000). Actualmente, tanto los medidores acústicos de velocidad en un punto como los ADCP se emplean en aproximadamente el 30 por ciento de las mediciones de caudal que lleva a cabo el USGS.

Los ADCP han sustituido en gran medida el uso de los medidores mecánicos en embarcaciones del USGS. Además, los ADCP pueden medir de forma precisa el caudal en ríos que tengan corrientes bidireccionales en la columna de agua sin necesidad de emplear técnicas especiales, puesto que los instrumentos miden la velocidad y dirección de la corriente. Los instrumentos mecánicos de velocidad suelen medir simplemente la velocidad de la corriente.

Debido al creciente interés por la calidad de la medición de las corrientes de agua y por los hábitats acuáticos de la superficie, se necesita información adicional para realizar actividades de control, elaboración de modelos e investigación en materia de transporte de sedimentos, socavación, estructuras hidráulicas y restauración de hábitats. En realidad,



buena parte de la información necesaria, como por ejemplo el cálculo de las fuerzas ejercidas por el agua y la posible medición de las concentraciones de sedimentos, está disponible en los archivos ADCP sin procesar, aunque los fabricantes de la instrumentación no suministran las herramientas adecuadas de proceso y extracción. De cara a este propósito, diversos grupos de usuarios han desarrollado algoritmos personalizados.

Las mediciones llevadas a cabo por investigadores en ríos naturales muestran la capacidad de los dispositivos ADCP para suministrar otros datos además de los relativos al caudal mediante la utilización de programas informáticos personalizados como, por ejemplo, el AdcpXP, desarrollado por el Instituto de Investigaciones Hidráulicas de Iowa. Los archivos sin analizar pueden procesarse de forma que describan información sobre la velocidad del río, ya sea en forma de valores generales o medios para una sección transversal (una dimensión) o como valores locales en puntos específicos de la corriente (como en dos y tres dimensiones).

Algunos ejemplos de información unidimensional que puede determinarse a partir de los archivos ADCP sin procesar son los siguientes: la profundidad transversal media, la velocidad transversal media y el número de Froude.

El software de presentación puede utilizarse con datos ADCP con el fin de mostrar cómo varía la velocidad local dentro de una sección transversal de un río. Es posible determinar las características medias y de turbulencia en la sección transversal de un río, a partir de las velocidades recopiladas en un cierto tiempo, mediante el amarre o anclaje de la embarcación provista del dispositivo ADCP en una localización fija. (Boletín de la OMM 57 (3) – Julio de 2008)

#### ***2.4.4 Velocímetro acústico Doppler***

Un medidor acústico Doppler de velocidad, conocido como el ADV, se ha desarrollado para medir las velocidades del agua en cauces abiertos, a unos pocos centímetros del sensor. Como la distancia de la medición de la velocidad es pequeña proporciona datos de velocidad que se puede considerar velocidades puntuales, a efectos prácticos, el uso de este instrumento está limitado a medir el caudal en ríos poco profundos.

Los ADV son fabricados por varios proveedores, incluyendo SonTek y Corporaciones Nortek, y tienen diferentes frecuencias acústicas y configuraciones en función de la aplicación prevista.

En particular SonTek ha desarrollado un ADV conocido como Flow Tracker que es el instrumento con el cual se desarrollo este trabajo de tesis, está diseñado específicamente para realizar mediciones de vadeo de caudal, es decir recorrer la sección transversal



haciendo mediciones de velocidades puntuales. El Flow tracker está diseñado para hacer mediciones de caudal utilizando el mismo método general que se utiliza para medidores mecánicos de flujos como se describió anteriormente (método área-velocidad).

El Flow Tracker ha sido probado por el USGS en el laboratorio y en campo. Se han hecho pruebas simultáneamente con medidores mecánicos con el fin de tener puntos de comparación entre ambos instrumentos, en las pruebas encontraron que en general, los algoritmos del Flow Tracker para medir el caudal son correctos, al igual que las medidas de velocidad, en comparación con las mediciones simultáneas, cumplen con los estándares convencionales de precisión para medidores de corriente en condiciones reales.

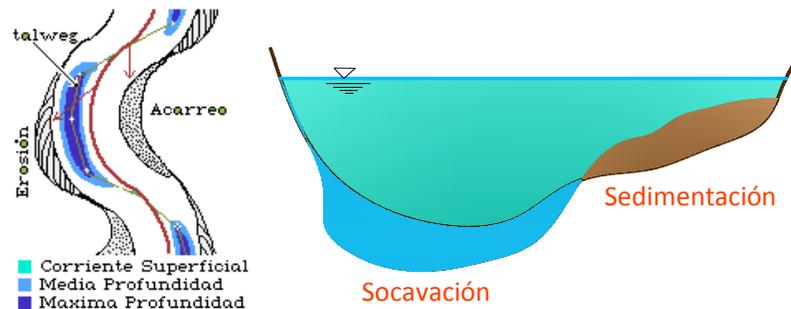
Según el MANUAL ON STREAM GAUGING VOL 1, publicado por la OMM se han utilizado en la realización de estudios de laboratorio, también para detectar campos de flujo turbulento alrededor de estructuras interpuestas en la corriente y estudios del océano.

Tanto los perfiladores de corriente de efecto Doppler acústicos (ADCP) y los velocímetros gráficos de partículas a gran escala (LSPIV) y otras tecnologías de radar, no son de uso común en México, no convencionales, pero se hace mención en este trabajo, ya que forman parte de esta nueva generación de medidores cuyas características principales son el uso de varios “medidores” en uno solo y el manejo de la información en archivos de computadora.

El uso de los medidores ultrasónicos en general tiene un uso más a fin de la investigación en laboratorios o investigaciones de campo en donde se requieran hacer mediciones con más detalle de las condiciones hidrodinámicas en canales o ríos. Para otros fines distintos no es común dado que es relativamente más fácil tener una sección de aforo donde se tengan instalados dispositivos calibrados para diferentes condiciones de flujo, como vertedores, Parshall, compuertas entre otros.

## 2.5 Socavación general en un río

En toda la longitud de un cauce natural se pueden presentar diversos fenómenos asociados a los sedimentos, en unas secciones o tramos se puede presentar erosión del material que conforma el lecho, debido al aumento del caudal en la sección, este fenómeno es común que se dé en zonas de alta montaña donde la pendiente prevalece y en consecuencia se tienen altas velocidades, pero también se puede tener una acumulación de sedimentos que es donde se deposita después de ser transportado, que generalmente se presenta en ríos de planicie, donde las velocidades son pequeñas llegando en algunas ocasiones a formarse meandros.



**Figura 2.6** Proceso de sedimentación y socavación en secciones transversales en cauces naturales.

Todos los cauces naturales están expuestos a sufrir erosión por el paso de avenidas en época de lluvias, a este proceso de erosión del lecho de ríos aluviales o cohesivos se le conoce como socavación. Sin embargo no solo los gastos superiores a los valores medios de escurrimiento provocan que se erosione el lecho, sino que también se incrementa la profundidad de socavación debido a la modificación de las condiciones hidráulicas en un tramo o en una sección del cauce por la fundación de alguna obra hidráulica interpuesta a la corriente. (Pérez Morales, Rodríguez Castro y Molina Aguilar, 2010).

La socavación que se puede presentar en un río, ya sea producto del paso de una avenida o por la presencia de una obra que se construyó en el río, se puede clasificar como:

- General
- Transversal
- En curvas
- Local en obras rodeadas por la corriente
- Local en obras unidas a la margen
- Agua abajo de presas
- En obras de descarga
- Bajo tuberías

La socavación se estudia en dos partes por un lado la socavación general y por otro la socavación local. La socavación general es producto de la acción dinámica de la corriente y es un fenómeno a largo plazo sin embargo se pueden tener eventos como avenidas extraordinarias que aceleran el proceso.

Una corriente de agua que se desplaza en un cauce o en una zona de inundación tiene una cierta capacidad de arrastrar partículas que constituyen el lecho sobre el cual escurre el flujo. Este movimiento de material sólido en cauces naturales es un fenómeno que depende de diversos factores tales como la configuración geológica y topográfica del cauce, las características del material de arrastre y las características hidráulicas de la corriente.



La socavación general consiste en una disminución generalizada del nivel del fondo como consecuencia del incremento de la capacidad del flujo, al presentarse una creciente y se debe al aumento en la capacidad de arrastre de material sólido que en ese momento adquiere la corriente debido a que aumenta la velocidad, este fenómeno es un proceso natural que puede ocurrir a todo lo largo del río donde no interviene la mano del hombre.

Sin duda uno de los parámetros de mayor importancia es la velocidad, para que se considere que existe transporte de sedimentos es necesario que la velocidad media de la corriente sea mayor que la velocidad media crítica que soportan las partículas antes de iniciar el movimiento. En suelos cohesivos es aquella velocidad capaz de vencer la cohesión entre partículas o ponerlos en suspensión. En materiales sueltos será la velocidad que ha provocado un mayor movimiento generalizado en el fondo del cauce; no se considerará aquella velocidad que empieza a remover algunas partículas. (Juarez Badillo y Rico Rodríguez. Tomo III. 2008).

Estos dos actores tanto velocidad como sedimentos son consecuencia de otros. La velocidad depende de las características hidráulicas del río como son la pendiente la rugosidad y tirante, por parte de los sedimentos influye el diámetro de las partículas y el peso específico.

Para evaluar la socavación general se utiliza el método propuesto por Lischtvan-Lebediev, quien se basa en la condición de equilibrio entre la velocidad media del flujo ( $V_r$ ) y la velocidad media máxima ( $V_e$ ) necesaria para erosionar el material del fondo. Para hacer uso del método se tiene que tener la siguiente información. (Juarez Badillo y Rico Rodríguez. Tomo III. 2008).

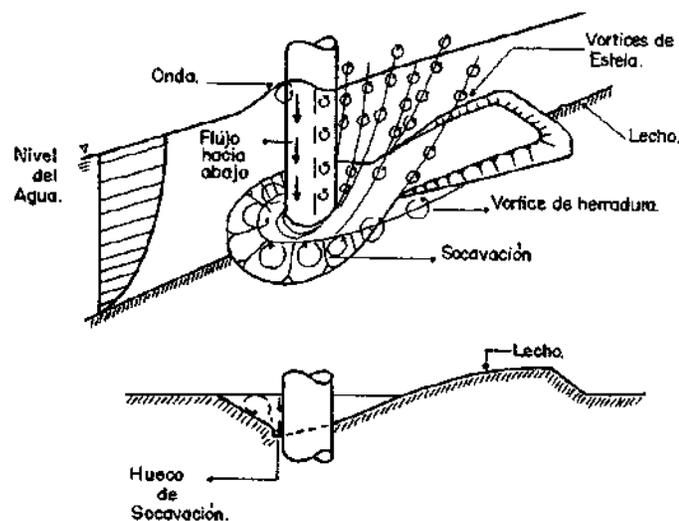
- Gasto de diseño asociado a su periodo de retorno.
- Sección transversal del río tomada en la temporada de estiaje.
- La estratigrafía del material del fondo en la sección de estudio.
- El peso específico seco para los materiales cohesivos y la curva granulométrica para los no cohesivos.
- La dirección del flujo en la sección de estudio o sección de cruce.
- La geometría del obstáculo o puente
- Peso específico de la mezcla agua-sedimento.

## 2.6 Socavación local en pilas de puentes

Cuando se coloca un obstáculo dentro del cauce, como una pila de apoyo de un puente, se modifican localmente las condiciones de escurrimiento, cambiando en consecuencia la capacidad de arrastre en la zona de la obstrucción, y dependiendo de las condiciones con que llegue la corriente se puede presentar socavación local o bien se puede producir un depósito de sedimentos.

La socavación local es causada por el cambio de dirección de las líneas de corriente, la turbulencia, la aceleración del flujo y los vórtices resultantes inducidos por la obstrucción al flujo. La socavación local puede presentarse bajo condiciones de agua clara o lecho móvil.

Puede decirse que el mecanismo que produce la socavación está asociado a la separación tridimensional del flujo en la cara aguas arriba de la pila y a un vórtice periódico al pie de ella. La acumulación de agua hacia aguas arriba de la obstrucción produce una especie de onda en la superficie y un flujo vertical hacia abajo que crea un fuerte gradiente de presiones lo que ocasiona separación del flujo, como consecuencia de lo cual se origina un sistema de vórtices al pie de la pila llamados vórtices de herradura que son los principales causantes de la socavación.



**Figura 2.7** Proceso de socavación en una pila circular. Comportamiento del flujo y el área en la que incide. (Raudkivi, A. J., 1986).

Bajo la acción de los vórtices, el sedimento es transportado de manera rotacional. El flujo hacia abajo al frente de la pila actúa de forma vertical que forma un surco para luego girar 180°, el flujo hacia arriba combinado con los vórtices de herradura que se forman en la base



de la pila, remueve el material del lecho y si la tasa de transporte de sedimento desde la zona de obstrucción es mayor que el aporte de sedimentos proveniente de aguas arriba, se crea el hueco de socavación. El vórtice de herradura se extiende hacia aguas abajo de la pila hasta que pierde su identidad al confundirse con la turbulencia general del flujo. (B. W. Melville, 1975).

La separación del flujo a los lados de la pila crea otros vórtices más débiles, llamados vórtices de estela, que también se trasladan hacia abajo e interactúan con los vórtices de herradura haciendo que el lecho oscile lateral y verticalmente. La influencia de estos vórtices cesa rápidamente a medida que se alejan de la pila hacia aguas abajo. Por esto, aguas abajo de la pila generalmente se presenta sedimentación, (Raudkivi, A. J., 1986).

La socavación local se presenta en condiciones de agua clara o en lecho móvil. Para socavación en lecho móvil, el equilibrio eventualmente se restablece y la socavación cesa cuando el material que es transportado desde aguas arriba se equilibra con el que es removido del hueco. Para socavación en agua clara, la socavación cesa cuando el esfuerzo cortante causado por el vórtice iguala el esfuerzo cortante crítico del sedimento que conforma el lecho y por lo tanto no existe más remoción de sedimentos del hueco socavado.

En el diseño de cimentaciones poco profundas para puentes y que aparte estén dentro de la corriente de un río, el conocimiento de la profundidad de desplante es de vital importancia, pues una falla por socavación conlleva la destrucción total de la estructura, esto si la socavación total supera la fundación de la cimentación, pero también se pueden adoptar profundidades antieconómicas y excesivas y que no se necesitan en términos estructurales.

La USGS sugiere estimar la socavación total en un cruce de una carretera determinado los tres tipos de socavaciones:

1. A largo plazo, degradación del lecho del río
2. Socavación general en el puente
  - 2.1 Socavación general asociada a una avenida
  - 2.2 Socavación transversal
3. Socavación local en las pilas y estribos

Estos tres componentes de la socavación se suman para obtener el total en una pila. Esto supone que cada componente se produce independientemente de la otra. Teniendo en cuenta que es una forma conservadora de diseño.

Para hacer el cálculo de la profundidad máxima de socavación en la actualidad, parte de suponer que ésta depende de variables que caracterizan al flujo, al material del lecho en el cauce y a la geometría del puente, para terminar con una ecuación empírica de tipo determinístico, la cual es una ecuación que por medio de correlaciones, regresiones u otro



método numérico y a partir de datos que son fácil de medir físicamente, sintetiza un fenómeno físico en un resultado numérico, sin que exista una teoría que lo sustente. Ejemplo la ecuación de Lischtvan-Lebediev.

Por otro lado, existen muchas ecuaciones para calcular la profundidad de socavación en pilas, pero solo hay algunas aplicables para el caso de estribos y la socavación general por contracción u otras causas. Hay mucha incertidumbre sobre el uso de las ecuaciones y sobre cuál representa mejor las condiciones reales del río y del puente. Esto hace difícil establecer una sola ecuación que sea lo suficientemente precisa y segura para estimar las profundidades de socavación debido al alto grado de incertidumbre existente y a las muchas variables involucradas en el problema como son: flujo no permanente, caudal de diseño, geometría de las estructuras, turbulencia, tamaño y distribución del sedimento, características hidráulicas durante crecientes, ángulo de ataque del flujo, presencia de basuras y tiempo de duración de la creciente.

Es así como debido a la complejidad de todas las variables involucradas en la socavación no existe todavía una solución teórica válida, por lo que toca recurrir a los resultados de investigaciones experimentales de laboratorio basadas en análisis dimensional, que en algunos casos arrojan resultados muy diferentes y en algunos casos contradictorios. Las ecuaciones disponibles hasta la fecha son envolventes de resultados obtenidos de modelos físicos de laboratorio y muchas veces las profundidades de socavación son exageradas especialmente para el caso de estribos.

Debe aclararse que la máxima profundidad de socavación total está limitada por la presencia de un medio rocoso u otro material resistente que impedirá que progrese indefinidamente y no se llegue a los valores estimados.

El ingeniero evaluador de la profundidad de socavación deberá basarse no solo en los resultados que las ecuaciones arrojen, sino también, en el buen criterio, experiencia y conocimiento de las variables involucradas en el problema.

La mayoría de las ecuaciones son aplicables para cauces aluviales y no consideran la posibilidad de que materiales más gruesos presentes en el lecho acoracen el hueco de socavación, lo que limitaría su profundidad.

Dentro de los muchos métodos que existen para calcular socavación local en pilas se han seleccionado algunos, con el fin de ilustrar la gran variedad existente y cuáles son los parámetros involucrados: Laursen y Toch (1953, 1956); adaptación de Neill (1964) al método de Laursen y Toch; Larras (1963); Neill (1964); Arunachalam (1965, 1967); Carsten (1966); Maza Sánchez (1968); Breusers, Nicollet y Shen (1977); Universidad Estatal de Colorado (CSU); y Melville y Sutherland (1988), Froehlich (1991). Shen, Jain y



Fischer, Inglis-Poona, Chitale y Yaroslavtziev. Donde cada uno toma diferentes consideraciones en base a los estudios que realizaron.

En México la división de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la UNAM ha hecho un análisis relativo a su validez y campo de aplicación de tres métodos; el método de Maza-Sánchez, el criterio propuesto por Laursen y Toch y el Criterio de Yaroslavtziev.

Para el caso de estos dos criterios de Laursen y Toch y el de Yaroslavtziev debido a las consideraciones que hace uno y otro se ha encontrado que el criterio de Laursen y Toch determina el intervalo de aplicabilidad del criterio de Yaroslavtziev y que no deben de aplicarse en forma separada ya que uno limita en su aplicación al otro, recomendando que se seleccione el valor menor de la socavación determinada por ambos métodos.

Los estudios realizados hasta la fecha permiten decidir que los parámetros que, en mayor o menor grado, influyen en la socavación local al pie de las pilas de un puente, son los que se enlistan a continuación.

1. Parámetros hidráulicos
  - I. Velocidad media de la corriente
  - II. Tirante frente a la pila
  - III. Distribución de velocidades
  - IV. Dirección de la corriente respecto al eje de la pila
2. Parámetros del fondo
  - I. Diámetro de los granos
  - II. Distribución granulométrica del material de fondo
  - III. Forma de los granos
  - IV. Grado de cohesión o cementación
  - V. Peso específico sumergido
  - VI. Estratificación del suelo
3. Parámetros geométricos de la pila
  - I. Ancho
  - II. Relación largo-ancho
  - III. Perfil de sección horizontal
4. Parámetros de ubicación del puente
  - I. Contracción de la sección
  - II. Forma del río en planta
  - III. Obras de control de gasto que se hayan construido aguas arriba o aguas abajo.

Las pilas de un puente tienen formas muy variadas con efectos diferentes sobre los patrones de socavación. Por ejemplo, agudizar la punta aguas arriba de la pila reduce el efecto de los



vórtices de herradura y por tanto la socavación. Agudizar la punta aguas abajo de la pila reduce el efecto de los vórtices de estela. Una pila cuadrada ocasiona más socavación que una pila circular o de nariz aguda. Figura 2.8 y 2.9.

Es interesante notar que para una misma pila, colocada en el mismo lugar, la socavación máxima producida no siempre se presenta en el mismo punto de la pila pues también depende del esviajamiento de la pila aparte de la velocidad del agua. Se puede ver en las figuras 2.8 y 2.9.

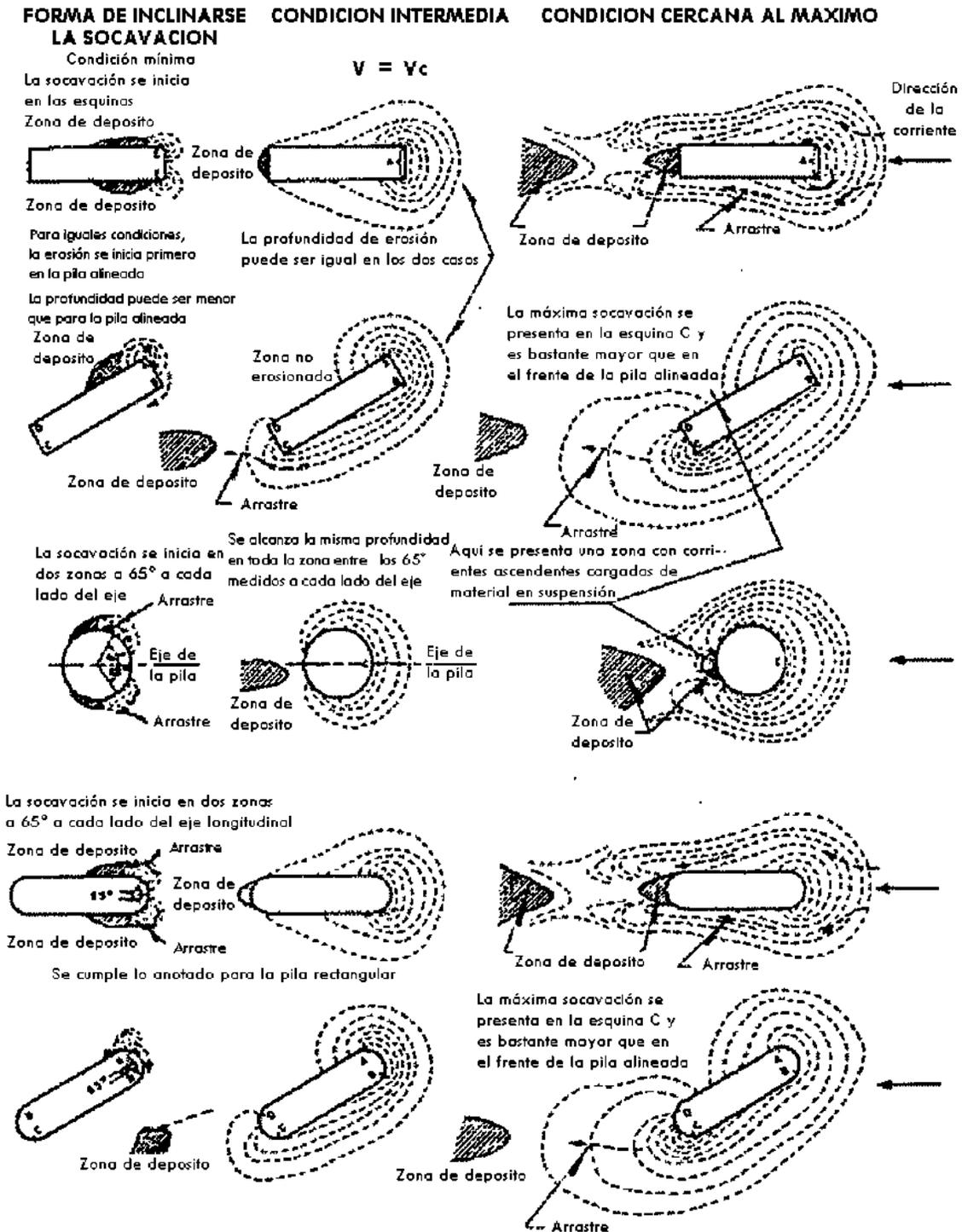
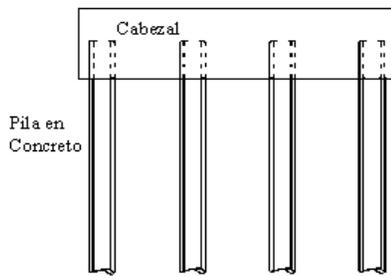
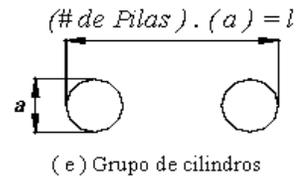
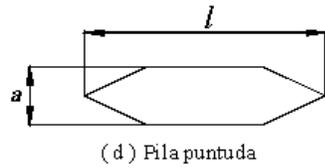
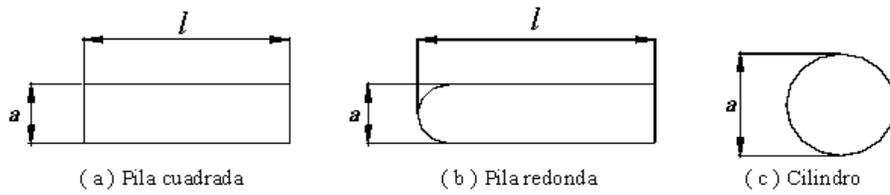
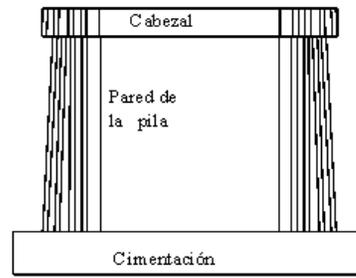


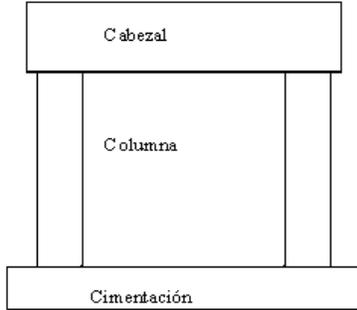
Figura 2.8 Se muestra esquemáticamente las trayectorias del agua y de las partículas de suelo alrededor del obstáculo y los avances sucesivos de la socavación. (Juárez Badillo y Rico Rodríguez, III, 2008).



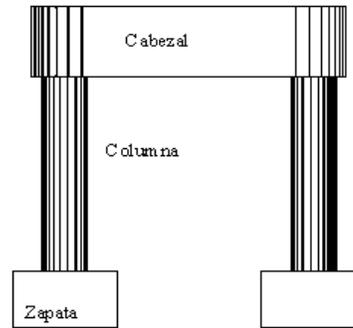
PILA ABIERTA



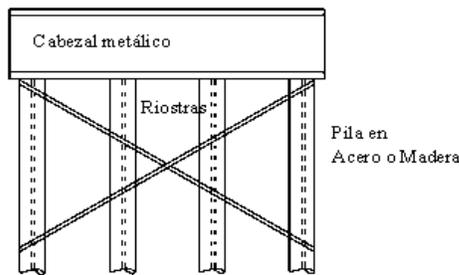
PILA SÓLIDA



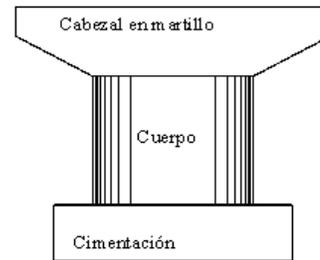
PILAS CON COLUMNA Y ZAPATA CORRIDA



PILA CON COLUMNAS SEPARADAS



PILA EN ACERO O EN MADERA ABIERTA



PILA EN CANTILVER O MARTILLO

Figura 2.9 Formas de pila más comunes. (U. S. Department of Transportation. 1979).



## 2.7 Uso de instrumentos de medición de velocidad en el monitoreo de la socavación.

En la Comisión Nacional del Agua se ha utilizado esta instrumentación de medición de velocidades como son los ultrasónicos de efecto Doppler, con el fin de controlar y verificar las cantidades de agua asignadas en las concesiones a los diversos usuarios de las fuentes de abastecimiento.

En lo que respecta al IMTA, en el canal de la presa Josefa Ortiz de Domínguez, se hizo un estudio experimental para evaluar y promover el uso correcto de las técnicas de aforo en canales más modernas existentes en el mundo, con un especial interés en los medidores de efecto Doppler. En el experimento se establecieron los criterios principales para la medición de caudal bajo la técnica de área velocidad (ISO 748) y recomendaciones de buen uso para los nuevos equipos de efecto Doppler. Para dar certidumbre a los resultados, durante la prueba se conformó un grupo de trabajo con personal de la Comisión Nacional del Agua (Conagua), la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y del Centro Nacional de Metrología. El grupo realizó sus evaluaciones en forma coordinada con los especialistas técnicos de empresas desarrolladoras de equipos de medición. Como resultado, se cuenta con una propuesta metodológica basada en una serie de procedimientos y prácticas para mejorar la selección, instalación y buen uso de equipos de medición en canales de riego en México. (IMTA 2007).

Según la organización mundial de meteorología, actualmente, tanto los medidores acústicos de velocidad en un punto como los ADCP o ADV se han empleado principalmente por el USGS para fines de investigación entre las que destacan algunos perfiles hidrodinámicos de socavación en estructuras hidráulicas.

En el 2007 la USGS hizo un estudio con el propósito de revisar las formulas existentes para calcular la socavación local en estructuras, en el cual se hizo uso de los perfiladores de efecto doppler ADCP para obtener el perfil de velocidades, en donde concluyeron que si se tiene una aproximación mas real de los cambios de velocidad que se presentan al pie de estructuras sin embargo no se puede generalizar, es decir se tiene que hacer un estudio para cada caso. (Tom Hsu and Minwoo Son. 2007). En lo que respecta al uso del Flow Tracker en estudios de socavación se carece de información. En lo referente se menciona como un instrumento que se ha usado en experimentos de laboratorio para obtener caudales e incluso para calibrar otros instrumentos de medición.

Por otro lado en la tesis de grado que presentaron en el 2008 Iván Hernando Ramírez Mendoza y Saily Antonia Torres Rosado de la Universidad Francisco de Paula Santander de Colombia, mencionan que actualmente los potentes modelos computacionales basados



en el método de elementos finitos (M.E.F) permite producir comportamientos de flujos de agua en cualquier tipo de contorno. Una de las principales ventajas de utilizar la aproximación por elementos finitos, es debido a su gran capacidad para ajustar geometrías complejas y permitir un refinamiento local de los lugares en que sea necesario. Presentaron el desarrollo de esquemas numéricos tridimensionales, que representan el comportamiento del flujo en cada pila, efectuando el análisis hidráulico del flujo alrededor de las diferentes geometrías de pilas (rectangular, circular y aerodinámica), y a su vez comparar el impacto que crean las secciones de pilas en el cauce, para hacer el análisis del perfil hidrodinámico lo desarrollaron en el software llamado ANSYS.

Este programa ofrece una incomparable capacidad de análisis de flujo como un campo vectorial de velocidades, un diagrama de las líneas de corriente, perfil de presiones entre otros datos de interés para diseño.



# METODOLOGÍA

## 3.1 Introducción

En este apartado se presenta un resumen de la metodología de manera general y lo que se hizo previo al uso del Flow Tracker para fines de esta tesis, en los siguientes temas se detallará todo el proceso para obtener la información de campo. Finalmente concluirá este capítulo con una descripción detallada de las mediciones de velocidad realizadas en el contorno de la pila del puente en estudio.

La realización del trabajo con el instrumento se puede describir en tres etapas. En la primera se puede denominar "*Revisión del aparato*". En esta etapa se revisaron los manuales que facilita el fabricante (SonTek/YSI), con la finalidad de entender el proceso de recolección de datos con el instrumento, se realizaron mediciones en los canales de flujo lento, tanto en una sección de flujo a régimen subcrítico como en una sección de flujo a régimen supercrítico, de igual manera en el canal de pendiente variable. Ambos modelos del Laboratorio de Hidráulica "Ing. David Hernández Huéramo" de la Facultad de Ingeniería Civil de la U.M.S.H. La intención también era identificar en que régimen se podía medir con facilidad sin que se tuvieran errores por cuestiones del entorno, hacer una comparación entre velocidad medida con el Flow Tracker y la velocidad medida con el molinete electrónico de hélice.

En la segunda etapa que se puede denominar "*Revisión del funcionamiento de los sensores*", se hizo una revisión de la potencia de los sensores del aparato. Usando un programa que proporciona el fabricante, se obtuvo una gráfica donde se muestra la amplitud de la fuerza de la señal que emiten los sensores, de esta manera se determinó que estaban en condiciones satisfactorias para realizar las mediciones de velocidad en el puente.



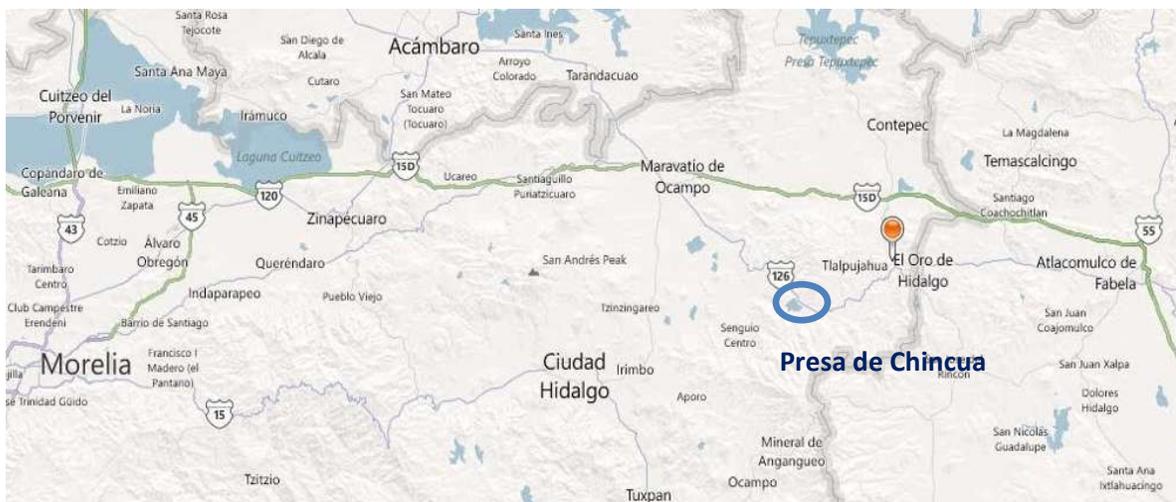
Para lo anterior se necesitó instalar el programa en una PC, conectar el Flow Tracker a la PC al mismo tiempo que se introducían los sensores en una cubeta de 20 litros con agua y con material fino en suspensión para obtener mejores resultados.

En la tercera etapa denominada “*Mediciones en campo*”, se procedió a medir las velocidades en el entorno de la pila del puente, usando el Flow Tracker, sabiendo que no se tenía problemas de funcionamiento de los sensores y además que el instrumento funcionaba bien y que los datos que mostraba eran confiables.

## 3.2 Descripción del sitio

### 3.2.1 Ubicación

El puente que se eligió para hacer las mediciones se encuentra localizado en el municipio de Tlalpujahua al oriente del estado de Michoacán. Limita al norte con Contepec, al este y sur con el Estado de México y al oeste con Senguio y Maravatío. Su distancia a la capital del Estado es de 156 Km.



**Figura 3.1** Ubicación del municipio de Tlalpujahua en el estado de Michoacán.

El municipio de Tlalpujahua cuenta con la presa de Chincua que es una de la más importante en ese municipio, esta presa se encuentra en la localidad de Chincua del mismo municipio y es alimentada por varios ríos intermitentes o efímeros y solo uno de ellos que es el principal es perenne. Paralelo a este río se tiene la carretera Maravatio-Tlalpujahua

que conecta al poniente con la ciudad de Morelia y al oriente con el estado de México. Figura 3.1



**Figura 3.2** Micro-Localización de la presa de Chincua y del puente, objeto de estudio.

La comunicación vía terrestre entre la comunidad de Chincua y la carretera Maravatio-Tlalpujahua es por medio de una carretera de terracería, la cual tiene que cruzar el río sin nombre pero que es el principal. Para ello se cuenta con un puente que permite el paso de los habitantes de esta comunidad, que si bien no es un puente de gran tamaño pero cuenta con las características que se requerían para desarrollar este trabajo de tesis, es decir cuenta con una pila interpuesta en la corriente del río y que presenta indicios de socavación al pie de la misma. El puente está a 1.40 km de donde termina el área de inundación de la presa, a 0.33 km de la carretera Maravatio-Tlalpujahua y a 13.5 km de la cabecera municipal tiene coordenadas aproximadas de 19°45'31.67"N de latitud, 100°16'8.63"O de longitud y 2447 m.s.n.m.

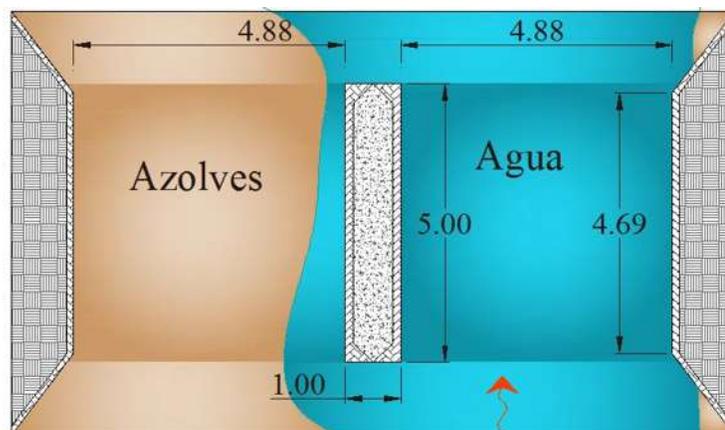
### 3.2.2 Descripción del puente

La estructura del puente se apoya en dos estribos y en una pila, los estribos se encuentran apoyados en los taludes del río, la forma del estribo es trapecial con la base menor de cara a la corriente con longitud de 4.69 metros y están construidos con mampostería de piedra braza de la región. La pila se encuentra a la mitad de la sección transversal del río y es una pila del tipo “biselada” apoyada en un dado de cimentación rectangular ambos de concreto armado. Las dimensiones de la pila son 5.0 m de largo por 1.0 m de ancho tal como se muestra en la figura 3.3.

La superestructura del puente está conformada por una losa de concreto armado y apoyada en dos traveses que a su vez estas se apoyan en los estribos y la pila intermedia. La intensidad de tráfico es muy pequeña al igual que el nivel de cargas pues se tiene únicamente el paso de vehículos ligeros.

### 3.2.3 Descripción de la corriente.

Se observa en la figura 3.3 que el agua no moja todo el lecho del río y que la mayoría del caudal está pasando entre el estribo de la margen derecha y la pila, lo que ocasiona una reducción del área transversal y en consecuencia una velocidad mayor. Aguas abajo de la estructura la sección transversal del río es más ancha y se percibe una disminución de la velocidad. Mientras que aguas arriba de la estructura del puente se observa un flujo no uniforme dado que escurre a través de fragmentos de roca chicos y con movimiento de una margen a otra.



**Figura 3.3** Esquema del puente en planta donde se perciben los estribos, la pila y el espejo del agua.



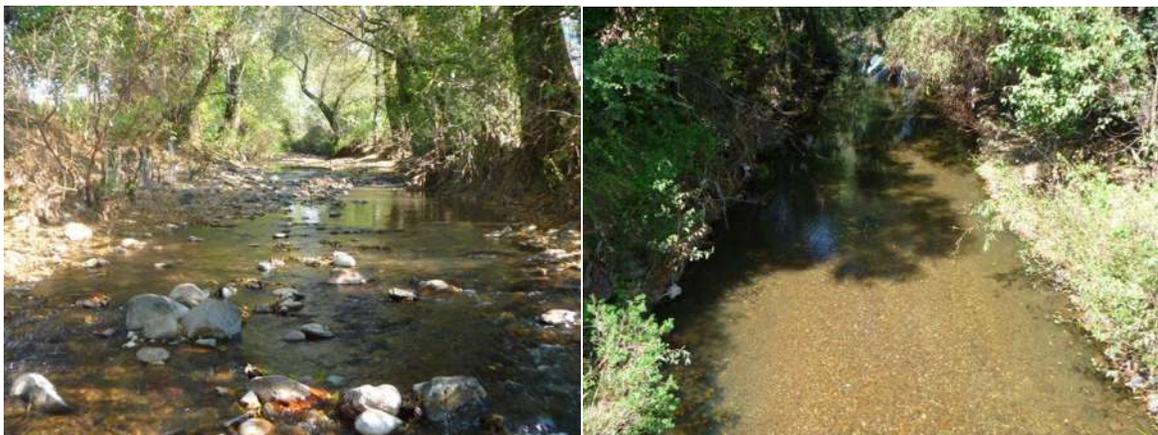
**Figura 3.4** Fotografía del puente objeto de estudio, vista aguas arriba (izquierda) y vista aguas abajo (derecha).



**Figura 3.5** Fotografía del puente donde se ilustra la pila y el estribo.

Las mediciones de velocidad se hicieron en noviembre del 2010, y en esa fecha el río conducía un caudal de  $0.20 \text{ m}^3/\text{s}$  sin embargo en época de avenidas se percibe en las márgenes que alcanza tirantes de agua hasta de 1.80 m en la sección media entre la pila y el estribo. El ancho del río es variable desde 4.60 m hasta 7.00 m, la profundidad promedio del agua justo por debajo del puente es de 0.40m

Aguas arriba de la estructura del puente el lecho del río está conformado por fragmentos de roca chicos y granulometría de menor tamaño, a partir de la estructura y aguas abajo de ella, la granulometría es más uniforme con diámetros menores a 75 mm. Es un río estable y presenta características de acorazamiento pues no había transporte de sedimentos en la capa de fondo.



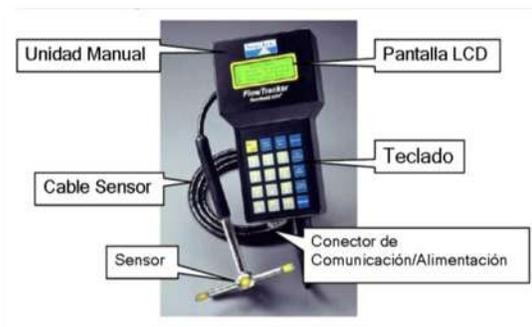
**Figura 3.6** Fotografías aguas arriba y aguas abajo del puente respectivamente, donde se ilustra la granulometría del fondo del río

### 3.3 Descripción del Flow Tracker

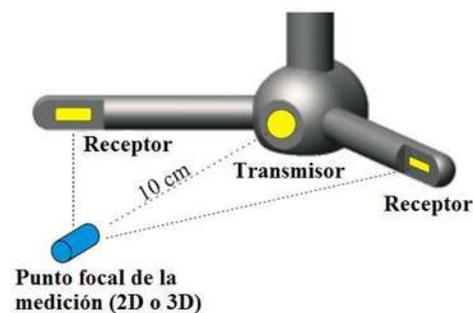
#### 3.3.1 Generalidades

Como se mencionó en el capítulo anterior, el Flow Tracker es un instrumento electrónico que permite medir velocidades puntuales dentro de un cauce o conducto abierto. El Flow Tracker usa la tecnología del Velocímetro Acústico Doppler (ADV). El uso del Flow Tracker y su tecnología ADV tiene varias ventajas.

- Medidas precisas de velocidad. El Flow Tracker mide velocidades desde 0.001 m/s hasta 4 m/s. Si se combina con una vara graduada, el Flow Tracker puede usarse para medir el caudal total de una sección transversal de un río.
- Medidas de velocidad en 2D y 3D (dependiendo de la configuración del sensor). Las medidas se realizan en un pequeño punto de medición situado a 10 cm. del transmisor acústico. Esto permite medidas en corrientes naturales libres de cualquier alteración causada por el instrumento. Figura 3.7.b
- Calibración invariable de fábrica. No son necesarias calibraciones periódicas, a no ser que se dañe físicamente el sensor.
- Rendimiento excelente en corrientes grandes y pequeñas. Los datos de velocidad tienen un error relativo del 1% de la velocidad medida en muestras por segundo.
- Los datos de velocidad pueden ser usados inmediatamente sin necesidad de correcciones post-proceso.

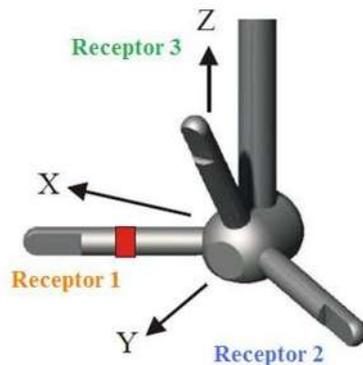


**Figura 3.7.a** Partes principales del Flow Tracker



**Figura 3.7.b** Configuración del sensor del Flow Tracker.

El Flow Tracker lo integra la unidad manual el cual tiene una pantalla y un teclado alfa numérico, muchas de las teclas tienen diferentes funciones, un cable que conecta la unidad manual con el sensor y finalmente el sensor el cual puede tener 2 configuraciones (figura 3.8.b), para su funcionamiento usa 8 baterías AA.



**Figura 3.8.a** Ejes coordenados del sensor.



**Figura 3.8.b** Sensores del Flow Tracker para medir velocidad en 2D o velocidad en 3D respectivamente.

Para facilitar las mediciones en campo es necesario contar con una varilla graduada donde se pueda montar el Flow Tracker y guiar el sensor para obtener datos de velocidad a diferentes profundidades, esta varilla ya no es parte del Flow Tracker el fabricante (SonTek/YSI) proporciona varillas para tal fin sin embargo el usuario puede adaptar una a su gusto y necesidades.

### 3.3.2 Panorama general de uso del Flow Tracker

El Flow Tracker es útil para medir gastos y/o velocidades en una sección transversal en un río, canal o cualquier conducción a superficie libre, mediante el uso de dovelas tal como se menciona en el capítulo anterior, el Flow Tracker es capaz de integrar áreas con velocidades y mostrarnos como resultado el gasto. Si solo se desea conocer la velocidad no es necesario hacer dovelas y solo basta colocar el sensor en el punto donde se desea conocerla.

De acuerdo al fabricante, el Flow Tracker puede utilizarse en:

- Corrientes naturales
- Presas y Canales
- Canales abiertos
- Irrigación
- Tratamiento de aguas
- Aguas fluviales



El Flow Tracker está integrado por tres partes principales que conforman su funcionamiento interno.

- 1 Definición de parámetros.
- 2 Funciones del sistema.
- 3 Iniciar medida.

**1.-** La *definición de los parámetros* determina como el Flow Tracker recolecta la información, en otras palabras, es darle instrucciones de lo que queremos medir y como lo tiene que medir. Se enlistan a continuación:

**Unidades.** Inglés o métrico para mostrar la información.

**Tiempo de Muestreo.** Se le indica el intervalo de tiempo para cada recogida de datos en una sola estación (Mínimo 10 segundos).

**Modo.** En esta parte se elige si el usuario quiere medir caudal o únicamente velocidad. Si el objetivo es medir el caudal en un río o arrollo, el Flow Tracker tiene 3 métodos para poder calcularlo: Ecuación de sección media, Ecuación de sección promedio, y la Ecuación Japón. Sin embargo la ecuación por defecto y la más usada es la ecuación de la sección media, este método lo recomienda la U.S. Geological Survey (USGS) y está descrita en los estándares ISO 748 (1997) y 9196 (1992). Por el contrario si solo se desea hacer una recogida de velocidades se elige el Modo General. En ambos modos el Flow Tracker toma medidas de velocidad cada segundo y toma un promedio de todas para mostrar la velocidad de esa estación.

**Ajustes C.C.** (Ajustes de control de calidad de datos). Son los Ajustes para que el Flow Tracker revise internamente la información, estos parámetros de C.C. son automáticamente examinados con cada medida y al completar una sección transversal. Si algún valor excede el criterio previsto se da una alarma. Los parámetros más importantes son:

- Establecer avisos del SNR, (relación señal/ruido, promedio de todos los receptores). Cuando el SNR es bajo nos indica que no hay suficiente turbiedad en el agua lo cual la tendríamos que generar para obtener datos mucho más confiables. Generalmente se usa un valor de 4 dB como mínimo.
- Mínimo error estándar de velocidad ( $\sigma V$ ), este valor es una medida directa de la precisión de los datos de velocidad. Generalmente se usa un valor de 0.01 m/s como máximo, sin embargo puede ser mayor en entornos turbulentos.



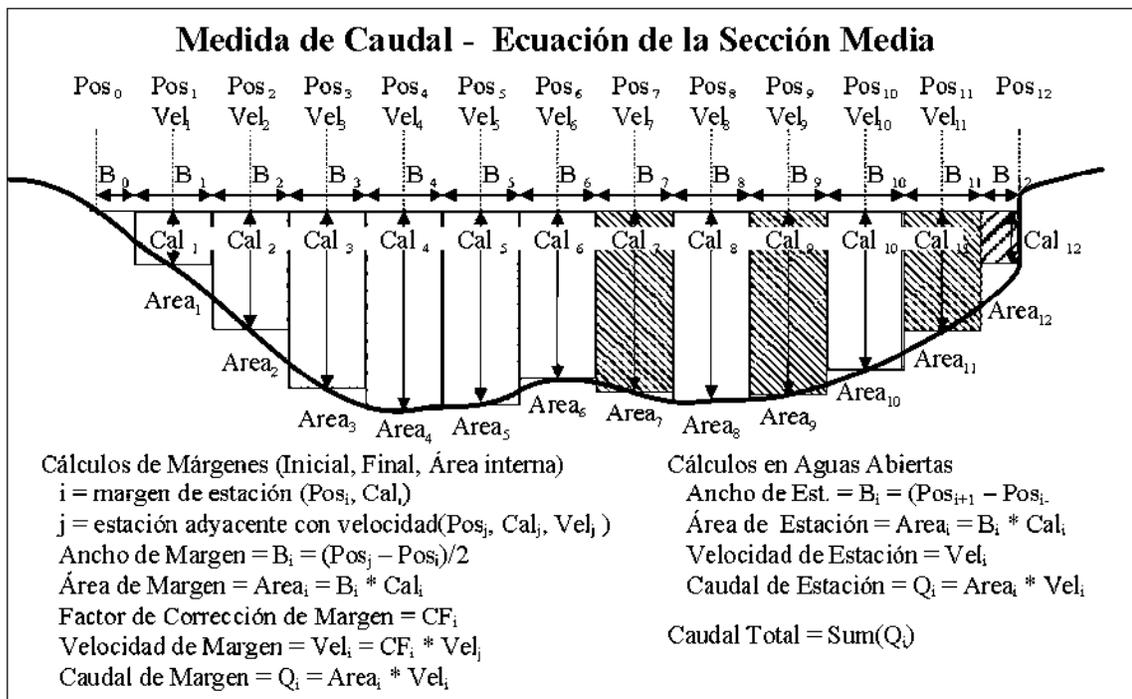
- Establecer el porcentaje de valores de velocidad atípicos dentro de una sola estación (picos). Cuando está dentro del porcentaje establecido, el Flow Tracker los elimina usando un filtro de picos. Un porcentaje elevado de picos nos indica que hay problemas en el entorno como pueden ser interferencias por obstáculos o agua sumamente aireada. Generalmente se usa un valor de 10% del total de muestras como máximo.
- El ángulo máximo permitido entre la dirección del flujo y el eje X del Flow Tracker. Lo ideal es 20° como máximo.

**Ajustes de caudal.** Aquí se eligen parámetros como la ecuación del caudal (Media, promedio o Japón) y ajustes como la variación de caudal, profundidad y posición.

**Salinidad.** Salinidad del agua en ppm, usado para cálculos de velocidad de sonido.

**Idioma.** Idioma operativo Inglés o español.

**Factor de Corrección de montaje.** Si aplica sería aplicado a los datos de velocidad. Sin embargo el fabricante recomienda no usar dicha corrección dado que se ha encontrado que la corrección a aplicar es menor del 1% de la velocidad. Por lo que se decide no aplicarse.



**Figura 3.9** Medida de caudal usando el método de la sección media. Fuente: Manual del Flow Tracker



2.- En la parte *funciones del sistema* proporciona acceso a los elementos que no afectan directamente la cantidad de datos recopilados, y la forma de procesar la información. Más bien en esta parte se revisa el estado del instrumento. Estos elementos deben ser revisados periódicamente y se enlistan a continuación.

**Visualiz. Archivos.** (Visualizar archivos). Se muestra la información de un archivo completo. La información incluye número de estaciones en la sección transversal, velocidad máxima, velocidad promedio y velocidad mínima en cada estación.

**Estado Record.** Muestra el número de archivos gravados y el espacio aun disponible.

**Formateo Record.** Borra todos los archivos de la memoria.

**Dato Temperatura.** Muestra la temperatura del sensor del Flow Tracker.

**Nivel Baterías.** Muestra la tensión de las baterías y el tiempo restante de uso.

**Diag. Dato Veloc.** (Diagnóstico de Datos de la Velocidad). Muestra la velocidad en bruto y la información SNR para comprobar operaciones básicas del sistema.

**Ens. Autom. C.C.** (Ensayo automático de control de calidad). Chequeo automático para verificar las operaciones del sistema. Esta es una opción automatizada y sintética del Software del Beam Check, con la cual se evalúa el funcionamiento de los sensores. Se detallará en la sección pruebas de diagnóstico de pre-utilización.

**Ver Configuración.** Muestra el número de serie del sistema, tipo de sensor y la versión del firmware.

**Ajustar Reloj.** Ajusta y cambia el reloj interno del Flow Tracker.

3.- En la parte *iniciar medida* se puede empezar a hacer la recogida de datos, el procedimiento y la secuencia real de pasos varía dependiendo de la configuración mencionada en el punto 1 (definición de parámetros).



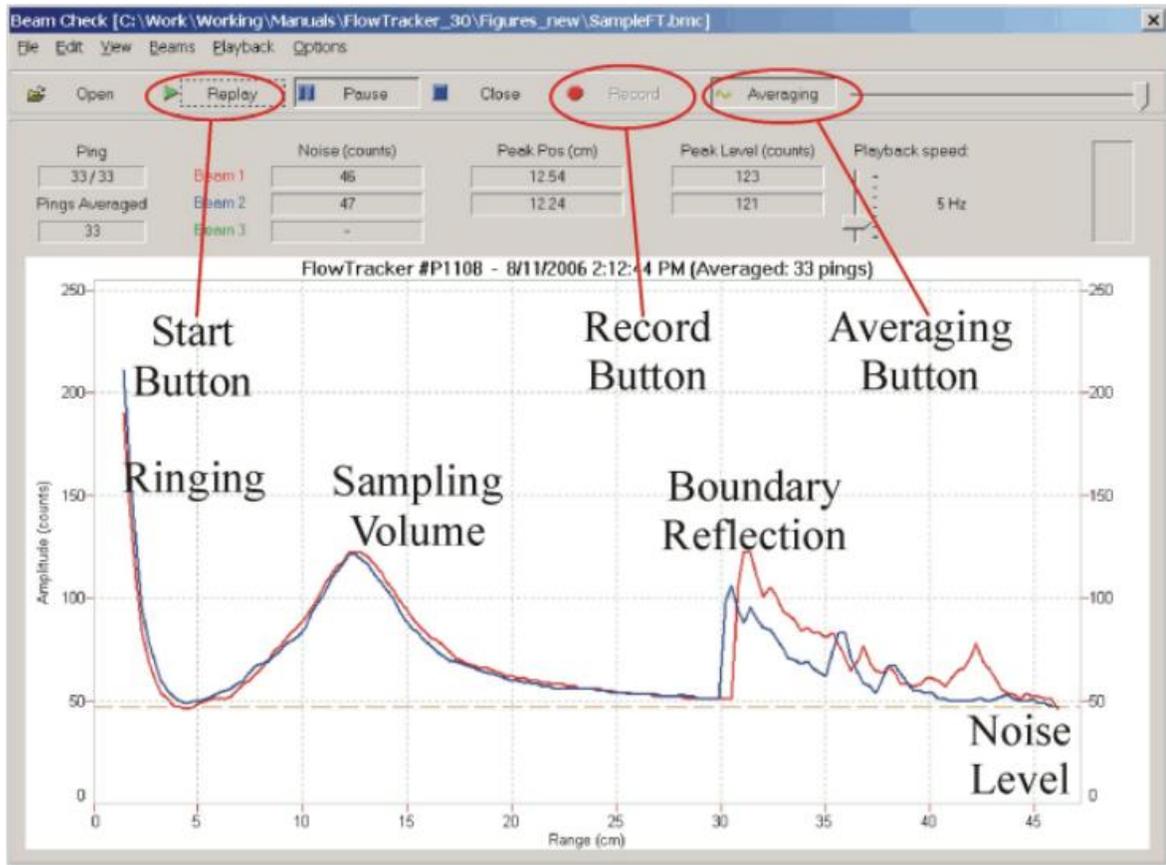
### 3.4 Pruebas de diagnóstico de pre-utilización del Flow Tracker

*Nota: En los textos siguientes se indicaran términos en inglés tal como se presentan en el manual del mismo y en el Software que proporciona el fabricante. Con la finalidad de ser congruente en los términos que ellos manejan.*

El diagnóstico del rendimiento del instrumento es una parte esencial que se debe tomar en cuenta para estar seguros de que los datos obtenidos del instrumento son correctos y tener la certeza de que el Flow Tracker funciona correctamente. El diagnóstico nos permite verificar el funcionamiento de los sensores y las operaciones del sistema o en su caso detectar si están dañados los sensores, el diagnóstico se puede llevar a cabo de dos maneras:

**Manera uno.** Antes de cualquier viaje extenso al campo de trabajo, deberá ejecutarse una prueba diagnóstico del sistema, utilizando una computadora externa y haciendo uso del software para Windows del Flow Tracker (Beam Check). Beam Check le permite evaluar todos los aspectos del funcionamiento del sistema, se conecta la unidad manual del Flow Tracker a la computadora mientras que el sensor se coloca dentro de una cubeta de agua, comúnmente se utiliza una de 20 litros. Se ejecuta el programa Beam Check y se inicia el diagnóstico. Normalmente se necesitan un mínimo de 20 muestras (Ping), se detiene y se graba el diagnóstico. El programa debe mostrar una gráfica de la amplitud de la señal de cada sensor, muy similar a la de la Figura 3.10. Si no es así, es posible que alguno de los sensores esté dañado. De la figura 3.10 la señal de ruido empieza con oscilación transitoria (RINGING), después se muestra el centro de volumen de muestreo (SAMPLING VOLUME) percibiéndose un aumento en la señal adoptando forma de campana. Luego el BOUNDARY REFLECTION nos indica la proximidad de un límite u obstáculo. Ya al final de la gráfica la señal disminuye hasta un nivel de ruido electrónico (NOISE LEVEL).

En esta figura también se muestran los botones de inicio de muestreo (START BUTTON), grabar el diagnóstico que se esté llevando a cabo (RECORD BUTTON) y si se desea calcular un promedio de muestras sucesivas (AVERAGING BUTTON).

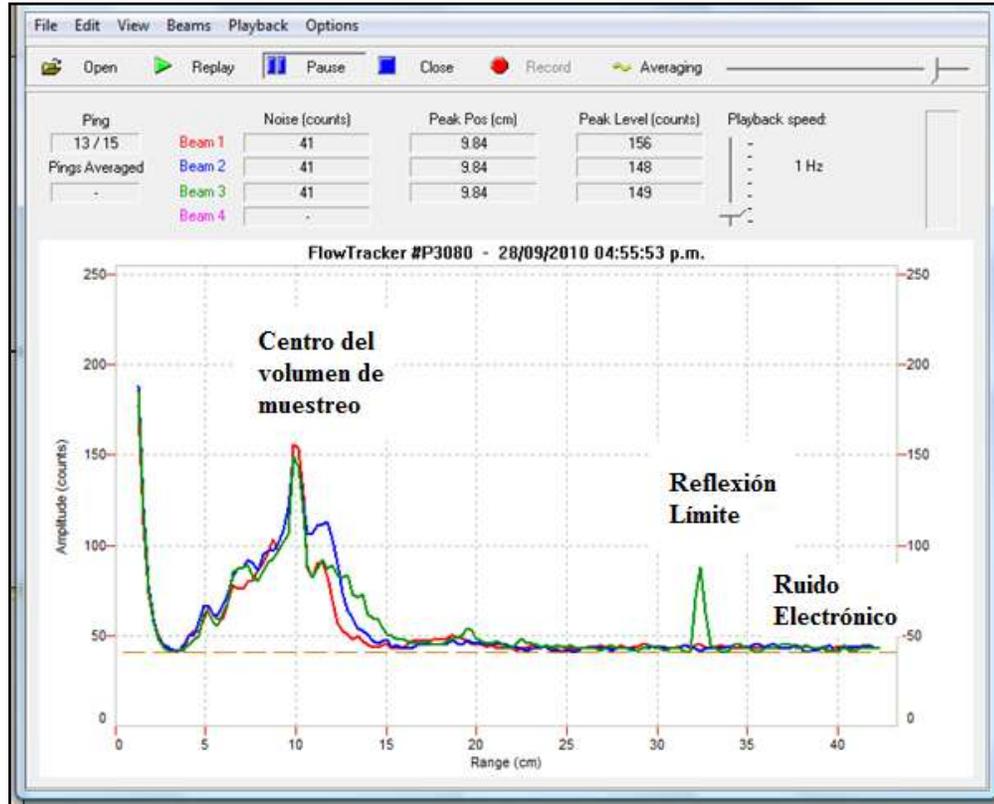


**Figura 3.10** Pantalla del Software de diagnóstico Beam Check.

Una vez que se guarda el diagnóstico del rendimiento del instrumento se puede volver a reproducir y analizar con más detalle el comportamiento del perfil de la fuerza de la señal.

El perfil indica la fuerza o amplitud de la señal que perciben los sensores cuando están dentro del agua y está graficado en el eje vertical en Counts (1count = 0.43 dB), mientras que en el eje horizontal se tiene la distancia a partir del sensor en cm.

Se realizó el diagnóstico de pre-utilización para el desarrollo de este trabajo de tesis y se obtuvo el perfil de la figura 3.11, en el que se observa que es similar al de la figura 3.10.



**Figura 3.11** Diagnóstico de pre-utilización del Flow Tracker

Se observan tres líneas de diferentes colores, cada color corresponde a un receptor, de acuerdo a la figura 3.8.a. La línea verde corresponde al receptor superior, la línea roja corresponde al receptor que lleva una marca roja alrededor del mismo y la línea azul al otro receptor que está en el mismo plano del antes mencionado. Ver figura 3.8.a para ubicar los receptores. Esto no quiere decir que cada receptor mida la velocidad en cada eje cartesiano. Lo que hace cada receptor es medir el cambio de frecuencia de la señal reflejada en el medio y que emitió el transmisor, con este dato se obtiene una velocidad llamada bi-estática, finalmente la velocidad bi-estática se transforma en velocidades cartesianas (X, Y, Z) usando la geometría del sensor y ángulos relativos entre las ondas emitidas y recibidas.

*La posición del volumen de muestreo*, esta indica un incremento en la fuerza de la señal en la parte curva con forma de campana. La curva de volumen de muestreo corresponde al pulso en tránsito pasando a través del punto focal de los receptores. El pico de esta curva corresponde al centro del volumen de muestreo. La posición del volumen de muestreo varía, pero normalmente se encuentra entre los 11-13 cm. puede haber variaciones en la altura y perfil de la curva, lo importante es que exista la forma de campana pues indica que los sensores están en buenas condiciones, y que son de utilidad para cumplir su finalidad



que es medir velocidades, las variaciones dependen del nivel de suciedad del agua es decir la cantidad de material fino en suspensión.

El pico afilado que se observa a la derecha de la curva de volumen de muestreo indica *una reflexión límite*, si el sensor está cerca de un límite como puede ser el fondo del recipiente, la pared del mismo o la superficie libre del agua, en este caso se observa que el sensor estaba cerca de la superficie del agua dado que el pico es verde.

El comportamiento de la gráfica nos indica que los sensores están en buen estado y que funcionan correctamente, por lo que se aceptará la información del Flow Tracker recabada en campo.

**Manera dos.** El otro procedimiento es haciendo un diagnóstico de pre-utilización de campo, este requiere solo unos pocos minutos y debe ser realizado en el campo de trabajo desde el interfaz del teclado numérico. Esto debe realizarse antes de cada inicio de medida. Dentro de este diagnóstico de campo los parámetros más importantes que hay que revisar son:

- Comprobar el espacio disponible para almacenar información
- Comprobar la información de la temperatura para asegurarse que es razonable para el entorno.
- Nivel de baterías
- Diagnóstico de datos de velocidad. Este parámetro es el más importante dentro del diagnóstico de pre-utilización en campo ya que permite obtener información física de velocidad y la fuerza de la señal. Este se realiza en el cauce donde se van a hacer mediciones de velocidad o caudal, sumergiendo el sensor del Flow Tracker en agua móvil y en la pantalla se obtienen datos de velocidad en X, Y y Z así como datos de SNR los cuales idealmente deben encontrarse por encima de 10 dB, pero no por debajo de 4 dB. SNR es la relación señal/ruido y es uno de los parámetros más importantes del funcionamiento del Flow Tracker, mide la fuerza de la reflexión acústica en las partículas del agua. Sin suficiente SNR, el Flow Tracker no puede medir la velocidad con la precisión necesaria. En la figura 3.8 se muestra un diagnóstico de datos de velocidad tomado antes de hacer las mediciones en campo para fines de este trabajo.



**Figura 3.12** Diagnóstico de datos de velocidad.

Como se puede apreciar en la figura 3.8 se muestran en la pantalla del Flow Tracker las tres componentes de la velocidad así como los valores de SNR para cada receptor. El número que está después de la palabra SNR (1, 2, 3) Indica el número del receptor de acuerdo con la figura 3.8.a.

### 3.5 Procedimiento de medición de velocidades con el Flow Tracker en el puente

Como el objetivo principal de este trabajo de tesis era hacer una revisión con el Flow Tracker del comportamiento de las velocidades frente a una pila de un puente y poder determinar si existe o se puede dar la socavación local, se procedió a medir velocidades tanto aguas arriba de la estructura, a lo largo de la estructura y aguas abajo de la misma, con el fin de comparar la velocidad del agua que se acerca a la pila y la velocidad del agua que se aleja de esta, procediendo como sigue.

Haciendo uso del método de las dovelas, se midió con el Flow Tracker velocidades puntuales a lo largo de toda la sección transversal de ancho variable por las condiciones naturales del río, cada dovela tenía un ancho de 0.50 m. Se midió la velocidad en cada dovela a la mitad del tirante de cada estación.

La primera sección transversal que se midió estaba a 4.85 m. del paño de la pila y aguas arriba de esta. No fue posible extenderse más arriba dado que el flujo estaba condicionado por el lecho de rocas de entre 10 cm a 50 cm y que es totalmente independiente de que estuviese o no la pila del puente. Se midieron un total de 20 secciones transversales con separación entre ellas de 1.00 m hasta cubrir una longitud total de 20.00 m, que equivale a 9.15 metros aguas abajo del paño de la pila.



En la figura 3.13 se muestra la configuración en planta del cauce y del puente, también se indican las 20 secciones transversales y con pequeños círculos rojos la estación donde se midió la velocidad puntual.

Además de las secciones mencionadas se hicieron dos secciones adicionales muy cercanas a la pila tal como se muestra en la figura 3.14 donde se midió velocidades a diferentes profundidades.

La definición de parámetros en el Flow Tracker que se utilizó en la recogida de datos fue usando el sistema métrico decimal, el tiempo de muestreo en cada estación fue de 40 segundos que es el tiempo recomendado por el fabricante, el modo “General” (para velocidades), en cuanto ajustes de control de calidad de datos, se tomaron los valores por default del instrumento que se comentaron en la página 37 y 38. Al iniciar la medición de las velocidades en cada una de las secciones transversales se hacía un diagnóstico de datos de velocidad y un diagnóstico de control de calidad.

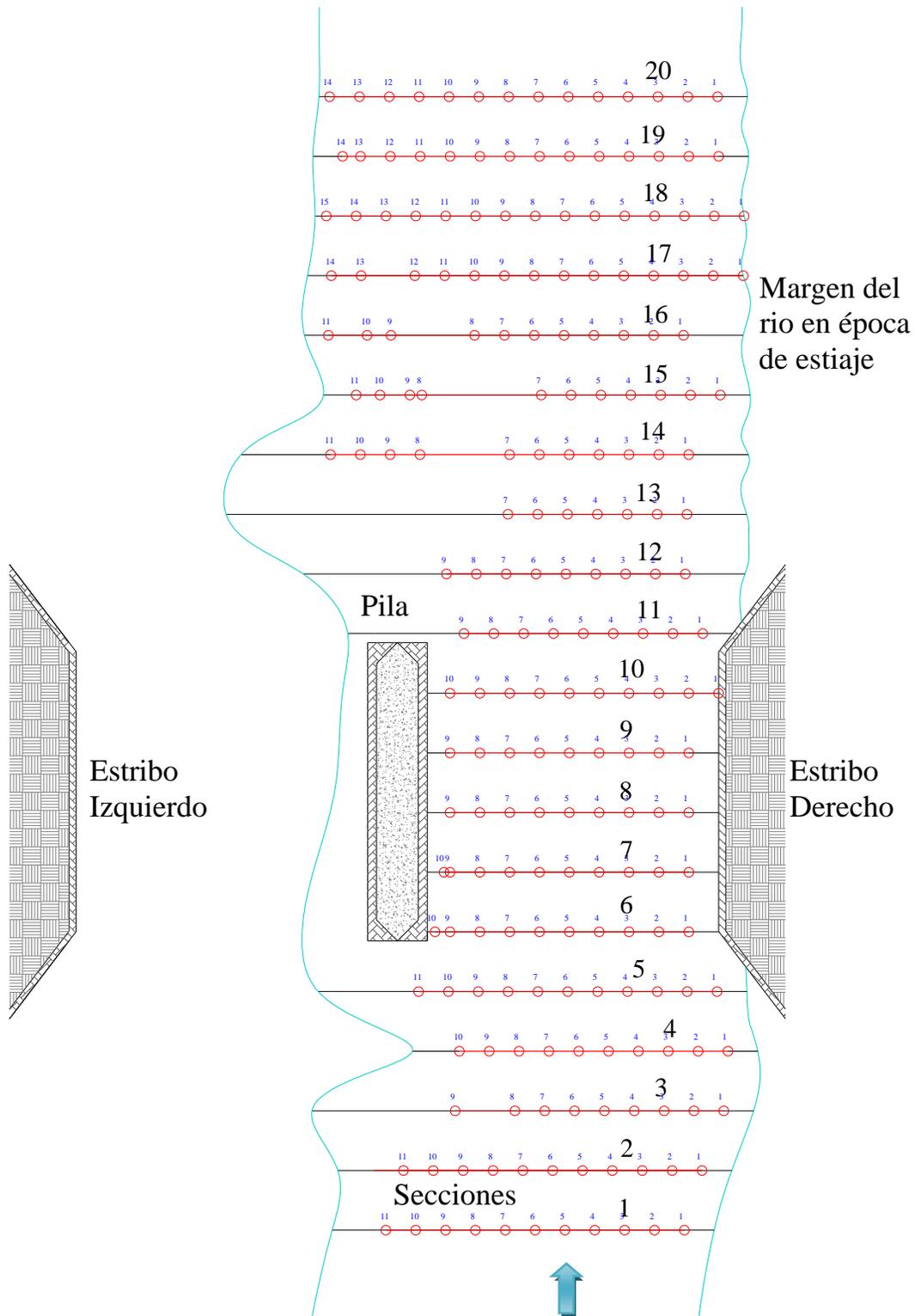
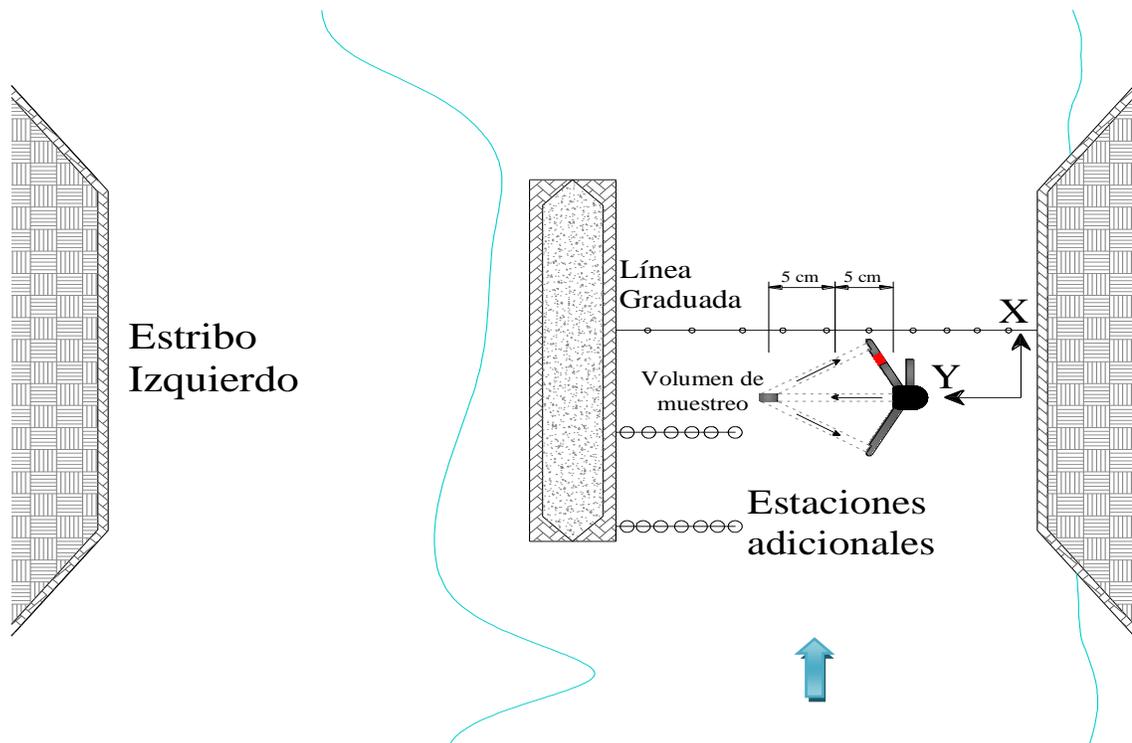


Figura 3.13 Planta de secciones en el río



**Figura 3.14** Detalle de donde se tomaron estaciones adicionales con datos de velocidades a diferentes profundidades. También se muestran los ejes X, Y del sensor

Una vez que se terminó de recabar información en campo se procedió a analizar los resultados, para ello se descargó esta información en una computadora donde se tenía instalado el software (Son Tek Flow Traker v2.30).

El Flow Tracker genera un archivo por cada sección transversal medida, y a partir de estos archivos se tabularon en Excel para generar tablas y de estas obtener gráficas que nos ayudan a interpretar mejor los resultados que se detallan en el capítulo análisis de resultados.

Es importante aclarar que cuando se refiera a la velocidad en la dirección X se está hablando del agua que escurre en el sentido del río de aguas arriba hacia aguas abajo. En la dirección Y es normal al flujo, para este caso es de la margen derecha hacia la margen izquierda y la dirección Z corresponde del fondo del río hacia la superficie libre del agua tal como se muestra en la figura 3.14.



## 4

# RESULTADOS

## 4.1 Introducción

En cada sección transversal con el Flow Tracker se recabó información generándose una tabla donde se muestran los resultados de la medición. Además de la información de velocidad genera un reporte de toda la sección donde se incluye información del archivo, del sistema y del instrumento, sistema de unidades, un resumen del promedio de SNR, promedio de temperatura, número de estaciones y promedio de velocidad en la sección transversal, entre otra información.

La información más importante es la tabla de resultados de las mediciones donde se detalla por estación las velocidades en X, Y, Z, la localización de cada estación y la profundidad a la que se midió la velocidad además de otros datos complementarios. Seguido de la tabla se muestran dos gráficas una de velocidad y una de profundidad con respecto de la distancia transversal.

Al final se anexa un resumen del control de calidad de datos y una gráfica semejante a la que presenta el Beam Check. A continuación se muestra una de las secciones transversales que se midieron en el puente con la finalidad de mostrar el informe que genera el Flow Tracker.

En la Tabla 4.1 se muestra la información de la sección transversal número 18 medida con el Flow Tracker, que la podemos usar para generar reportes ya que en la primera parte se muestra información general de la medición en la sección transversal, y después el resultado de las velocidades medidas en cada estación.

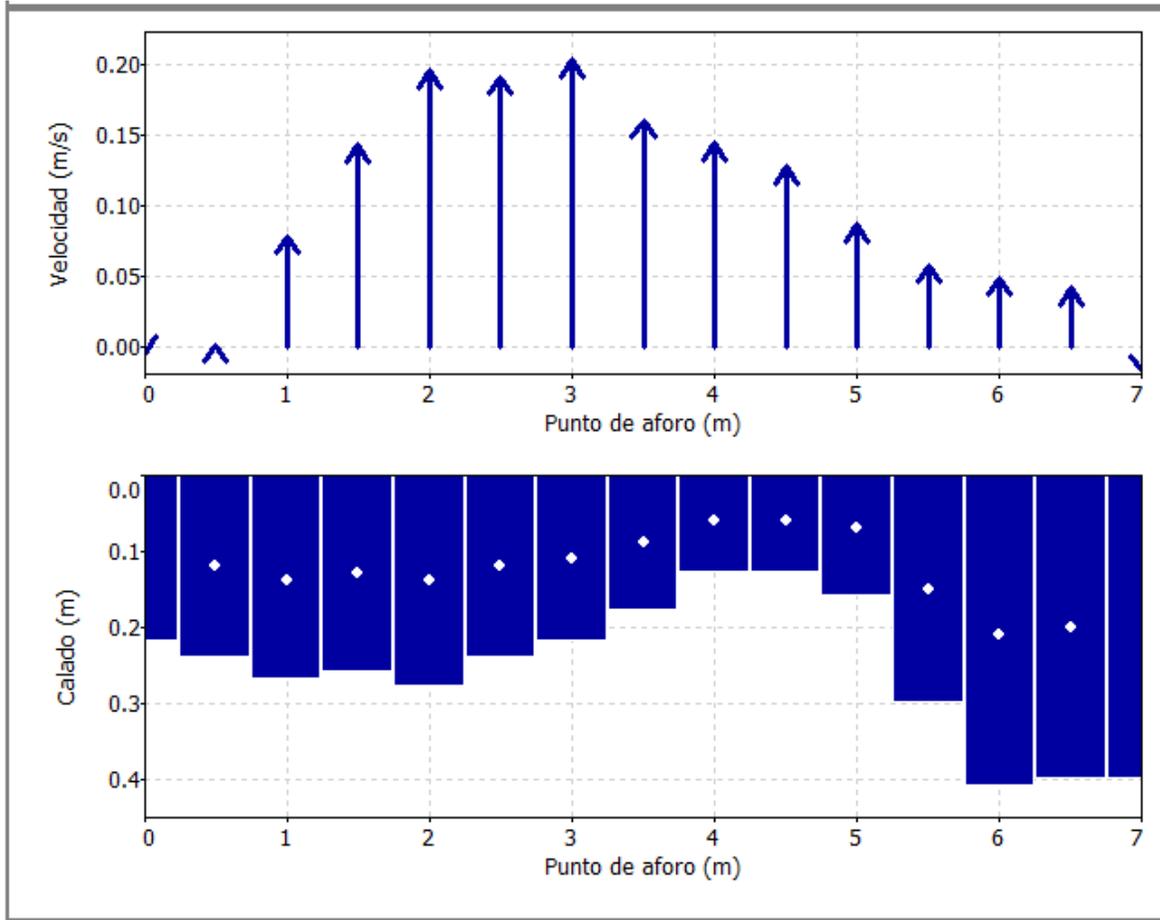


Tabla 4.1 Reporte generado por el Flow Tracker.

Resumen de aforo																	Datos generados: Thu Oct 13 2011			
<b>Información de fichero</b>								<b>Detalles del punto de aforo</b>												
Nombre del fichero DATOS18.WAD								Nom. del punto de aforo HIDRAULICA												
Fecha y hora de inicio 2010/11/21 11:14:00								Operadores												
<b>Información del sistema</b>								<b>Unidades técnicas (Metrico)</b>												
Tipo de sensor FlowTracker								Distancia m												
Numero de serie # P3080								Velocidad m/s												
Version de CPU 3.7								Area m <sup>2</sup>												
Version de software 2.30								Caudal m <sup>3</sup> /s												
Factor de corrección montaje 0.0%																				
<b>Resumen</b>																				
Int. de promediado 40								# Estaciones 15												
SNR promedio 15.4 dB								Velocidad medida Vx 0.0977												
Temp promedio 9.08 °C								Velocidad medida Vy 0.0244												
<b>Resultados de la medida</b>																				
St	PtoAfo1	PtoAfo2	Calado	CalMed	Reloj	Ndp	Spike	Vx	Vy	Vz	SNR1	SNR2	SNR3	Vxerr	Vyerr	Vzerr	Bnd	Temp		
1	0.00	0.00	0.220	0.110	11:13	40	0	-	-	-	28.3	28.3	27.5	0.0005	0.0007	0.0006	0	8.92		
2	0.50	0.00	0.240	0.120	11:16	40	0	0.0045	0.0017	0.0031	26.2	26.2	24.5	0.0020	0.0015	0.0019	0	8.93		
3	1.00	0.00	0.270	0.130	11:18	40	1	0.0791	0.0097	-	9.4	9.8	9.4	0.0033	0.0024	0.0028	0	8.97		
4	1.50	0.00	0.260	0.130	11:21	40	0	0.1435	0.0204	-	11.6	12.4	10.7	0.0045	0.0041	0.0044	0	8.99		
5	2.00	0.00	0.280	0.140	11:22	40	1	0.1964	0.0369	-	12.4	13.3	11.6	0.0055	0.0044	0.0048	0	9.02		
6	2.50	0.00	0.240	0.120	11:24	40	3	0.1916	0.0190	-	13.7	14.1	12.8	0.0084	0.0037	0.0049	0	9.04		
7	3.00	0.00	0.220	0.110	11:25	40	0	0.2038	0.0408	-	15.0	16.3	15.0	0.0073	0.0045	0.0052	0	9.05		
8	3.50	0.00	0.180	0.090	11:27	40	1	0.1612	0.0459	-	14.6	15.0	14.1	0.0054	0.0044	0.0067	0	9.08		
9	4.00	0.00	0.130	0.070	11:29	40	1	0.1451	0.0439	-	13.7	15.0	13.3	0.0072	0.0041	0.0057	0	9.11		
10	4.50	0.00	0.130	0.070	11:31	40	1	0.1286	0.0732	-	12.4	12.8	12.0	0.0042	0.0036	0.0038	0	9.13		
11	5.00	0.00	0.160	0.090	11:32	40	0	0.0871	0.0353	-	11.1	11.1	10.3	0.0039	0.0030	0.0027	0	9.16		
12	5.50	0.00	0.300	0.150	11:33	40	0	0.0582	0.0133	-	9.0	9.4	7.7	0.0030	0.0029	0.0024	0	9.17		
13	6.00	0.00	0.410	0.200	11:35	40	1	0.0494	0.0166	0.0025	7.7	7.7	6.8	0.0020	0.0029	0.0029	0	9.15		
14	6.50	0.00	0.400	0.200	11:38	40	0	0.0425	0.0202	-	14.6	14.6	13.3	0.0019	0.0019	0.0024	0	9.18		
15	7.00	0.00	0.400	0.200	11:38	40	0	-	-	0.0030	33.1	33.1	32.6	0.0006	0.0004	0.0004	0	9.26		

De esta tabla, la información que se analizará con más detalle es la velocidad en sus tres componentes X, Y, Z para cada estación, la demás información nos servirá únicamente de referencia o información complementaria

En la figura 4.1 se muestra la gráfica de la velocidad y la profundidad del agua respecto a la distancia transversal en metros. En la gráfica de profundidad vs localización se tienen marcadas las dovelas y en el centro de cada una de ellas un punto blanco que indica la profundidad donde se midió la velocidad.



**Figura 4.1** Gráfica de velocidad y profundidad que muestra el archivo generado por el Flow Tracker.

Tanto la tabla de resultados de la medida como las gráficas de la figura 4.1 se considera como de mayor importancia pues se nos muestra la sección transversal del río y además una distribución de velocidades en la dirección X con vista en planta. Sin duda esta información ofrece una gran ventaja con relación al uso de molinetes, pues con esta información se puede proceder a hacer otro tipo de análisis como localización de la velocidad máxima dirección de la misma y determinar si es capaz de erosionar una de las márgenes o el lecho del río.

En la figura 4.2 se muestra una tabla del control de calidad de la relación señal/ruido, y una gráfica relacionada. En la parte inferior izquierda se muestran 4 círculos verdes que nos indican una buena calidad en cuanto a este parámetro (SNR).

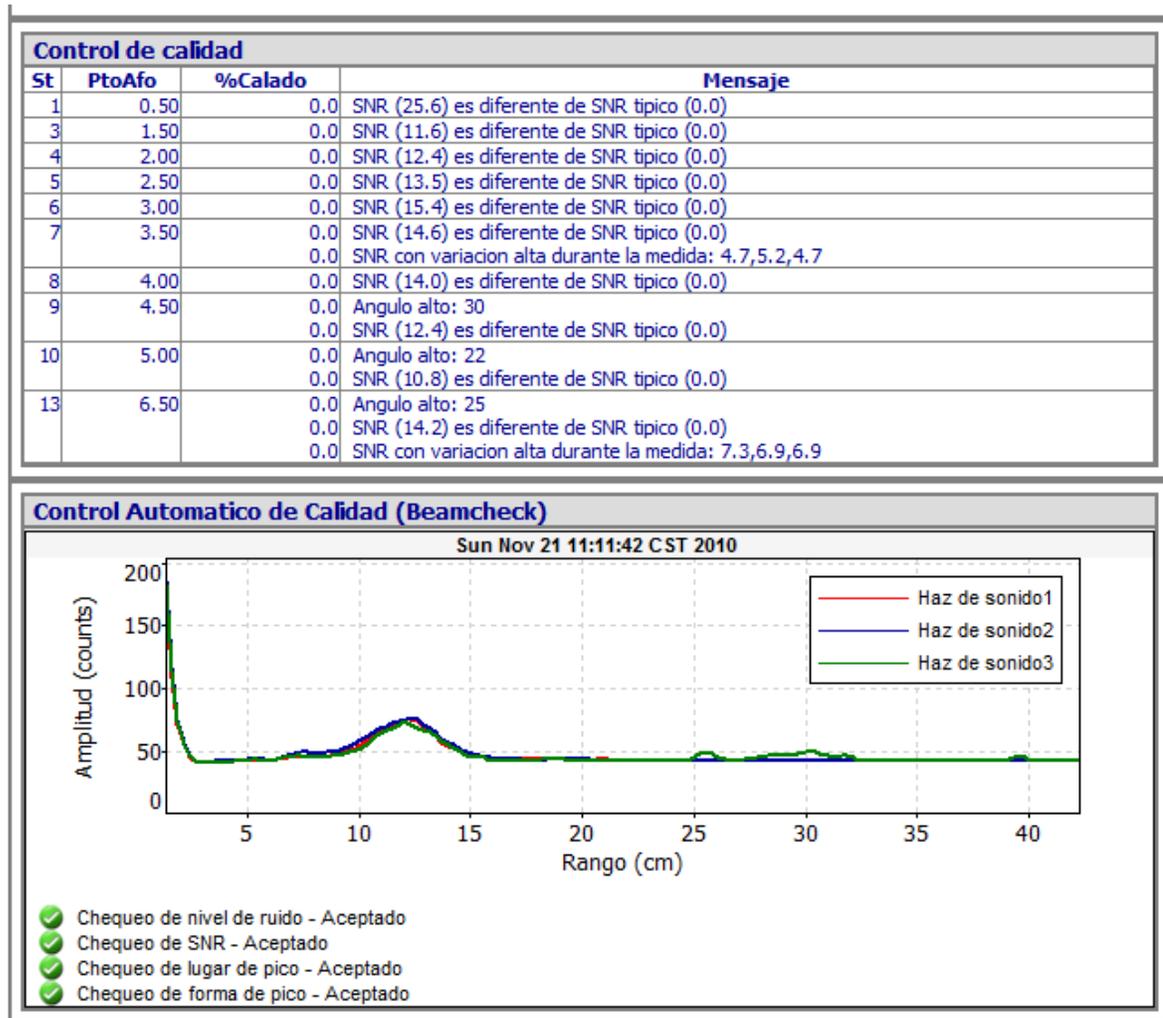


Figura 4.2 Tabla de control de calidad y gráfica similar a la del Beam Check.

Cabe mencionar que la información que se mostró en las figuras anteriores está disponible en 8 idiomas, el que muestra por default es el idioma Inglés.

Se obtuvieron 19 archivos más que corresponden a las demás secciones transversales que muestran información idéntica pero acorde a las condiciones específicas de cada sección. Sin embargo en este capítulo solo se presentarán los resultados procesados, para tener un análisis del comportamiento general en el cauce natural y la presencia de la estructura del puente.



## 4.2 Comportamiento general de la velocidad aguas arriba de la pila, en la longitud de la pila y aguas abajo de la pila.

### 4.2.1 Velocidad media

Primero se analizará la velocidad media en cada sección para ello se hizo la tabla resumen 4.2, anexando todas las estaciones y a partir de esta se hicieron las figuras 4.3, 4.4 y 4.5.

Tabla 4.2 Datos promedio de SNR, temperatura, y velocidad en X, Y, Z,

Sección	No Muestras	No de Estaciones	SNR Promedio (dB)	Temp Promedio (°C)	Velocidad Media V <sub>X</sub> (m/s)	Velocidad Media V <sub>Y</sub> (m/s)	Velocidad Media V <sub>Z</sub> (m/s)
1	40	10	22.7	12.16	0.2832	-0.0602	0.0019
2	40	11	20.6	12.09	0.2367	-0.0695	-0.0064
3	40	9	18	8.07	0.2434	-0.0502	-0.0168
4	40	10	16.6	8.39	0.1979	-0.0472	-0.0096
5	40	11	16.1	8.92	0.135	-0.015	0.0028
6	40	10	16.5	9.72	0.1288	-0.0114	0.0042
7	40	10	15.2	10.69	0.1292	0.0139	0.0108
8	40	9	20.3	11.41	0.1529	0.0212	0.0123
9	40	9	18.5	11.76	0.1349	0.0305	0.0158
10	40	10	19.2	11.78	0.119	0.0278	0.0002
11	40	9	15.6	12.04	0.1447	0.0357	0.0019
12	40	9	14	12.14	0.1771	0.0521	-0.0005
13	40	7	13.9	12.25	0.2123	0.0481	-0.0047
14	40	11	16	12.26	0.1466	0.0363	-0.0058
15	40	11	12.7	12.21	0.1381	0.0222	-0.0050
16	40	11	11.2	12.18	0.1258	0.0159	-0.0030
17	40	14	14.4	8.76	0.1233	0.0311	-0.0095
18	40	15	15.4	9.08	0.0977	0.0244	-0.0070
19	40	14	12.6	9.52	0.1202	0.0327	-0.0109
20	40	14	13.3	9.98	0.1144	0.0305	-0.0075

De la sección número 1 hasta la número 5, son secciones que están aguas arriba del puente. De la sección número 6 hasta la número 10 corresponden a secciones a la largo del puente. Y de la sección 11 hasta la número 20 están aguas abajo del puente. Figura 3.13.

En el análisis de la información obtenida por el Flow Tracker podemos observar que conforme se acerca el flujo al pie de la pila se tiene que la velocidad media en la dirección

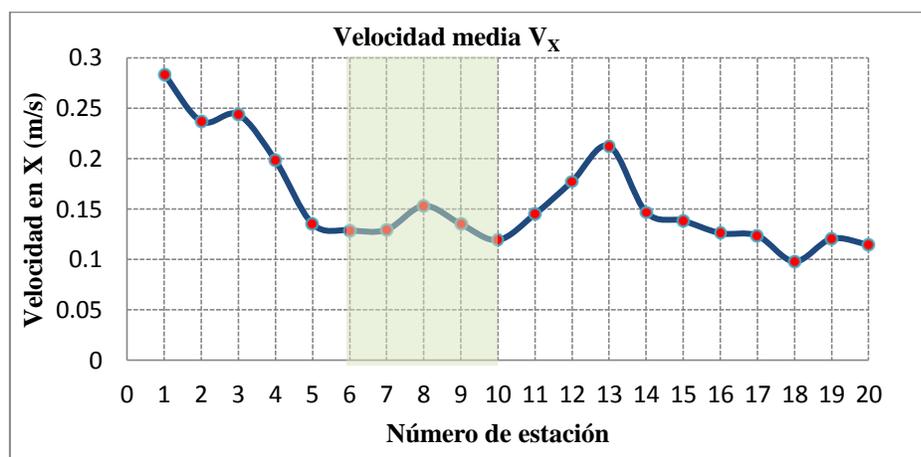


X disminuye de 0.28 m/s hasta 0.13 m/s, mientras que en el tramo donde está la pila permanece casi constante, después de salir de este tramo vuelve a incrementarse relativamente para después permanecer entre 0.14 m/s hasta 0.10 m/s aguas abajo.

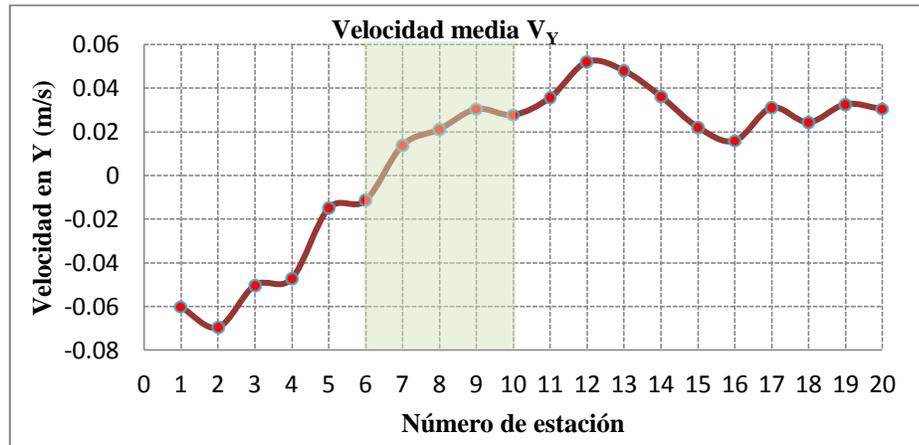
Mientras que la velocidad en la dirección Y tiene un comportamiento de menos a más es decir antes de llegar a la pila su dirección es hacia el estribo de la margen derecha. En la figura 4.3 se observa que después de la estación 6, que es en la zona donde está la pila, es positiva la velocidad lo que nos indica que ahora el flujo está en dirección de la pila sin embargo es pequeña apenas de 0.03 m/s, aguas abajo de la pila aumenta un poco más la velocidad en esta dirección para después tener variaciones.

El comportamiento de la velocidad en la dirección Z es interesante, además es una componente que nos indica de alguna manera la intensidad de turbulencia que se tiene y la fuerza con que viene o va hacia el lecho del río. Antes de llegar a la pila se tiene que el flujo se dirige hacia el fondo del cauce esto por tener velocidades negativas, pero en cuanto entra a la pila (estación 6) se tienen velocidades positivas de hasta 0.016 m/s que significa que el flujo viene de el fondo del río hacia la superficie libre.

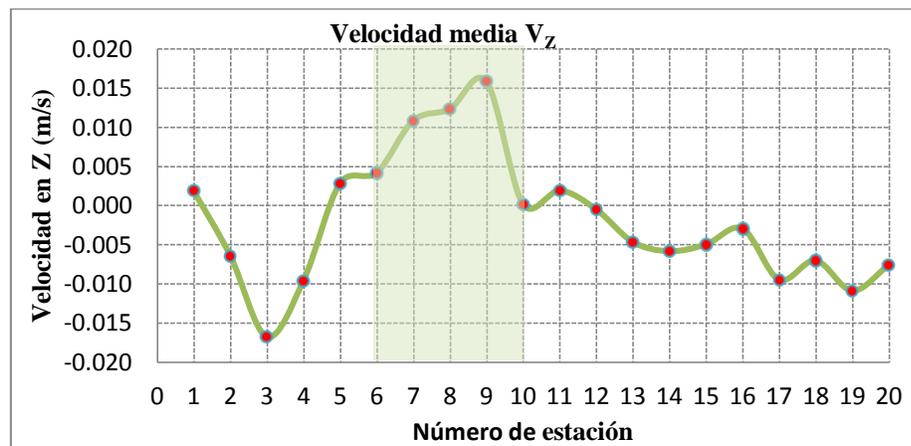
En términos generales se puede decir que la velocidad en X cuando llega a la pila se descompone en las otras dos direcciones provocando un flujo evidentemente tridimensional generando más turbulencia en la zona de la pila, pero a su vez también se puede decir que la velocidad en X, es pequeña en el tramo de la pila (de la sección 6 a la 10) que pudiera ser por el aumento de la profundidad del agua que se observaba justamente en el tramo de la pila. Sin olvidar que el análisis se está haciendo en velocidades medias para cada sección, es decir no podemos saber aun que está pasando con la velocidad al pie de la pila.



**Figura 4.3** Gráfica de la velocidad media en la dirección X.



**Figura 4.4** Gráfica de la velocidad media en la dirección Y.



**Figura 4.5** Gráfica de la velocidad media en la dirección Z.

#### 4.2.2 Velocidad máxima

Analizando la velocidad máxima para examinar el comportamiento en el contorno de la pila. La velocidad máxima en la dirección X aguas arriba de la pila es de hasta 0.47 m/s y disminuye conforme se acerca a la pila llegando con una velocidad de 0.32 m/s e inmediatamente en cuanto entra en la sección de la pila (No. 6) sube un poco hasta 0.35 m/s, de ahí en adelante disminuye y vuelve a incrementarse al salir de la zona de la pila y decae nuevamente en secciones aguas abajo de la pila.

De acuerdo a las figuras 4.7 y 4.8 el comportamiento de la velocidad máxima es totalmente aleatorio pues al parecer no tiene ninguna relación con la pila del puente y tiene sentido pues la velocidad máxima se presenta de acuerdo a las características hidráulicas y geomorfológicas del río. Esto no quiere decir que si no se tuviera el puente el comportamiento de la velocidad máxima fuera el mismo sino que se adaptaría a las características hidráulicas que se tuviesen.

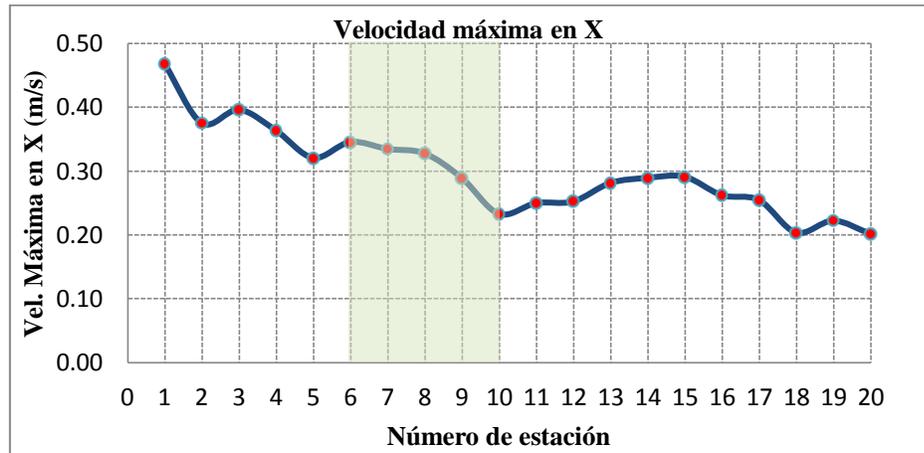


Figura 4.6 Gráfica de la velocidad máxima en la dirección X.

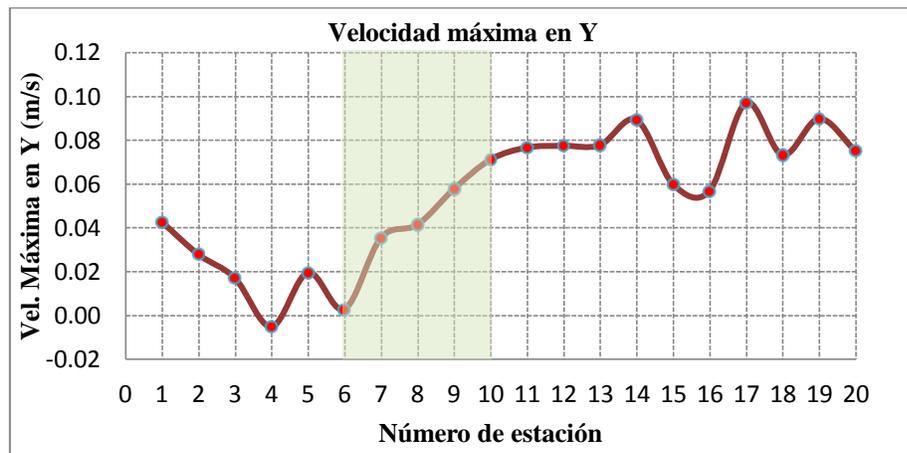


Figura 4.7 Gráfica de la velocidad máxima en la dirección Y.

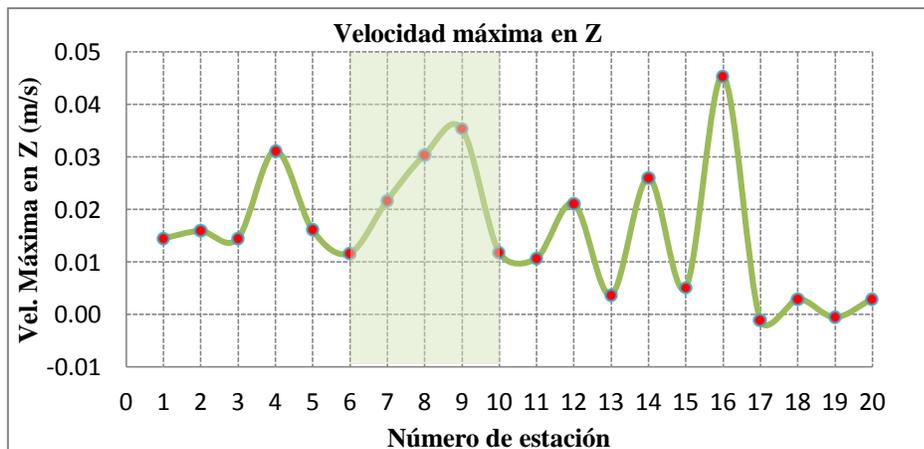
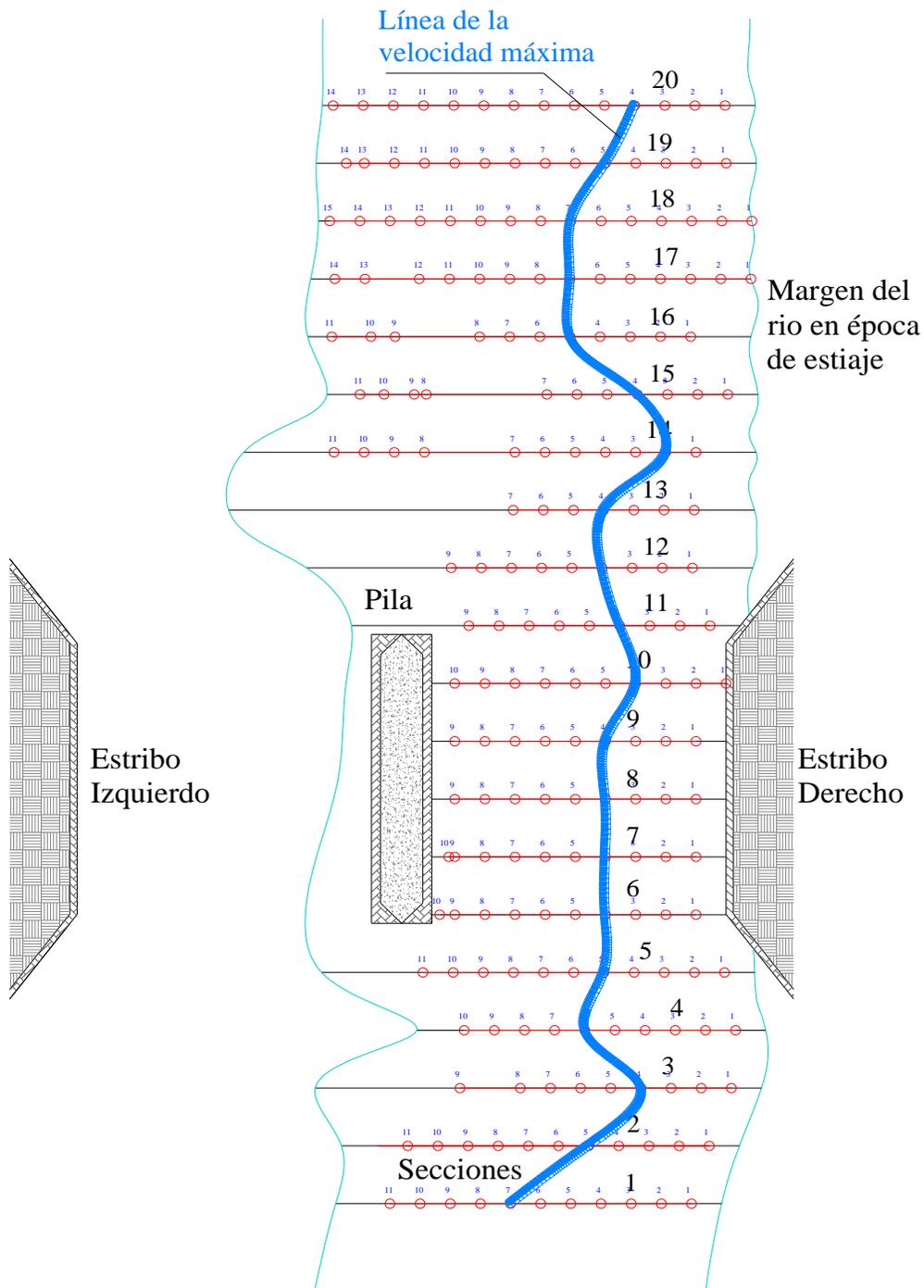


Figura 4.8 Gráfica de la velocidad máxima en la dirección Z.



En la figura 4.9 se muestra por medio de una línea la ubicación de la velocidad máxima que se tiene en el río, donde se observa que se encuentra alejada de la pila sensiblemente al centro.



**Figura 4.9** Ubicación de la velocidad máxima en el entorno de la pila.



Ahora analizando el comportamiento de la velocidad máxima que se tiene representada en la figura 4.9 se tiene que 3 metros aguas arriba de la estructura, la velocidad máxima se dirige hacia el estribo, pero en la siguiente sección (2.5 metros arriba de la estructura), la velocidad es más uniforme y la dirección es casi paralela a la pila y estribo lo que nos indica que hay un campo de velocidades posiblemente en turbulencia cercano a el estribo producto de que el agua llega y golpea al estribo y este redirige el flujo hacia el centro de la sección y que provoca que la velocidad máxima se desvíe.

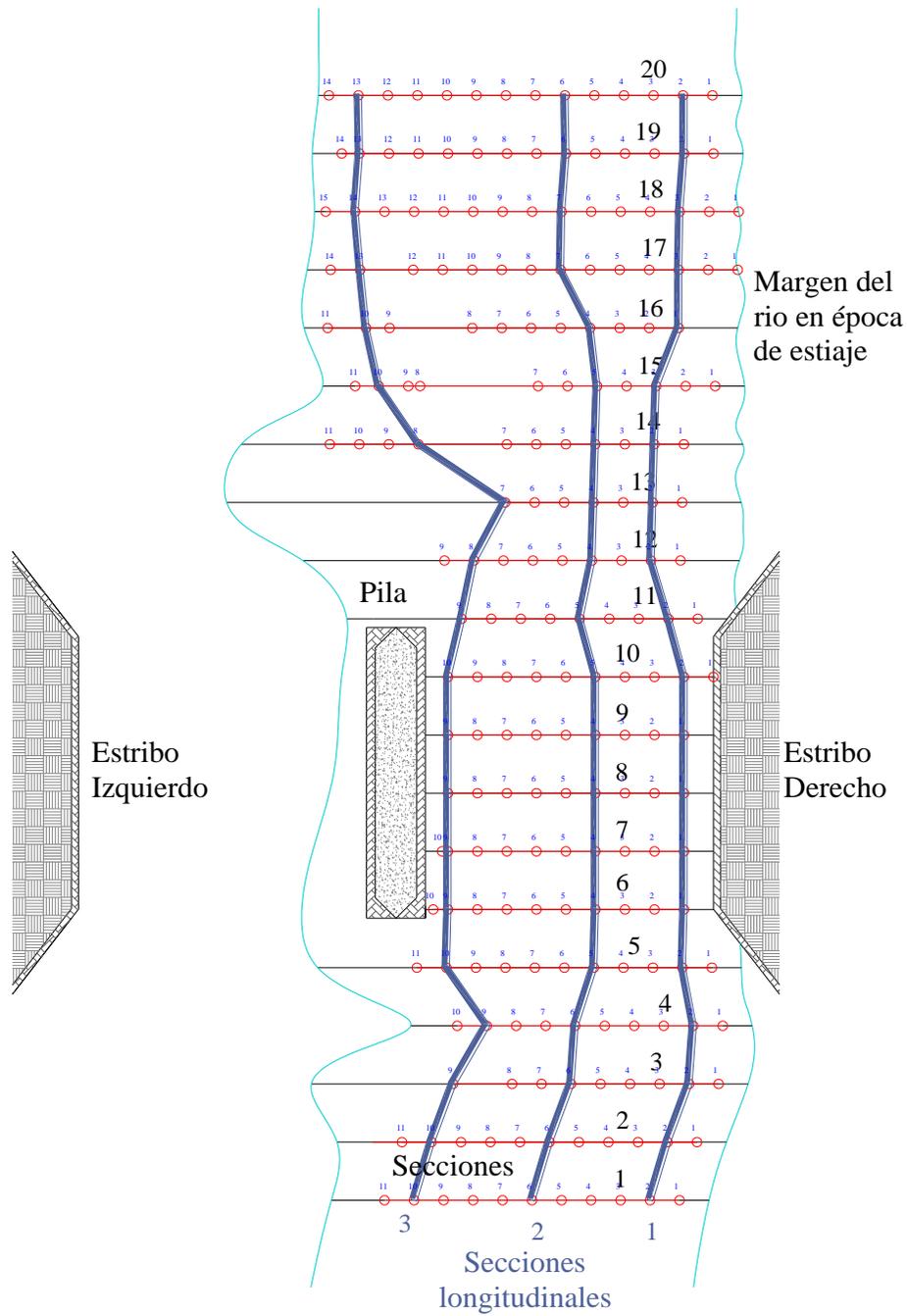
Al salir el flujo de la zona donde está el puente y justo 3 metros aguas abajo se repite el mismo comportamiento, la velocidad se dirige hacia la margen derecha y después un metro aguas abajo se uniformiza la línea de la velocidad máxima, esto indica que al salir el flujo del estribo tiende a abrirse hacia los lados y ocupar el área que se incrementa y esto provoca que la velocidad máxima se desvíe ligeramente hacia esta margen.

Justo detrás de la pila se tiene acumulación de sedimentos donde el tirante de agua es menor de 0.12 m, razón por la cual no se midieron velocidades en esta zona. En la figura 4.9 se observa que en esta zona hay espacios sin estaciones debido al depósito de sedimentos. Por lo que también es influencia para que se desviara la velocidad máxima hacia la margen derecha.

### **4.3 Análisis del comportamiento de la velocidad en el sentido longitudinal del río**

Para ver el comportamiento de la velocidad en la pila del puente se hizo el análisis de 3 secciones longitudinales, la primera cerca del estribo la segunda al centro de la sección transversal y la tercera cerca de la pila. Se hace una comparativa de velocidades entre las 3 secciones. En la figura 4.10 se muestran estas secciones.

La sección longitudinal 3 se observa que tiene una deformación en la sección número 4 y en la sección número 14 pero no tiene nada que ver con el comportamiento de la velocidad máxima y velocidad media, dado que estas secciones se trazaron de manera que fueran representativas para analizar las velocidades en las márgenes y en centro de la sección. Esta deformación en el trazo es porque en esta zona no se midieron velocidades por la presencia del depósito de sedimentos.



**Figura 4.10** Ubicación de las secciones transversales.



### 4.3.1 Sección longitudinal 1

Tabla 4.3. Velocidades de la sección longitudinal 1

Nº Sección	Nº Estación	Dist. 1 (m)	d (m)	Nº muestras	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vz (m/s)	SNR1	SNR2	SNR3	Error Vx (m/s)	Error Vy (m/s)	Error Vz (m/s)
1	2	0	0.26	40	0.1202	0.0017	0.0086	18.9	19.7	18.4	0.0081	0.0061	0.0065
2	2	1	0.31	40	0.103	-0.035	0.0013	16.3	16.7	15.4	0.0041	0.0032	0.0033
3	2	1	0.27	40	0.1283	0.017	-0.007	12.4	13.3	12	0.0039	0.0023	0.0032
4	2	1	0.31	40	0.0814	-0.01	0.0045	9	9.4	8.6	0.0039	0.0023	0.0027
5	2	1	0.34	40	0.0875	0.0095	0.0068	9.4	9.8	8.1	0.0043	0.0027	0.0024
6	1	0.5	0.25	40	0.0539	-0.004	0.0055	7.7	9	7.3	0.002	0.0016	0.0015
7	1	0.5	0.28	40	0.0856	0.0125	0.0106	11.1	12	9.8	0.0039	0.0039	0.0032
8	1	0.5	0.29	40	0.1059	-0.001	0.0088	11.1	11.6	10.3	0.0037	0.0028	0.003
9	1	0.5	0.3	40	0.1503	0.0029	0.0123	12.4	12.8	11.1	0.0071	0.0031	0.0039
10	2	0.5	0.3	40	0.1364	0.0184	-0.006	15.4	16.3	13.7	0.0051	0.0034	0.005
11	2	1	0.26	40	0.1541	0.0241	0	15.9	15.9	15.4	0.0051	0.0036	0.0033
12	2	1.5	0.19	40	0.1928	0.0472	-0.002	13.3	14.6	12.8	0.0035	0.0033	0.0034
13	2	1.5	0.2	40	0.2266	0.0527	0.0035	12.8	13.7	12.4	0.0048	0.003	0.0027
14	2	1.5	0.2	40	0.2895	0.0349	-0.01	14.1	14.6	12.4	0.0059	0.0033	0.0044
15	3	1.5	0.2	40	0.1914	0.0198	-0.006	10.3	11.6	10.3	0.0074	0.0051	0.0058
16	1	1	0.16	40	0.0014	-0.001	-0.002	21	21	18.9	0.0016	0.0011	0.0013
17	3	1	0.23	40	0.1042	-0.002	-0.007	9.4	10.7	9	0.0042	0.0028	0.0037
18	3	1	0.27	40	0.0791	0.0097	-0.012	9.4	9.8	9.4	0.0033	0.0024	0.0028
19	2	1	0.33	40	0.0761	-0.002	-0.006	10.3	10.7	9.4	0.0027	0.0022	0.0023
20	2	1	0.31	40	0.0738	0.0126	-0.006	15.9	16.3	15	0.0043	0.0021	0.0019

De la tabla 4.3 se obtienen las figuras 4.11, 4.12 y 4.13 donde se analiza la velocidad en las direcciones X, Y, Z de la sección longitudinal 1 que corresponde a la sección que está más cerca al estribo.

Se puede ver que la velocidad conforme se acerca al estribo disminuye, pero en cuanto entra en la sección 6 que es justo donde empieza el estribo, la velocidad aumenta y se mantiene así hasta varias secciones aguas abajo del estribo, para finalmente tener un descenso de la velocidad al final del tramo de mediciones.

En la figura 4.12 en el tramo del estribo la velocidad en la dirección Y se incrementa y decrece periódicamente en las estaciones, al finalizar el tramo del estribo se incrementa la velocidad. Esta variación de una sección a otra se traduce a que el flujo cambia



constantemente de dirección generándose un flujo turbulento. El cual puede ser porque el flujo pega al estribo y se re-direcciona hacia al centro de la sección.

De igual manera se observa en la figura 4.13 la velocidad en la dirección Z se incrementa en la zona del estribo y el flujo toma una dirección de abajo hacia arriba, lo que ocasiona que se tengan corrientes que parten del fondo del río y que podrían ocasionar desprendimiento de partículas hacia arriba generando socavación.

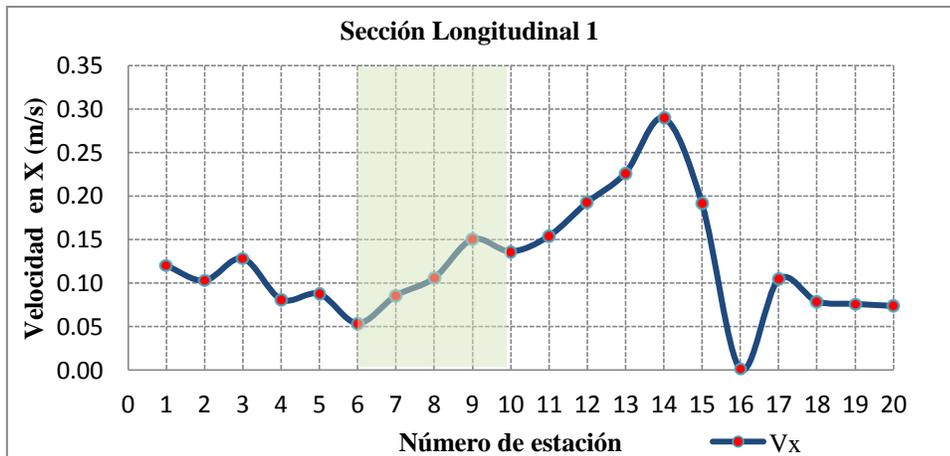


Figura 4.11 Gráfica de la velocidad en X de la sección longitudinal 1.

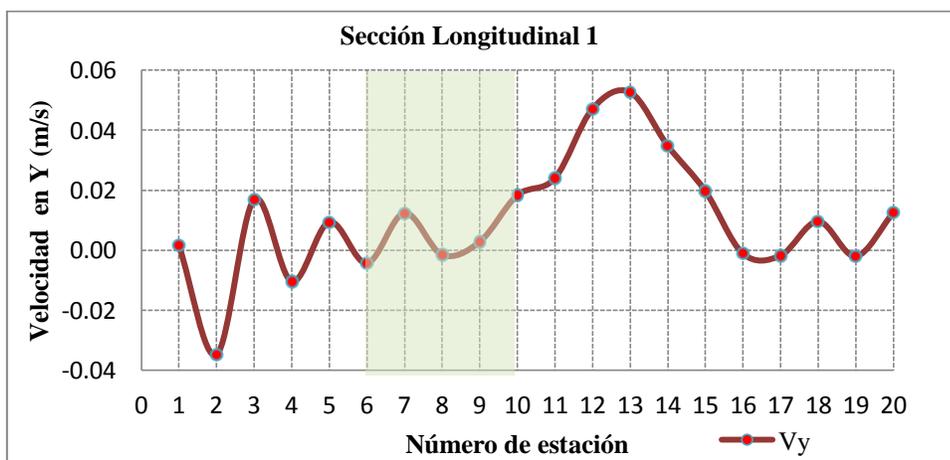


Figura 4.12 Gráfica de la velocidad en Y de la sección longitudinal 1.

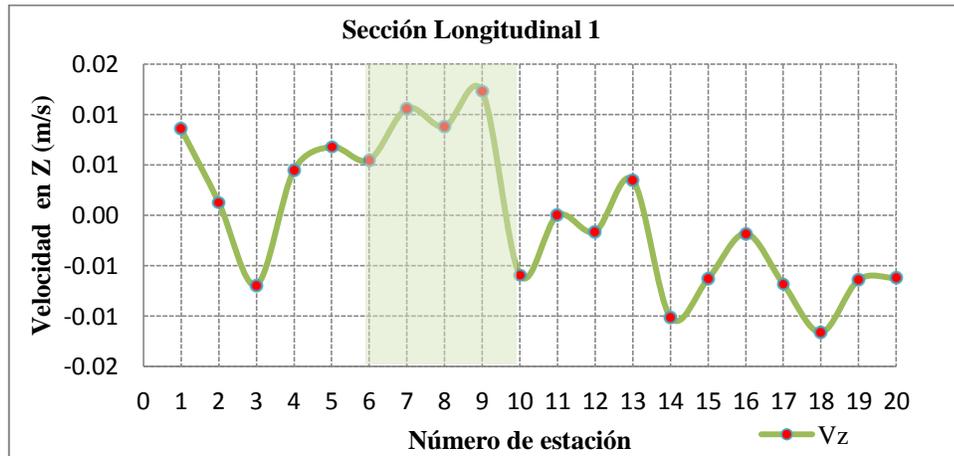


Figura 4.13 Gráfica de la velocidad en Z de la sección longitudinal 1.

### 4.3.2 Sección longitudinal 2

Los resultados que se obtuvieron en esta sección tienen un comportamiento similar a los que se presentan cuando se analizó la velocidad media, es decir se observa que la velocidad en Y es hacia la pila y que la velocidad en Z se incrementa en la zona de la pila y que es del fondo del río hacia arriba.

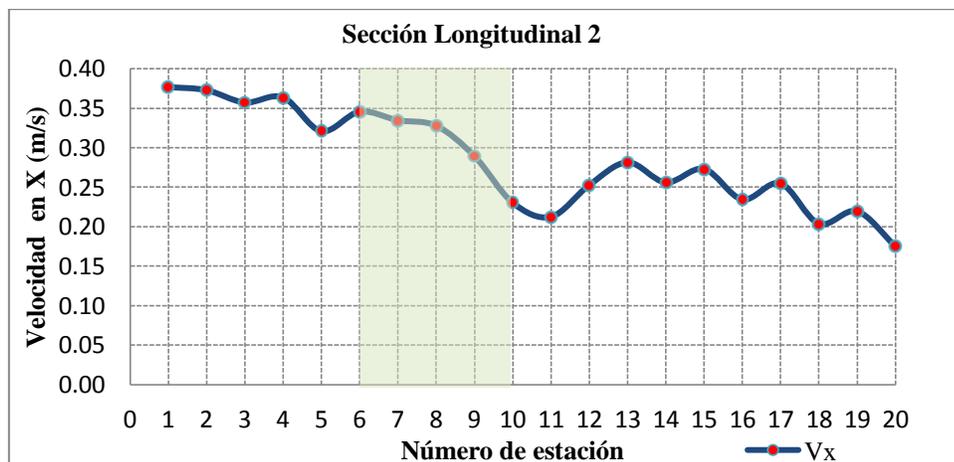


Figura 4.14 Gráfica de la velocidad en X de la sección longitudinal 2.

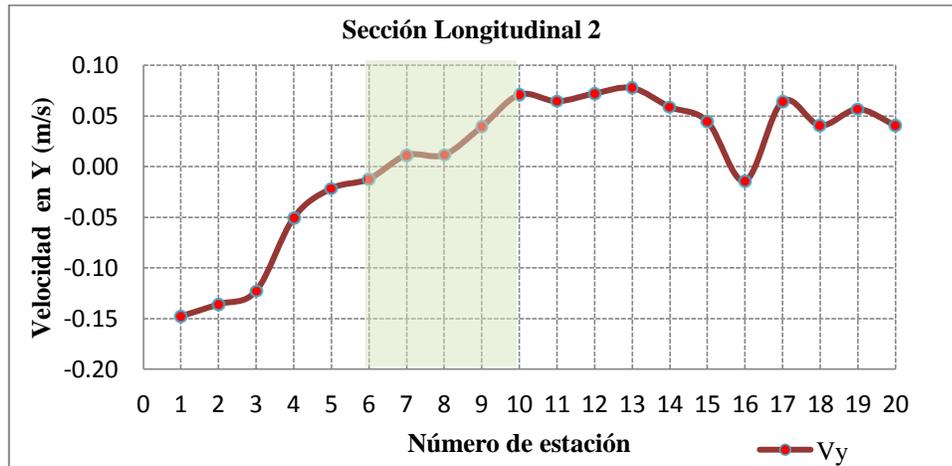


Figura 4.15 Gráfica de la velocidad en Y de la sección longitudinal 2.

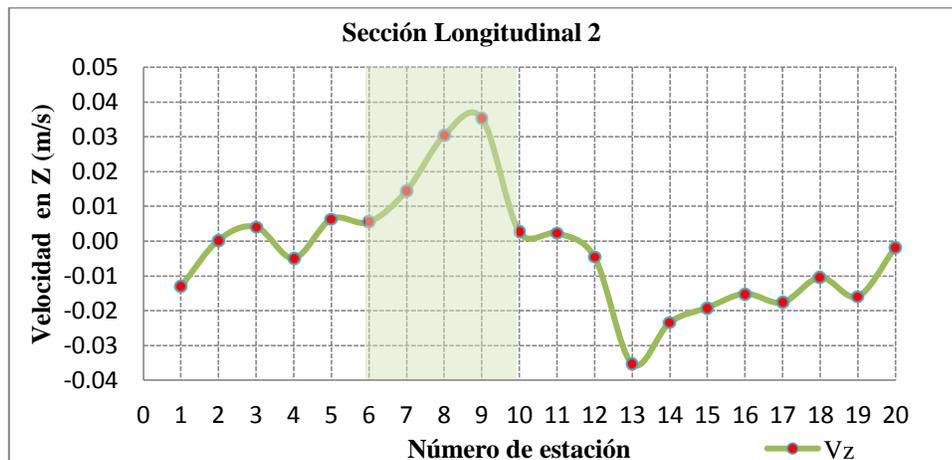


Figura 4.16 Gráfica de la velocidad en Z de la sección longitudinal 2.

### 4.3.3 Sección longitudinal 3

Esta sección longitudinal se encuentra casi pegada a la pila del puente por lo que es la más representativa.

En esta sección el resultado fue que la velocidad en X en el tramo de la pila disminuye notablemente y al salir de esta zona se incrementa.

En la dirección Y la velocidad es casi nula en el tramo del puente. Nótese que al salir del tramo se tiene un incremento de la velocidad en esta dirección, lo cual representa que el flujo toma la dirección hacia donde estaba la pila, que es justo donde se junta el flujo de un lado de la pila con el flujo del lado opuesto, esto origina la formación de los vórtices de



estela que se presentan justo detrás de las pilas. Físicamente no se observaba este fenómeno sin embargo si se está presentado por el resultado de la figura 4.18.

Este comportamiento es bien conocido por la ingeniería hidráulica, sin embargo no se tiene mucho conocimiento de la intensidad de la velocidad que está generando estos vórtices, y en este caso se obtuvo una velocidad de hasta 0.072 m/s.

Por otro lado en la figura 4.19, la velocidad en Z tiene variaciones desde dos secciones antes de llegar el flujo a la pila. El resultado de la velocidad es negativo por lo que el flujo se dirige desde la superficie libre hacia el fondo. Ya casi al finalizar la zona de la pila en la sección 10, cambia la dirección teniéndose que ahora es del fondo del río hacia arriba. Éste cambio de dirección de la velocidad en Z nos está representado vorticidades a lo largo de la sección longitudinal de la pila y obviamente esta variación de la velocidad en Z es la que provoca la socavación.

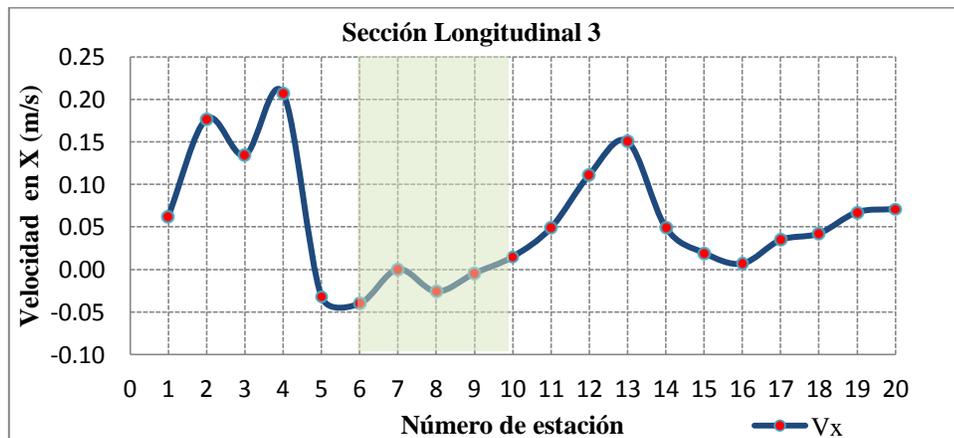


Figura 4.17 Gráfica de la velocidad en X de la sección longitudinal 3.

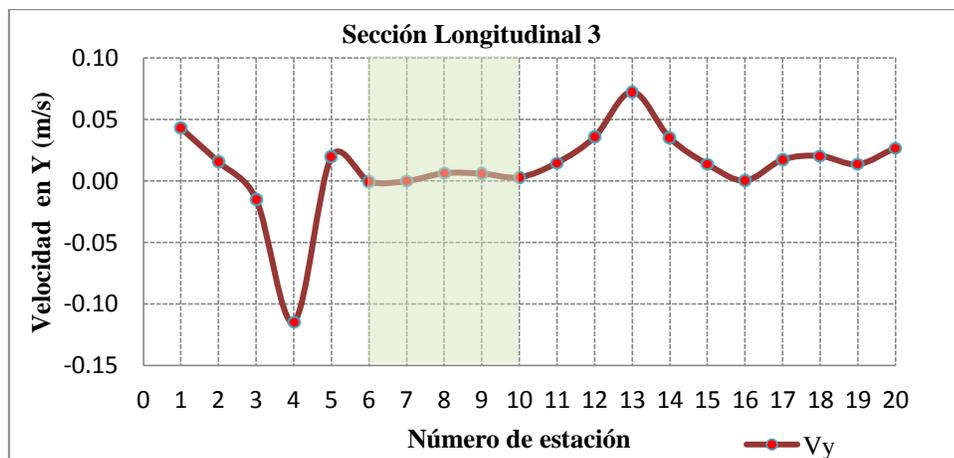
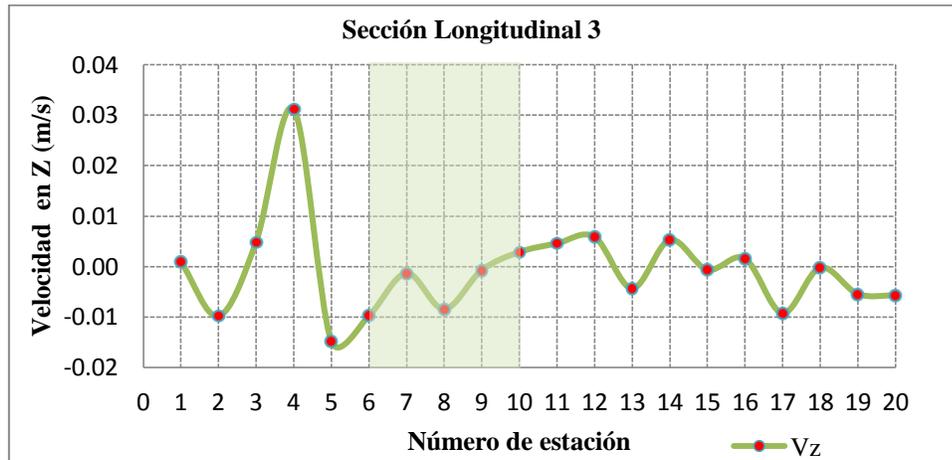


Figura 4.18 Gráfica de la velocidad en Y de la sección longitudinal 3.



**Figura 4.19** Gráfica de la velocidad en Z de la sección longitudinal 3.

Ahora bien si se analiza la velocidad en cada una de las direcciones pero ahora comparando entre secciones longitudinales, se tiene que la velocidad en X de la sección longitudinal 2 es mayor lo cual es cierto dado que esta sección está trazada casi al centro del cauce, y que de acuerdo con la teoría de distribución de velocidades que dice que al centro de un cauce se tienen velocidades mayores mientras que en las márgenes es menor. En la sección 3 la velocidad es menor en la mayoría de los casos.

En cuanto a la velocidad en Y y la velocidad en Z, se observa en la figura 4.21 y 4.22 tanto la sección longitudinal 1 como la 3 tiene un comportamiento un poco similar, en ambas figuras se observa que la velocidad en la sección 3, es menor. Lo cual físicamente tiene sentido dado que ya existe un pozo de socavación pequeño en las inmediaciones de la pila y esto hace que la velocidad sea menor en esta zona.

En el tramo donde está la estructura del puente, la velocidad en Y justo al entrar en esta zona, es muy uniforme con valores muy cercanos a cero en las tres secciones, es decir tiene poco movimiento en el sentido transversal al río, sin embargo se observa en la figura 4.21 que antes de entrar en la zona donde está el paso del puente si hay variaciones de la velocidad en la dirección Y, y que sin duda es porque las líneas de corriente tienen que modificarse al entrar y salir con el obstáculo interpuesto en la corriente.

Del análisis de la velocidad en Z, se observa en la figura 4.22 que en la sección longitudinal número 2 (al centro del cauce), la velocidad se incrementa justo en el tramo donde está la estructura del puente, mientras que en la sección longitudinal 3 el incremento de la velocidad es antes de entrar en la zona donde está la estructura.

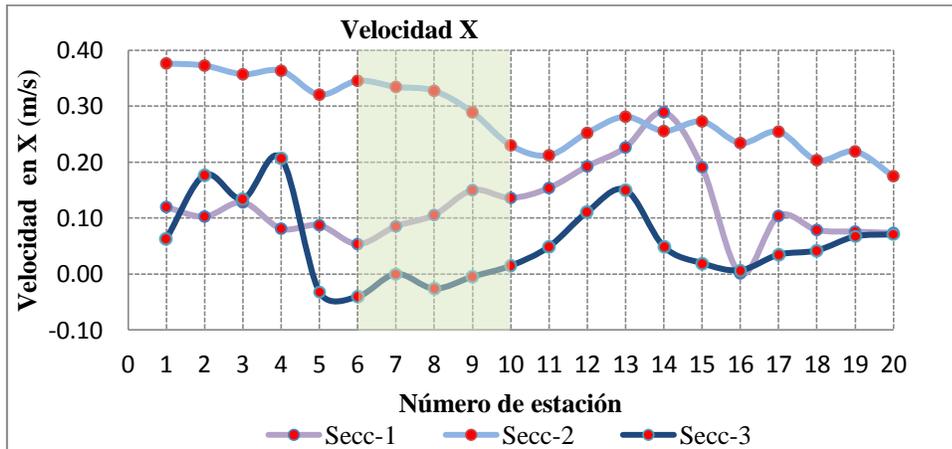


Figura 4.20 Gráfica de la velocidad en X de las tres secciones longitudinales.

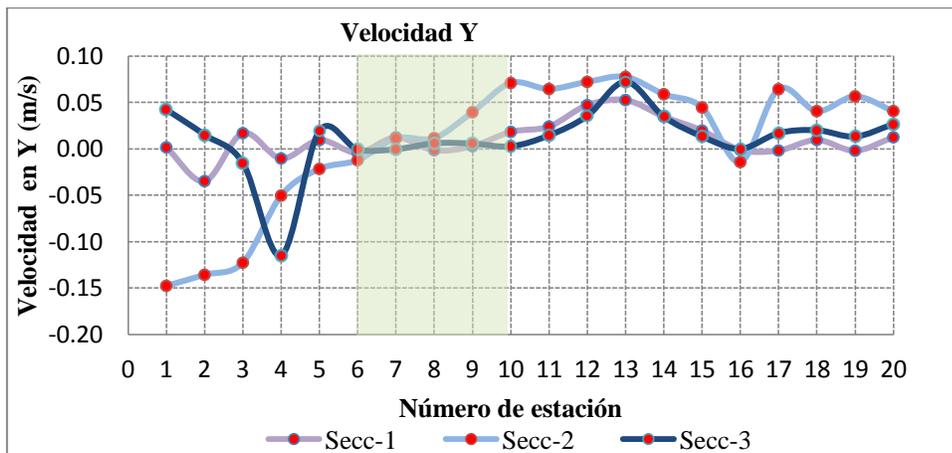


Figura 4.21 Gráfica de la velocidad en Y de las tres secciones longitudinales.

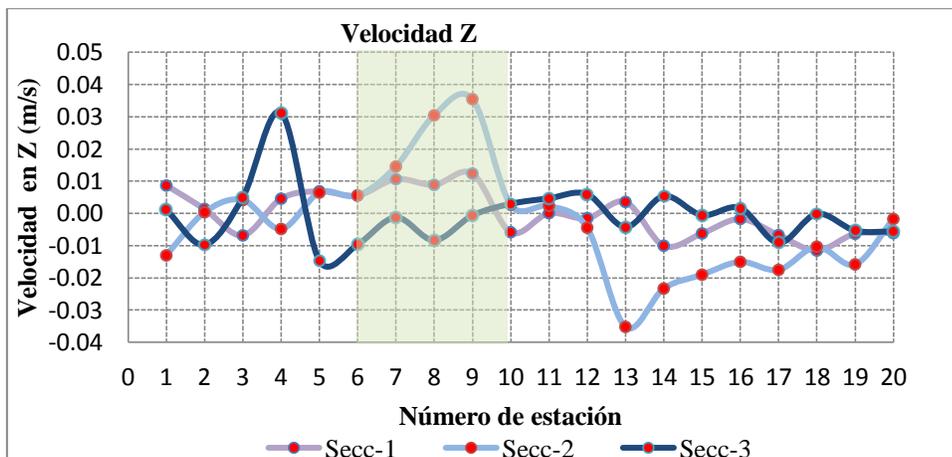
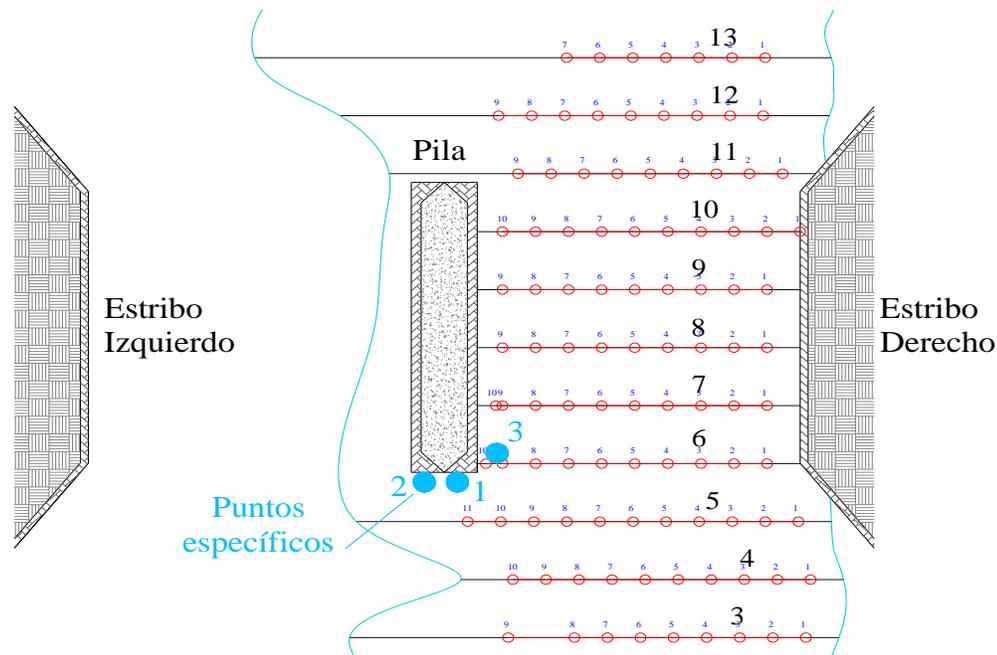


Figura 4.22 Gráfica de la velocidad en Z de las tres secciones longitudinales.

#### 4.4 Análisis de la velocidad en puntos específicos

Ahora se evaluará la velocidad en puntos cercanos a la pila a diferentes profundidades para ello se muestra en esquema de su localización en la figura 4.23.

Los puntos 1 y 2 se localizan en frente de la pila y se encuentran a 0.15 m de la pila hacia aguas arriba. El punto 3 se localiza a 0.50 m aguas abajo de la pila.



**Figura 4.23** Esquema del puente donde se muestran los puntos donde se midieron velocidades a diferentes profundidades.

##### 4.4.1 Punto 1

En este punto el comportamiento de la velocidad en la dirección del flujo, X, es que a la mitad de la profundidad la velocidad es positiva y de la mitad de la profundidad hasta el fondo es negativa es decir cambia totalmente de sentido. Este cambio de sentido en la velocidad nos indica claramente la presencia de vórtices al llegar el flujo de frente a la pila teniéndose hasta 0.249 m/s en sentido contrario.

En la dirección Y gran parte de la velocidad es negativa esto demuestra que las líneas de corriente hacen un cambio de dirección por la presencia del obstáculo teniendo velocidades de hasta 0.192 m/s en dirección al centro del cauce.

En la dirección Z es interesante el resultado pues se tiene que la velocidad es mucho más drástica a mayor profundidad además bastante elevada llegando hasta 0.262 m/s, situación



en este caso es difícil de percibir a simple vista. Pues a 0.10 m de profundidad la velocidad es de apenas 0.056 m/s. Esto quiere decir que en este puente se tiene velocidades que llegan al fondo mayores a 0.26 m/s y que golpea el lecho del río.

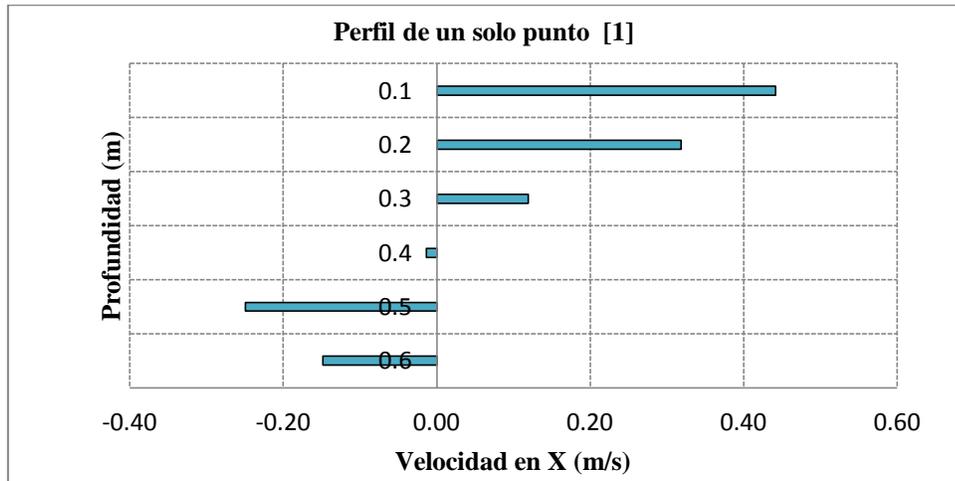


Figura 4.24 Perfil de velocidades en el punto 1 en la dirección X.

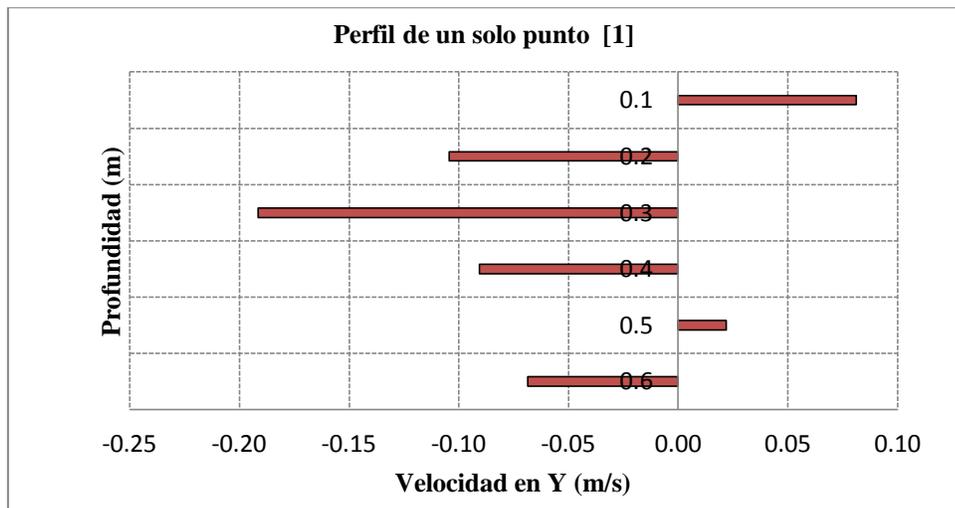


Figura 4.25 Perfil de velocidades en el punto 1 en la dirección Y.

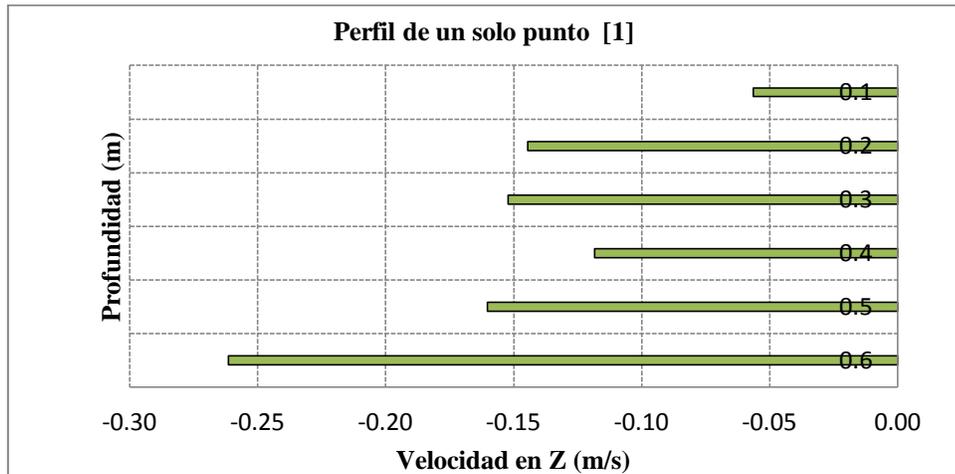


Figura 4.26 Perfil de velocidades en el punto1 en la dirección Z.

#### 4.4.2 Punto 2

Este punto se ubico casi al centro de la pila y lo que observamos de manera general en las figuras 4.27 a 4.29 es una variación en el sentido de la velocidad para cada dirección en los ejes coordenados. Lo cual se interpreta como vorticidades o flujo turbulento que se genera por la presencia de la pila

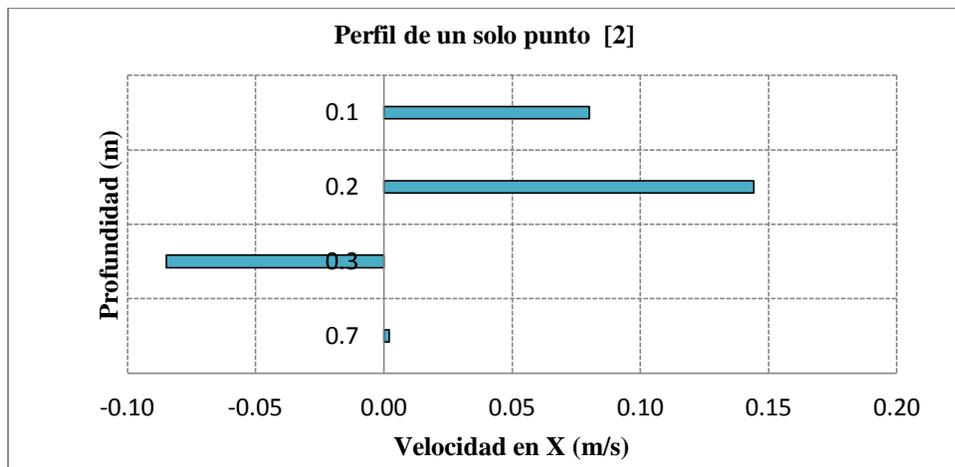
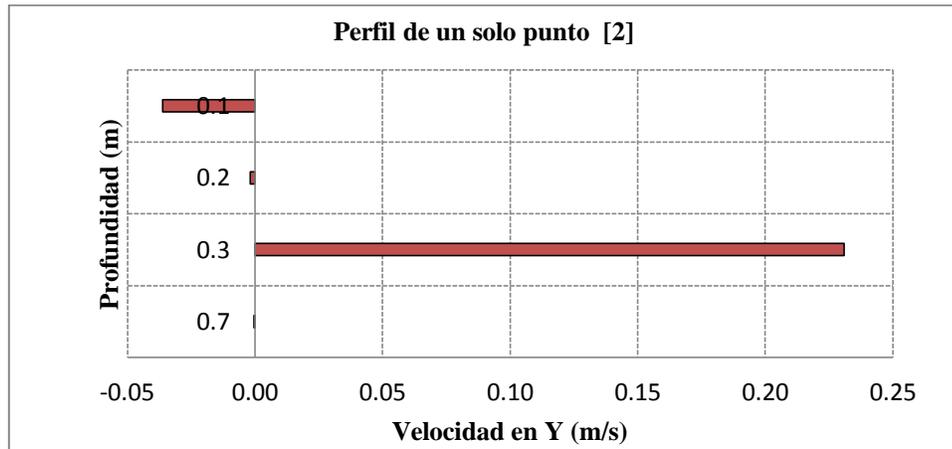
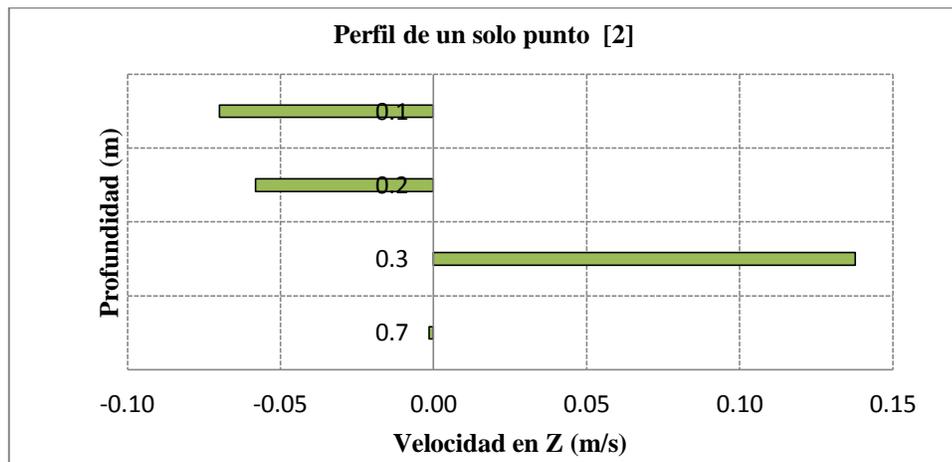


Figura 4.27 Perfil de velocidades en el punto2 en la dirección X.



**Figura 4.28** Perfil de velocidades en el punto2 en la dirección Y.



**Figura 4.29** Perfil de velocidades en el punto2 en la dirección Z.

#### 4.4.3 Punto 3

Como este punto se encuentra en el tramo recto de la pila la velocidad es más uniforme en términos generales. En la dirección X la distribución de velocidades es mucho más uniforme y en un solo sentido tal como se observa en la figura 4.30.

En la dirección Y, de la superficie del agua a media profundidad el flujo se dirige hacia la pila y de media profundidad hasta el fondo la velocidad viene de la pila hacia el centro del río.

No así la velocidad en Z, pues su comportamiento es de arriba hacia abajo, es decir pega de frente al fondo del río con velocidad 0.068 m/s que es mucho menos drástica en comparación al punto 1 lo que representa una disminución en la velocidad en Z de hasta 4 veces en un tramo menor de 1 m.

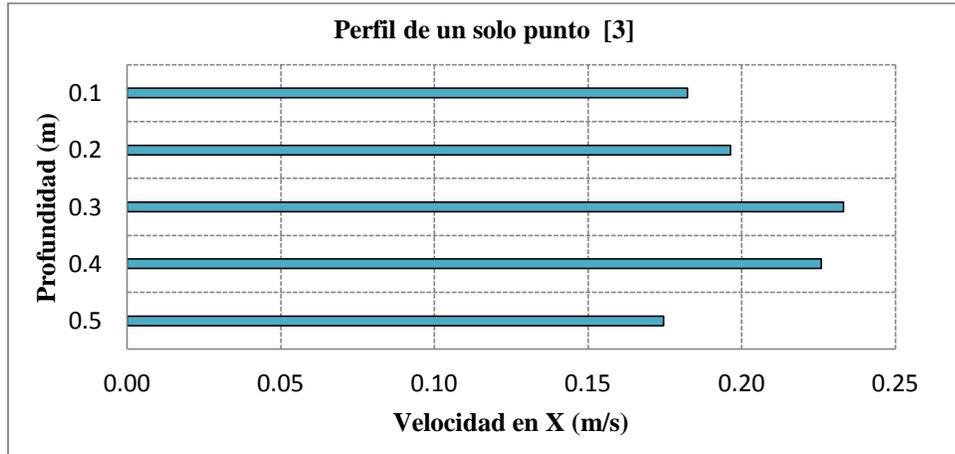


Figura 4.30 Perfil de velocidades en el punto3 en la dirección X.

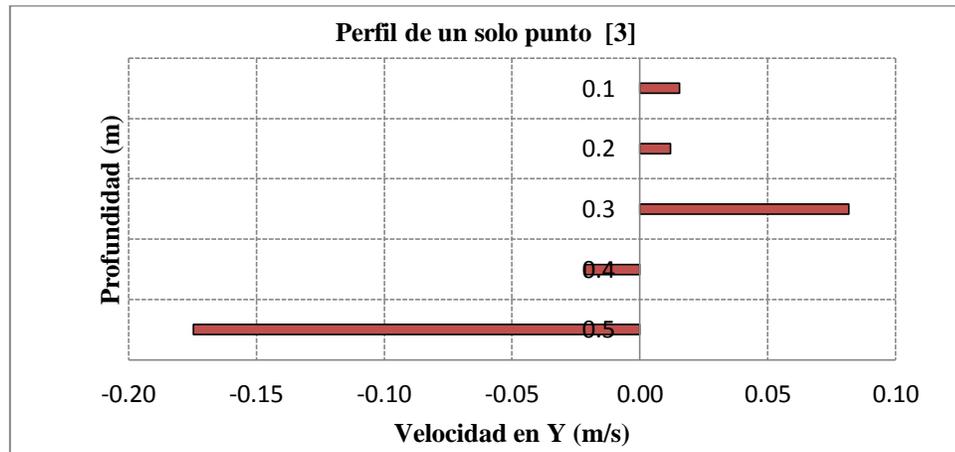


Figura 4.31 Perfil de velocidades en el punto3 en la dirección Y.

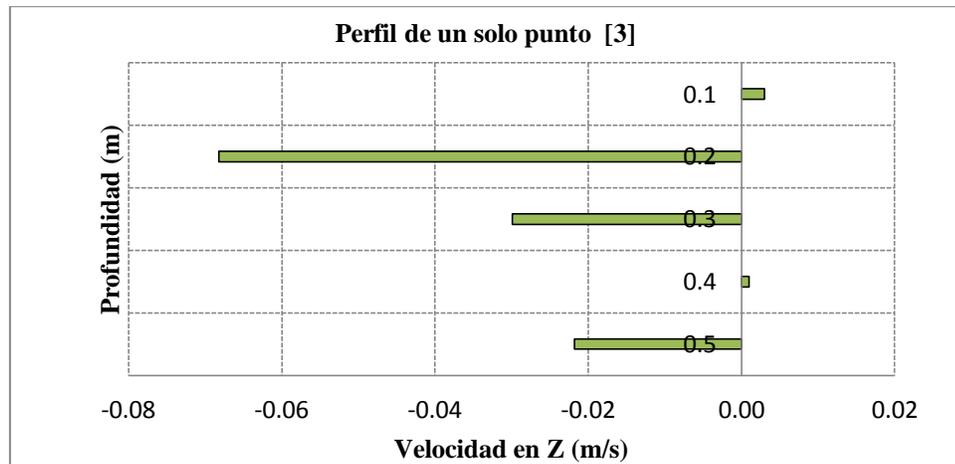


Figura 4.32 Perfil de velocidades en el punto3 en la dirección Z.

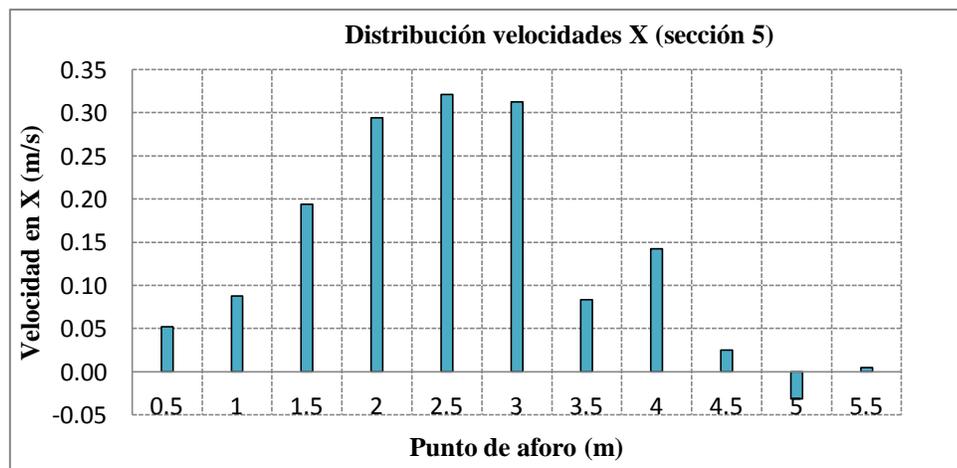


El comportamiento de la velocidad en Z aguas abajo del punto 3 es de arriba hacia abajo y se puede observar en el análisis que se hizo para la sección longitudinal 3. Por lo que la velocidad en Z en términos generales se encontró que al inicio de la pila tiende a golpear el fondo del río, en el desarrollo de la pila la velocidad sigue llegando al fondo pero en menor medida y al salir de la pila cambia de sentido y ahora viene de abajo hacia arriba.

Del análisis de velocidad se comprueba que las líneas de corriente se modifican al llegar a un obstáculo tomando una forma curva para bordear el objeto interpuesto y que en este caso la variación de la velocidad en la dirección Y representa este fenómeno. En realidad este fenómeno es difícil distinguir en un río a simple vista por la magnitud del caudal que está pasando, sin embargo el resultado de las mediciones muestran a detalle lo antes expuesto.

En septiembre del 2011 se volvieron a medir algunas secciones donde todavía se tenía la influencia de la época de lluvias. El comportamiento de la velocidad es casi idéntico, lo único que cambia es la intensidad de la velocidad por citar un ejemplo se comparará la sección 5 que se encuentra antes de llegar a la pila. Para ello se muestran las figuras 4.33 y 4.34 de la distribución de velocidad medida en época de estiaje y en las figuras 4.35 y 4.36 la distribución de velocidades medida en época de lluvias.

La velocidad en la dirección X es casi el doble mientras que la velocidad en Z es un poco más pequeña para esta sección.



**Figura 4.33** Distribución de velocidades en época de estiaje en la dirección X.

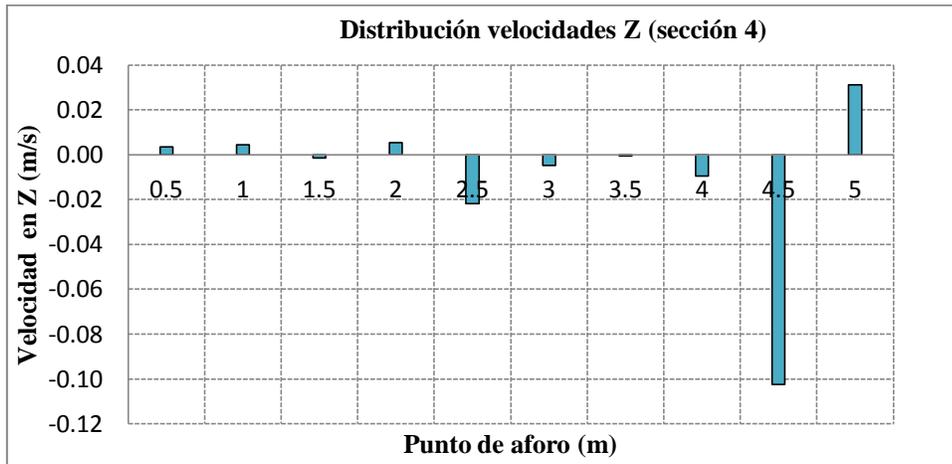


Figura 4.34 Distribución de velocidades en época de estiaje en la dirección Z.

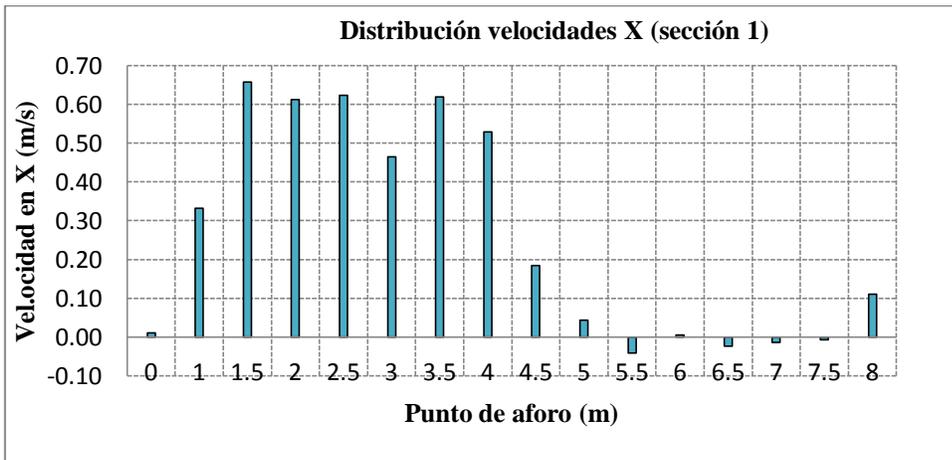


Figura 4.35 Distribución de velocidades en época de lluvias en la dirección X.

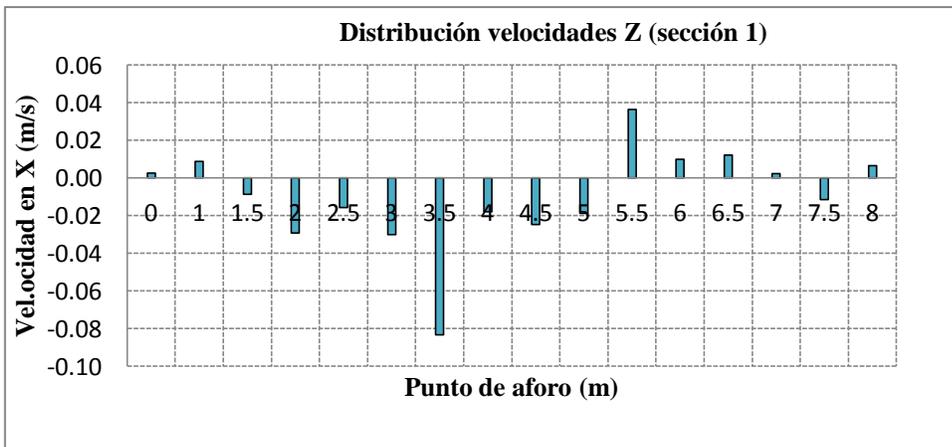


Figura 4.36 Distribución de velocidades en época de lluvias en la dirección Z.

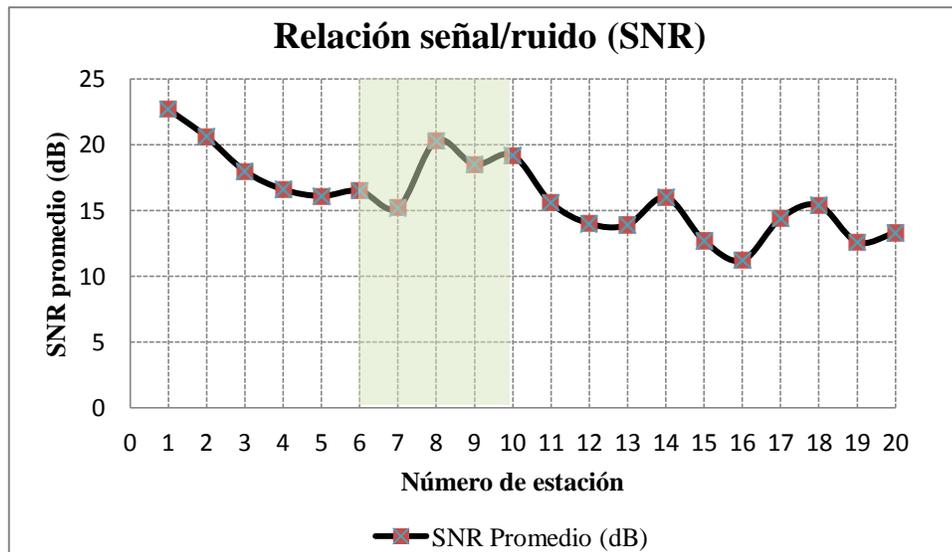


Para finalizar este capítulo de análisis de resultados se presenta la figura 4.37, en la que se está representado el valor de SNR para cada estación y en toda la longitud del cauce donde está el paso del puente.

En realidad esta gráfica nos indica en que secciones se tuvo una mayor relación señal/ruido y por consiguiente una mayor turbiedad en el agua producto de sedimentos en suspensión. Recordando que el mínimo SNR permitido es de 4 dB pero lo ideal es que fuese mayor de 10 dB. Y en la figura se muestra que en todas las secciones el SNR es mayor que 10.

Ahora bien, se tiene que aguas arriba del puente el SNR tiene un comportamiento en disminución e inclusive hasta 2 secciones dentro de la zona donde está la estructura del puente (1.0 metro aguas abajo de donde empieza la pila), pero de 2.0 m en adelante hasta la sección 10 que es donde termina la pila, se tiene un incremento en el SNR. Aguas abajo de la estructura del puente se observa que el valor de SNR disminuye.

El incremento del SNR en la zona donde está la pila indica que en realidad si se está presentado el fenómeno se socavación pues un incremento en la relación señal/ruido (SNR) está directamente relacionado con el movimiento de partículas finas en suspensión.



**Figura 4.37** Gráfica de valores de SNR promedio de cada sección transversal medida



# DISCUSIÓN

## 5.1 Conclusiones

En la actualidad la necesidad de tener obras de ingeniería más seguras nos ha llevado a estudiar más a fondo los problemas asociados a la falla de estas. Es por eso que se desarrollan nuevas tecnología como el uso de instrumentos de medición mucho más precisos o el uso de programas para modelar diferentes escenarios, lo que permite hacer análisis más detallados de los factores que deterioran cada uno de los elementos que conforman las obras civiles.

El territorio nacional tiene una gran vulnerabilidad a sufrir eventos naturales extraordinarios capaces de ocasionar grandes daños, como se ha visto en las extraordinarias precipitaciones pluviales ocurridas en los últimos años, donde la fuerza del agua ha vencido las estructuras de ingeniería.

En el diseño y construcción de un puente de gran importancia para el desarrollo económico de una ciudad es importante garantizar la seguridad de este. Ya que un colapso de la estructura del puente significa grandes pérdidas económicas no solo por la inversión en su construcción, sino porque una vez que falla se interrumpe la comunicación de personas, traslado de mercancías, productos, bienes, servicios etc, generado pérdidas en toda la población beneficiada. Datos estadísticos que presenta el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua nos dicen que en Estados Unidos el 60% de puentes que fallan, son por causas de socavación y el 40% restante es a causa de fallas estructurales o de otra índole. Es un porcentaje muy alto de las fallas asociadas a socavación lo que nos indica que es necesario hacer análisis más minuciosos y detallados tratando de considerar la máxima cantidad de variables, en el cálculo de la profundidad de socavación en el diseño de puentes.



Gracias al estudio bibliográfico se ha podido comprobar que una gran cantidad de investigadores han estado trabajando desde hace muchos años en el desarrollo de instrumentos electrónicos para medir velocidades en cauces naturales cada vez más precisos y con un amplio manejo de la información. Además en materia de cálculo de la profundidad de socavación ha habido muchos investigadores que han contribuido con sus experiencias y recomiendan una forma de calcular la socavación local en pilas de puentes.

Lo que está claro es que la socavación local en la pila de un puente siempre se va a tener por el paso de una avenida, y lo único que podemos hacer es proteger las estructuras de la acción hidrodinámica del agua. Se piensa que en un futuro se pueda modificar las características del flujo antes de que llegue a la pila o al llegar a esta y de esta manera economizar las obras al evitar proteger con algún material adicional en el contorno de las pilas.

Sin olvidar que el análisis del flujo no es la solución principal para disminuir la socavación, pues aparte de conocer el comportamiento del flujo es necesario caracterizar el material del fondo del río y su estratigrafía así como el comportamiento del material ante el paso del flujo, el otro factor importante es sin duda la geometría de la estructura y esto se refiere a la forma de la pila, al ángulo entre la pila y la dirección del flujo y las dimensiones de la pila.

Sin embargo cuando se tiene puentes ya construidos se puede hacer un diagnóstico de cuál es el estado de la cimentación que está en medio de una corriente con la finalidad de prevenir posibles colapsos y lo que esto conlleva, este análisis se puede hacer con un instrumento como el Flow Tracker que recaba información muy completa del comportamiento de la velocidad en las inmediaciones de las pilas de los puentes.

En el desarrollo de este trabajo de tesis fue de mucha utilidad conocer la magnitud de la velocidad que llega de frente a la pila de un puente y sobre todo corroborar que en efecto se tiene presencia de vorticidades principalmente cuando el flujo llega a la pila, mientras que en el tramo donde está la pila se reduce relativamente la vorticidad pero que al salir el flujo de la zona donde está la pila se incrementa la vorticidad y la presencia de flujo turbulento, debido principalmente a que se presentan zonas de baja presión, por el incremento de la velocidad.

El Flow Tracker es una herramienta que se puede usar en el análisis del flujo tridimensional y sin duda nos muestra un amplio panorama del comportamiento de la velocidad no solo para el fin que se le dio en este trabajo de tesis, sino que también es útil en el aforo de gasto en ríos de poca profundidad e inclusive en ríos muy caudalosos haciendo uso de una embarcación.



Como conclusión general se puede agregar que hacer uso del Flow Tracker en el diagnóstico de la socavación local en la pila de un puente si es posible dado que el análisis que se hizo en la velocidad en cada una de las direcciones X, Y, Z nos muestra que el flujo en las inmediaciones de la pila es flujo turbulento y que evidentemente este flujo conlleva variaciones en el vector velocidad a cada instante y a diferente profundidad y esto es lo que provoca la socavación, el cambio de presiones y el cambio de velocidades en la periferia de la pila.

Pero además del análisis local de la pila se puede detectar el comportamiento general del flujo cuando se tiene un objeto interpuesto y que modifica las características hidráulicas de la sección del río. De los análisis generales en el cauce se puede mencionar que el comportamiento de la velocidad media en la dirección Z antes de entrar en la zona del puente y al salir, la dirección es de arriba hacia el lecho del río y en la zona donde está el puente cambia de dirección ahora es del lecho del río hacia arriba y pues en esta dirección el flujo provoca que el material del lecho sea extraído de su sitio induciendo la socavación, por otro lado el comportamiento de la velocidad máxima, que en general se observa que tiene variaciones en el sentido Y antes de entrar a la zona del puente y después de salir, debido a la presencia de la pila y estribo del puente.

Por último podemos decir que el uso del Flow Tracker en el análisis de un flujo tridimensional conlleva una gran ventaja en comparación al uso de instrumentos mecánicos como el molinete y que se puede usarse para hacer una revisión de las condiciones y características del flujo en una pila de un puente.

## **5.2 Recomendaciones**

El uso del Flow Tracker en cauces naturales se debe hacer cuidando cada uno de los criterios que se mencionan en el capítulo III de metodología, pues esto garantiza buenos resultados en la medición de velocidades, de los parámetros más importantes son el SNR, error estándar de velocidad o la presencia de límites. Estos tres criterios son comunes y se muestran después de que se realiza la medida. El mensaje de advertencia se muestra en la pantalla del instrumento, dando opción a aceptar la medición o repetirla, lo recomendable es volver a repetirla.

Para mejorar la relación señal/ruido (SNR), es necesario que se tenga presencia de sedimentos en suspensión si no se tiene se puede generar removiendo el lecho aguas arriba



de donde se va a hacer las mediciones de velocidad o en su caso agregar material arcilloso en polvo previo a hacer la recogida de datos.

Cuando el error estándar de velocidad es elevado ( $\sigma V$ ), puede indicar que hay interferencias cercanas al sensor o ambiente muy turbulento por lo que es necesario repetir la medida buscando alejarse de obstáculos sumergidos y tener en cuenta los niveles reales de turbulencia.

La presencia de límites el Flow Tracker lo evalúa como MALO, REGULAR, BIEN Y EXCELENTE. Para corregir este defecto de medición se puede recolocar el sensor cerciorándose que está por encima de 5 cm del fondo del cauce, debe estar a menos de 12 cm de la margen o talud del cauce, y que no se tenga la presencia de un obstáculo en el volumen de muestreo.

Si una vez que se ha repetido la medición en una estación por cualquiera de las circunstancias antes mencionadas, y los resultados vuelven a salir con advertencias, se puede aceptar la medición si los valores de velocidad son congruentes con el entorno, para ello se puede comparar los resultados de una estación previa o una estación cercana.

Otra de las medidas correctivas que se pueden tomar es modificar los criterios de control de calidad desde la definición de parámetros (mencionados en el capítulo III), donde se puede ampliar los rangos de cada uno de los criterios de calidad, pero cuidando de no llegar a valores excesivamente alejados de los valores mínimos o máximos recomendados.

Si se desea usar el Flow Tracker en un salto hidráulico o en un medio totalmente turbulento es difícil que en el tiempo de muestreo el instrumento muestre una velocidad media en cada dirección, el resultado de esto es una amplia gama de advertencias de control de calidad de datos, por lo que si se usa en medios turbulentos la velocidad que mide solo se puede visualizar en pantalla mas no procesar. En esta visualización se puede apreciar cómo cambia de dirección la velocidad a cada segundo

Si se pretende medir en agua salada es necesario instalar un ánodo de zinc para proteger la parte del sensor contra la corrosión, además es necesario tener el dato de la concentración en ppm de sal para ingresarlo al Flow Tracker y hacer la corrección en los cálculos de la velocidad de sonido.

La metodología utilizada en este trabajo de tesis para hacer el análisis de velocidades en las inmediaciones de la pila de un puente, resulto eficiente dado que nos permitió identificar las zonas donde el flujo se modifica por la presencia de la pila. Por lo que si se pretende realizar un estudio similar en algún otro puente se puede volver a usar dicha metodología.



## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Aparicio Mijares, Francisco J. (1989). *“Fundamentos de Hidrología Superficial”*. Limusa: México D.F.

Breusers, H. N. C., Nicollet, G., and Shen, H.W. (1977), *“Local scour around cylindrical piers”*. Journal of Hydraulic Research, vol.15, no. 3.

Chow, Ven Te. (1959), *“Hidráulica De Canales Abiertos”*. Ed. Mc Graw Hill. Illinois.

Martínez López, Griselda. (2007). *“Socavación en obras civiles y su problemática”*. Escuela Superior de Ingeniería del Instituto Politécnico nacional: México D.F.

Muste, Marian- Kim, Won y M. Fulford, Janice. (2008). *“Desarrollo de la tecnología hidrométrica: instrumentos nuevos y emergentes para trazar los mapas de las condiciones hidrodinámicas de los ríos”*. Boletín de la OMM 57 (3): EEUU.

Ochoa Alejo, Leonel H. *“Métodos y sistemas de medición de gasto”*. Coordinación de tecnología hidráulica, (IMTA). Subdirección General de administración del agua, (CNA). ISBN: 968-7417-64-1, México D.F.

Pedroza González, Edmundo. *“Medidor ultrasónico de efecto doppler para canales”*. Coordinación de tecnología hidráulica, (IMTA). Subdirección General de administración del agua, (CNA) ISBN: 968-7417-67-6, México D.F.

Pérez Morales, Guillermo Benjamín, Rodríguez Castro Jesús Alberto y Molina Aguilar Juan Pablo. (2010). *“Ingeniería de ríos, apuntes de la materia”*, U.M.S.N.H, F.I.C.

Ramírez Mendoza, Iván Hernando - Torres Rosado, Saily Antonia. Tesis de grado. (2008). *“Modelo tridimensional del flujo de agua en pilas de puente por simulación numérica”*. Universidad Francisco de Paula Santander: Colombia



Rocha Felices, Arturo. “Hidráulica de tuberías y canales”. (2007)

Ruiz Aparicio, Ángel. (2001) “*Medidores de velocidad (Hélice turbina y molinete)*”. Coordinación de tecnología hidráulica, (IMTA). Subdirección General de administración del agua, (CNA): Jiutepec, Morelos.

Sotelo Ávila, Gilberto. (1993). “*Apuntes de Hidráulica II*”. Facultad de Ingeniería, UNAM: México.

World Meteorological Organization. (2010). “*Manual on Stream Gauging*”. Volume I WMO-No. 1044.

Higuera, C. Pérez, G. (1989). “Socavación en Puentes. Análisis, prevención y rehabilitación”. Tesis de Maestría. Universidad del Cauca.

### ***Páginas de internet***

<http://www.sontek.com>

[http://translate.google.com.mx/translate?hl=es&sl=en&u=http://info-electronics.co.in/sontek/Digital\\_Current\\_Meter.htm&ei=IQqcTLfqFJK8sQOjpioCQ&sa=X&oi=translate&ct=result&resnum=5&ved=0CC0Q7gEwBA&prev=/search%3Fq%3DISO/USGS%26hl%3Des%26biw%3D1362%26bih%3D544%26rlz%3D1W1TSHL\\_esMX351](http://translate.google.com.mx/translate?hl=es&sl=en&u=http://info-electronics.co.in/sontek/Digital_Current_Meter.htm&ei=IQqcTLfqFJK8sQOjpioCQ&sa=X&oi=translate&ct=result&resnum=5&ved=0CC0Q7gEwBA&prev=/search%3Fq%3DISO/USGS%26hl%3Des%26biw%3D1362%26bih%3D544%26rlz%3D1W1TSHL_esMX351)

[http://www.imta.edu.mx/piunam/index.php?option=com\\_seyret&Itemid=528&task=videodirectlink&id=8](http://www.imta.edu.mx/piunam/index.php?option=com_seyret&Itemid=528&task=videodirectlink&id=8)

<http://www.yei.com/index.php>

<http://www.geonica.com/prod/149/239/Medida-de-CAUDAL-y-NIVEL-rios-canales/Caudalimetro-Rio-Pequeno/index.html>

<http://www.fhwa.dot.gov>



<http://www.usgs.gov/>

<http://www.whycos.org/chy/flowprojectx/index.php>

<http://www.whycos.org/chy/flowprojectx/technique.php?method=1>

[http://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/library\\_listing.cfm](http://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/library_listing.cfm)

<http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/hydraulics/99156/>



# Anexo 1. Información recabada con el Flow Tracker

En este anexo se mostraran todos los datos de velocidades obtenidos en las secciones que se midieron en el río donde se encuentra el puente en estudio.

Sección transversal no. 1

Resumen de aforo													Datos generados: Fri Nov 18 2011				
<b>Información de fichero</b>						<b>Detalles del punto de aforo</b>											
Nombre del fichero		DAT1411.TXT.WAD				Nom. del punto de aforo		HIDRAULICA									
Fecha y hora de inicio		2010/11/14 16:39:10				Operadores		HIDRAULICA									
<b>Información del sistema</b>						<b>Unidades técnicas (Metrico)</b>											
Tipo de sensor		FlowTracker				Distancia		m									
Numero de serie #		P3080				Velocidad		m/s									
Version de CPU		3.7				Area		m^2									
Version de software		2.30				Caudal		m^3/s									
Factor de corrección montaje		0.0%															
<b>Resumen</b>																	
Int. de promediado		40				# Estaciones		10									
SNR promedio		22.7 dB				Velocidad medida Vx		0.2832									
Temp promedio		12.16 °C				Velocidad medida Vy		-0.0602									
<b>Resultados de la medida</b>																	
St	PtoAfo1	PtoAfo2	Calado	CalMed	Reloj	Ndp	Spike	Vx	Vy	Vz	SNR1	SNR2	SNR3	Vxerr	Vyerr	Vzerr	BndTemp
1	0.00	0.00	0.000	0.000	16:39	40	1	0.1147	0.0147	-	14.1	15.4	13.7	0.0070	0.0061	0.0040	0 12.17
2	0.00	0.00	0.260	0.000	16:48	40	1	0.1202	0.0017	0.0086	18.9	19.7	18.4	0.0081	0.0061	0.0065	0 12.17
3	0.00	0.00	0.250	0.000	16:52	40	4	0.2663	-	-0.0030	21.5	22.3	20.2	0.0151	0.0097	0.0082	0 12.17
4	0.00	0.00	0.170	0.000	16:55	40	0	0.4486	-	-0.0012	24.9	25.7	23.6	0.0129	0.0080	0.0092	0 12.16
5	0.00	0.00	0.170	0.000	16:58	40	0	0.3786	-	-	26.6	27.9	27.0	0.0104	0.0063	0.0071	0 12.16
6	0.00	0.00	0.160	0.000	17:04	40	1	0.3768	-	-	30.9	30.9	30.5	0.0165	0.0080	0.0117	0 12.16
7	0.00	0.00	0.130	0.000	17:07	40	4	0.4687	-	-0.0095	29.2	30.1	27.9	0.0137	0.0065	0.0102	0 12.16
8	0.00	0.00	0.140	0.000	17:09	40	4	0.3500	-	-0.0059	24.9	25.7	23.6	0.0077	0.0065	0.0050	0 12.16
9	0.00	0.00	0.180	0.000	17:10	40	2	0.2455	0.0133	0.0145	19.3	20.2	18.4	0.0060	0.0042	0.0085	0 12.16
10	0.00	0.00	0.180	0.000	17:10	40	10	0.0627	0.0427	0.0010	15.9	17.2	15.9	0.0038	0.0031	0.0044	0 12.17



Sección transversal no. 2

Resumen de aforo														Datos generados: Fri Nov 18 2011				
<b>Información de fichero</b>							<b>Detalles del punto de aforo</b>											
Nombre del fichero DATOS02.TXT.WAD							Nom. del punto de aforo											
Fecha y hora de inicio 2010/11/14 17:28:59							Operadores HIDRAULICA											
<b>Información del sistema</b>							<b>Unidades técnicas (Metrico)</b>											
Tipo de sensor FlowTracker							Distancia m											
Numero de serie # P3080							Velocidad m/s											
Version de CPU 3.7							Area m^2											
Version de software 2.30							Caudal m^3/s											
Factor de corrección montaje 0.0%																		
<b>Resumen</b>																		
Int. de promediado 40							# Estaciones 11											
SNR promedio 20.6 dB							Velocidad medida Vx 0.2367											
Temp promedio 12.09 °C							Velocidad medida Vy -0.0695											
<b>Resultados de la medida</b>																		
St	PtoAfo1	PtoAfo2	Calado	CalMed	Reloj	Ndp	Spike	Vx	Vy	Vz	SNR1	SNR2	SNR3	Vxerr	Vyerr	Vzerr	Bnd	Temp
1	0.50	0.00	0.260	0.000	17:28	40	0	0.0545	0.0033	-0.0040	12.4	12.4	12.0	0.0041	0.0039	0.0041	0	12.13
2	1.00	0.00	0.310	0.000	17:36	40	0	0.1030	0.0347	-0.0013	16.3	16.7	15.4	0.0041	0.0032	0.0033	0	12.11
3	1.50	0.00	0.300	0.000	17:38	40	1	0.2084	0.0289	-	19.7	19.7	18.9	0.0080	0.0085	0.0095	0	12.10
4	2.00	0.00	0.200	0.000	17:40	40	2	0.3115	0.0934	-0.0003	23.2	24.0	22.3	0.0144	0.0111	0.0093	0	12.10
5	2.50	0.00	0.210	0.000	17:43	40	1	0.3754	0.1391	-	27.0	27.9	26.6	0.0072	0.0051	0.0058	0	12.09
6	3.00	0.00	0.160	0.000	17:45	40	3	0.3729	0.1357	-0.0003	28.3	28.8	27.0	0.0095	0.0086	0.0071	0	12.08
7	3.50	0.00	0.170	0.000	17:47	40	3	0.3319	0.1904	-	27.9	27.9	25.7	0.0137	0.0084	0.0083	0	12.08
8	4.00	0.00	0.140	0.000	17:48	40	0	0.2684	0.1327	-0.0159	22.3	23.6	21.5	0.0093	0.0069	0.0068	0	12.08
9	4.50	0.00	0.150	0.000	17:51	40	1	0.3464	0.0498	-	21.0	23.2	21.5	0.0098	0.0052	0.0089	0	12.08
10	5.00	0.00	0.160	0.000	17:52	40	1	0.1772	0.0153	-0.0098	16.7	17.6	15.9	0.0041	0.0043	0.0051	0	12.08
11	5.50	0.00	0.140	0.000	17:52	40	1	0.0544	0.0278	0.0035	12.4	12.8	11.6	0.0021	0.0019	0.0020	0	12.07



Sección transversal no. 3

Resumen de aforo														Datos generados: Fri Nov 18 2011				
<b>Información de fichero</b>							<b>Detalles del punto de aforo</b>											
Nombre del fichero DATOS03.TXT.WAD							Nom. del punto de aforo											
Fecha y hora de inicio 2010/11/15 10:09:32							Operadores HIDRAULICA											
<b>Información del sistema</b>							<b>Unidades técnicas (Metrico)</b>											
Tipo de sensor FlowTracker							Distancia m											
Número de serie # P3080							Velocidad m/s											
Versión de CPU 3.7							Area m <sup>2</sup>											
Versión de software 2.30							Caudal m <sup>3</sup> /s											
Factor de corrección montaje 0.0%																		
<b>Resumen</b>																		
Int. de promediado 40							# Estaciones 9											
SNR promedio 18.0 dB							Velocidad medida Vx 0.2434											
Temp promedio 8.07 °C							Velocidad medida Vy -0.0502											
<b>Resultados de la medida</b>																		
St	PtoAfo1	PtoAfo2	Calado	CalMed	Reloj	Ndp	Spike	Vx	Vy	Vz	SNR1	SNR2	SNR3	Vxerr	Vyerr	Vzerr	Bnd	Temp
1	0.50	0.00	0.190	0.000	10:09	40	1	0.0617	0.0000	0.0145	7.7	7.7	7.7	0.0052	0.0030	0.0047	0	8.05
2	1.00	0.00	0.270	0.000	10:13	40	1	0.1283	0.0170	-	12.4	13.3	12.0	0.0039	0.0023	0.0032	0	8.05
3	1.50	0.00	0.270	0.000	10:16	40	0	0.1991	-	-	15.0	15.9	14.6	0.0093	0.0069	0.0080	0	8.05
4	2.00	0.00	0.240	0.000	10:18	40	2	0.3963	0.0078	0.0098	21.9	23.2	21.5	0.0122	0.0092	0.0066	0	8.05
5	2.50	0.00	0.220	0.000	10:20	40	1	0.3430	0.0531	-	24.5	25.3	24.5	0.0103	0.0075	0.0076	0	8.05
6	3.00	0.00	0.220	0.000	10:23	40	1	0.3573	0.0535	0.0156	24.5	25.7	24.0	0.0112	0.0073	0.0057	0	8.08
7	3.50	0.00	0.150	0.000	10:28	40	2	0.2888	0.1226	-	19.7	20.6	22.7	0.0126	0.0050	0.0583	1	8.09
8	4.00	0.00	0.110	0.000	10:30	40	2	0.2819	0.1800	0.0605	18.9	19.3	19.7	0.0186	0.0068	0.0193	0	8.10
9	5.00	0.00	0.110	0.000	10:30	40	3	0.1345	0.0351	0.0915	15.4	15.4	14.1	0.0057	0.0043	0.0047	0	8.13
									0.0150	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Sección transversal no. 4

Resumen de aforo														Datos generados: Fri Nov 18 2011				
<b>Información de fichero</b>							<b>Detalles del punto de aforo</b>											
Nombre del fichero DATOS04.TXT.WAD							Nom. del punto de aforo											
Fecha y hora de inicio 2010/11/15 10:52:12							Operadores HIDRAULICA											
<b>Información del sistema</b>							<b>Unidades técnicas (Metrico)</b>											
Tipo de sensor FlowTracker							Distancia m											
Número de serie # P3080							Velocidad m/s											
Versión de CPU 3.7							Area m <sup>2</sup>											
Versión de software 2.30							Caudal m <sup>3</sup> /s											
Factor de corrección montaje 0.0%																		
<b>Resumen</b>																		
Int. de promediado 40							# Estaciones 10											
SNR promedio 16.6 dB							Velocidad medida Vx 0.1979											
Temp promedio 8.39 °C							Velocidad medida Vy -0.0472											
<b>Resultados de la medida</b>																		
St	PtoAfo1	PtoAfo2	Calado	CalMed	Reloj	Ndp	Spike	Vx	Vy	Vz	SNR1	SNR2	SNR3	Vxerr	Vyerr	Vzerr	Bnd	Temp
1	0.50	0.00	0.260	0.000	10:52	40	0	0.0516	0.0052	-0.0035	8.1	8.6	8.1	0.0018	0.0021	0.0022	0	8.27
2	1.00	0.00	0.310	0.000	10:55	40	0	0.0814	0.0103	-0.0045	9.0	9.4	8.6	0.0039	0.0023	0.0027	0	8.28
3	1.50	0.00	0.310	0.000	10:58	40	3	0.1860	0.0195	-	15.0	16.3	15.0	0.0062	0.0048	0.0056	0	8.29
4	2.00	0.00	0.320	0.000	11:02	40	1	0.2967	0.0496	-0.0053	19.3	19.7	18.4	0.0109	0.0096	0.0073	0	8.33
5	2.50	0.00	0.300	0.000	11:04	40	2	0.3535	0.0639	-	23.2	24.0	22.7	0.0080	0.0049	0.0048	0	8.35
6	3.00	0.00	0.250	0.000	11:07	40	1	0.3637	0.0503	-	24.0	24.5	23.6	0.0092	0.0045	0.0068	0	8.38
7	3.50	0.00	0.250	0.000	11:11	40	1	0.2307	0.0721	-	20.2	20.6	19.7	0.0077	0.0065	0.0057	0	8.42
8	4.00	0.00	0.120	0.000	11:15	40	3	0.0792	0.0503	-	15.4	15.4	14.6	0.0058	0.0029	0.0038	0	8.46
9	4.50	0.00	0.110	0.000	11:20	40	4	0.1283	0.0353	-	14.6	17.2	19.3	0.0162	0.0049	0.0225	3	8.53
10	5.00	0.00	0.120	0.000	11:20	40	0	0.2075	0.1150	-0.0312	14.6	15.4	14.1	0.0070	0.0058	0.0073	0	8.57



Sección transversal no. 5

Resumen de aforo															Datos generados: Fri Nov 18 2011			
<b>Información de fichero</b>							<b>Detalles del punto de aforo</b>											
Nombre del fichero		DATOS05.TXT.WAD					Nom. del punto de aforo			HIDRAULICA								
Fecha y hora de inicio		2010/11/15 11:40:41					Operadores			HIDRAULICA								
<b>Información del sistema</b>							<b>Unidades tecnicas (Metrico)</b>											
Tipo de sensor		FlowTracker					Distancia			m								
Numero de serie #		P3080					Velocidad			m/s								
Version de CPU		3.7					Area			m^2								
Version de software		2.30					Caudal			m^3/s								
Factor de corrección montaje		0.0%																
<b>Resumen</b>																		
Int. de promediado		40			# Estaciones			11										
SNR promedio		16.1 dB			Velocidad medida Vx			0.1350										
Temp promedio		8.92 °C			Velocidad medida Vy			-0.0150										
<b>Resultados de la medida</b>																		
St	PtoAfo1	PtoAfo2	Calado	CalMed	Reloj	Ndp	Spike	Vx	Vy	Vz	SNR1	SNR2	SNR3	Vxerr	Vyerr	Vzerr	Bnd	Temp
1	0.50	0.00	0.210	0.000	11:40	40	0	0.0520	0.0040	-0.0058	11.6	12.4	11.1	0.0022	0.0010	0.0013	0	8.74
2	1.00	0.00	0.340	0.000	11:44	40	1	0.0875	0.0095	0.0068	9.4	9.8	8.1	0.0043	0.0027	0.0024	0	8.79
3	1.50	0.00	0.310	0.000	11:46	40	0	0.1938	0.0177	-0.0020	16.3	17.6	15.9	0.0066	0.0054	0.0046	0	8.81
4	2.00	0.00	0.320	0.000	11:48	40	0	0.2943	0.0139	-0.0156	20.2	21.0	19.7	0.0093	0.0079	0.0065	0	8.85
5	2.50	0.00	0.320	0.000	11:50	40	2	0.3209	0.0215	-0.0064	23.6	24.5	23.6	0.0078	0.0065	0.0044	0	8.87
6	3.00	0.00	0.260	0.000	11:52	40	0	0.3125	0.0314	-0.0161	21.5	22.7	21.5	0.0061	0.0052	0.0040	0	8.90
7	3.50	0.00	0.220	0.000	11:59	40	2	0.0834	0.0031	-	15.0	15.9	14.6	0.0043	0.0028	0.0036	0	8.98
8	4.00	0.00	0.200	0.000	12:02	40	1	0.1425	0.0770	-	14.1	15.0	13.3	0.0073	0.0046	0.0043	0	9.02
9	4.50	0.00	0.200	0.000	12:05	40	2	0.0248	0.0369	-0.0023	13.7	14.6	12.8	0.0078	0.0046	0.0041	0	9.04
10	5.00	0.00	0.180	0.000	12:08	40	0	-	0.0314	-0.0195	12.0	12.4	12.0	0.0020	0.0021	0.0019	0	9.05
11	5.50	0.00	0.130	0.000	12:08	40	0	0.0048	0.0112	0.0018	18.9	18.9	18.0	0.0008	0.0008	0.0008	0	9.08



Sección transversal no. 6

Resumen de aforo														Datos generados: Fri Nov 18 2011				
<b>Información de fichero</b>							<b>Detalles del punto de aforo</b>											
Nombre del fichero DATOS061.TXT.WAD							Nom. del punto de aforo											
Fecha y hora de inicio 2010/11/15 12:41:59							Operadores HIDRAULICA											
<b>Información del sistema</b>							<b>Unidades técnicas (Metrico)</b>											
Tipo de sensor FlowTracker							Distancia m											
Numero de serie # P3080							Velocidad m/s											
Version de CPU 3.7							Area m^2											
Version de software 2.30							Caudal m^3/s											
Factor de corrección montaje 0.0%																		
<b>Resumen</b>																		
Int. de promediado 40							# Estaciones 10											
SNR promedio 16.5 dB							Velocidad medida Vx 0.1288											
Temp promedio 9.72 °C							Velocidad medida Vy -0.0114											
<b>Resultados de la medida</b>																		
St	PtoAfo1	PtoAfo2	Calado	CalMed	Reloj	Ndp	Spike	Vx	Vy	Vz	SNR1	SNR2	SNR3	Vxerr	Vyerr	Vzerr	Bnd	Temp
1	0.50	0.00	0.250	0.000	12:41	40	0	0.0539	-0.0055	7.7	9.0	7.3	0.0020	0.0016	0.0015	0	9.48	
2	1.00	0.00	0.350	0.000	12:45	40	1	0.1333	0.0028	0.0087	10.7	12.4	11.1	0.0053	0.0054	0.0048	0	9.54
3	1.50	0.00	0.335	0.000	12:47	40	0	0.2341	-0.0117	16.7	18.4	16.3	0.0083	0.0061	0.0062	0	9.60	
4	2.00	0.00	0.300	0.000	12:48	40	0	0.3457	-0.0055	22.3	22.7	21.0	0.0085	0.0065	0.0066	0	9.63	
5	2.50	0.00	0.290	0.000	12:51	40	2	0.3398	-0.0109	23.6	25.3	23.2	0.0066	0.0061	0.0038	0	9.67	
6	3.00	0.00	0.300	0.000	12:53	40	2	0.1311	-0.0032	15.4	16.3	15.4	0.0046	0.0033	0.0043	0	9.71	
7	3.50	0.00	0.330	0.000	13:00	40	0	0.1327	-0.0060	12.4	12.4	12.4	0.0054	0.0055	0.0042	0	9.82	
8	4.00	0.00	0.430	0.000	13:05	40	2	0.137	-0.0025	9.4	9.0	8.6	0.0018	0.0016	0.0023	0	9.89	
9	4.50	0.00	0.380	0.000	13:09	40	1	0.0289	-0.0092	24.5	25.3	23.6	0.0015	0.0013	0.0012	0	9.93	
10	4.75	0.00	0.320	0.000	13:09	40	0	0.400	0.0005	0.0097	21.0	21.5	20.6	0.0015	0.0012	0.0010	0	9.97

Sección transversal no. 7

Resumen de aforo														Datos generados: Fri Nov 18 2011				
<b>Información de fichero</b>							<b>Detalles del punto de aforo</b>											
Nombre del fichero DATOS07.TXT.WAD							Nom. del punto de aforo											
Fecha y hora de inicio 2010/11/15 13:39:12							Operadores HIDRAULICA											
<b>Información del sistema</b>							<b>Unidades técnicas (Metrico)</b>											
Tipo de sensor FlowTracker							Distancia m											
Numero de serie # P3080							Velocidad m/s											
Version de CPU 3.7							Area m^2											
Version de software 2.30							Caudal m^3/s											
Factor de corrección montaje 0.0%																		
<b>Resumen</b>																		
Int. de promediado 40							# Estaciones 10											
SNR promedio 15.2 dB							Velocidad medida Vx 0.1292											
Temp promedio 10.69 °C							Velocidad medida Vy 0.0139											
<b>Resultados de la medida</b>																		
St	PtoAfo1	PtoAfo2	Calado	CalMed	Reloj	Ndp	Spike	Vx	Vy	Vz	SNR1	SNR2	SNR3	Vxerr	Vyerr	Vzerr	Bnd	Temp
1	0.50	0.00	0.280	0.000	13:39	40	0	0.0856	0.0125	0.0106	11.1	12.0	9.8	0.0039	0.0039	0.0032	0	10.47
2	1.00	0.00	0.330	0.000	13:42	40	0	0.1646	0.0269	0.0217	13.3	14.1	13.3	0.0072	0.0042	0.0048	0	10.52
3	1.50	0.00	0.330	0.000	13:43	40	0	0.2613	0.0331	0.0123	18.4	19.3	18.4	0.0113	0.0073	0.0057	0	10.56
4	2.00	0.00	0.320	0.000	13:47	40	1	0.3348	0.0114	0.0145	21.9	22.3	22.7	0.0069	0.0048	0.0049	0	10.62
5	2.50	0.00	0.330	0.000	13:49	40	1	0.2812	-0.0151	20.2	20.2	19.3	0.0057	0.0043	0.0041	0	10.66	
6	3.00	0.00	0.340	0.000	13:52	40	1	0.1138	0.0027	0.0090	12.4	13.3	12.4	0.0033	0.0033	0.0040	0	10.72
7	3.50	0.00	0.400	0.000	13:55	40	0	0.0647	0.0192	0.0186	11.1	10.7	9.4	0.0026	0.0032	0.0032	0	10.74
8	4.00	0.00	0.480	0.000	14:02	40	1	0.0207	0.0354	0.0028	11.1	11.1	10.7	0.0021	0.0021	0.0022	0	10.82
9	4.50	0.00	0.450	0.000	14:05	40	0	0.0356	-0.0008	0.0050	15.4	15.4	14.1	0.0017	0.0018	0.0020	0	10.86
10	4.60	0.00	0.340	0.000	14:05	40	0	0.0005	-0.0003	0.0013	15.4	18.0	18.9	0.0006	0.0002	0.0007	0	10.92



Sección transversal no. 8

Resumen de aforo															Datos generados: Fri Nov 18 2011									
<b>Información de fichero</b>										<b>Detalles del punto de aforo</b>														
Nombre del fichero					DATOS08.TXT.WAD					Nom. del punto de aforo					HIDRAULICA									
Fecha y hora de inicio					2010/11/15 14:25:35					Operadores					HIDRAULICA									
<b>Información del sistema</b>										<b>Unidades técnicas (Metrico)</b>														
Tipo de sensor					FlowTracker					Distancia					m									
Número de serie #					P3080					Velocidad					m/s									
Versión de CPU					3.7					Area					m^2									
Versión de software					2.30					Caudal					m^3/s									
Factor de corrección montaje					0.0%																			
<b>Resumen</b>																								
Int. de promediado					40					# Estaciones					9									
SNR promedio					20.3 dB					Velocidad medida Vx					0.1529									
Temp promedio					11.41 °C					Velocidad medida Vy					0.0212									
<b>Resultados de la medida</b>																								
St	PtoAfo1	PtoAfo2	Calado	CalMed	Reloj	Ndp	Spike	Vx	Vy	Vz	SNR1	SNR2	SNR3	Vxerr	Vyerr	Vzerr	Bnd	Temp						
1	0.50	0.00	0.290	0.000	14:25	40	5	0.1059	-0.0014	-0.0088	11.1	11.6	10.3	0.0037	0.0028	0.0030	0	11.25						
2	1.00	0.00	0.290	0.000	14:28	40	0	0.2021	0.0120	0.0181	15.9	16.3	15.9	0.0083	0.0055	0.0059	0	11.29						
3	1.50	0.00	0.350	0.000	14:29	40	2	0.3049	0.0322	0.0199	19.3	21.0	19.3	0.0095	0.0053	0.0075	0	11.32						
4	2.00	0.00	0.340	0.000	14:32	40	1	0.3278	0.0117	0.0304	22.3	23.6	22.3	0.0065	0.0059	0.0049	0	11.36						
5	2.50	0.00	0.340	0.000	14:34	40	1	0.2595	0.0251	0.0148	19.3	21.0	18.9	0.0053	0.0044	0.0045	0	11.40						
6	3.00	0.00	0.370	0.000	14:37	40	0	0.1195	0.0325	0.0091	12.8	13.7	12.4	0.0024	0.0022	0.0025	0	11.44						
7	3.50	0.00	0.430	0.000	14:44	40	0	0.0577	0.0414	0.0215	30.9	30.9	29.6	0.0030	0.0021	0.0021	0	11.52						
8	4.00	0.00	0.580	0.000	14:45	40	0	0.0247	0.0316	-0.0033	29.2	29.2	27.9	0.0020	0.0012	0.0012	0	11.53						
9	4.50	0.00	0.340	0.000	14:45	40	0	-0.0061	-0.0084	-0.0061	21.5	21.5	20.2	0.0010	0.0014	0.0013	0	11.54						

Sección transversal no. 9

Resumen de aforo															Datos generados: Fri Nov 18 2011									
<b>Información de fichero</b>										<b>Detalles del punto de aforo</b>														
Nombre del fichero					DATOS09.TXT.WAD					Nom. del punto de aforo					HIDRAULICA									
Fecha y hora de inicio					2010/11/15 14:59:47					Operadores					HIDRAULICA									
<b>Información del sistema</b>										<b>Unidades técnicas (Metrico)</b>														
Tipo de sensor					FlowTracker					Distancia					m									
Número de serie #					P3080					Velocidad					m/s									
Versión de CPU					3.7					Area					m^2									
Versión de software					2.30					Caudal					m^3/s									
Factor de corrección montaje					0.0%																			
<b>Resumen</b>																								
Int. de promediado					40					# Estaciones					9									
SNR promedio					18.5 dB					Velocidad medida Vx					0.1349									
Temp promedio					11.76 °C					Velocidad medida Vy					0.0305									
<b>Resultados de la medida</b>																								
St	PtoAfo1	PtoAfo2	Calado	CalMed	Reloj	Ndp	Spike	Vx	Vy	Vz	SNR1	SNR2	SNR3	Vxerr	Vyerr	Vzerr	Bnd	Temp						
1	0.50	0.00	0.300	0.000	14:59	40	0	0.1503	0.0029	0.0123	12.4	12.8	11.1	0.0071	0.0031	0.0039	0	11.67						
2	1.00	0.00	0.340	0.000	15:01	40	0	0.1596	0.0102	0.0141	15.0	16.7	14.6	0.0070	0.0058	0.0051	0	11.69						
3	1.50	0.00	0.320	0.000	15:03	40	1	0.2795	0.0405	0.0255	18.9	19.7	18.9	0.0079	0.0060	0.0064	0	11.71						
4	2.00	0.00	0.340	0.000	15:04	40	0	0.2894	0.0396	0.0354	21.0	22.3	21.0	0.0062	0.0052	0.0049	0	11.72						
5	2.50	0.00	0.330	0.000	15:06	40	1	0.1848	0.0430	0.0253	17.6	18.9	17.2	0.0045	0.0034	0.0035	0	11.74						
6	3.00	0.00	0.370	0.000	15:09	40	0	0.0957	0.0412	0.0148	13.3	14.1	12.0	0.0023	0.0018	0.0024	0	11.77						
7	3.50	0.00	0.430	0.000	15:13	40	0	0.0380	0.0577	0.0129	24.5	24.5	23.6	0.0020	0.0014	0.0017	0	11.82						
8	4.00	0.00	0.400	0.000	15:17	40	0	0.0211	0.0334	0.0028	21.0	21.0	20.2	0.0010	0.0011	0.0013	0	11.84						
9	4.50	0.00	0.200	0.000	15:17	40	0	0.0043	-0.0058	0.0007	22.3	23.2	20.6	0.0005	0.0006	0.0007	0	11.84						



Sección transversal no. 10

Resumen de aforo															Datos generados: Fri Nov 18 2011				
<b>Información de fichero</b>										<b>Detalles del punto de aforo</b>									
Nombre del fichero					DATOS101.TXT.WAD					Nom. del punto de aforo					HIDRAULICA				
Fecha y hora de inicio					2010/11/20 14:56:41					Operadores									
<b>Información del sistema</b>										<b>Unidades tecnicas (Metrico)</b>									
Tipo de sensor					FlowTracker					Distancia					m				
Numero de serie #					P3080					Velocidad					m/s				
Version de CPU					3.7					Area					m^2				
Version de software					2.30					Caudal					m^3/s				
Factor de corrección montaje					0.0%														
<b>Resumen</b>																			
Int. de promediado					40					# Estaciones					10				
SNR promedio					19.2 dB					Velocidad medida Vx					0.1190				
Temp promedio					11.78 °C					Velocidad medida Vy					0.0278				
<b>Resultados de la medida</b>																			
St	PtoAfo1	PtoAfo2	Calado	CalMed	Reloj	Ndp	Spike	Vx	Vy	Vz	SNR1	SNR2	SNR3	Vxerr	Vyerr	Vzerr	Bnd	Temp	
1	0.00	0.00	0.270	0.120	14:56	40	0	0.1032	0.0046	0.0127	15.4	15.9	13.7	0.0035	0.0032	0.0034	0	11.70	
2	0.50	0.00	0.300	0.140	14:58	40	0	0.1364	0.0184	0.0059	15.4	16.3	13.7	0.0051	0.0034	0.0050	0	11.72	
3	1.00	0.00	0.310	0.130	15:01	40	3	0.1819	0.0125	0.0016	17.2	17.6	17.6	0.0066	0.0047	0.0046	0	11.75	
4	1.50	0.00	0.320	0.150	15:04	40	2	0.2332	0.0455	0.0119	19.7	20.2	18.4	0.0066	0.0035	0.0042	0	11.77	
5	2.00	0.00	0.310	0.150	15:06	40	1	0.2304	0.0711	0.0026	19.7	20.2	18.9	0.0064	0.0037	0.0034	0	11.79	
6	2.50	0.00	0.290	0.150	15:08	40	0	0.1568	0.0623	0.0052	17.2	18.0	16.3	0.0035	0.0030	0.0028	0	11.80	
7	3.00	0.00	0.310	0.170	15:11	40	0	0.0791	0.0324	0.0039	11.6	12.4	11.6	0.0029	0.0023	0.0023	0	11.82	
8	3.50	0.00	0.290	0.150	15:14	40	0	0.0282	0.0189	0.0005	28.3	28.3	27.0	0.0016	0.0013	0.0014	0	11.82	
9	4.00	0.00	0.220	0.110	15:16	40	0	0.0251	0.0184	0.0020	25.3	26.2	24.5	0.0013	0.0010	0.0010	0	11.83	
10	4.50	0.00	0.150	0.070	15:16	40	0	0.0152	0.0028	0.0029	23.6	24.0	22.7	0.0008	0.0005	0.0005	0	11.83	

Sección transversal no. 11

Resumen de aforo															Datos generados: Fri Nov 18 2011				
<b>Información de fichero</b>										<b>Detalles del punto de aforo</b>									
Nombre del fichero					DATOS11.TXT.WAD					Nom. del punto de aforo					HIDRAULICA				
Fecha y hora de inicio					2010/11/20 15:29:26					Operadores									
<b>Información del sistema</b>										<b>Unidades tecnicas (Metrico)</b>									
Tipo de sensor					FlowTracker					Distancia					m				
Numero de serie #					P3080					Velocidad					m/s				
Version de CPU					3.7					Area					m^2				
Version de software					2.30					Caudal					m^3/s				
Factor de corrección montaje					0.0%														
<b>Resumen</b>																			
Int. de promediado					40					# Estaciones					9				
SNR promedio					15.6 dB					Velocidad medida Vx					0.1447				
Temp promedio					12.04 °C					Velocidad medida Vy					0.0357				
<b>Resultados de la medida</b>																			
St	PtoAfo1	PtoAfo2	Calado	CalMed	Reloj	Ndp	Spike	Vx	Vy	Vz	SNR1	SNR2	SNR3	Vxerr	Vyerr	Vzerr	Bnd	Temp	
1	0.50	0.00	0.190	0.090	15:29	40	1	0.1435	0.0135	0.0107	14.6	14.1	13.3	0.0047	0.0030	0.0038	0	11.97	
2	1.00	0.00	0.260	0.120	15:32	40	0	0.1541	0.0241	0.0000	15.9	15.9	15.4	0.0051	0.0036	0.0033	0	12.00	
3	1.50	0.00	0.290	0.130	15:34	40	0	0.1870	0.0389	0.0084	18.0	18.9	16.3	0.0073	0.0058	0.0040	0	12.02	
4	2.00	0.00	0.300	0.140	15:35	40	0	0.2500	0.0766	0.0006	20.2	20.2	19.3	0.0060	0.0052	0.0038	0	12.02	
5	2.50	0.00	0.300	0.150	15:37	40	0	0.2125	0.0646	0.0023	20.2	21.0	20.2	0.0046	0.0033	0.0037	0	12.03	
6	3.00	0.00	0.300	0.140	15:39	40	0	0.1621	0.0421	0.0008	17.2	17.6	16.3	0.0043	0.0032	0.0031	0	12.05	
7	3.50	0.00	0.260	0.150	15:42	40	0	0.0864	0.0237	0.0040	13.7	13.3	12.4	0.0023	0.0018	0.0019	0	12.07	
8	4.00	0.00	0.210	0.110	15:43	40	0	0.0578	0.0228	0.0038	12.0	12.4	10.7	0.0012	0.0012	0.0011	0	12.08	
9	4.50	0.00	0.150	0.070	15:43	40	0	0.0492	0.0146	0.0046	10.7	10.7	9.8	0.0011	0.0007	0.0011	0	12.08	



Sección transversal no. 12

Resumen de aforo															Datos generados: Fri Nov 18 2011								
<b>Información de fichero</b>										<b>Detalles del punto de aforo</b>													
Nombre del fichero DATOS12.TXT.WAD										Nom. del punto de aforo													
Fecha y hora de inicio 2010/11/20 15:54:56										Operadores HIDRAULICA													
<b>Información del sistema</b>										<b>Unidades técnicas</b>					<b>(Metrico)</b>								
Tipo de sensor FlowTracker										Distancia					m								
Numero de serie # P3080										Velocidad					m/s								
Version de CPU 3.7										Area					m^2								
Version de software 2.30										Caudal					m^3/s								
Factor de corrección montaje 0.0%																							
<b>Resumen</b>																							
Int. de promediado 40										# Estaciones					9								
SNR promedio 14.0 dB										Velocidad medida Vx					0.1771								
Temp promedio 12.14 °C										Velocidad medida Vy					0.0521								
<b>Resultados de la medida</b>																							
St	PtoAfo1	PtoAfo2	Calado	CalMed	Reloj	Ndp	Spike	Vx	Vy	Vz	SNR1	SNR2	SNR3	Vxerr	Vyerr	Vzerr	Bnd	Temp					
1	1.00	0.00	0.120	0.070	15:54	40	2	0.1478	0.0147	-	12.0	12.8	11.1	0.0039	0.0024	0.0023	0	12.13					
2	1.50	0.00	0.190	0.080	15:56	40	0	0.1928	0.0472	0.0016	13.3	14.6	12.8	0.0035	0.0033	0.0034	0	12.15					
3	2.00	0.00	0.220	0.100	15:58	40	0	0.2231	0.0694	0.0008	15.4	16.3	14.1	0.0058	0.0045	0.0049	0	12.12					
4	2.50	0.00	0.270	0.130	16:00	40	0	0.2526	0.0723	0.0045	18.0	18.9	18.0	0.0054	0.0044	0.0034	0	12.13					
5	3.00	0.00	0.280	0.140	16:02	40	2	0.2470	0.0774	0.0100	16.7	17.6	16.3	0.0033	0.0030	0.0033	0	12.13					
6	3.50	0.00	0.270	0.130	16:04	40	0	0.1924	0.0628	0.0021	15.0	16.7	14.6	0.0035	0.0024	0.0025	0	12.14					
7	4.00	0.00	0.230	0.120	16:06	40	2	0.1390	0.0601	0.0006	12.4	13.7	12.0	0.0021	0.0018	0.0020	0	12.14					
8	4.50	0.00	0.150	0.090	16:08	40	0	0.1113	0.0355	0.0059	11.6	12.0	10.3	0.0016	0.0012	0.0013	0	12.16					
9	5.00	0.00	0.100	0.060	16:08	40	4	0.0876	0.0299	0.0211	10.7	11.6	10.7	0.0023	0.0010	0.0037	2	12.17					

Sección transversal no. 13

Resumen de aforo															Datos generados: Fri Nov 18 2011								
<b>Información de fichero</b>										<b>Detalles del punto de aforo</b>													
Nombre del fichero DATOS13.TXT.WAD										Nom. del punto de aforo													
Fecha y hora de inicio 2010/11/20 16:20:28										Operadores HIDRAULICA													
<b>Información del sistema</b>										<b>Unidades técnicas</b>					<b>(Metrico)</b>								
Tipo de sensor FlowTracker										Distancia					m								
Numero de serie # P3080										Velocidad					m/s								
Version de CPU 3.7										Area					m^2								
Version de software 2.30										Caudal					m^3/s								
Factor de corrección montaje 0.0%																							
<b>Resumen</b>																							
Int. de promediado 40										# Estaciones					7								
SNR promedio 13.9 dB										Velocidad medida Vx					0.2123								
Temp promedio 12.25 °C										Velocidad medida Vy					0.0481								
<b>Resultados de la medida</b>																							
St	PtoAfo1	PtoAfo2	Calado	CalMed	Reloj	Ndp	Spike	Vx	Vy	Vz	SNR1	SNR2	SNR3	Vxerr	Vyerr	Vzerr	Bnd	Temp					
1	1.00	0.00	0.120	0.070	16:20	40	10	0.1153	0.0161	0.0035	11.6	12.0	11.1	0.0042	0.0033	0.0048	0	12.25					
2	1.50	0.00	0.200	0.100	16:22	40	0	0.2266	0.0527	0.0035	12.8	13.7	12.4	0.0048	0.0030	0.0027	0	12.25					
3	2.00	0.00	0.230	0.110	16:25	40	0	0.2631	0.0540	0.0037	16.7	17.2	15.4	0.0072	0.0044	0.0052	0	12.25					
4	2.50	0.00	0.260	0.130	16:27	40	1	0.2815	0.0777	0.0353	15.9	17.2	15.9	0.0056	0.0053	0.0037	0	12.25					
5	3.00	0.00	0.230	0.120	16:29	40	2	0.2584	0.0052	0.0051	15.4	16.3	15.0	0.0038	0.0035	0.0023	0	12.25					
6	3.50	0.00	0.230	0.120	16:31	40	0	0.1903	0.0587	0.0014	14.1	15.4	13.3	0.0025	0.0022	0.0023	0	12.26					
7	4.00	0.00	0.160	0.080	16:31	40	3	0.1507	0.0724	0.0043	9.8	10.3	9.4	0.0019	0.0020	0.0017	0	12.27					



Sección transversal no. 14

Resumen de aforo

Datos generados: Fri Nov 18 2011

<b>Información de fichero</b>		<b>Detalles del punto de aforo</b>	
Nombre del fichero	DATOS14.TXT.WAD	Nom. del punto de aforo	
Fecha y hora de inicio	2010/11/20 16:52:05	Operadores	HIDRAULICA

<b>Información del sistema</b>		<b>Unidades técnicas (Metrico)</b>	
Tipo de sensor	FlowTracker	Distancia	m
Numero de serie #	P3080	Velocidad	m/s
Version de CPU	3.7	Area	m^2
Version de software	2.30	Caudal	m^3/s
Factor de corrección montaje	0.0%		

<b>Resumen</b>			
Int. de promediado	40	# Estaciones	11
SNR promedio	16.0 dB	Velocidad medida Vx	0.1466
Temp promedio	12.26 °C	Velocidad medida Vy	0.0363

<b>Resultados de la medida</b>																	
St	PtoAfo1	PtoAfo2	Calado	CalMed	Reloj	Ndp	Spike	Vx	Vy	Vz	SNR1	SNR2	SNR3	Vxerr	Vyerr	Vzerr	BndTemp
1	1.00	0.00	0.160	0.080	16:52	40	1	0.0562	0.0226	-0.0260	9.8	10.3	8.6	0.0059	0.0051	0.0081	0 12.30
2	1.50	0.00	0.200	0.100	16:54	40	2	0.2895	0.0349	-0.0101	14.1	14.6	12.4	0.0059	0.0033	0.0044	0 12.35
3	2.00	0.00	0.210	0.100	16:56	40	0	0.2738	0.0665	-0.0096	15.4	15.9	14.1	0.0075	0.0041	0.0056	0 12.29
4	2.50	0.00	0.220	0.110	16:58	40	2	0.2560	0.0590	-0.0234	17.2	17.6	16.3	0.0067	0.0064	0.0069	0 12.28
5	3.00	0.00	0.220	0.110	17:00	40	0	0.2558	0.0733	-0.0220	15.9	16.3	15.0	0.0055	0.0027	0.0041	0 12.26
6	3.50	0.00	0.190	0.090	17:01	40	1	0.2334	0.0784	-0.0081	12.8	13.7	12.8	0.0029	0.0036	0.0027	0 12.27
7	4.00	0.00	0.100	0.060	17:03	40	8	0.1971	0.0892	-0.0214	10.3	12.0	10.7	0.0045	0.0027	0.0035	0 12.25
8	5.50	0.00	0.190	0.090	17:05	40	2	0.0496	0.0349	0.0053	7.3	7.7	6.8	0.0026	0.0026	0.0026	0 12.24
9	6.00	0.00	0.290	0.140	17:07	40	2	0.0089	-0.0086	-0.0024	7.7	7.7	6.4	0.0017	0.0017	0.0018	0 12.21
10	6.50	0.00	0.300	0.150	17:11	40	0	-0.0067	0.0030	0.0021	27.0	26.2	25.3	0.0012	0.0013	0.0011	0 12.27
11	7.00	0.00	0.220	0.110	17:11	40	0	0.0011	0.0032	0.0013	38.7	42.1	39.5	0.0016	0.0012	0.0011	0 12.09



Sección transversal no. 15

Resumen de aforo															Datos generados: Fri Nov 18 2011			
<b>Información de fichero</b>							<b>Detalles del punto de aforo</b>											
Nombre del fichero DATOS15.TXT.WAD							Nom. del punto de aforo											
Fecha y hora de inicio 2010/11/20 17:27:32							Operadores HIDRAULICA											
<b>Información del sistema</b>							<b>Unidades técnicas (Metrico)</b>											
Tipo de sensor FlowTracker							Distancia m											
Numero de serie # P3080							Velocidad m/s											
Version de CPU 3.7							Area m^2											
Version de software 2.30							Caudal m^3/s											
Factor de corrección montaje 0.0%																		
<b>Resumen</b>																		
Int. de promediado 40							# Estaciones 11											
SNR promedio 12.7 dB							Velocidad medida Vx 0.1381											
Temp promedio 12.21 °C							Velocidad medida Vy 0.0222											
<b>Resultados de la medida</b>																		
St	PtoAfo1	PtoAfo2	Calado	CalMed	Reloj	Ndp	Spike	Vx	Vy	Vz	SNR1	SNR2	SNR3	Vxerr	Vyerr	Vzerr	Bnd	Temp
1	0.50	0.00	0.140	0.070	17:27	40	2	0.0730	-0.0051	15.4	15.9	14.6	0.0036	0.0028	0.0044	0	12.31	
2	1.00	0.00	0.210	0.100	17:30	40	3	0.0792	0.0122	0.0021	9.8	11.1	9.4	0.0037	0.0028	0.0027	0	12.21
3	1.50	0.00	0.200	0.100	17:32	40	1	0.1914	0.0198	-	10.3	11.6	10.3	0.0074	0.0051	0.0058	0	12.20
4	2.00	0.00	0.210	0.100	17:33	40	0	0.2913	0.0209	-	12.8	14.1	12.8	0.0065	0.0044	0.0043	0	12.20
5	2.50	0.00	0.250	0.120	17:35	40	0	0.2731	0.0447	-	12.8	13.7	13.3	0.0054	0.0049	0.0039	0	12.19
6	3.00	0.00	0.240	0.130	17:36	40	0	0.2189	0.0280	-	13.3	14.1	13.3	0.0080	0.0049	0.0040	0	12.19
7	3.50	0.00	0.170	0.090	17:38	40	6	0.2396	0.0599	0.0029	12.4	13.7	12.8	0.0051	0.0028	0.0038	0	12.19
8	5.50	0.00	0.180	0.090	17:42	40	2	0.0773	0.0323	-	7.7	8.6	6.8	0.0027	0.0039	0.0037	0	12.19
9	5.70	0.00	0.350	0.180	17:45	40	4	0.0554	0.0131	-	6.8	7.3	5.1	0.0025	0.0024	0.0035	0	12.19
10	6.20	0.00	0.400	0.200	17:47	40	0	0.0197	0.0135	-	7.7	8.1	6.4	0.0037	0.0021	0.0030	0	12.20
11	6.60	0.00	0.380	0.200	17:47	40	0	-	-	-	22.3	34.8	28.8	0.0003	0.0001	0.0003	0	12.19



Sección transversal no. 16

Resumen de aforo														Datos generados: Fri Nov 18 2011				
<b>Información de fichero</b>							<b>Detalles del punto de aforo</b>											
Nombre del fichero DATOS16.TXT.WAD							Nom. del punto de aforo											
Fecha y hora de inicio 2010/11/20 17:59:10							Operadores HIDRAULICA											
<b>Información del sistema</b>							<b>Unidades técnicas (Métrico)</b>											
Tipo de sensor FlowTracker							Distancia m											
Numero de serie # P3080							Velocidad m/s											
Version de CPU 3.7							Area m <sup>2</sup>											
Version de software 2.30							Caudal m <sup>3</sup> /s											
Factor de corrección montaje 0.0%																		
<b>Resumen</b>																		
Int. de promediado 40							# Estaciones 11											
SNR promedio 11.2 dB							Velocidad medida Vx 0.1258											
Temp promedio 12.18 °C							Velocidad medida Vy 0.0159											
<b>Resultados de la medida</b>																		
St	PtoAfo1	PtoAfo2	Calado	CalMed	Reloj	Ndp	Spike	Vx	Vy	Vz	SNR1	SNR2	SNR3	Vxerr	Vyerr	Vzerr	Bnd	Temp
1	1.00	0.00	0.160	0.080	17:59	40	0	0.0014	-	-	21.0	21.0	18.9	0.0016	0.0011	0.0013	0	12.19
2	1.50	0.00	0.170	0.080	18:00	40	1	0.1569	0.0189	-	11.1	11.1	9.4	0.0061	0.0034	0.0035	0	12.18
3	2.00	0.00	0.290	0.130	18:02	40	2	0.1307	0.0036	-	9.0	9.4	7.7	0.0042	0.0023	0.0043	0	12.18
4	2.50	0.00	0.230	0.120	18:04	40	0	0.2345	-	-	11.1	11.6	10.3	0.0078	0.0039	0.0056	0	12.19
5	3.00	0.00	0.260	0.130	18:05	40	2	0.2624	0.0098	-	13.7	14.1	13.3	0.0080	0.0055	0.0066	0	12.19
6	3.50	0.00	0.250	0.120	18:07	40	0	0.2072	0.0243	-	12.8	13.3	13.3	0.0064	0.0054	0.0062	0	12.19
7	4.00	0.00	0.200	0.100	18:08	40	2	0.2158	0.0568	0.0025	12.8	12.8	11.6	0.0063	0.0036	0.0042	1	12.18
8	4.50	0.00	0.120	0.060	18:10	40	0	0.0615	0.0361	0.0454	12.4	12.8	16.7	0.0129	0.0063	0.0538	3	12.18
9	5.90	0.00	0.180	0.090	18:13	40	0	0.0728	0.0302	-	7.7	7.7	7.3	0.0040	0.0035	0.0038	0	12.18
10	6.30	0.00	0.420	0.220	18:15	40	1	0.0072	0.0001	0.0016	6.4	6.8	5.5	0.0027	0.0020	0.0023	0	12.18
11	6.95	0.00	0.450	0.230	18:15	40	0	0.0332	0.0105	-	5.5	6.0	5.1	0.0024	0.0021	0.0021	0	12.18



Sección transversal no. 17

Resumen de aforo														Datos generados: Fri Nov 18 2011							
<b>Información de fichero</b>							<b>Detalles del punto de aforo</b>														
Nombre del fichero DATOS17.WAD							Nom. del punto de aforo														
Fecha y hora de inicio 2010/11/21 10:40:37							Operadores HIDRAULICA														
<b>Información del sistema</b>							<b>Unidades técnicas (Metrico)</b>														
Tipo de sensor FlowTracker							Distancia m														
Número de serie # P3080							Velocidad m/s														
Versión de CPU 3.7							Área m <sup>2</sup>														
Versión de software 2.30							Caudal m <sup>3</sup> /s														
Factor de corrección montaje 0.0%																					
<b>Resumen</b>																					
Int. de promediado 40							# Estaciones 14														
SNR promedio 14.4 dB							Velocidad medida Vx 0.1233														
Temp promedio 8.76 °C							Velocidad medida Vy 0.0311														
<b>Resultados de la medida</b>																					
St	PtoAfo1	PtoAfo2	Calado	CalMed	Reloj	Ndp	Spike	Vx	Vy	Vz	SNR1	SNR2	SNR3	Vxerr	Vyerr	Vzerr	Bnd	Temp			
1	0.00	0.00	0.140	0.080	10:40	40	0	0.0036	-	-	39.5	40.4	38.2	0.0012	0.0008	0.0006	0	8.69			
2	0.50	0.00	0.250	0.100	10:44	40	1	0.0335	0.0109	0.0019	-	-	-	16.7	17.2	15.4	0.0025	0.0019	0.0017	0	8.70
3	1.00	0.00	0.230	0.110	10:45	40	0	0.1042	-	-	9.4	10.7	9.0	0.0042	0.0028	0.0037	0	8.70			
4	1.50	0.00	0.250	0.120	10:47	40	0	0.1513	0.0314	0.0017	0.0068	-	-	12.0	12.4	10.7	0.0055	0.0030	0.0038	0	8.71
5	2.00	0.00	0.250	0.120	10:48	40	0	0.2452	0.0285	-	-	-	-	12.0	12.4	12.0	0.0064	0.0063	0.0055	0	8.72
6	2.50	0.00	0.250	0.120	10:51	40	1	0.2269	-	-	-	-	-	15.0	15.9	13.7	0.0080	0.0061	0.0039	0	8.75
7	3.00	0.00	0.220	0.110	10:53	40	2	0.2548	0.0644	0.0082	0.0079	-	-	15.4	16.7	15.4	0.0067	0.0043	0.0046	0	8.75
8	3.50	0.00	0.180	0.090	10:55	40	2	0.2353	0.0689	0.0176	-	-	-	14.1	15.4	13.7	0.0069	0.0045	0.0049	0	8.76
9	4.00	0.00	0.130	0.070	10:56	40	1	0.1436	0.0970	0.0215	-	-	-	15.0	15.9	14.6	0.0058	0.0041	0.0076	0	8.78
10	4.50	0.00	0.110	0.070	10:58	40	4	0.1238	0.0629	0.0145	-	-	-	13.3	15.0	13.7	0.0047	0.0044	0.0051	0	8.80
11	5.00	0.00	0.150	0.080	10:59	40	0	0.0775	0.0432	0.0010	-	-	-	11.6	12.4	10.7	0.0026	0.0032	0.0024	0	8.80
12	5.50	0.00	0.270	0.130	11:02	40	0	0.0583	0.0066	0.0107	-	-	-	8.6	9.8	8.1	0.0037	0.0034	0.0038	0	8.82
13	6.90	0.00	0.440	0.220	11:04	40	0	0.0349	0.0171	0.0021	-	-	-	9.0	9.8	8.6	0.0042	0.0035	0.0028	0	8.83
14	8.30	0.00	0.460	0.220	11:04	40	2	0.0442	0.0108	0.0092	-	-	-	8.6	8.6	8.1	0.0034	0.0023	0.0028	0	8.84
										0.0104	-	-	-								



Sección transversal no. 18

Resumen de aforo																	Datos generados: Fri Nov 18 2011			
<b>Información de fichero</b>								<b>Detalles del punto de aforo</b>												
Nombre del fichero DATOS18.WAD								Nom. del punto de aforo HIDRAULICA												
Fecha y hora de inicio 2010/11/21 11:14:00								Operadores												
<b>Información del sistema</b>								<b>Unidades técnicas (Metrico)</b>												
Tipo de sensor FlowTracker								Distancia m												
Numero de serie # P3080								Velocidad m/s												
Version de CPU 3.7								Area m^2												
Version de software 2.30								Caudal m^3/s												
Factor de corrección montaje 0.0%																				
<b>Resumen</b>																				
Int. de promediado 40								# Estaciones 15												
SNR promedio 15.4 dB								Velocidad medida Vx 0.0977												
Temp promedio 9.08 °C								Velocidad medida Vy 0.0244												
<b>Resultados de la medida</b>																				
St	PtoAfo1	PtoAfo2	Calado	CalMed	Reloj	Ndp	Spike	Vx	Vy	Vz	SNR1	SNR2	SNR3	Vxerr	Vyerr	Vzerr	Bnd	Temp		
1	0.00	0.00	0.220	0.110	11:13	40	0	0.0045	0.0017	0.0031	28.3	28.3	27.5	0.0005	0.0007	0.0006	0	8.92		
2	0.50	0.00	0.240	0.120	11:16	40	0	0.0017	0.0035	0.0059	26.2	26.2	24.5	0.0020	0.0015	0.0019	0	8.93		
3	1.00	0.00	0.270	0.130	11:18	40	1	0.0791	0.0097	0.0116	9.4	9.8	9.4	0.0033	0.0024	0.0028	0	8.97		
4	1.50	0.00	0.260	0.130	11:21	40	0	0.1435	0.0204	0.0128	11.6	12.4	10.7	0.0045	0.0041	0.0044	0	8.99		
5	2.00	0.00	0.280	0.140	11:22	40	1	0.1964	0.0369	0.0081	12.4	13.3	11.6	0.0055	0.0044	0.0048	0	9.02		
6	2.50	0.00	0.240	0.120	11:24	40	3	0.1916	0.0190	0.0131	13.7	14.1	12.8	0.0084	0.0037	0.0049	0	9.04		
7	3.00	0.00	0.220	0.110	11:25	40	0	0.2038	0.0408	0.0104	15.0	16.3	15.0	0.0073	0.0045	0.0052	0	9.05		
8	3.50	0.00	0.180	0.090	11:27	40	1	0.1612	0.0459	0.0102	14.6	15.0	14.1	0.0054	0.0044	0.0067	0	9.08		
9	4.00	0.00	0.130	0.070	11:29	40	1	0.1451	0.0439	0.0041	13.7	15.0	13.3	0.0072	0.0041	0.0057	0	9.11		
10	4.50	0.00	0.130	0.070	11:31	40	1	0.1286	0.0732	0.0174	12.4	12.8	12.0	0.0042	0.0036	0.0038	0	9.13		
11	5.00	0.00	0.160	0.090	11:32	40	0	0.0871	0.0353	0.0084	11.1	11.1	10.3	0.0039	0.0030	0.0027	0	9.16		
12	5.50	0.00	0.300	0.150	11:33	40	0	0.0582	0.0133	0.0056	9.0	9.4	7.7	0.0030	0.0029	0.0024	0	9.17		
13	6.00	0.00	0.410	0.200	11:35	40	1	0.0494	0.0166	0.0025	7.7	7.7	6.8	0.0020	0.0029	0.0029	0	9.15		
14	6.50	0.00	0.400	0.200	11:38	40	0	0.0425	0.0202	0.0002	14.6	14.6	13.3	0.0019	0.0019	0.0024	0	9.18		
15	7.00	0.00	0.400	0.200	11:38	40	0	0.0178	0.0044	0.0030	33.1	33.1	32.6	0.0006	0.0004	0.0004	0	9.26		



Sección transversal no. 19

Resumen de aforo																		
Información de fichero										Detalles del punto de aforo								
Nombre del fichero DATOS19.WAD										Nom. del punto de aforo								
Fecha y hora de inicio 2010/11/21 11:49:58										Operadores HIDRAULICA								
Información del sistema										Unidades técnicas (Metrico)								
Tipo de sensor FlowTracker										Distancia m								
Numero de serie # P3080										Velocidad m/s								
Version de CPU 3.7										Area m^2								
Version de software 2.30										Caudal m^3/s								
Factor de corrección montaje 0.0%																		
Resumen																		
Int. de promediado 40										# Estaciones 14								
SNR promedio 12.6 dB										Velocidad medida Vx 0.1202								
Temp promedio 9.52 °C										Velocidad medida Vy 0.0327								
Resultados de la medida																		
St	PtoAfo1	PtoAfo2	Calado	CalMed	Reloj	Ndp	Spike	Vx	Vy	Vz	SNR1	SNR2	SNR3	Vxerr	Vyerr	Vzerr	Bnd	Temp
1	0.50	0.00	0.310	0.150	11:49	40	0	0.0006	0.0028	-	24.5	25.7	24.0	0.0018	0.0009	0.0007	0	9.46
2	1.00	0.00	0.330	0.160	11:52	40	1	0.0761	-	-	10.3	10.7	9.4	0.0027	0.0022	0.0023	0	9.43
3	1.50	0.00	0.290	0.140	11:53	40	0	0.1315	0.0044	0.0019	11.1	11.6	9.8	0.0048	0.0031	0.0037	0	9.42
4	2.00	0.00	0.280	0.140	11:55	40	3	0.2095	0.0253	0.0064	12.8	13.7	11.6	0.0070	0.0043	0.0043	0	9.42
5	2.50	0.00	0.240	0.120	11:56	40	2	0.2225	0.0803	0.0142	13.3	14.1	12.8	0.0052	0.0054	0.0039	0	9.44
6	3.00	0.00	0.220	0.110	11:58	40	0	0.2195	0.0567	0.0160	13.7	14.1	13.7	0.0059	0.0062	0.0048	0	9.47
7	3.50	0.00	0.190	0.090	11:59	40	2	0.2120	0.0898	0.0159	15.0	15.4	14.1	0.0068	0.0051	0.0050	0	9.49
8	4.00	0.00	0.160	0.080	12:01	40	0	0.1467	0.0514	0.0223	12.8	12.8	12.4	0.0052	0.0032	0.0040	0	9.52
9	4.50	0.00	0.140	0.070	12:03	40	1	0.1394	0.0477	0.0180	12.0	12.8	11.6	0.0052	0.0027	0.0038	0	9.56
10	5.00	0.00	0.170	0.080	12:05	40	0	0.1056	0.0359	0.0106	9.8	11.1	10.3	0.0036	0.0033	0.0032	0	9.59
11	5.50	0.00	0.260	0.130	12:06	40	0	0.0735	0.0273	0.0103	7.7	9.0	7.3	0.0022	0.0026	0.0015	0	9.60
12	6.00	0.00	0.365	0.175	12:08	40	0	0.0598	0.0106	0.0077	7.3	7.7	7.3	0.0023	0.0017	0.0019	0	9.59
13	6.50	0.00	0.370	0.170	12:11	40	1	0.0675	0.0134	0.0005	9.0	8.6	7.3	0.0020	0.0016	0.0018	0	9.60
14	6.80	0.00	0.350	0.170	12:11	40	1	0.0188	0.0146	0.0054	17.6	17.6	15.9	0.0011	0.0011	0.0009	0	9.64
										0.0153								



Sección transversal no. 20.

Resumen de aforo														Datos generados: Fri Nov 18 2011					
<b>Información de fichero</b>							<b>Detalles del punto de aforo</b>												
Nombre del fichero		DATOS20.WAD					Nom. del punto de aforo		HIDRAULICA										
Fecha y hora de inicio		2010/11/21 12:23:20					Operadores												
<b>Información del sistema</b>							<b>Unidades técnicas (Metrico)</b>												
Tipo de sensor		FlowTracker					Distancia		m										
Numero de serie #		P3080					Velocidad		m/s										
Version de CPU		3.7					Area		m^2										
Version de software		2.30					Caudal		m^3/s										
Factor de corrección montaje		0.0%																	
<b>Resumen</b>																			
Int. de promediado		40			# Estaciones			14											
SNR promedio		13.3 dB			Velocidad medida Vx			0.1144											
Temp promedio		9.98 °C			Velocidad medida Vy			0.0305											
<b>Resultados de la medida</b>																			
St	PtoAfo1	PtoAfo2	Calado	CalMed	Reloj	Ndp	Spike	Vx	Vy	Vz	SNR1	SNR2	SNR3	Vxerr	Vyerr	Vzerr	Bnd	Temp	
1	0.50	0.00	0.305	0.150	12:23	40	0	0.0253	-0.0023	-0.0030	19.7	19.7	18.0	0.0016	0.0021	0.0017	0	9.92	
2	1.00	0.00	0.310	0.150	12:25	40	0	0.0738	0.0126	-0.0062	15.9	16.3	15.0	0.0043	0.0021	0.0019	0	9.91	
3	1.50	0.00	0.280	0.140	12:27	40	1	0.1439	-0.0021	0.0084	10.3	10.7	10.3	0.0037	0.0030	0.0030	0	9.85	
4	2.00	0.00	0.265	0.130	12:29	40	0	0.2020	0.0527	-0.0159	12.0	13.3	12.4	0.0052	0.0036	0.0043	0	9.86	
5	2.50	0.00	0.230	0.120	12:30	40	1	0.1999	0.0750	0.0175	14.6	15.9	14.6	0.0049	0.0031	0.0041	0	9.88	
6	3.00	0.00	0.220	0.110	12:32	40	0	0.1753	0.0408	0.0018	13.7	14.1	12.8	0.0052	0.0042	0.0048	0	9.92	
7	3.50	0.00	0.180	0.090	12:35	40	0	0.1976	0.0474	0.0148	14.1	15.0	13.3	0.0065	0.0044	0.0040	0	9.96	
8	4.00	0.00	0.170	0.080	12:37	40	0	0.1516	0.0344	0.0154	12.4	12.4	11.6	0.0040	0.0030	0.0031	0	10.00	
9	4.50	0.00	0.160	0.070	12:40	40	2	0.1237	0.0591	0.0081	12.8	13.7	12.4	0.0029	0.0025	0.0026	0	10.06	
10	5.00	0.00	0.195	0.090	12:41	40	1	0.0921	0.0460	0.0093	9.4	10.3	9.0	0.0021	0.0026	0.0024	0	10.07	
11	5.50	0.00	0.290	0.140	12:43	40	0	0.0665	0.0183	0.0007	6.8	6.8	6.0	0.0017	0.0018	0.0020	0	10.07	
12	6.00	0.00	0.350	0.165	12:44	40	0	0.0659	0.0148	0.0051	7.7	7.3	6.0	0.0017	0.0014	0.0018	0	10.05	
13	6.50	0.00	0.320	0.160	12:46	40	0	0.0713	0.0267	0.0057	10.7	11.1	10.3	0.0014	0.0017	0.0017	0	10.08	
14	7.00	0.00	0.310	0.155	12:46	40	0	0.0133	0.0033	0.0003	27.9	27.5	26.2	0.0017	0.0008	0.0009	0	10.16	



Sección transversal Adicional 1.

Resumen de aforo														Datos generados: Fri Nov 18 2011				
<b>Información de fichero</b>							<b>Detalles del punto de aforo</b>											
Nombre del fichero EX011.WAD							Nom. del punto de aforo											
Fecha y hora de inicio 2010/11/21 13:51:26							Operadores HIDRAULICA											
<b>Información del sistema</b>							<b>Unidades técnicas (Métrico)</b>											
Tipo de sensor FlowTracker							Distancia m											
Numero de serie # P3080							Velocidad m/s											
Version de CPU 3.7							Area m^2											
Version de software 2.30							Caudal m^3/s											
Factor de corrección montaje 0.0%																		
<b>Resumen</b>																		
Int. de promediado 40							# Estaciones 13											
SNR promedio 11.1 dB							Velocidad medida Vx 0.0478											
Temp promedio 11.39 °C							Velocidad medida Vy -0.0017											
<b>Resultados de la medida</b>																		
St	PtoAfo1	PtoAfo2	Calado	CalMed	Reloj	Ndp	Spike	Vx	Vy	Vz	SNR1	SNR2	SNR3	Vxerr	Vyerr	Vzerr	Bnd	Temp
1	3.50	0.00	0.300	0.140	13:51	40	0	0.2827	-	-	24.0	24.9	23.2	0.0079	0.0056	0.0050	0	11.13
2	4.00	0.00	0.290	0.140	13:53	40	2	0.1896	0.0294	-	21.5	22.3	20.6	0.0062	0.0049	0.0040	0	11.16
3	4.50	0.00	0.330	0.160	13:56	40	0	0.1217	-	-	12.0	12.4	10.7	0.0048	0.0045	0.0042	0	11.22
4	4.80	0.00	0.410	0.300	14:00	40	1	0.0417	0.0092	-	9.8	11.6	9.8	0.0030	0.0027	0.0032	0	11.31
5	4.80	0.00	0.410	0.200	14:03	40	0	0.0604	-	-	9.4	9.4	8.1	0.0048	0.0029	0.0042	0	11.35
6	4.80	0.00	0.410	0.100	14:05	40	0	0.0589	-	-	9.4	9.8	8.6	0.0043	0.0026	0.0035	0	11.37
7	5.10	0.00	0.440	0.250	14:09	40	0	-	-	-	9.4	9.4	8.6	0.0019	0.0014	0.0021	0	11.44
8	5.10	0.00	0.440	0.150	14:11	40	2	-	-	-	6.8	7.3	6.8	0.0019	0.0012	0.0017	0	11.46
9	5.10	0.00	0.440	0.090	14:12	40	0	0.0016	0.0010	-	9.8	9.8	9.0	0.0017	0.0012	0.0014	0	11.50
10	5.50	0.00	0.380	0.280	14:15	40	0	-	-	-	7.7	8.6	7.7	0.0014	0.0008	0.0015	3	11.49
11	5.50	0.00	0.380	0.180	14:17	40	0	-	-	-	7.3	7.7	5.5	0.0011	0.0011	0.0012	0	11.53
12	5.50	0.00	0.380	0.080	14:18	40	0	-	-	-	9.0	9.8	8.1	0.0013	0.0008	0.0013	0	11.55
13	5.65	0.00	0.340	0.160	14:18	40	0	-	-	-	9.0	9.0	8.6	0.0012	0.0008	0.0017	0	11.57



Sección transversal Adicional 2.

Resumen de aforo															Datos generados: Fri Nov 18 2011				
<b>Información de fichero</b>										<b>Detalles del punto de aforo</b>									
Nombre del fichero					EX02.WAD					Nom. del punto de aforo					HIDRAULICA				
Fecha y hora de inicio					2010/11/21 14:38:45					Operadores									
<b>Información del sistema</b>										<b>Unidades técnicas (Métrico)</b>									
Tipo de sensor					FlowTracker					Distancia					m				
Número de serie #					P3080					Velocidad					m/s				
Versión de CPU					3.7					Área					m <sup>2</sup>				
Versión de software					2.30					Caudal					m <sup>3</sup> /s				
Factor de corrección montaje					0.0%														
<b>Resumen</b>																			
Int. de promediado					40					# Estaciones					12				
SNR promedio					16.3 dB					Velocidad medida Vx					0.0393				
Temp promedio					12.01 °C					Velocidad medida Vy					0.0213				
<b>Resultados de la medida</b>																			
St	PtoAfo1	PtoAfo2	Calado	CalMed	Reloj	Ndp	Spike	Vx	Vy	Vz	SNR1	SNR2	SNR3	Vxerr	Vyerr	Vzerr	Bnd	Temp	
1	3.50	0.00	0.330	0.160	14:38	40	0	0.2196	0.0492	-	20.6	20.2	19.3	0.0060	0.0048	0.0045	0	11.87	
2	4.00	0.00	0.335	0.160	14:40	40	2	0.1112	0.0392	0.0163	15.4	16.7	15.0	0.0029	0.0026	0.0030	0	11.89	
3	4.30	0.00	0.380	0.200	14:42	40	1	0.0889	0.0540	0.0039	12.0	12.0	12.0	0.0032	0.0021	0.0022	0	11.93	
4	4.30	0.00	0.380	0.100	14:44	40	3	0.0777	0.0384	0.0022	11.6	12.0	11.1	0.0026	0.0021	0.0026	0	11.95	
5	4.85	0.00	0.405	0.180	14:48	40	0	0.0331	0.0320	0.0086	11.6	11.1	10.3	0.0015	0.0017	0.0013	0	11.99	
6	4.85	0.00	0.405	0.100	14:49	40	0	0.0388	0.0416	0.0063	11.1	12.0	11.1	0.0018	0.0019	0.0013	0	12.01	
7	5.30	0.00	0.495	0.250	14:51	40	0	-	0.0008	0.0166	9.4	9.4	9.0	0.0012	0.0013	0.0011	0	12.02	
8	5.30	0.00	0.495	0.180	14:53	40	0	-	0.0040	0.0057	9.8	11.1	9.0	0.0021	0.0010	0.0014	0	12.03	
9	5.30	0.00	0.495	0.100	14:54	40	0	-	0.0040	0.0009	11.1	11.6	9.8	0.0014	0.0021	0.0012	0	12.06	
10	5.60	0.00	0.390	0.260	14:57	40	0	0.0000	0.0001	0.0004	55.4	58.0	55.4	0.0006	0.0001	0.0002	0	12.09	
11	5.60	0.00	0.160	0.420	14:59	40	0	-	-	0.0098	15.4	18.0	12.4	0.0017	0.0005	0.0014	1	12.11	
12	5.60	0.00	0.390	0.090	14:59	40	0	0.0307	0.0024	0.0136	12.4	12.4	10.7	0.0011	0.0008	0.0011	2	12.13	
								0.0366	0.0051										



Sección transversal Adicional 3.

Información de fichero										Detalles del punto de aforo									
Nombre del fichero					2DATOS01.WAD					Nom. del punto de aforo					HIDRAULICA				
Fecha y hora de inicio					2011/09/17 13:11:13					Operadores									
Información del sistema										Unidades técnicas (Metrico)									
Tipo de sensor					FlowTracker					Distancia					m				
Numero de serie #					P3080					Velocidad					m/s				
Version de CPU					3.7					Area					m^2				
Version de software					2.30					Caudal					m^3/s				
Factor de corrección montaje					0.0%														
Resumen																			
Int. de promediado					40					# Estaciones					16				
SNR promedio					38.4 dB					Velocidad medida Vx					0.2568				
Temp promedio					14.67 °C					Velocidad medida Vy					-0.0075				
Resultados de la medida																			
St	PtoAfo1	PtoAfo2	Calado	CalMed	Reloj	Ndp	Spike	Vx	Vy	Vz	SNR1	SNR2	SNR3	Vxerr	Vyerr	Vzerr	BndTemp		
1	0.00	0.00	0.260	0.130	13:11	40	1	0.0116	0.0094	0.0027	40.8	41.2	39.5	0.0069	0.0051	0.0061	0 14.61		
2	1.00	0.00	0.400	0.170	13:14	40	2	0.3321	-	0.0087	38.2	37.8	36.5	0.0144	0.0113	0.0176	0 14.62		
3	1.50	0.00	0.340	0.170	13:16	40	0	0.6573	-	-	38.2	38.7	37.4	0.0126	0.0088	0.0115	0 14.63		
4	2.00	0.00	0.350	0.170	13:19	40	3	0.6124	0.1936	-	39.1	38.7	37.8	0.0115	0.0092	0.0085	0 14.65		
5	2.50	0.00	0.360	0.180	13:20	40	0	0.6225	0.0045	-	38.2	38.7	37.4	0.0132	0.0082	0.0082	0 14.66		
6	3.00	0.00	0.350	0.170	13:22	40	4	0.4644	0.1192	-	38.2	38.7	37.4	0.0150	0.0092	0.0095	0 14.67		
7	3.50	0.00	0.420	0.220	13:24	40	3	0.6188	0.0250	-	39.5	39.5	37.8	0.0231	0.0171	0.0183	0 14.69		
8	4.00	0.00	0.510	0.300	13:28	40	4	0.5281	0.0327	-	39.1	39.5	38.7	0.0250	0.0201	0.0198	0 14.70		
9	4.50	0.00	0.570	0.220	13:32	40	1	0.1851	-	-	39.1	39.5	37.8	0.0317	0.0145	0.0175	0 14.70		
10	5.00	0.00	0.750	0.510	13:37	40	2	0.0434	-	-	37.8	38.2	36.1	0.0109	0.0143	0.0130	0 14.69		
11	5.50	0.00	0.590	0.400	13:40	40	2	-	0.0090	0.0365	36.9	37.4	36.5	0.0164	0.0119	0.0199	0 14.68		
12	6.00	0.00	0.480	0.260	13:42	40	0	0.0057	-	0.0098	37.8	37.4	35.6	0.0038	0.0035	0.0033	0 14.68		
13	6.50	0.00	0.420	0.220	13:44	40	0	-	-	0.0121	43.0	43.0	41.7	0.0028	0.0022	0.0021	0 14.68		
14	7.00	0.00	0.300	0.140	13:46	40	0	0.0224	0.0281	-	39.9	40.4	39.1	0.0034	0.0024	0.0029	0 14.68		
15	7.50	0.00	0.300	0.120	13:49	40	2	-	0.0069	0.0034	0.0116	-	-	-	-	-	0 14.66		
16	8.00	0.00	0.270	0.130	13:49	40	1	0.1109	0.0221	0.0065	36.9	36.9	35.6	0.0036	0.0032	0.0030	0 14.65		



Sección transversal Adicional 4.

Resumen de aforo																	Datos generados: Fri Nov 18 2011	
<b>Información de fichero</b>								<b>Detalles del punto de aforo</b>										
Nombre del fichero 2DATOS02.WAD								Nom. del punto de aforo HIDRAULICA										
Fecha y hora de inicio 2011/09/17 14:32:26								Operadores										
<b>Información del sistema</b>								<b>Unidades técnicas (Métrico)</b>										
Tipo de sensor FlowTracker								Distancia m										
Número de serie # P3080								Velocidad m/s										
Versión de CPU 3.7								Area m^2										
Versión de software 2.30								Caudal m^3/s										
Factor de corrección montaje 0.0%																		
<b>Resumen</b>																		
Int. de promediado 40								# Estaciones 20										
SNR promedio 36.3 dB								Velocidad medida Vx 0.2244										
Temp promedio 15.09 °C								Velocidad medida Vy -0.0538										
<b>Resultados de la medida</b>																		
St	PtoAfo1	PtoAfo2	Calado	CalMed	Reloj	Ndp	Spike	Vx	Vy	Vz	SNR1	SNR2	SNR3	Vxerr	Vyerr	Vzerr	Bnd	Temp
1	0.10	0.00	0.200	0.100	14:32	40	3	-	-	-	38.7	38.7	36.9	0.0062	0.0055	0.0037	0	14.94
2	0.50	0.00	0.290	0.120	14:35	40	1	0.0296	0.0074	0.0012	35.6	35.6	34.4	0.0081	0.0058	0.0083	0	14.96
3	1.00	0.00	0.340	0.150	14:38	40	2	0.0899	0.0179	0.0094	36.9	37.4	35.6	0.0178	0.0097	0.0208	0	14.98
4	1.50	0.00	0.390	0.200	14:40	40	1	0.4405	0.0117	0.0356	36.9	37.8	36.1	0.0165	0.0097	0.0089	0	14.98
5	2.00	0.00	0.410	0.200	14:42	40	2	0.5881	-	-	36.9	37.4	35.2	0.0115	0.0125	0.0083	0	14.99
6	2.50	0.00	0.400	0.200	14:43	40	0	0.183	0.2413	0.0045	37.8	37.8	36.5	0.0125	0.0146	0.0076	0	15.00
7	3.00	0.00	0.430	0.220	14:45	40	2	0.4909	-	-	37.4	37.4	36.5	0.0128	0.0091	0.0095	0	15.01
8	3.50	0.00	0.550	0.270	14:50	40	4	0.2897	0.3945	0.0489	38.7	38.7	36.9	0.0182	0.0375	0.0151	0	15.07
9	4.00	0.00	0.620	0.300	14:56	40	1	0.142	0.5489	0.0142	39.5	39.5	37.8	0.0225	0.0153	0.0130	0	15.13
10	4.50	0.00	0.760	0.260	14:59	40	4	0.185	0.5462	-	38.2	38.2	36.5	0.0164	0.0214	0.0223	0	15.12
11	5.00	0.00	0.790	0.100	15:02	40	2	0.2528	0.2720	-	37.8	38.2	36.5	0.0177	0.0154	0.0142	0	15.12
12	5.00	0.00	0.790	0.200	15:04	40	4	0.0655	0.4416	0.0813	37.8	37.8	36.5	0.0243	0.0188	0.0195	0	15.12
13	5.00	0.00	0.790	0.300	15:05	40	4	0.1044	0.3183	-	37.4	37.4	35.6	0.0177	0.0150	0.0124	0	15.12
14	5.00	0.00	0.790	0.400	15:07	40	1	0.1446	0.1195	-	37.4	36.9	36.1	0.0142	0.0155	0.0151	0	15.12
15	5.00	0.00	0.790	0.500	15:10	40	4	0.1521	0.135	0.0907	37.4	37.4	35.6	0.0146	0.0127	0.0236	0	15.13
16	5.00	0.00	0.790	0.600	15:14	40	3	0.1184	0.0219	-	43.0	36.5	43.4	0.0271	0.0094	0.0368	1	15.13
17	5.50	0.00	0.850	0.700	15:20	40	12	0.1603	0.2492	-	14.1	16.7	16.3	0.0013	0.0003	0.0013	2	15.18
18	5.50	0.00	0.850	0.300	15:27	40	3	0.2615	0.0686	0.2615	37.8	38.2	36.9	0.0092	0.0131	0.0164	0	15.23
19	5.50	0.00	0.850	0.200	15:29	40	2	0.0014	0.0021	0.0005	38.2	37.4	36.1	0.0163	0.0132	0.0092	0	15.26
20	5.50	0.00	0.850	0.100	15:29	40	1	0.0581	0.1443	-	36.5	36.9	36.1	0.0160	0.0099	0.0100	0	15.27
								0.0362	0.0699	-								



Sección transversal Adicional 5.

Resumen de aforo															Datos generados: Fri Nov 18 2011				
<b>Información de fichero</b>										<b>Detalles del punto de aforo</b>									
Nombre del fichero					2DATOS03.WAD					Nom. del punto de aforo					HIDRAULICA				
Fecha y hora de inicio					2011/09/17 15:39:30					Operadores									
<b>Información del sistema</b>										<b>Unidades técnicas (Métrico)</b>									
Tipo de sensor					FlowTracker					Distancia					m				
Numero de serie #					P3080					Velocidad					m/s				
Version de CPU					3.7					Area					m^2				
Version de software					2.30					Caudal					m^3/s				
Factor de corrección montaje					0.0%														
<b>Resumen</b>																			
Int. de promediado					40					# Estaciones					13				
SNR promedio					36.9 dB					Velocidad medida Vx					0.3409				
Temp promedio					15.18 °C					Velocidad medida Vy					0.0119				
<b>Resultados de la medida</b>																			
St	PtoAfo1	PtoAfo2	Calado	CalMed	Reloj	Ndp	Spike	Vx	Vy	Vz	SNR1	SNR2	SNR3	Vxerr	Vyerr	Vzerr	Bnd	Temp	
1	0.50	0.00	0.250	0.120	15:39	40	1	0.0678	-0.0038	0.0032	35.6	35.2	33.9	0.0075	0.0065	0.0067	0	15.27	
2	1.00	0.00	0.370	0.180	15:41	40	1	0.5655	-	0.0262	36.9	37.4	35.6	0.0141	0.0118	0.0115	0	15.25	
3	1.50	0.00	0.420	0.210	15:44	40	3	0.5049	0.1231	0.0341	36.9	36.9	35.6	0.0233	0.0126	0.0147	0	15.23	
4	2.00	0.00	0.420	0.210	15:45	40	3	0.5849	-	0.0078	37.8	36.9	35.6	0.0128	0.0088	0.0100	0	15.21	
5	2.50	0.00	0.430	0.210	15:47	40	2	0.5394	-	0.0541	37.4	37.4	35.6	0.0158	0.0106	0.0098	0	15.21	
6	3.00	0.00	0.500	0.250	15:48	40	1	0.4555	0.0593	0.0204	37.4	37.4	36.1	0.0098	0.0111	0.0102	0	15.19	
7	3.50	0.00	0.520	0.260	15:51	40	3	0.4690	0.1040	0.0178	38.2	38.2	36.5	0.0194	0.0199	0.0194	0	15.18	
8	4.00	0.00	0.660	0.300	15:54	40	2	0.2326	0.0467	0.0129	37.4	37.4	35.6	0.0168	0.0136	0.0148	0	15.16	
9	4.50	0.00	0.750	0.100	15:57	40	2	0.1824	0.0155	0.0030	37.8	37.8	36.9	0.0266	0.0188	0.0158	0	15.13	
10	4.50	0.00	0.750	0.200	15:59	40	2	0.1963	0.0119	0.0682	37.8	37.4	36.9	0.0181	0.0201	0.0206	0	15.13	
11	4.50	0.00	0.750	0.300	16:00	40	4	0.2332	0.0817	0.0299	37.4	37.4	36.5	0.0211	0.0182	0.0198	0	15.13	
12	4.50	0.00	0.750	0.400	16:01	40	1	0.2258	-	0.0214	37.8	36.9	36.1	0.0215	0.0145	0.0171	0	15.13	
13	4.50	0.00	0.750	0.500	16:01	40	2	0.1746	-	0.1746	37.4	37.8	36.5	0.0112	0.0165	0.0163	0	15.15	