ISSN 0188-7297

INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

SCT
SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

Certificación ISO 9001:2008 ‡

Metodología para la medición de la velocidad de flujo en un río en el diagnóstico de la socavación en pilas de un puente, utilizando un dispositivo electrónico

Gustavo Tapia Rodríguez
Juan Pablo Molina Aguilar
G. Benjamín Pérez Morales
Andrés A. Torres Acosta

Publicación Técnica No. 356
Sanfandila, Qro, 2012

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

Metodología para la medición de la velocidad de flujo en un río en el diagnóstico de la socavación en pilas de un puente, utilizando un dispositivo electrónico

Publicación Técnica No. 356
Sanfandila, Qro, 2012

Esta investigación fue realizada en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, por el Ing. Gustavo Tapia Rodríguez; en colaboración con el M.I. Juan Pablo Molina Aguilar.

Agradecemos la sugerencia del M.C. Guillermo Benjamín Pérez Morales, Técnico Académico de la Facultad de Ingeniería Civil de la U.M.S.N.H.; de igual manera, las aportaciones, comentarios y sugerencias al Dr. Andrés A. Torres Acosta, investigador del Instituto Mexicano del Transporte .

Índice

Resumen v

Abstract vii

Resumen Ejecutivo ix

1 Introducción…….. 1

1.1 Planteamiento del problema……..... 1

1.2 Hipótesis..... 2

1.3 Objetivos…….....3

1.4 Importancia del estudio……..…3

1.5 Limitaciones del estudio…….……..4

2 Revisión de literatura.……..……...……7

2.1 Introducción……..... 7

2.2 Necesidad de la medición de velocidades y caudal en ríos……..…. 7

2.2.1 Concepto de distribución de velocidades……... 8

2.2.2 Medición de velocidades……..... 10

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…….…....14

2.4.3 Perfiladores de corriente de efecto Doppler: funcionamiento.... 15

2.4.4 Velocímetro acústico Doppler……..16

2.5 Socavación general en un río……..……18

2.6 Socavación local en pilas de puentes…… 20
2.7 Utilidad de la nueva instrumentación de medición de velocidades en cauces ……..…….……..... 27
3 Metodología……..……..……29
3.1 Introducción……...……..29
3.2 Descripción del sitio…….…….. 30
3.2.1 Ubicación……...…….. 30
3.2.2 Descripción del puente…….…… 31
3.2.3 Descripción de la corriente……... 31
3.3 Descripción del Flow Tracker……... 33
3.3.1 Generalidades…….……... 33
3.3.2 Panorama general de uso del Flow Tracker…… 35
3.4 Pruebas de diagnóstico de pre-utilización del Flow Tracker…….. 38
3.5 Procedimiento de medición de velocidades con el Flow Tracker en el puente……...……42
4 Resultados y discusión ……...……..……..……45
4.1 Introducción……...……...…….. 45
4.2 Comportamiento general de la velocidad aguas arriba de la pila, en la longitud de la pila y aguas abajo de la pila…….……48
4.2.1 Velocidad media……..……... 48
4.2.2 Velocidad máxima……..…… 52
4.3 Análisis del comportamiento de la velocidad en el sentido longitudinal del río……...……..... 55
4.3.1 Sección longitudinal 1…….……..... 57
4.3.2 Sección longitudinal 2…….……..... 59
4.3.3 Sección longitudinal 3…….……..... 60
4.4 Análisis de la velocidad en puntos específicos……..... 64
4.4.1 Punto 1……...……..64
4.4.2 Punto 2……...……..66
4.4.3 Punto 3……..……..... 67
5 Conclusiones y recomendaciones ..…..…….……..73

5.1 Conclusiones……..73
5.2 Recomendaciones……..……75

BIBLIOGRAFÍA……. 77

ANEXOS…… 79

Resumen

Este documento muestra dos importantes áreas de estudio; que si bien son un enfoque de la hidráulica, concluyen en común con la seguridad de puentes que podría ser afectada por el fenómeno de socavación de su sistema de soporte.

Por un lado, muestra el uso de nuevas tecnologías para la medición de velocidades o caudales en cauces naturales, en particular el uso del equipo conocido como Flow Tracker. Este es un instrumento electrónico que usa la tecnología Doppler para obtener datos de velocidad del flujo en sus componentes X, Y, Z; además, explicamos en esta investigación la información que se puede obtener y las ventajas de su uso.

Por otro lado muestra un estudio del comportamiento del flujo frente a una pila de un puente ya existente, el cual se ubica en el camino que comunica la comunidad de Chincua con el Municipio de Tlalpujahua, en el estado de Michoacán.

Para ello, usamos el método de las dovelas, para obtener así la distribución de velocidades en la sección transversal. El procedimiento consistió en realizar mediciones con este equipo, en veinte ocasiones, a lo largo de 20 m, desde aguas arriba hasta aguas abajo del puente.

La información obtenida, fue procesada y analizada desde diferentes perspectivas, velocidad media, velocidad máxima en secciones longitudinales y en puntos específicos.

Abstract

This document shows two important areas of study, although both are from the point of view of hydraulics, conclude something in common which is the safety of bridges scour.

On one side it was shown the use of a new equipment to measure the flux velocity and discharge in natural rivers, which is called the Flow Tracker. This is an electronic instrument that uses Doppler technology to obtain flow velocity data in X, Y, Z components; this investigation also lists the information that is available and the advantages of its use.

On the other hand, this investigation shows a study of flow behavior into a pile of existing bridge, which is located on the road linking the Chincua town with the Municipality of Tlalpujahua, in the State of Michoacan.

To perform this method, the measurements were performed in segments to obtain the flow velocity distribution in a cross section area. This method included measurements performed 20 times along 20 m upstream and downstream of the bridge.

The information obtained such as average flow velocity, maximum flow velocity, longitudinal sections, and specific point flow was processed, analyzed, and discussed.

Resumen ejecutivo

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

El puente 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 un río, es necesario realizar un estudio 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 de la estructura.

Al colocar un obstáculo en medio de la corriente de un río se modifican las condiciones hidrodinámicas, principalmente se modifica la velocidad; lo que genera un flujo turbulento que provoca 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 investigación, hicimos un análisis de la velocidad del flujo 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 sus componentes (X, Y, Z), medidas con el equipo llamado Flow Tracker, que es un instrumento electrónico que permite medir velocidades y caudales en cauces abiertos. Para ello usamos el método de las dovelas para obtener la distribución de velocidades en una sección transversal; este método fue aplicado desde 4.85 m aguas arriba del puente, hasta 9.15 m aguas abajo de este, con una separación entre secciones de 1.00 m.

En el capítulo 2 mencionamos los instrumentos de medición de velocidades más actuales y que utilizan la tecnología Doppler. También hacemos una descripción del fenómeno de socavación en pilas de puentes y las variables que más inciden en este proceso.

Posteriormente, en el capítulo 3, describimos la metodología empleada en la adquisición de datos usando el Flow Tracker así como la descripción del

instrumento y del sitio donde está ubicado el puente en estudio.

En el capítulo 4, procesamos y analizamos toda la información obtenida; mostramos los resultados obtenidos después de las mediciones en sitio y analizamos la velocidad del flujo; es decir, la velocidad media, máxima, en secciones longitudinales y en puntos específicos cercanos a la pila del puente. De este análisis, apreciamos zonas donde hay variaciones en cuanto al sentido de la velocidad y la intensidad de esta, lo que nos permite definir que en dichas zonas es donde se podría presentar el fenómeno de socavación en las pilas; sobre todo recalcar que son zonas muy específicas y que es precisamente 3.0 m aguas arriba de donde está la pila del puente, y 3.0 m aguas abajo.

En el último capítulo tenemos las conclusiones generales y recomendaciones referentes al uso del Flow Tracker; principalmente indicamos los cuidados más importantes que debemos tomar cuando hacemos uso del instrumento en campo.

1 Introducción

1.1 Planteamiento del problema

Uno de los elementos que conforman 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 son los ríos, y de esa manera lograr la comunicación entre ambos lados de este cuerpo de agua. Pero para lograr lo anterior es necesario apoyar los puentes sobre estribos que se construyen en las márgenes de estas corrientes (ejemplo ríos). Pero cuando estos cruces son de gran longitud, es necesario apoyarlos en pilas intermedias 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 propósito 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, lo que da como resultado que la pila o estribo del puente pierda profundidad en su cimentación o, en el peor de los casos, que permanezca totalmente al descubierto la zapata de cimentación.

En Estados Unidos, la socavación es responsable de más colapsos de puentes que todas las demás causas juntas; en este país, se estima que uno de cada 35 puentes sobre corrientes podría colapsar por socavación. En 2003, EU tenía 26 472 puentes en condición crítica por socavación, así como 26 890 susceptibles a este fenómeno (Bonilla 2010). En 1998, la socavación producida en ríos de la costa de Perú por el fenómeno “El Niño” destruyó 68 puentes. Según un reporte técnico, “ni una guerra podría causar tal devastación”. En México, los escurrimientos extraordinarios producidos por tormentas y huracanes suelen causar colapsos de puentes, a veces, múltiples; por ejemplo, el huracán Stan destruyó, en dos semanas, decenas de puentes en el sur del país; en 2005 y en 1999 ocurrió algo semejante (Bonilla 2010).

El colapso por socavación local de un puente sobre el río Tonalá, en el límite de los estados de Veracruz y Tabasco, causó la interrupción de la circulación terrestre sobre una importante carretera que comunica al sureste del país. La creciente frecuencia de los eventos meteorológicos extraordinarios, causada por el cambio climático, hará cada vez más crítica la seguridad de los puentes que cruzan corrientes superficiales. Los costos de las pérdidas por el colapso de un puente son siempre cuantiosos en términos económicos y de inconvenientes, sin mencionar los riesgos para los usuarios.

La Dirección General de Conservación de Carreteras (DGCC), de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), ha observado un incremento en el número de puentes de carreteras federales con problemas de socavación en los últimos cinco años. Esto puede deberse a un incremento en el número de actividades meteorológicas fuera de los tiempos de retorno regularmente utilizados en el diseño hidráulico de los puentes; pero también a malas prácticas de diseño, que no consideran estas acciones meteorológicas por el cambio climático actual.

Es por ello que la DGCC encargó al IMT la realización de un trabajo preliminar para determinar la ubicación de los puentes que puedan tener una mayor probabilidad al fenómeno de socavación de su cimentación. Como parte de este análisis, realizamos un Convenio de Colaboración con la Facultad de Ingeniería Civil, de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (FIC-UMSNH), con la finalidad de promover proyectos de investigación en temas relacionados con socavación de puentes; principalmente el encontrar metodologías para la inspección en campo, de los puentes que salgan del análisis con tecnologías geoespaciales, así como para la ubicación de los puentes con mayor probabilidad de socavación. Este trabajo presenta un avance de dicho proyecto y la colaboración con que el IMT cuenta por parte de la FIC-UMSNH.

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 tenemos 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 generalmente caudales en ríos o en cualquier conducto abierto; pero que también puede ser usado para medir velocidades en sus componentes 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 toda 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; lo que provoca el desprendimiento del material del fondo, comúnmente conocido como socavación.

Por lo anterior, en esta investigación planteamos 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, haremos un análisis para identificar los problemas de socavación que pudiere ya presentar el 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 de flujo en tres dimensiones, el principal objetivo que perseguimos con el desarrollo de este trabajo de investigación es hacer mediciones de la velocidad de flujo de un río que llega de frente a la pila de un puente, utilizando el equipo Flow Tracker, para detectar zonas en turbulencia que generan la socavación local y con esto predecir si el puente pueda presentar problemas de pérdida de sustento en su cimentación.

Para alcanzar el objetivo principal de este trabajo, deberemos de cumplir una serie de objetivos específicos.

- Hacer un estudio detallado sobre el funcionamiento del Flow Tracker, su calibración e identificar qué limitaciones tiene y determinar si es un instrumento útil para lo que pretendemos 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 con lo que se menciona en la bibliografía. Haremos un análisis de velocidades en cada dirección para 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 liquidas; lo que generalmente nos proporcionan es la velocidad en sentido del flujo. La importancia de hacer uso de un instrumento electrónico, como lo es el Flow

Tracker -cuyo funcionamiento se basa en la tecnología probada del Velocímetro Acústico Dopler (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 dicha 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 tenemos conocimiento más real del comportamiento de la velocidad frente a una pila del puente, es posible pronosticar si va a presentar socavación al paso de una avenida en función de los resultados. Es decir, si detectamos que el flujo se modifica bruscamente en la zona de la estructura, es posible concluir que se trata de una estructura vulnerable de sufrir socavación. Por el contrario, si el flujo no se modifica en gran medida, entonces podemos decir que la estructura es capaz de soportar el proceso de socavación. Además, teniendo la información de hasta dónde 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 sólo pueda utilizar el instrumento en profundidades pequeñas y suelos firmes que garanticen su seguridad. Sin embargo, si tenemos 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 dos 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 es necesario tener una serie de cuidados previo a hacer alguna medición, y durante la medición; más adelante mencionaremos qué tipo de cuidados hay que tomar en cuenta; esto refleja que el uso del Flow Tracker no es tan sencillo al inicio.

- **Recolección 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 luego mostrar un promedio como resultado. No solo es tardado, pues si existe una gran 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, puesto 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 hicimos, hubo errores a tan solo 2 m/s, cuando no se tiene mucha turbiedad en el agua.

2 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 podemos 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 existe.

En este capítulo mencionaremos porqué 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 de que es un parámetro que es tomado en cuenta en la determinación de la profundidad de socavación; lo que es importante para determinar el inicio del movimiento de una partícula.

Mencionaremos el uso del molinete mecánico en la obtención de velocidades en la sección transversal de un río y el principio de funcionamiento. Nos referiremos a los instrumentos eléctricos con los que contamos en la actualidad, para medir velocidades en cauces naturales; pero haremos 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.

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 debemos 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 es la cantidad de metros por segundo que recorre el agua en un río, por ser más específicos al tema y el caudal es el volumen de 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 recurrimos 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. (Ochoa Alejo L. H. 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 existen formulas muy especificas 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 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 queremos 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 y 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, deberemos 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. (Rocha Arturo. 2007)

En términos de análisis, consideramos 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 es analizado de la siguiente manera. En cada punto de la sección transversal hay una velocidad particular (Vh). 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.

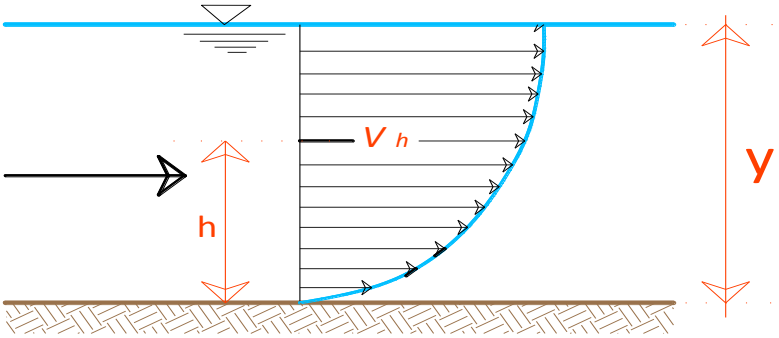
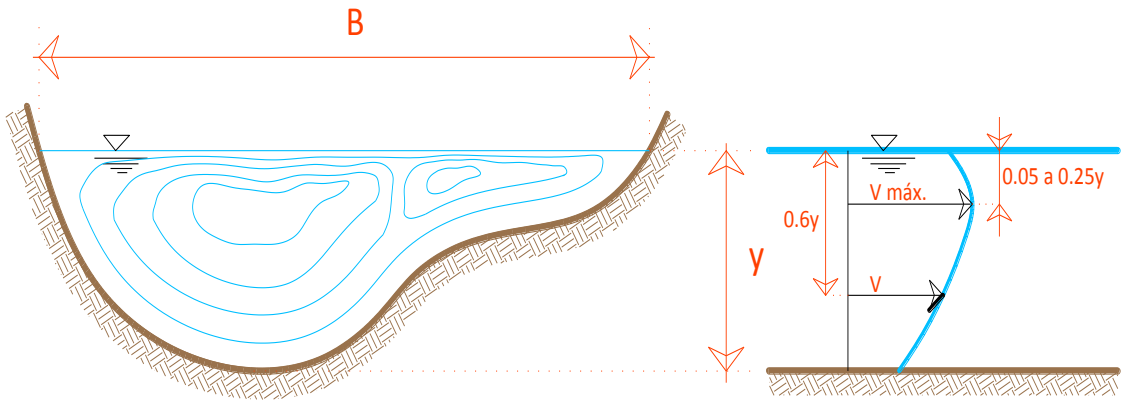


Figura 2.1 Distribución bidimensional de velocidades en un cauce natural de ancho infinito

Sin embargo, si tomamos 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 es representada por medio de las isotacas que indican velocidad de igual magnitud. (Sotelo Ávila Gilberto. 1993)

Estas curvas son obtenidas a partir de datos medidos en campo en la sección transversal de interés. La recolección de datos es por medio de molinetes o velocímetros electrónicos en puntos específicos; hacemos una interpolación entre puntos tal como se hace para obtener las curvas de nivel en topografía.



Adaptación de la figura de Sotelo A. 1993

Figura 2.2 Distribución típica de velocidades en un cauce natural que más se ajusta a la realidad.

Nótese que la velocidad máxima no es presentada a nivel de la superficie libre del agua, sino que aparece 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 tomamos en cuenta que en una sección de un río es interpuesta una estructura como lo es una pila de un puente, este perfil de velocidades se modificará localmente adoptando una nueva forma casi impredecible.

2.2.2 Medición de velocidades

Según Ven Te Chow, (Chow Ven Te. 1959), 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 precede a registrar 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 requerimos resultados más confiables. El promedio de velocidades en cada una de las verticales es multiplicado por el área entre verticales, lo que da 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.

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

$$Q_i = A_i * Vm_i$$

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

Donde:

Vm_i = Es la velocidad media en cada franja vertical o dovela i
$V_{0.2}$ = Es la velocidad al 20% de la profundidad medida desde la superficie libre hacia el fondo.
$V_{0.6}$ = Es la velocidad al 60% de la profundidad medida desde la superficie libre hacia el fondo.
$V_{0.8}$ = Es la velocidad al 80% de la profundidad medida desde la superficie libre hacia el fondo.
Qi = Es el caudal en la franja i
Ai = Es el área en la franja i
Q = Es el caudal total en la sección transversal

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 especifica es mayor que el valor calculado con $V^2/2g$; por lo que se corrige con el coeficiente α el cual es conocido como coeficiente de energía o coeficiente de Coriolis. Existen otras afectaciones que no serán mencionadas en esta investigación.

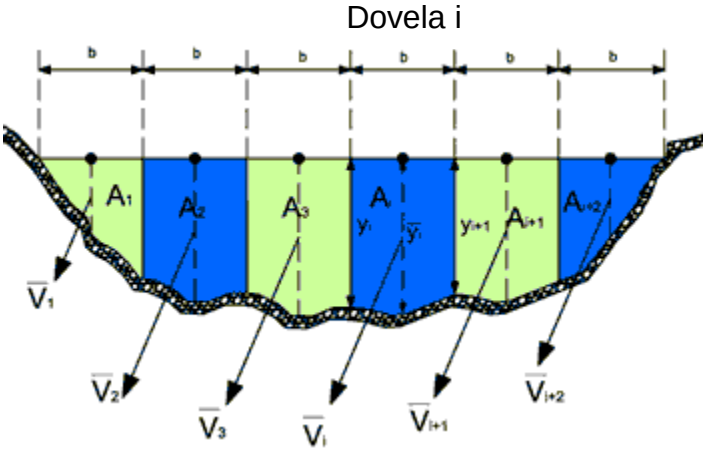


Figura 2.3 Características de las verticales de la sección transversal en el punto de aforo.

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.

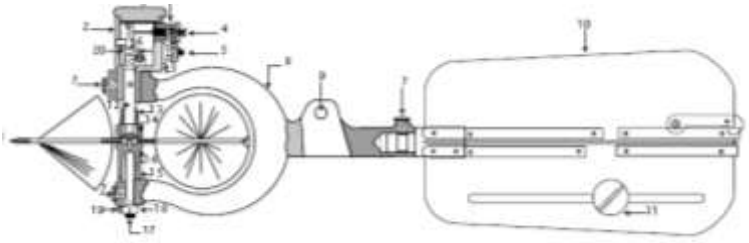
Los instrumentos que utilizan el empuje dinámico del agua para determinar el caudal del flujo son denominados medidores de velocidad y se clasifican en:

- Hélice o propela
- Turbina
- Molinete

2.3.1 Principio de funcionamiento

El funcionamiento de los tres instrumentos es muy similar. El molinete (figura 2.4) en particular, es un instrumento de medición de velocidad en cauces naturales o en canales y se compone de dos partes principalmente. Contiene un elemento giratorio (hélice) que debe ser colocado en el punto donde deseamos 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 determinamos la velocidad angular. Por medio de una ecuación de calibración, podemos determinar la velocidad lineal a partir de la velocidad angular del punto de interés.

El medidor tipo molinete puede ser utilizado 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.



World Meteorological Organization, 2010 WMO-No. 1044

Figura 2.4 Ejemplo de un molinete y sus partes principales.

Generalmente, la rueda que gira lleva unas copas. Al chocar el agua con ellas, ejerce una fuerza que imprime un movimiento de rotación; éste es más rápido

mientras mayor sea la velocidad de la corriente. Así, 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.

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

Durante los últimos veinte 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 lo que ha contribuido al trazado de mapas de las condiciones hidrodinámicas de los ríos, algo que anteriormente, hubiera sido imposible.

Ahora, 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 remplazando a los instrumentos mecánicos; lo que los convierte en los instrumentos predilectos para medir la velocidad. Estas herramientas ofrecen ventajas superiores en términos de eficacia, rendimiento y seguridad. Además, los instrumentos electrónicos pueden medir velocidades con mayor rapidez 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, contamos 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 (organización Mundial de Meteorología), 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. Podemos 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, y el observador percibe un sonido más grave. (Figura 2.5).

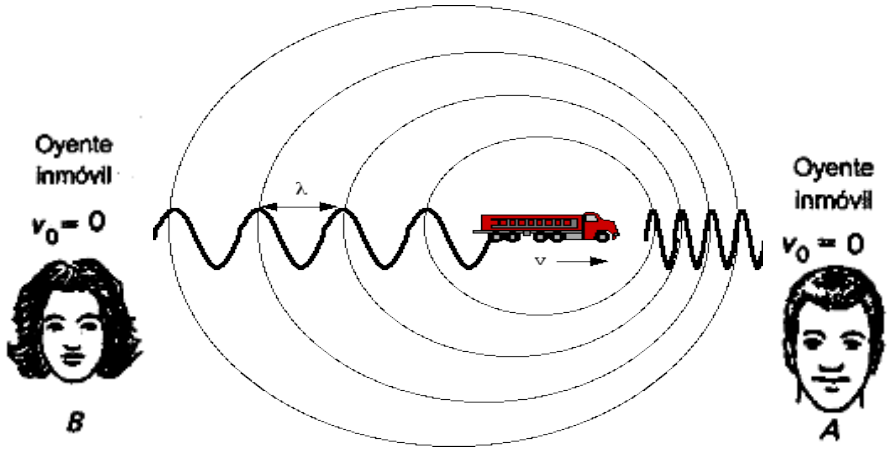


Figura 2.5 Diagrama de representación del efecto Doppler.

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 ondas. 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. (Pedroza G. Edmundo 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 multicomponente de la velocidad por debajo de aquella; lo que proporciona 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 % 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 fueron empleados 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 son

empleados 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, necesitamos 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 ser utilizado con datos ADCP con el propósito 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, ha sido 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 podemos considerar como velocidades puntuales, para 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; instrumento con el cual realizamos este trabajo de investigación; está diseñado específicamente para 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 utilizado para medidores mecánicos de flujos como describimos anteriormente (método área-velocidad).

El Flow Tracker ha sido probado por el USGS en el laboratorio y en el campo. Hemos hecho pruebas simultáneamente con medidores mecánicos con la finalidad de tener puntos de comparación entre ambos instrumentos; en las pruebas encontramos 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, (World Meteorological Organization V-1 WMO-No. 1044, 2010) lo 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 hacemos 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 ha sido destinado para la medición precisa de flujo en proyectos de 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 pueden presentarse diversos fenómenos asociados a los sedimentos; en unas secciones o tramos aparece erosión del material que conforma el lecho, debido al aumento del caudal en la sección. Este fenómeno es común en zonas de alta montaña donde la pendiente prevalece y, en consecuencia, hay altas velocidades; pero también puede haber una acumulación de sedimentos que es donde se deposita después de ser transportado; lo que generalmente se presenta en ríos de planicie, donde las velocidades son pequeñas y llegan -en algunas ocasiones- a formarse meandros.

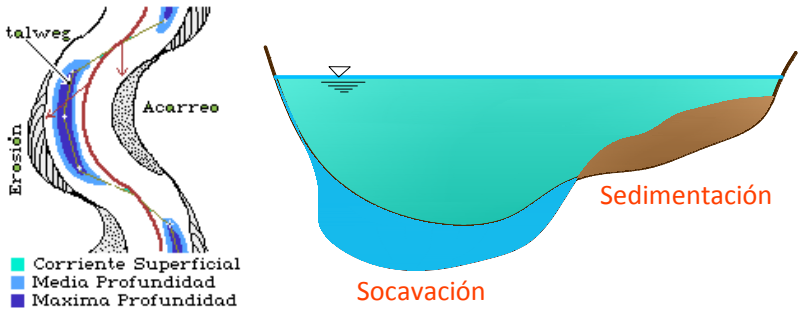


Figura 2.6 Proceso de sedimentación y socavación en secciones transversales en cauces naturales.

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 construyo en el río, puede ser clasificada 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 puede ser estudiada 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, podemos 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 considerar que existe transporte de sedimentos es necesario que la velocidad media de la corriente sea mayor a 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 será considerada 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 especifico.

Para evaluar la socavación general utilizamos el método propuesto por Lischtvan-Lebediev, que se basa en la condición de equilibrio entre la velocidad media del flujo (Vr) y la velocidad media máxima (Ve) necesaria para erosionar el material del fondo. Para hacer uso del método debemos tener la siguiente información. (Juárez 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 especifico 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 especifico de la mezcla agua-sedimento.

2.6 Socavación local en pilas de puentes

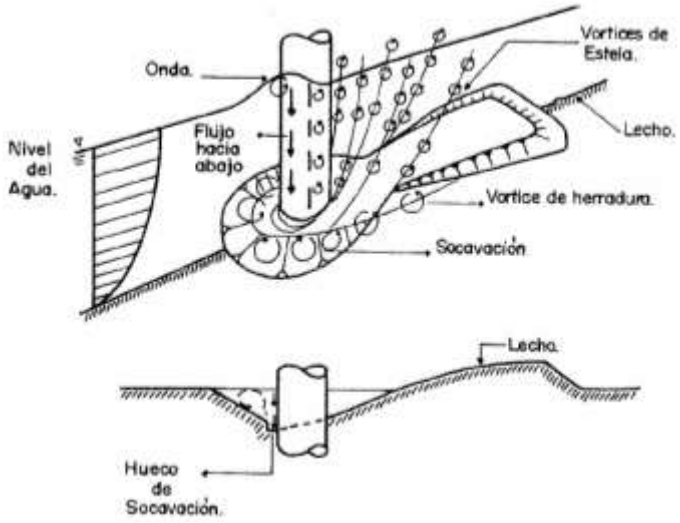
Cuando es colocado un obstáculo dentro del cauce, como una pila de apoyo de un puente, se modifican localmente las condiciones de escurrimiento; en consecuencia, cambia la capacidad de arrastre en la zona de la obstrucción y --dependiendo de las condiciones con que llegue la corriente- puede presentarse una socavación local o bien puede producirse 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 (figura 2.7). La socavación local puede presentarse bajo condiciones de agua clara o lecho móvil.

Podemos decir 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 (figura 2.7). Como consecuencia, se origina un sistema de vórtices al pie de la pila, llamados vórtices de herraduras, que son los principales causantes de la socavación.

Bajo la acción de los vórtices, el sedimento es transportado de manera rotacional. El flujo hacia abajo al frente de la pila actúa de manera vertical, lo 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 (figura 2.7). 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; los que también se trasladan hacia abajo e interactúan con los vórtices de herradura y hacen 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).



Raudkivi, A. J., 1986

Figura 2.7 Proceso de socavación en una pila circular. Comportamiento del flujo y el área en la que incide.

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 son necesarias en términos estructurales.

La FHWA sugiere estimar la socavación total en un cruce de una carretera determinado los tres tipos de socavaciones (Publication No. FHWA NHI 01-002 March 2001):

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 son sumados para obtener el total en una pila. Esto supone que cada componente se produce independientemente de la otra; si tomamos en cuenta que es una forma conservadora de diseño.

Para hacer el cálculo de la profundidad máxima de socavación, partimos de suponer que esta 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. Esta es una ecuación que por medio de correlaciones, regresiones u otro método numérico -y a partir de datos que son fáciles 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 (Wikipedia, 2011)

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.

Debemos aclarar 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 llegue a los valores estimados.

El ingeniero evaluador de la profundidad de socavación deberá basarse no sólo 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, hemos seleccionado algunos, con la finalidad 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 con base en 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 (Juárez Badillo y Rico Rodríguez. Tomo III. 2008); el método de Maza-Sánchez, el criterio propuesto por Laursen y Toch y el Criterio de Yaroslavtziev.

Para el caso de estos dos criterios, y 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 (Juárez Badillo y Rico Rodríguez. Tomo III. 2008).

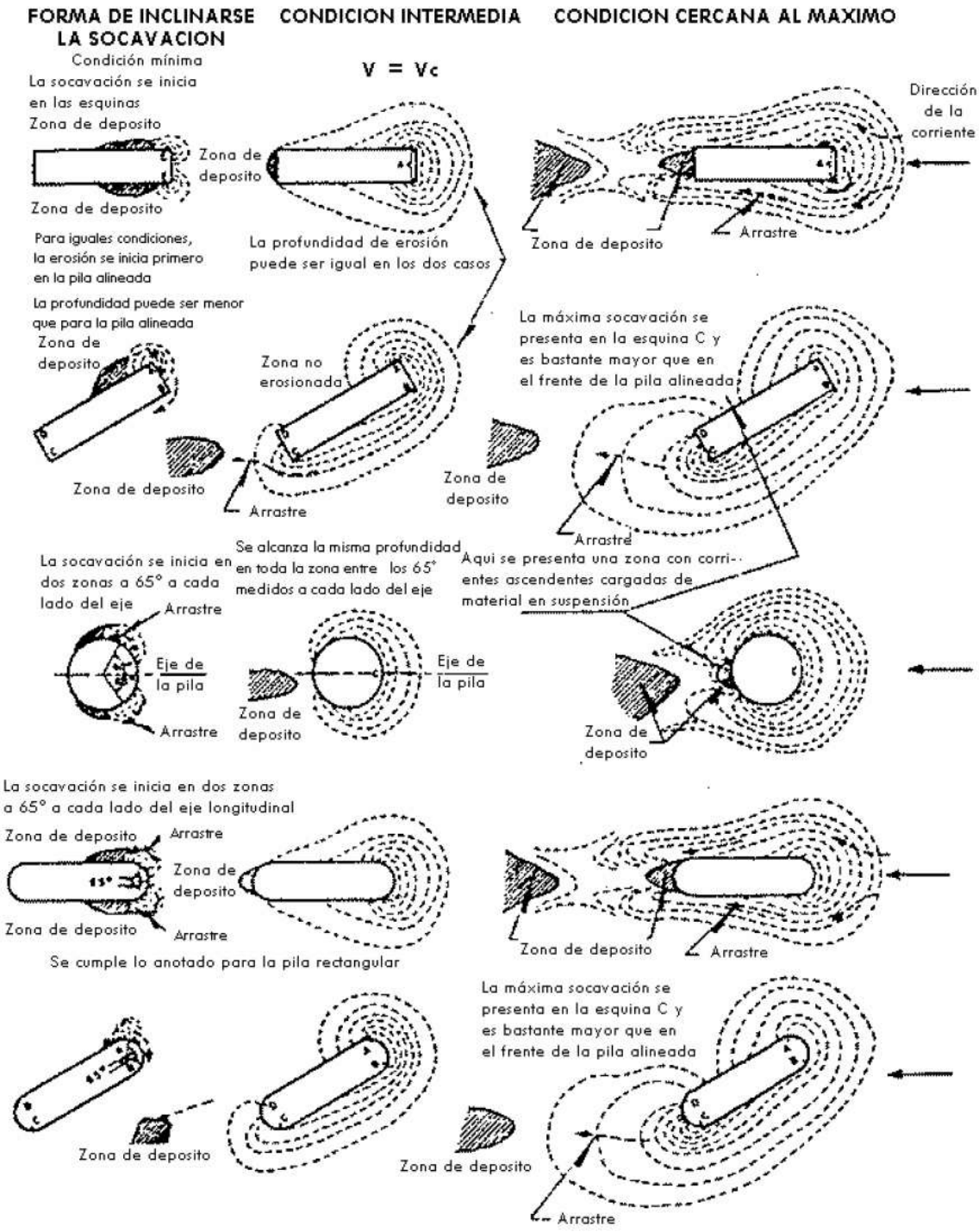
Los estudios realizados hasta la fecha permiten decidir que los parámetros que, en mayor o menor grado, influyen en la socavación local al pie de las pilas de un puente, son los enlistados a continuación.

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.

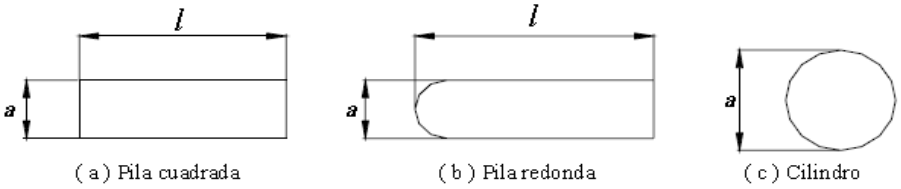
Las pilas de un puente tienen formas muy variadas con efectos diferentes sobre los patrones de socavación; por ejemplo, agudizar la punta aguas arriba de la pila reduce el efecto de los vórtices de herradura y por tanto la socavación. Agudizar la punta aguas abajo de la pila reduce el efecto de los vórtices de estela. Una pila cuadrada ocasiona más socavación que una pila circular o de nariz aguda (figuras 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. Sugerimos ver las figuras 2.8 y 2.9.

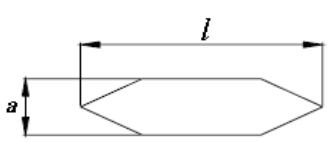


Juárez Badillo y Rico Rodríguez. III. 2008

Figura 2.8 Muestra esquemáticamente las trayectorias del agua y de las partículas de suelo alrededor del obstáculo y los avances sucesivos de la socavación.

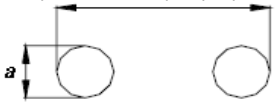


(a) Pila cuadrada (b) Pila redonda (c) Cilindro

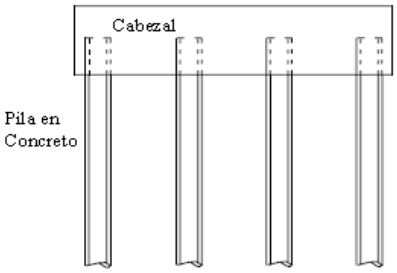


(d) Pila puntuda

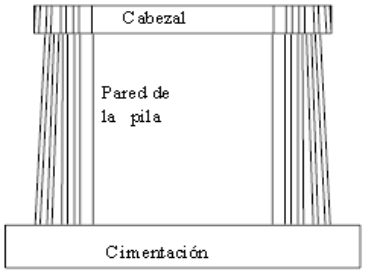
$(\#\ de\ Pilas)\ .\ (a) = l$



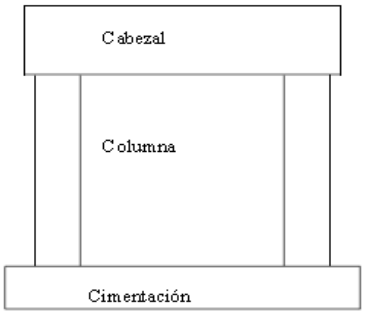
(e) Grupo de cilindros



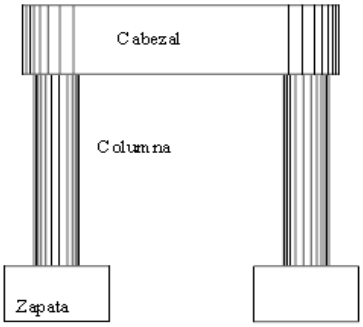
PILA ABIERTA



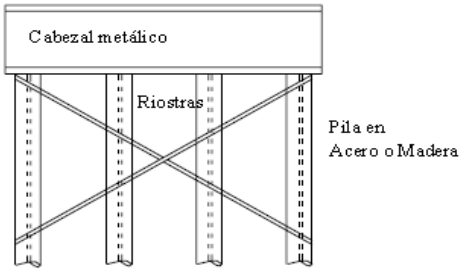
PILA SÓLIDA



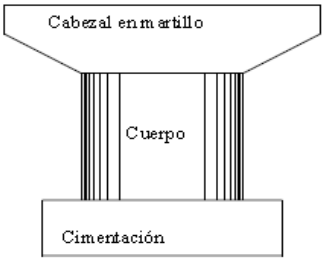
PILAS CON COLUMNA Y ZAPATA CORRIDA



PILA CON COLUMNAS SEPARADAS



PILA EN ACERO O EN MADERA ABIERTA



PILA EN CANTILIVER O MARTILLO

U. S. Department of Transportation. 1979

Figura 2.9 Formas de pila más comunes.

2.7 Utilidad de la nueva instrumentación de medición de velocidades en cauces.

En la Comisión Nacional del Agua (Conagua) se ha utilizado esta instrumentación de medición de velocidades, como los ultrasónicos de efecto Doppler, con la finalidad 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 Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), en el canal de la presa Josefa Ortiz de Domínguez fue realizado 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 (IMTA 2007). En el experimento, 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 fue conformado un grupo de trabajo con personal de la Conagua, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y del Centro Nacional de Metrología (CENAM). El grupo realizó sus evaluaciones en forma coordinada con los especialistas técnicos de empresas desarrolladoras de equipos de medición. Como resultado, realizaron 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, tanto los medidores acústicos de velocidad en un punto, como los ADCP o ADV ahora han sido empleados 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 fórmulas existentes para calcular la socavación local en estructuras, utilizando los perfiladores de efecto Doppler ADCP para obtener el perfil de velocidades. Como conclusión publicaron que sí existe una aproximación más real de los cambios de velocidad que se presentan al pie de estructuras; sin embargo, no es posible generalizar, pues 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 no existe información. En lo referente a este punto, es mencionado como un instrumento útil 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) permiten 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.

3 Metodología

3.1 Introducción

En este apartado presentamos un resumen de la metodología de manera general y lo que hicimos previo al uso del Flow Tracker, para fines de este trabajo; en los siguientes temas será detallado 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 puede ser descrita en tres etapas. A la primera podemos denominarla “Revisión del aparato”. En esta etapa revisamos los manuales que facilita el fabricante (SonTek/YSI), con la finalidad de entender el proceso de recolección de datos con el instrumento. Para ello realizamos 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.N.H. La intención también fue el identificar en qué régimen podíamos medir con facilidad sin que hubiera 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; propiedad –ambos- del mismo Laboratorio.

En la segunda etapa, a la que se podemos llamar “Revisión del funcionamiento de los sensores”, hicimos una revisión de la potencia de los sensores del aparato. Usando un programa que proporciona el fabricante, obtuvimos una gráfica donde aparece la amplitud de la fuerza de la señal que emiten los sensores. De esta manera, determinamos que estaban en condiciones satisfactorias para realizar las mediciones de velocidad en el puente. Para lo anterior, fue necesario instalar el programa en una computadora, conectarle el Flow Tracker al mismo tiempo que introducíamos 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”, medimos las velocidades en el entorno de la pila del puente, usando el Flow Tracker; a sabiendas de que no teníamos problemas de funcionamiento de los sensores; que el instrumento funcionaba bien y que los datos mostrados eran confiables. Cabe mencionar que las mediciones fueron hechas en septiembre del 2010 y de estas generamos los resultados de este trabajo; sin embargo, en noviembre del 2011 volvimos a medir dos de las secciones, únicamente para comparar la magnitud de la velocidad en dos diferentes épocas. En la última parte del capítulo 4, plasmamos la comparativa mencionada.

3.2 Descripción del sitio

3.2.1 Ubicación

El puente elegido 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; es alimentada por varios ríos intermitentes o efímeros y sólo uno de ellos, que es el principal, es perenne. Paralelo a este río está la carretera Maravatio-Tlalpujahua que conecta al poniente con la ciudad de Morelia y al oriente con el Estado de México (figura 3.1).

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 (figura 3.2). Para ello existe un puente que permite el paso de los habitantes de esta comunidad; si bien no es un puente de gran tamaño, sí cuenta con las características requeridas para desarrollar este trabajo de investigación. Es decir, cuenta con una pila interpuesta en la corriente del río que presenta indicios de socavación a su pie. 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.

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

3.2.2 Descripción del puente

La estructura del puente se apoya en dos estribos y en una pila, los estribos están apoyados en los taludes del río, la forma del estribo es trapecial con la base menor de cara a la corriente y una longitud de 4.69 metros; 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” con apoyo 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 muestra la figura 3.3.

La superestructura del puente está conformada por una losa de concreto armado y apoyada en dos trabes, las que a su vez están apoyadas en los estribos y la pila intermedia. La intensidad de tráfico es pequeña, al igual que el nivel de cargas; pues se tiene únicamente el paso de vehículos ligeros y raramente el paso de camión pesados.

3.2.3 Descripción de la corriente

Podemos observar -en las figura 3.3, 3.4 y 3.5- que el agua no moja todo el lecho del río y que la mayoría del caudal pasa 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 podemos percibir una disminución de la velocidad. Mientras que aguas arriba de la estructura del puente, observamos un flujo no uniforme dado que escurre a través de fragmentos de roca chicos y con movimiento de una margen a otra.

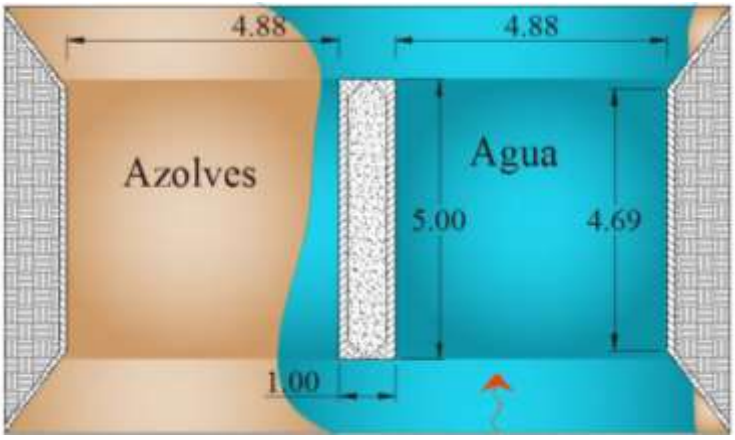


Figura 3.3 Esquema del puente en planta donde se perciben los estribos, la pila y el espejo del agua.

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 fueron hechas en noviembre del 2010, y en esa fecha el río conducía un caudal de 0.20 m^3/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 0.40 m.

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 (figuras 3.5 y 3.6). 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 mencionamos 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 ser usado 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 una 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

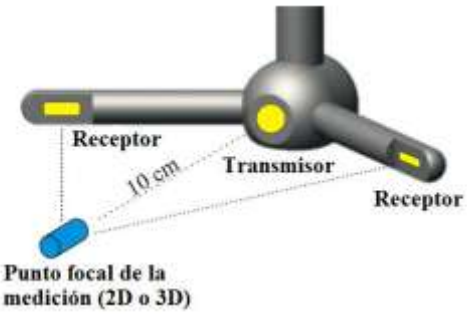


Figura 3.7.b Configuración del sensor del Flow Tracker.

El Flow Tracker lo integra la unidad manual, la 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 dos configuraciones (figura 3.8.b), para su funcionamiento usa ocho baterías AA.

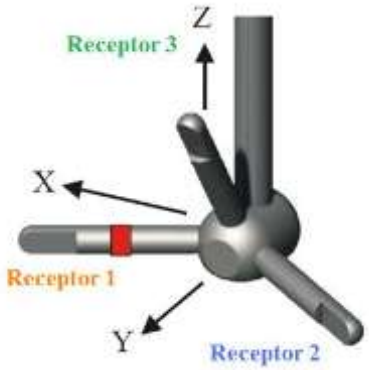


Figura 3.8.a Ejes coordenados del sensor.

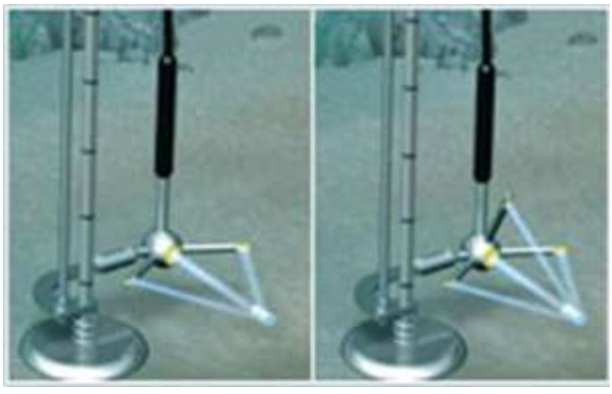


Figura 3.8.b Sensores del Flow Tracker (2D ó 3D).

Para facilitar las mediciones en campo, necesitamos contar con una varilla

graduada donde sea posible 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 finalidad; 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 o velocidades en una sección transversal en un río, canal o cualquier conducción a superficie libre, mediante el uso de dovelas tal como mencionamos en el capítulo anterior. El Flow Tracker es capaz de integrar áreas con velocidades y mostrarnos como resultado el gasto. Si solo deseamos conocer la velocidad, no es necesario hacer dovelas y basta con colocar el sensor en el punto donde deseamos conocerla.

De acuerdo con el 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 cómo el Flow Tracker recolecta la información; en otras palabras, es darle instrucciones de lo que queremos medir y cómo tiene que medirlo. Son enlistadas a continuación:

Unidades. Inglés o métrico para mostrar la información.

Tiempo de Muestreo. Le indicamos el intervalo de tiempo para cada recolección de datos, en una sola estación (mínimo 10 segundos).

Modo. En esta parte elegimos 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 tres 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 descrito en los estándares ISO 748 (1997) y 9196 (1992).

Por el contario, si solo deseamos hacer un registro de velocidades, elegimos 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 (figura 3.9). 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 y tendríamos que generarla para obtener datos mucho más confiables. Generalmente se usa un valor de 4 dB como mínimo.

- Mínimo error estándar de velocidad (σV), 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 interferencias por obstáculos o agua sumamente aireada. Generalmente se usa un valor de 10% del total de muestras como máximo.

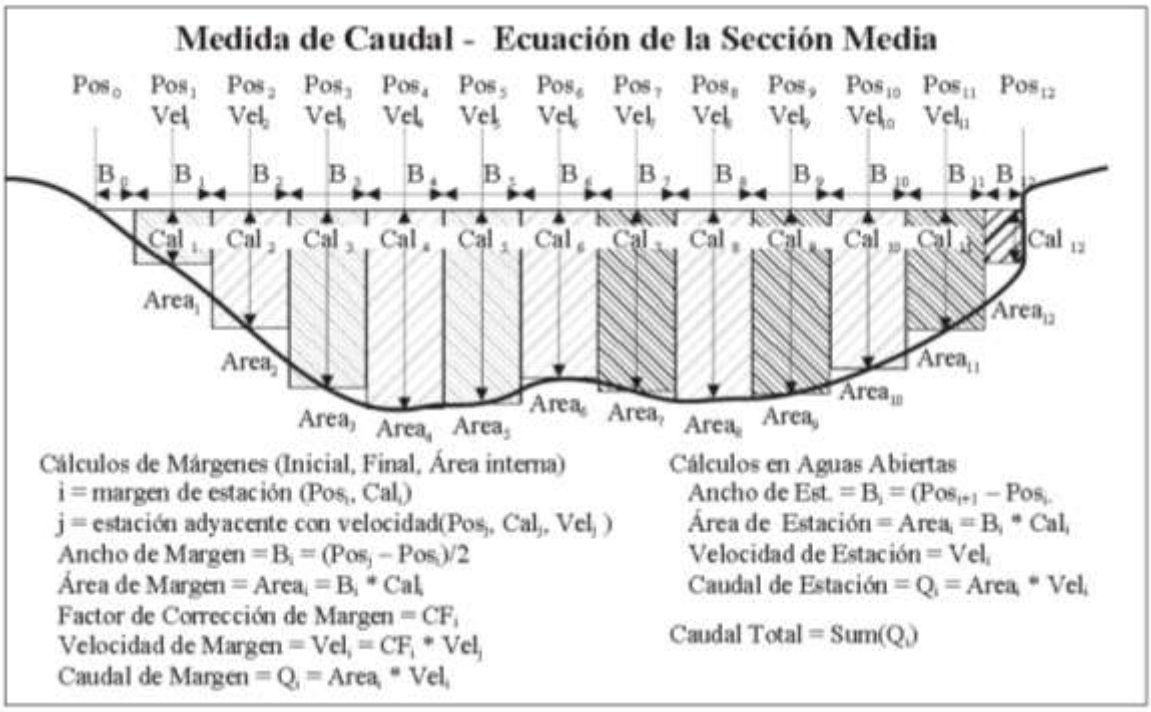
- El ángulo máximo permitido entre la dirección del flujo y el eje X del Flow Tracker. Lo ideal es 20º, como máximo.

Ajustes de caudal. Aquí elegimos 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 en los datos de velocidad. Sin embargo, el fabricante recomienda no usar dicha corrección dado que se ha encontrado que la corrección por aplicar es menor del 1% de la velocidad. Por lo que decidimos no aplicarla.



Fuente: Manual del Flow Tracker

Figura 3.9 Medida de caudal usando el método de la sección media.

2.- 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 podemos revisar el estado del instrumento. Estos elementos deben ser revisados periódicamente y son:

Visualiz. Archivos. (Visualizar archivos). 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. Presenta el número de archivos gravados y el espacio aún disponible.

Formateo Record. Borra todos los archivos de la memoria.

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

Nivel Baterías. Señala 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). Revisión automática 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. Será detallada en la sección pruebas de diagnóstico de preutilización.

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** podemos empezar a hacer la recolección de datos; el procedimiento y la secuencia real de pasos varía dependiendo de la configuración mencionada en el punto 1 (definición de parámetros).

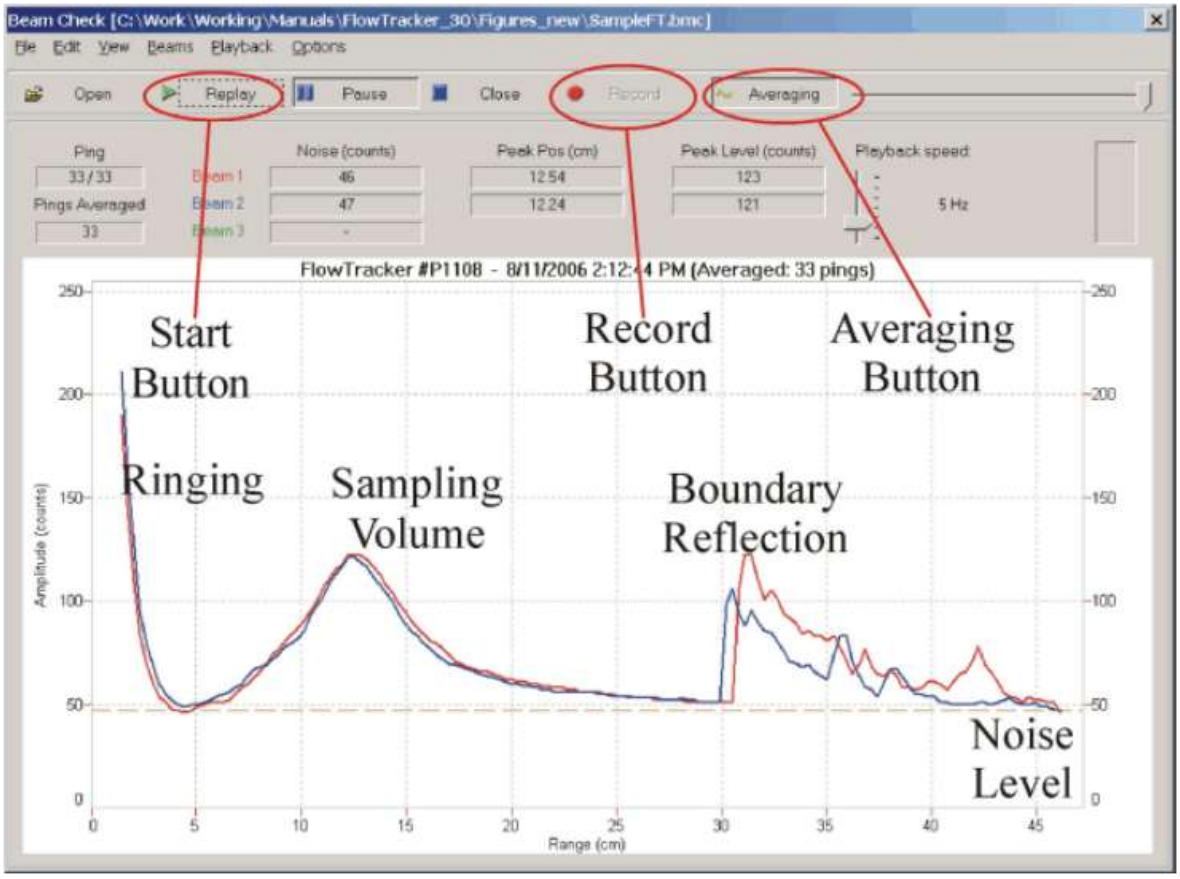
3.4 Pruebas de diagnóstico de pre-utilización del Flow Tracker

Nota: En los textos siguientes empleamos términos en inglés, tal como aparecen en el manual 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 debemos 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 puede ser llevado a cabo de dos maneras:

Manera uno. Antes de cualquier viaje extenso al campo de trabajo, deberemos ejecutar 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, la unidad manual del Flow Tracker es conectada a la computadora mientras que el sensor es colocado dentro de una cubeta de agua (comúnmente con una de 20 litros). Arranca el programa Beam Check e inicia el diagnóstico. Normalmente necesitamos un mínimo de veinte 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, probablemente alguno de los sensores está dañado. En la figura 3.10 la señal de ruido empieza con oscilación transitoria (RINGING), después muestra el centro de volumen de muestreo (SAMPLING VOLUME) y percibimos un aumento en la señal que adopta 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 aparecen los botones de inicio de muestreo (START BUTTON), grabar el diagnóstico que estemos llevando a cabo (RECORD BUTTON) y si queremos, calcular un promedio de muestras sucesivas (AVERAGING BUTTON).



Fuente: Manual del Flow Tracker

Figura 3.10 Pantalla del Software de diagnóstico Beam Check.

Una vez que queda guardado el diagnóstico del rendimiento del instrumento, podemos 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 tenemos la distancia a partir del sensor en cm.

Realizamos el diagnóstico de preutilización para el desarrollo de este trabajo y obtuvimos el perfil de la figura 3.11, en la que podemos observar que es similar al de la figura 3.10.

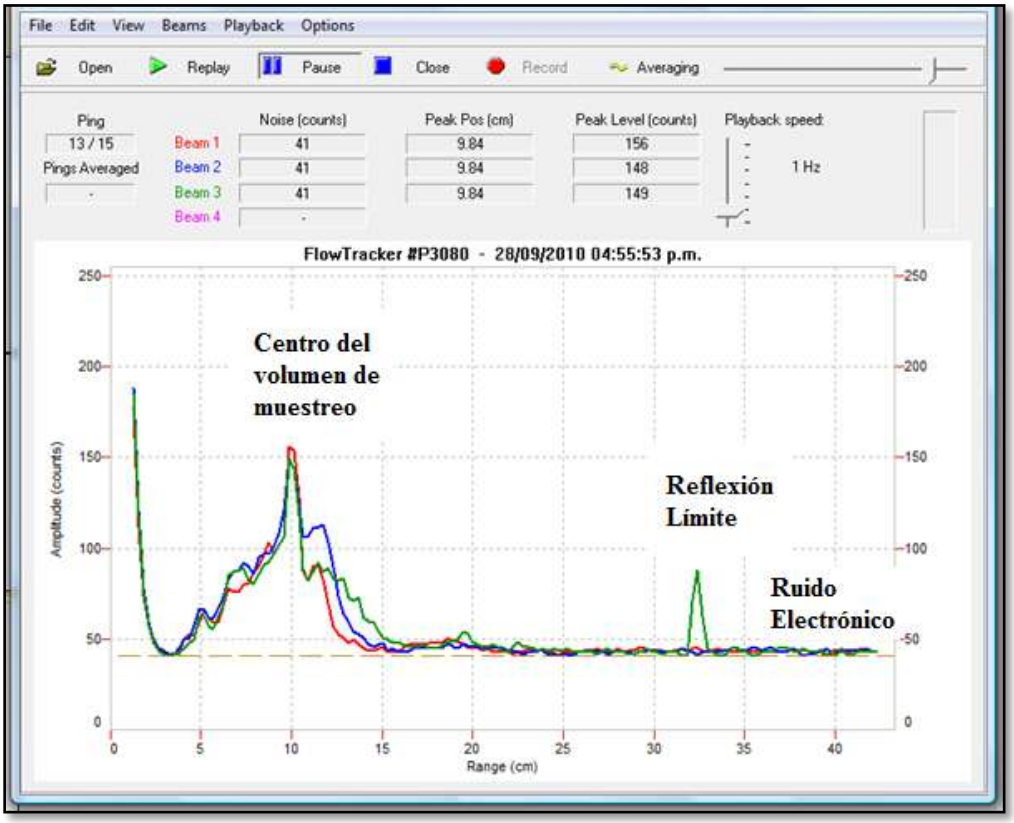


Figura 3.11 Diagnóstico de pre-utilización del Flow Tracker

Vemos tres líneas de diferentes colores, cada uno corresponde a un receptor, de acuerdo con la figura 3.8.a. La línea verde corresponde al receptor superior, la línea roja corresponde al receptor que lleva una marca roja alrededor de este 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 -el instrumento y por medio del programa interno precargado- calcula una velocidad llamada biestática; finalmente, la velocidad biestática 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 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 que pasa 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, 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 observamos 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 observamos que el sensor estaba cerca de la superficie del agua, dado que el pico es verde.

El comportamiento de la gráfica nos indica unos sensores en buen estado y que funcionan correctamente, por ello aceptaremos la información del Flow Tracker recabada en campo.

Manera dos. El otro procedimiento es haciendo un diagnóstico de preutilización de campo. Este requiere sólo unos pocos minutos y debe ser realizado en el campo de trabajo desde la interfaz del teclado numérico. Esto debe realizarse antes de cada inicio de medida. Dentro de este diagnóstico de campo, los parámetros más importantes que debemos 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 preutilización en campo, ya que permite obtener información física de velocidad y la fuerza de la señal. Este se realiza en el cauce donde vamos a hacer mediciones de velocidad o caudal, sumergiendo el sensor del Flow Tracker en agua móvil y en la pantalla obtenemos datos de componentes de velocidad X, Y y Z; así como datos de SNR, los cuales idealmente deben estar 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. La figura 3.12 muestra un diagnóstico de datos de velocidad tomado antes de hacer las mediciones en campo para este trabajo.

Figura 3.12 Diagnóstico de datos de velocidad.

Como podemos apreciar, la figura 3.12 muestra 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 investigación 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; procedimos a medir velocidades tanto aguas arriba de la estructura, a lo largo de la estructura y aguas abajo de esta, con la finalidad de comparar la velocidad del agua que se acerca a la pila y la velocidad del agua que se aleja de esta; procedimos como sigue.

Haciendo uso del método de las dovelas, medimos 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. Medimos la velocidad en cada dovela, a la mitad del tirante de cada estación.

La primera sección transversal que medimos 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. Medimos un total de veinte 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.

La figura 3.13 muestra la configuración en planta del cauce y del puente, también indica las veinte secciones transversales y con pequeños círculos rojos la estación donde medimos la velocidad puntual.

Además de las secciones mencionadas, hicimos dos secciones adicionales muy cercanas a la pila, tal como muestra la figura 3.14, donde medimos velocidades en diferentes profundidades.

La definición de parámetros en el Flow Tracker que utilizamos en la recolección 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, tomamos los valores por *default* del instrumento que comentamos en la parte de “definición de parámetros - ajuste de control de calidad de datos (C.C.)”. Al iniciar la medición de las velocidades en cada una de las secciones transversales hacíamos un diagnóstico de datos de velocidad y un diagnóstico de control de calidad.

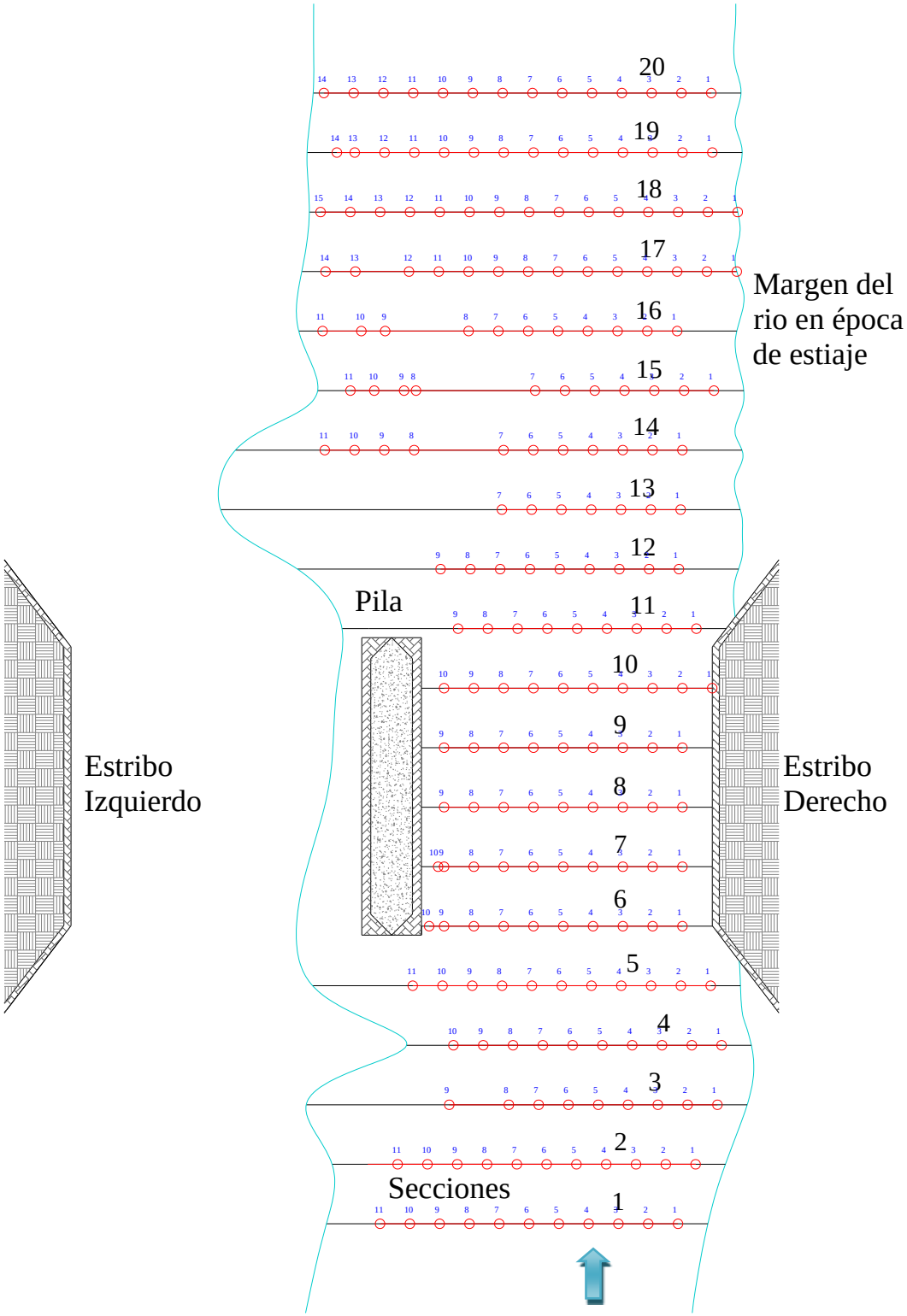


Figura 3.13 Planta de secciones en el río

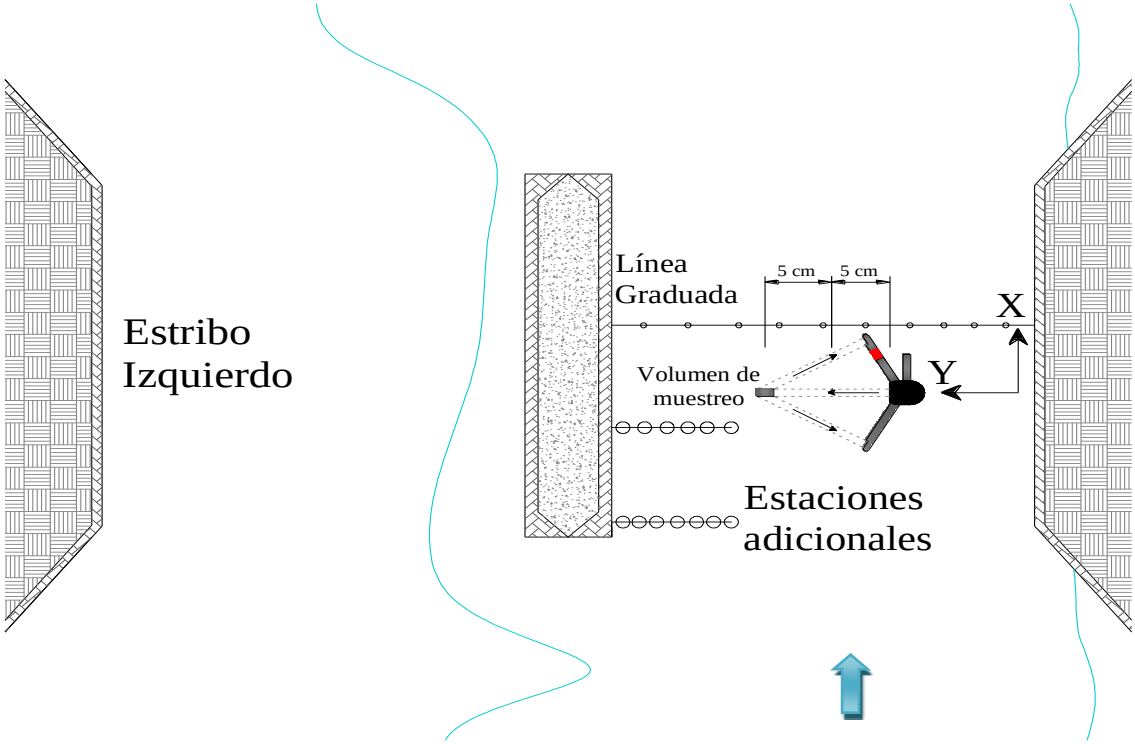


Figura 3.14 Detalle de donde se tomaron estaciones adicionales con datos de velocidades a diferentes profundidades. También se muestran los ejes X, Y del sensor

Una vez que terminamos de recabar información en campo, procedimos a analizar los resultados; para ello descargamos esta información en una computadora donde había sido 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 fueron tabulados en Excel, para generar tablas y de estas obtener gráficas que nos ayudaran a interpretan mejor los resultados que son detallados en el capítulo Análisis de resultados.

Es importante aclarar que cuando nos referimos a la velocidad en la dirección X, estamos 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 lo muestra la figura 3.14.

4 Resultados y discusión

4.1 Introducción

En cada sección transversal con el Flow Tracker recabamos información y generamos una tabla donde aparecen los resultados de la medición. Además de la información de velocidad, generamos un reporte de toda la sección que 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 detallamos, por estación, las componentes de las velocidades en X, Y, Z, la localización de cada estación y la profundidad a la que medimos la velocidad; además de otros datos complementarios. Seguido de la tabla, aparecen dos gráficas, una de velocidad y otra de profundidad con respecto de la distancia transversal.

Al final anexamos un resumen del control de calidad de datos y una gráfica semejante a la que presenta el Beam Check. A continuación mostramos una de las secciones transversales que fueron medidas en el puente, con la finalidad de mostrar el informe que genera el Flow Tracker.

En la Tabla 4.1 podemos ver la información de la sección transversal número 18, medida con el Flow Tracker, la que podemos usar para generar reportes; ya que en la primera parte mostramos 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

Informacion de fichero	
Nombre del fichero	DATOS18.WAD
Fecha y hora de inicio	2010/11/21 11:14:00

Detalles del punto de aforo	
Nom. del punto de aforo	
Operadores	HIDRAULICA

Informacion del sistema	
Tipo de sensor	FlowTracker
Numero de serie #	P3080
Version de CPU	3.7
Version de software	2.30
Factor de corrección montaje	0.0%

Unidades tecnicas	(Metrico)
Distancia	m
Velocidad	m/s
Area	m^2
Caudal	m^3/s

Resumen			
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

Resultados de la medida

St	PtoAfo1	PtoAfo2	Calado	CalMed	Reloj	Ndp	Spike	Vx	Vy	Vz	SNR1	SNR2	SNR3	Vxerr	Vyerr	Vzerr	Bnd	Temp
1	0.00	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

De la tabla 4.1, la información que analizaremos 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 complementaría

La figura 4.1 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 marcamos las dovelas y, en el centro de cada una de ellas, un punto blanco que indica la profundidad donde fue medida la velocidad.

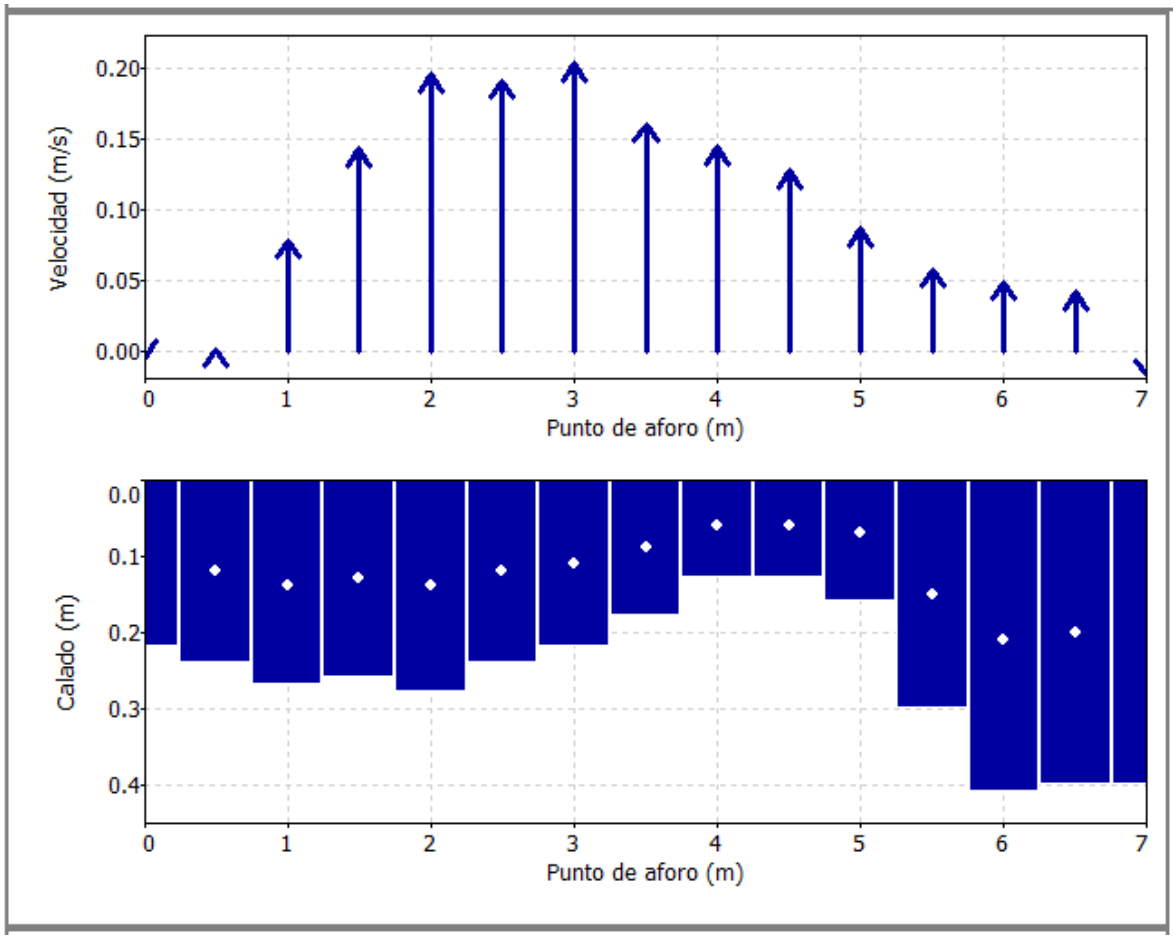
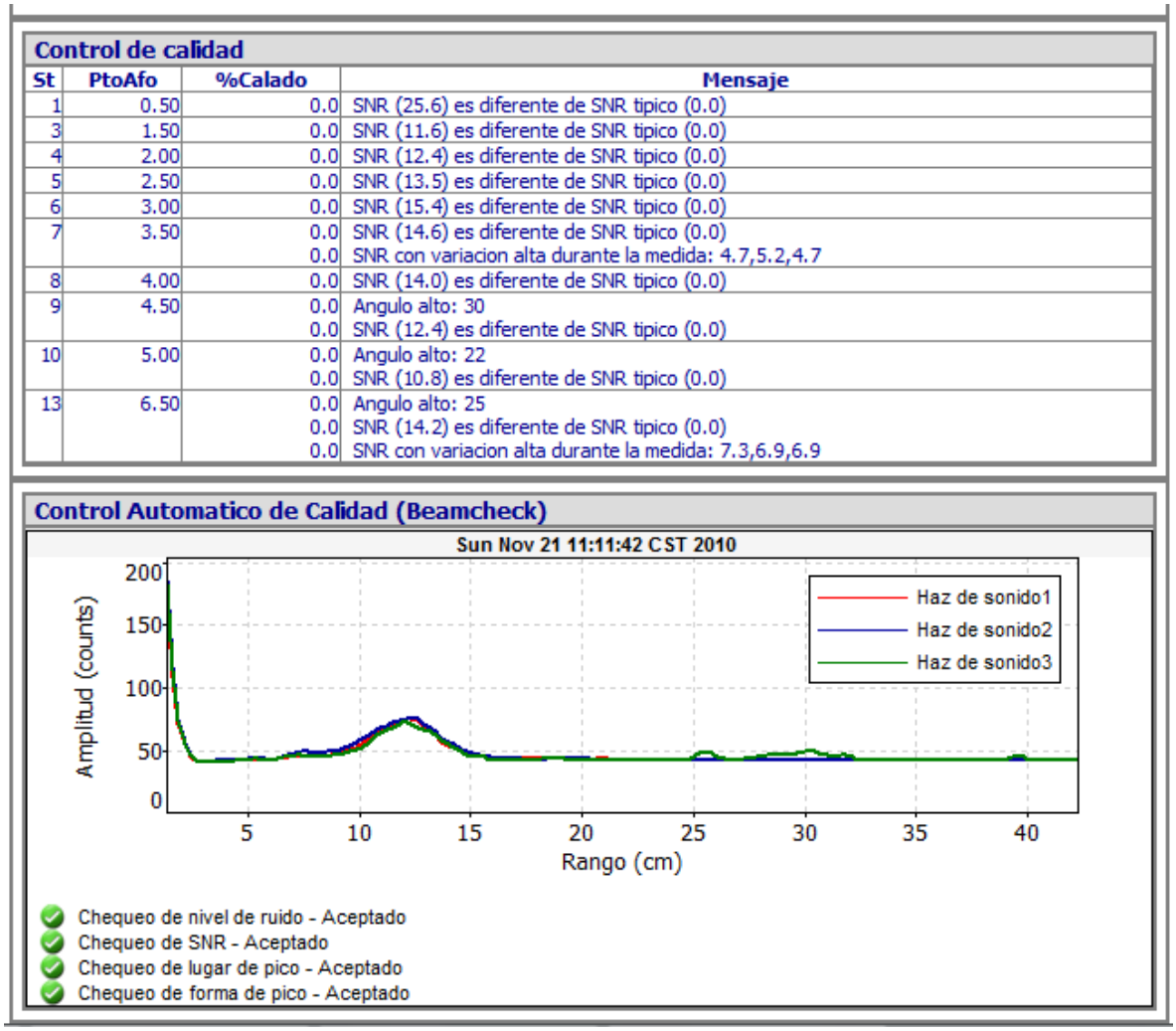


Figura 4.1 Gráfica de velocidad y profundidad que muestra el archivo generado por el Flow Tracker.

Tanto la tabla de resultados de la medida como las gráficas de la figura 4.1 son consideradas como de mayor importancia, pues nos muestran 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 en relación con el uso de molinetes, pues con esta información podemos proceder a hacer otro tipo de análisis como localización de la velocidad máxima, su dirección y determinar si es capaz de erosionar una de las márgenes o el lecho del río.

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



Control de calidad

St	PtoAfo	%Calado	Mensaje
1	0.50	0.0	SNR (25.6) es diferente de SNR tipico (0.0)
3	1.50	0.0	SNR (11.6) es diferente de SNR tipico (0.0)
4	2.00	0.0	SNR (12.4) es diferente de SNR tipico (0.0)
5	2.50	0.0	SNR (13.5) es diferente de SNR tipico (0.0)
6	3.00	0.0	SNR (15.4) es diferente de SNR tipico (0.0)
7	3.50	0.0	SNR (14.6) es diferente de SNR tipico (0.0)
		0.0	SNR con variacion alta durante la medida: 4.7,5.2,4.7
8	4.00	0.0	SNR (14.0) es diferente de SNR tipico (0.0)
9	4.50	0.0	Angulo alto: 30
		0.0	SNR (12.4) es diferente de SNR tipico (0.0)
10	5.00	0.0	Angulo alto: 22
		0.0	SNR (10.8) es diferente de SNR tipico (0.0)
13	6.50	0.0	Angulo alto: 25
		0.0	SNR (14.2) es diferente de SNR tipico (0.0)
		0.0	SNR con variacion alta durante la medida: 7.3,6.9,6.9

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

Cabe mencionar que la información que mostramos en las figuras anteriores está disponible en ocho idiomas, el que muestra originalmente es el idioma Inglés.

Obtuvimos diecinueve archivos más que corresponden a las demás secciones transversales que muestran información idéntica pero acorde con las condiciones especificas de cada sección. Sin embargo, solo presentaremos 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 analizaremos la velocidad media en cada sección, para ello hicimos la tabla 4.1 (resumen) y anexamos todas las estaciones; a partir de esta fueron elaboradas 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 (ºC)	Velocidad Media V_X (m/s)	Velocidad Media V_Y (m/s)	Velocidad Media V_Z (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 tenemos 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 vemos 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 va en dirección de la pila; sin embargo, es 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 tenemos y la fuerza con que viene o va hacia el lecho del río. Antes de llegar a la pila, el flujo se dirige hacia el fondo del cauce por tener velocidades negativas; pero en cuanto entra a la pila (estación 6), advertimos velocidades positivas de hasta 0.016 m/s; significa que el flujo viene del fondo del río hacia la superficie libre.

En términos generales, podemos decir que la velocidad en X cuando llega a la pila se descompone en las otras dos direcciones y provoca un flujo evidentemente tridimensional que genera más turbulencia en la zona de la pila, pero a su vez también podemos decir que la velocidad en X es pequeña en el tramo de la pila (de la sección 6 a la 10) lo que podría ser por el aumento de la profundidad del agua observada justamente en el tramo de la pila. Sin olvidar que el análisis está siendo realizado en velocidades medias para cada sección; es decir, no podemos saber aún qué está pasando con la velocidad al pie de la pila.

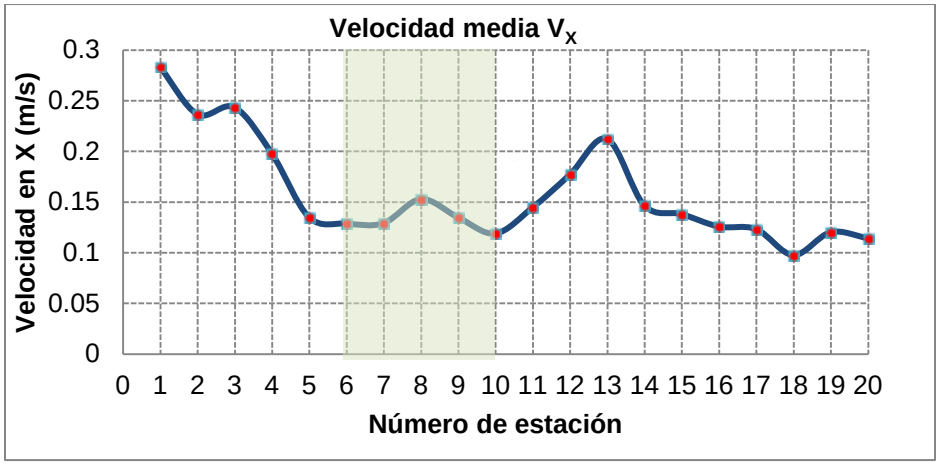


Figura 4.3 Gráfica de la velocidad media en la dirección X.

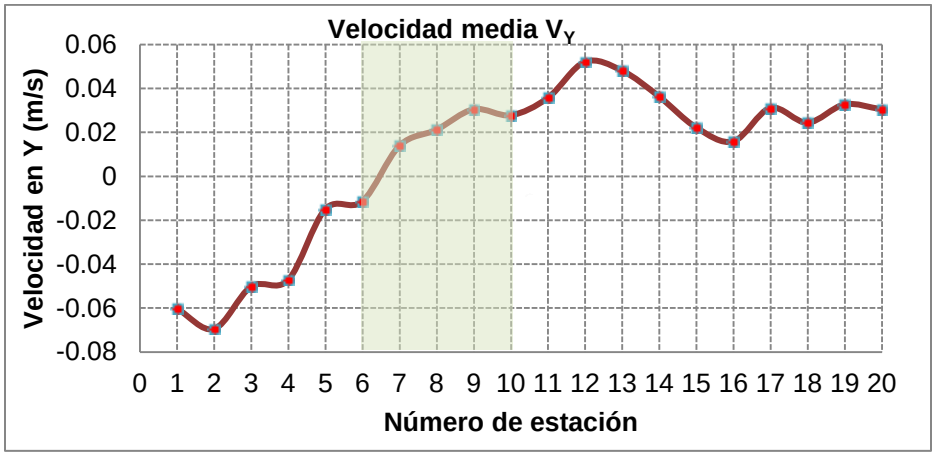


Figura 4.4 Gráfica de la velocidad media en la dirección Y.

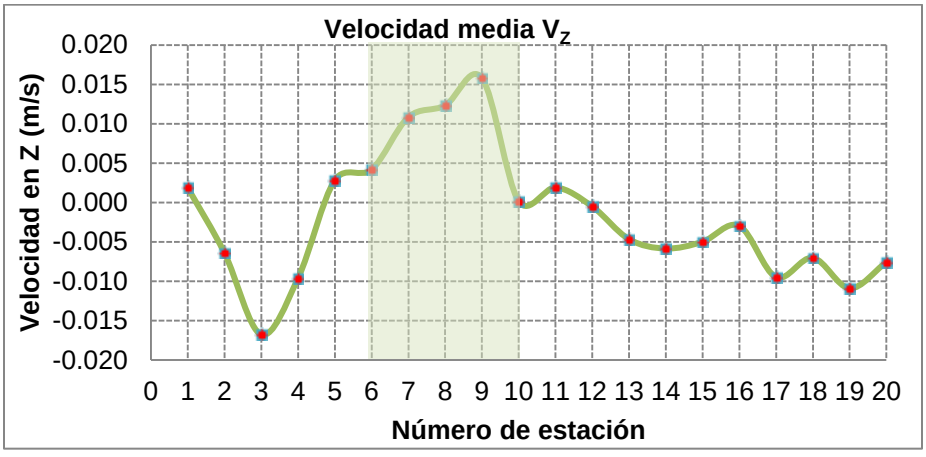


Figura 4.5 Gráfica de la velocidad media en la dirección Z.

4.2.2 Velocidad máxima

Analicemos 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, donde llega 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 con 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 con las características hidráulicas y geomorfológicas del río y no del obstáculo cruzado. 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.

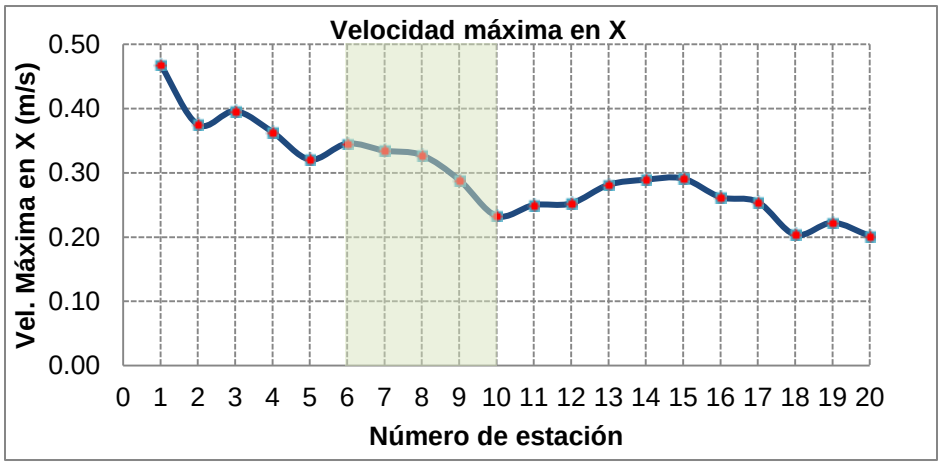


Figura 4.6 Gráfica de la velocidad máxima en la dirección X.

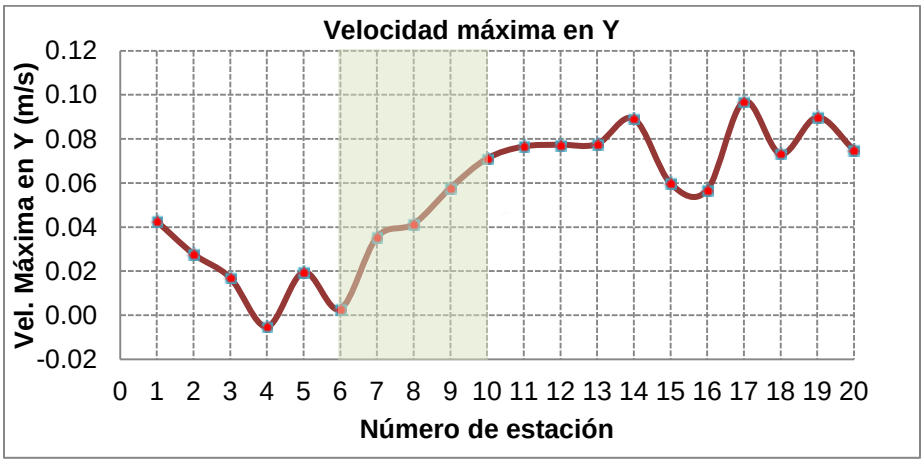


Figura 4.7 Gráfica de la velocidad máxima en la dirección Y.

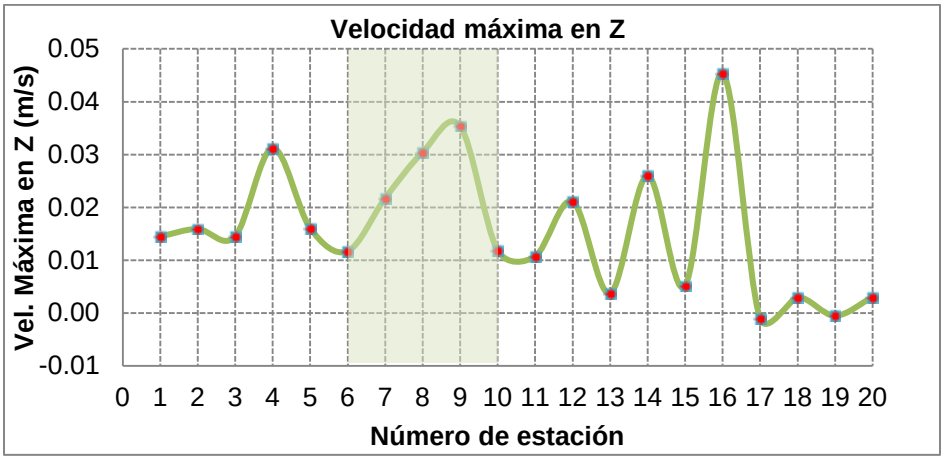


Figura 4.8 Gráfica de la velocidad máxima en la dirección Z.

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

Ahora, analizando el comportamiento de la línea de velocidad máxima que tenemos representada en la figura 4.9; vemos 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 provoca que la velocidad máxima de desvié.

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; esto provoca que la velocidad máxima se desvié ligeramente hacia esta margen.

Justo detrás de la pila, tenemos 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 observamos que en esta zona hay espacios sin estaciones debido al depósito de sedimentos. Por lo que también es influencia para que se haya desviado la velocidad máxima hacia la margen derecha.

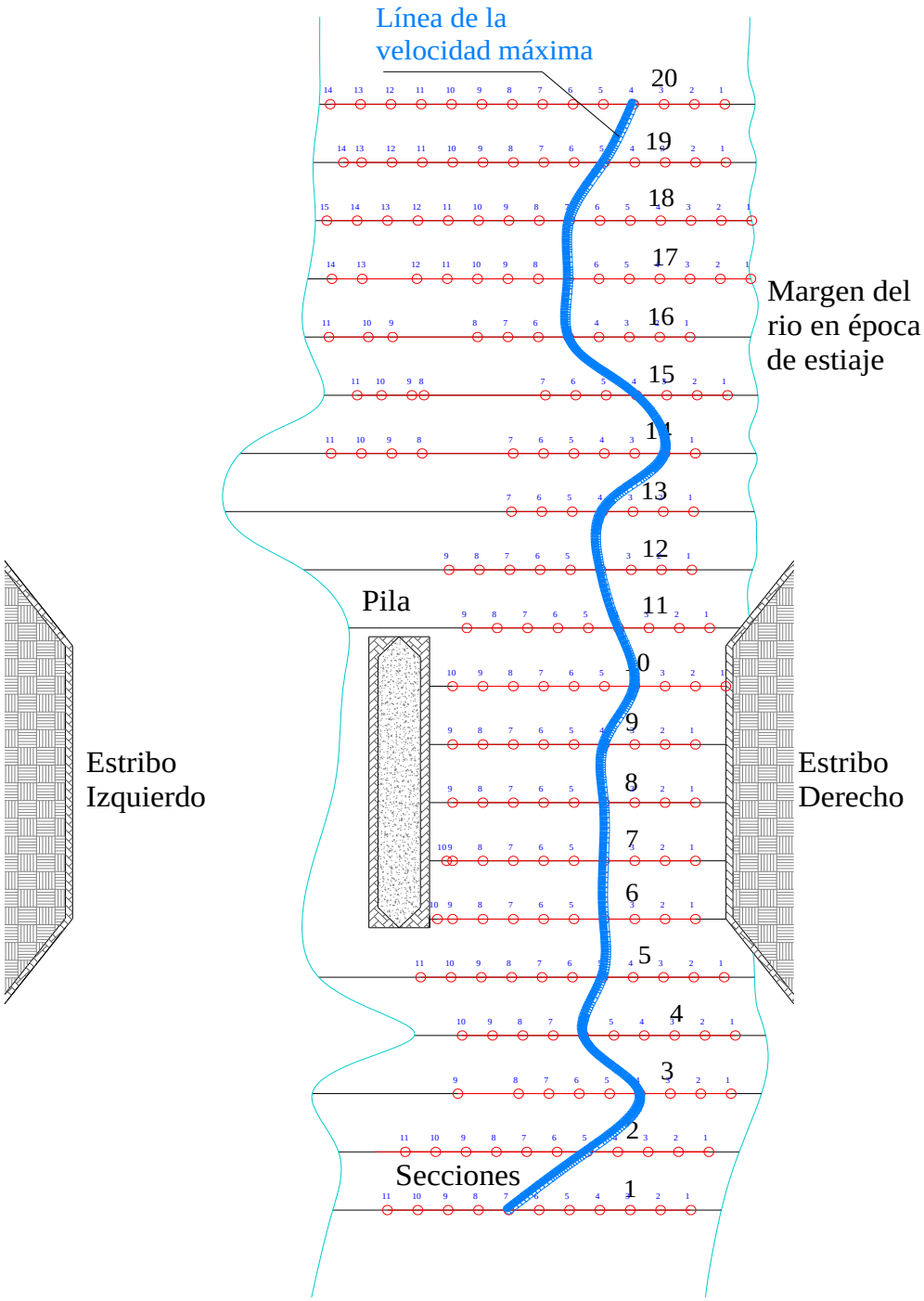


Figura 4.9 Ubicación de la velocidad máxima en el entorno de la pila.

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, hicimos el análisis de tres secciones longitudinales; la primera cerca del estribo, la segunda al centro de la sección transversal y la tercera cerca de la pila. Hicimos una comparativa de velocidades entre las tres secciones. En la figura 4.10 mostramos estas secciones.

La sección longitudinal 3 presenta 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 fueron trazadas de manera que resultaran 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 medimos las velocidades por la presencia del depósito de sedimentos.

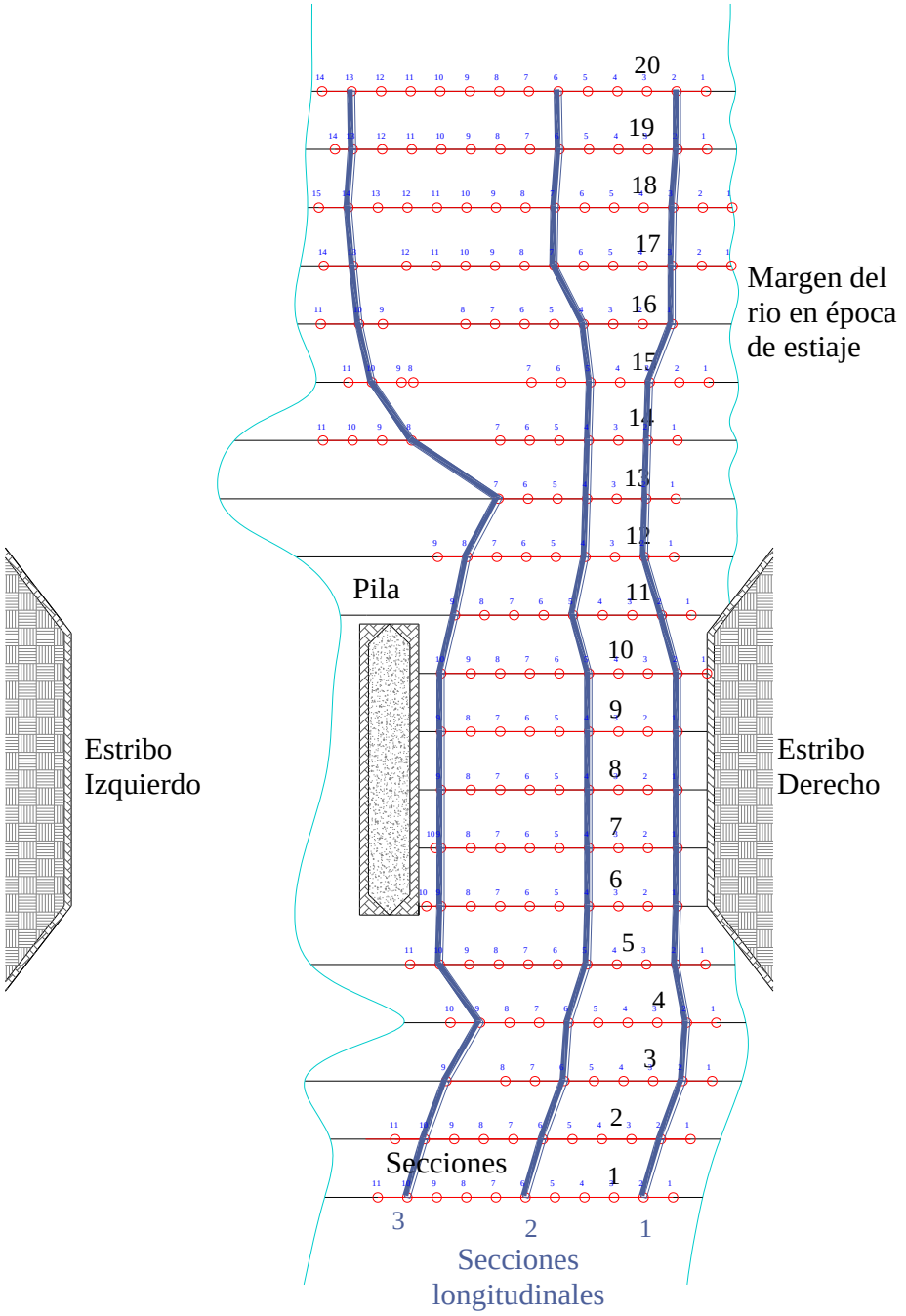


Figura 4.10 Ubicación de las secciones transversales.

4.3.1 Sección longitudinal 1

Tabla 4.3. Velocidades de la sección longitudinal 1

Nº Sec.	Nº Est.	Dist. (m)	d (m)	Nº muestras	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vz (m/s)	SNR 1	SNR 2	SNR 3	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 obtuvimos las figuras 4.11, 4.12 y 4.13, donde analizamos la velocidad en las direcciones X, Y, Z de la sección longitudinal 1 que corresponde a la sección está más cercana al estribo.

Podemos ver que la velocidad conforme se acerca al estibo 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 significa que el flujo cambia constantemente de dirección y genera 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, en la figura 4.13 observamos que la velocidad en la dirección Z se incrementa en la zona del estribo y el flujo toma una dirección de abajo hacia arriba; esto ocasiona que tengamos corrientes que parten del fondo del río y que podrían ocasionar desprendimiento de partículas hacia arriba para generar socavación.

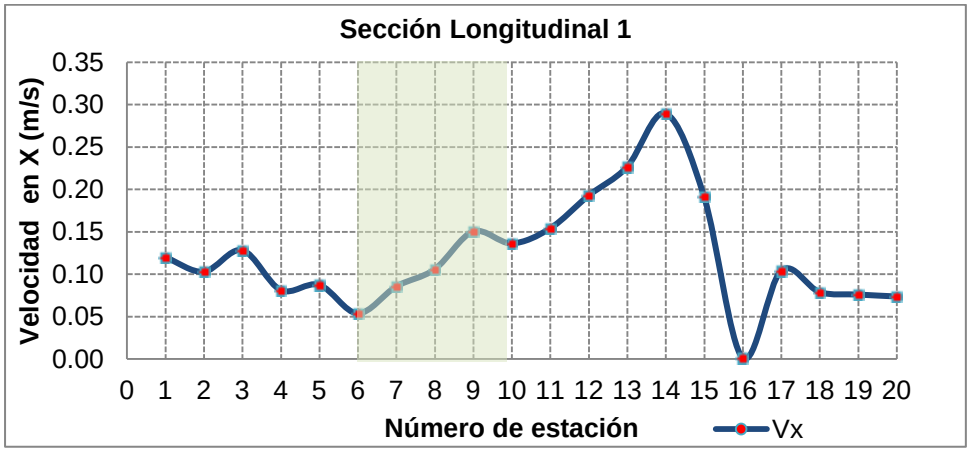


Figura 4.11 Gráfica de la velocidad en X de la sección longitudinal 1.

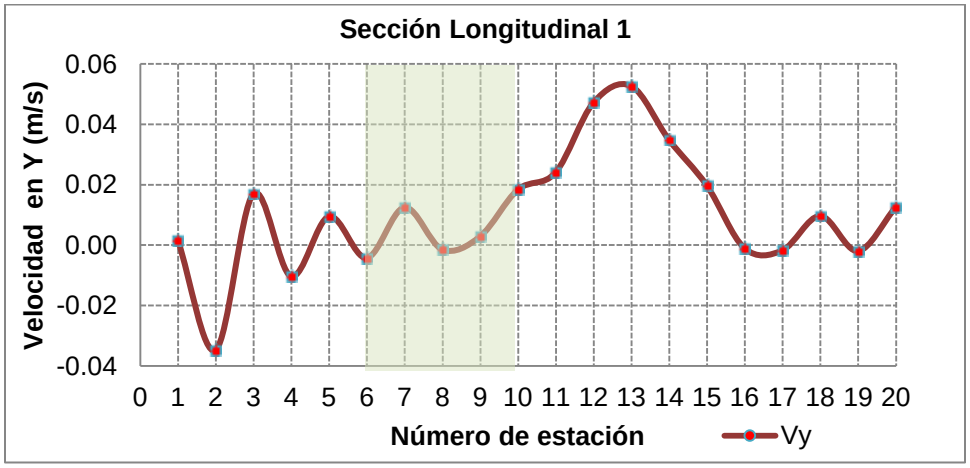


Figura 4.12 Gráfica de la velocidad en Y de la sección longitudinal 1.

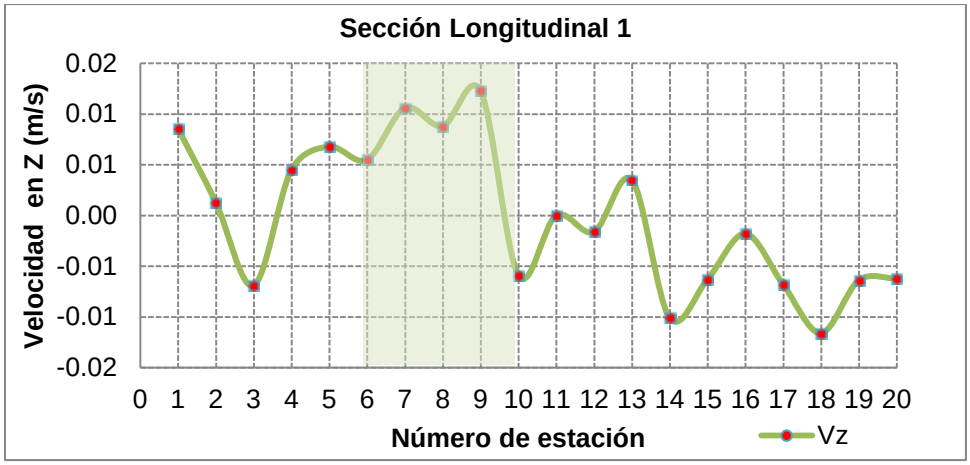


Figura 4.13 Gráfica de la velocidad en Z de la sección longitudinal 1.

4.3.2 Sección longitudinal 2

Los resultados que obtuvimos en esta sección (figuras 4.14 a 4.16) tienen un comportamiento similar a los presentados cuando analizamos la velocidad media; es decir, que la velocidad en Y es hacia la pila y que la velocidad en Z se incrementa en la zona de la pila que es del fondo del río hacia arriba.

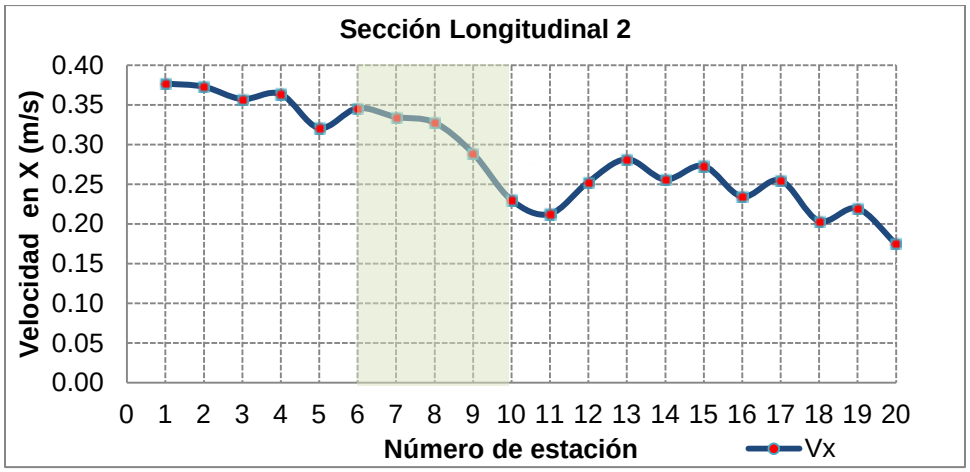


Figura 4.14 Gráfica de la velocidad en X de la sección longitudinal 2.

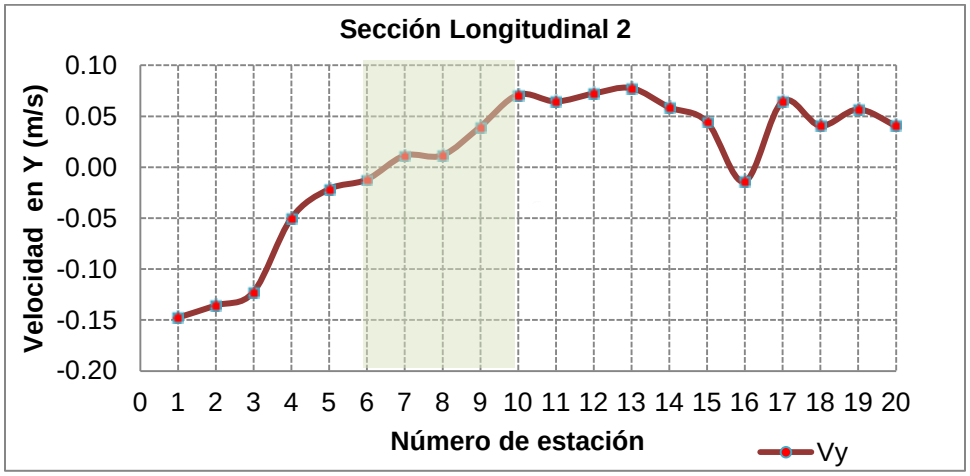


Figura 4.15 Gráfica de la velocidad en Y de la sección longitudinal 2.

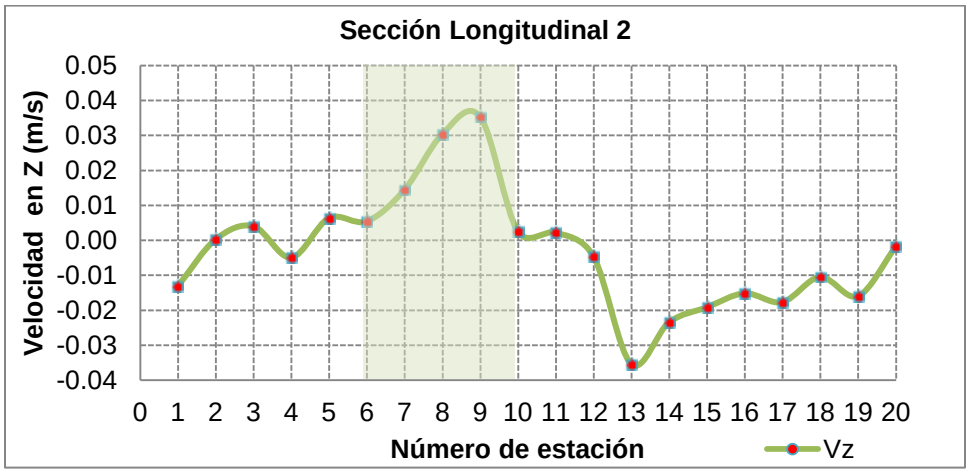


Figura 4.16 Gráfica de la velocidad en Z de la sección longitudinal 2.

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. (Figuras 4.17 a 4.19).

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, tenemos un incremento de la velocidad en esta dirección, lo cual representa que el flujo toma la dirección hacia donde estaba la pila, que es justamente donde se unen 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 detrás de las pilas. Físicamente no podíamos observar este fenómeno; sin embargo, sí se presenta por el resultado de la figura 4.18.

Este comportamiento es bien conocido por la ingeniería hidráulica; sin embargo, no existe un conocimiento profundo de la intensidad de la velocidad que genera estos vórtices, y en este caso obtuvimos 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 y ahora es del fondo del río hacia arriba. Este cambio de dirección de la velocidad en Z nos representa 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.

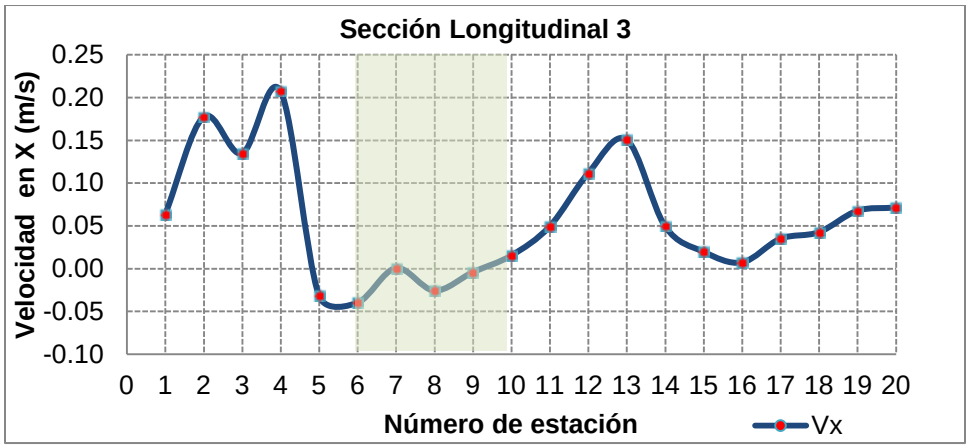


Figura 4.17 Gráfica de la velocidad en X de la sección longitudinal 3.

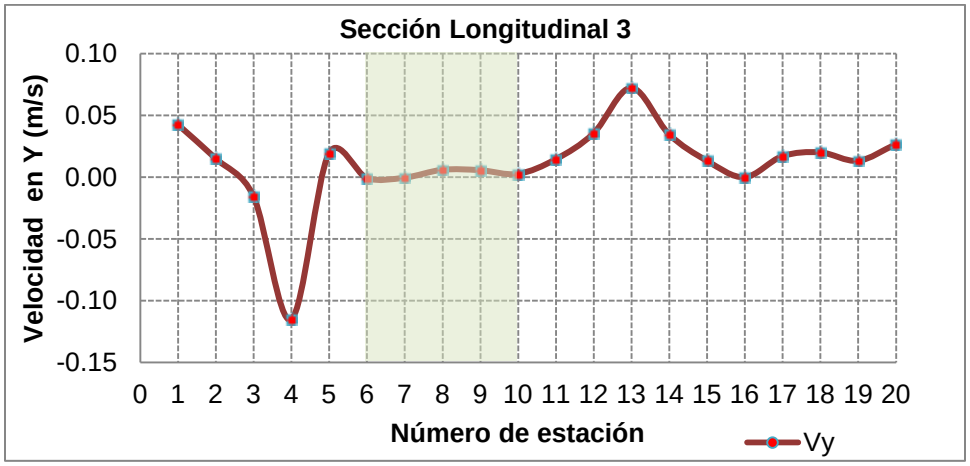


Figura 4.18 Gráfica de la velocidad en Y de la sección longitudinal 3.

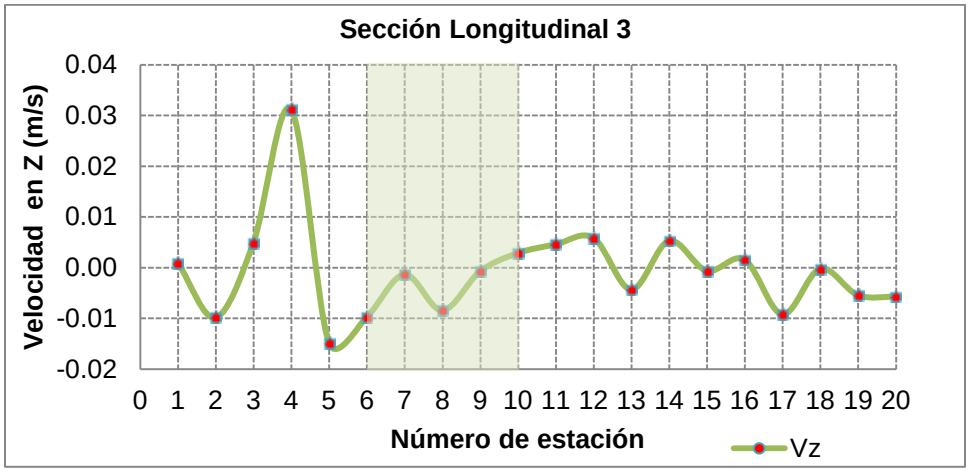


Figura 4.19 Gráfica de la velocidad en Z de la sección longitudinal 3.

Ahora bien, si analizamos la velocidad en cada una de las direcciones -pero ahora comparando entre secciones longitudinales- tenemos 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 de acuerdo con la teoría de distribución de velocidades, corroboramos que al centro de un cauce tenemos 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 las componentes de velocidad Y y Z (figuras 4.21 y 4.22), tanto la sección longitudinal 1 como la 3 tienen un comportamiento un poco similar. En ambas figuras observamos 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, observamos en la figura 4.21 que antes de entrar en la zona donde está el paso del puente sí hay variaciones de la velocidad en la dirección Y, 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, observamos 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.

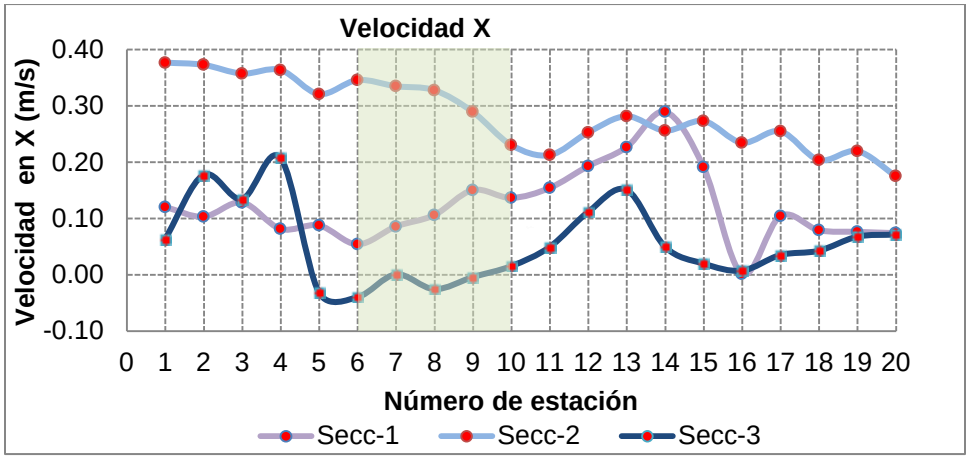


Figura 4.20 Gráfica de la velocidad en X de las tres secciones longitudinales.

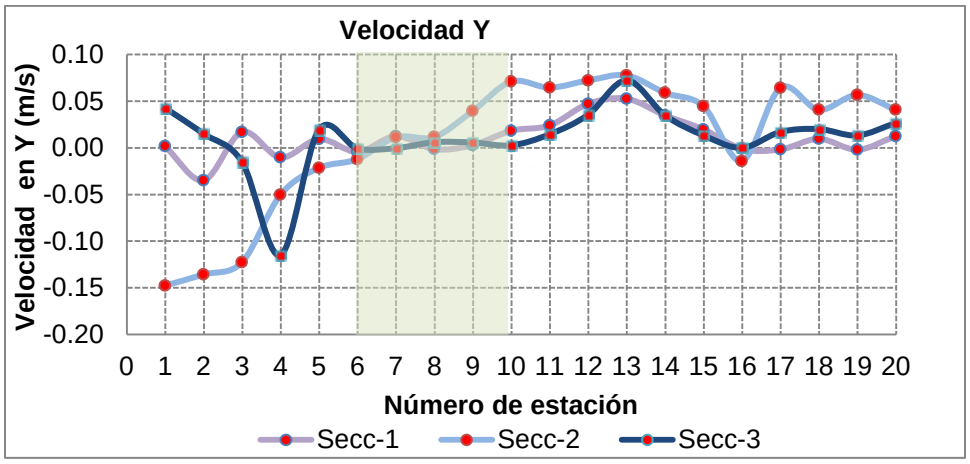


Figura 4.21 Gráfica de la velocidad en Y de las tres secciones longitudinales.

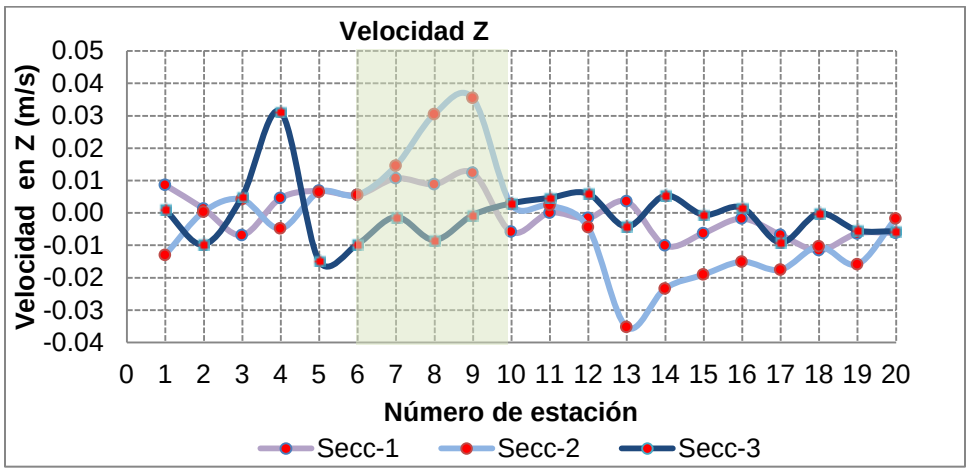


Figura 4.22 Gráfica de la velocidad en Z de las tres secciones longitudinales.

4.4 Análisis de la velocidad en puntos específicos

Ahora evaluaremos la velocidad en puntos cercanos a la pila en diferentes profundidades; mostramos un esquema de su localización en la figura 4.23.

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

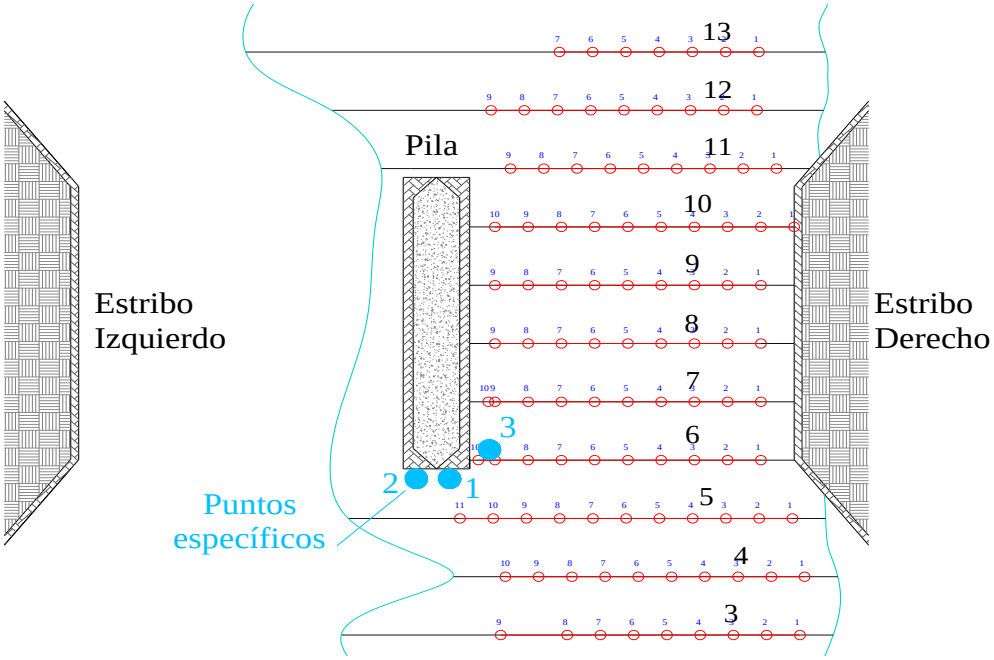


Figura 4.23 Esquema del puente que muestra los puntos donde fueron medidas las velocidades en diferentes profundidades.

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 hondura, la velocidad es positiva, y de la otra mitad 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 donde tenemos 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 pues tenemos velocidades de hasta 0.192 m/s en dirección al centro del cauce.

En la dirección Z es interesante el resultado, pues registramos que la velocidad es mucho más drástica a mayor profundidad, además bastante elevada, dado que llega hasta 0.262 m/s; situación -en este caso- que 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 existen velocidades, que llegan al fondo, mayores

a 0.26 m/s y que golpea el lecho del río, situación que genera indudablemente socavación local.

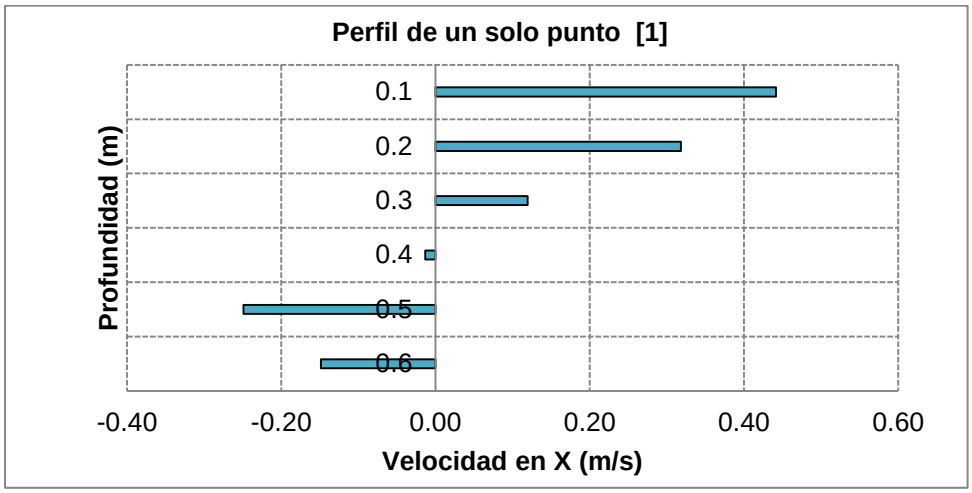


Figura 4.24 Perfil de velocidades en el punto1 en la dirección X.

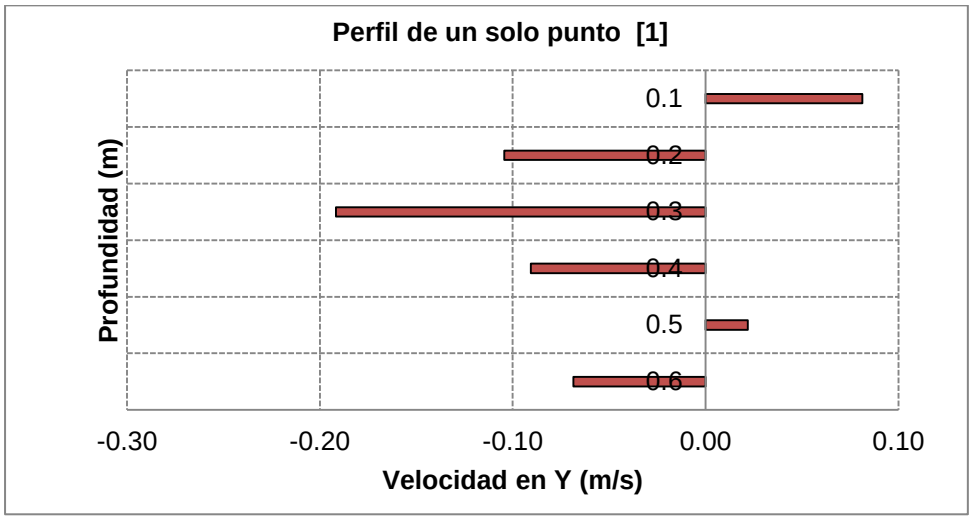


Figura 4.25 Perfil de velocidades en el punto 1 en la dirección Y.

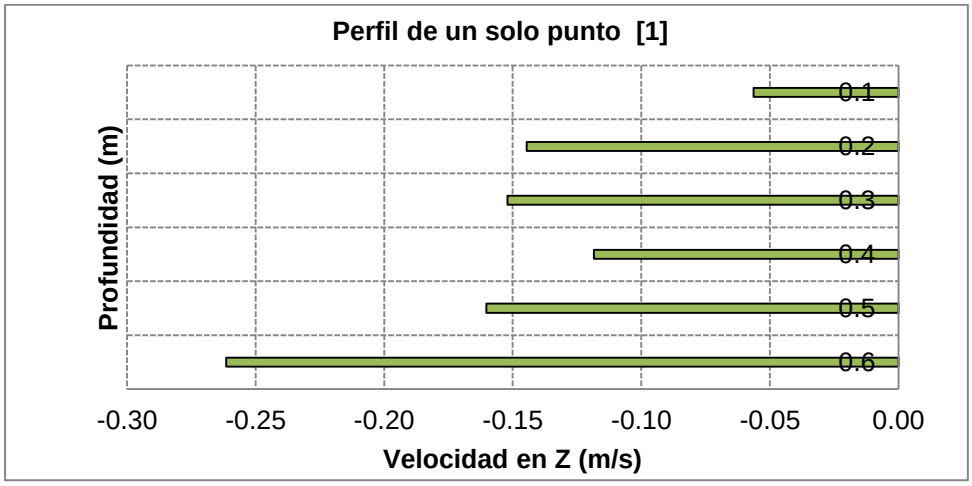


Figura 4.26 Perfil de velocidades en el punto 1 en la dirección Z.

4.4.2 Punto 2

Este punto fue ubicado 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 interpretamos como vorticidades o flujo turbulento generado por la presenciad de la pila

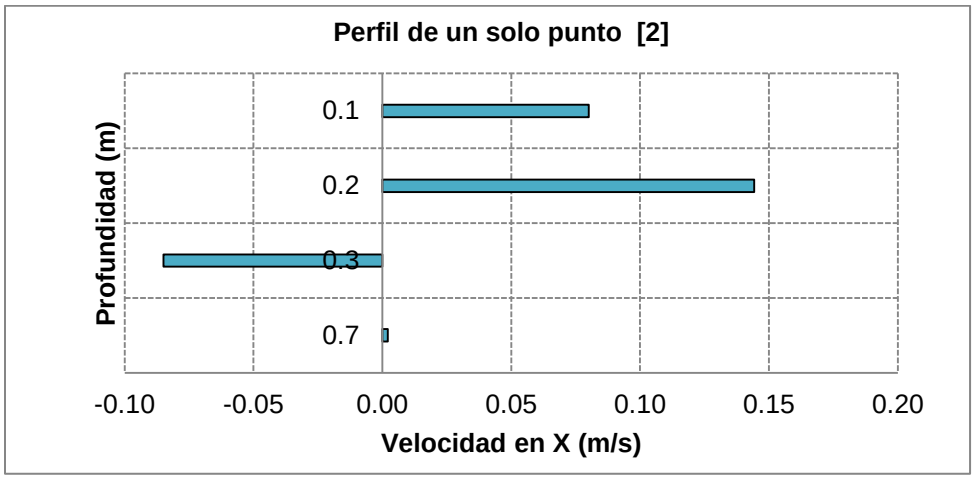


Figura 4.27 Perfil de velocidades en el punto 2 en la dirección X.

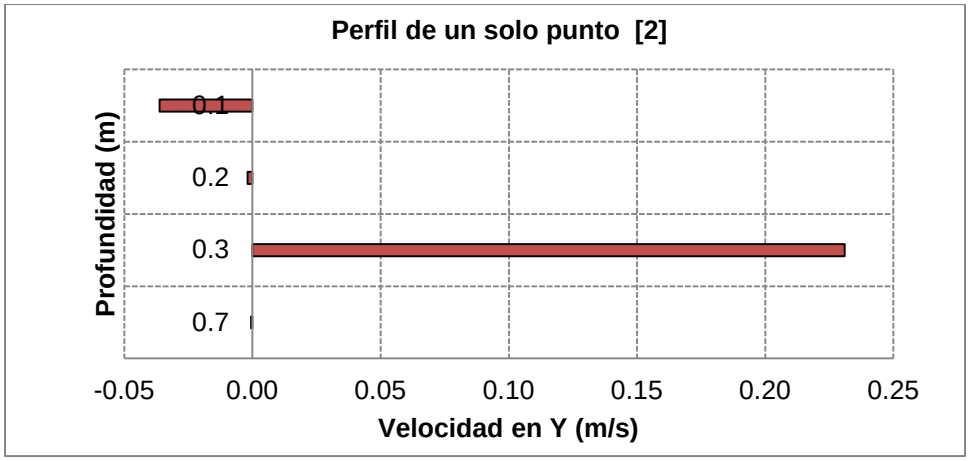


Figura 4.28 Perfil de velocidades en el punto 2 en la dirección Y.

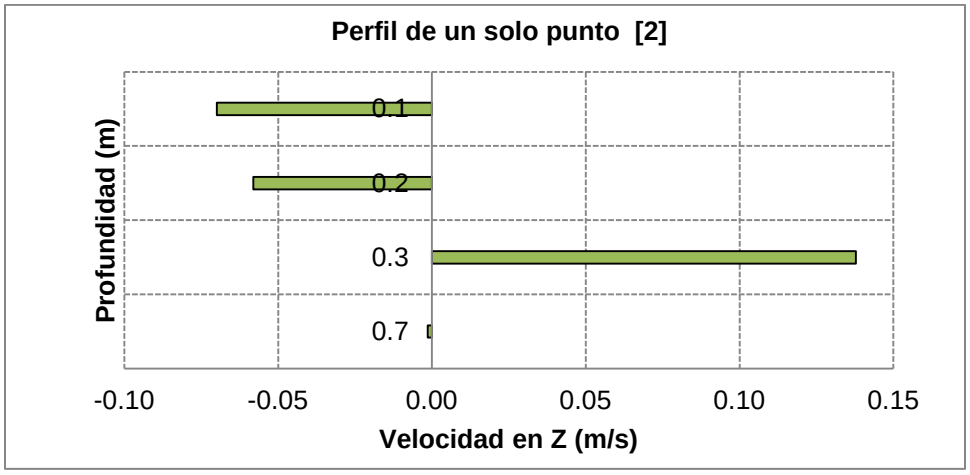


Figura 4.29 Perfil de velocidades en el punto 2 en la dirección Z.

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 aparece 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 (figura 4.31).

No así la velocidad en Z, pues su comportamiento es de arriba hacia abajo: es decir, golpea 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 cuatro veces, en un tramo menor de 1 m (figura 4.32).

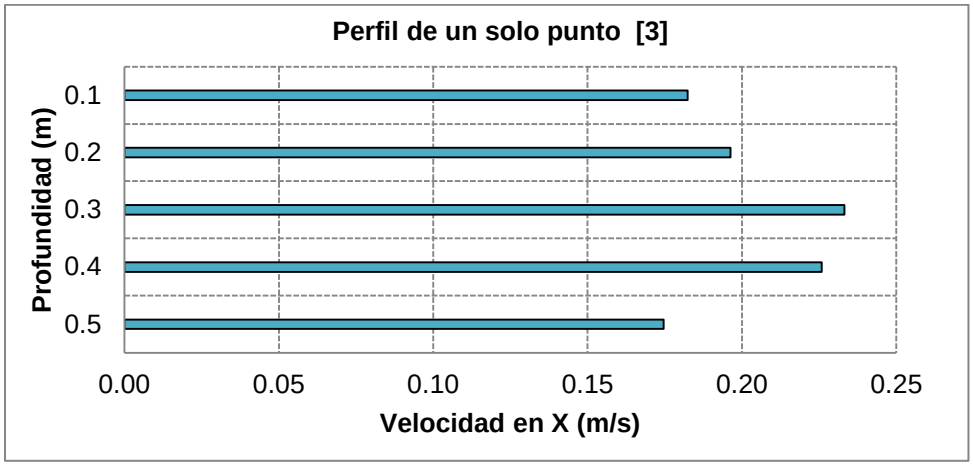


Figura 4.30 Perfil de velocidades en el punto3 en la dirección X.

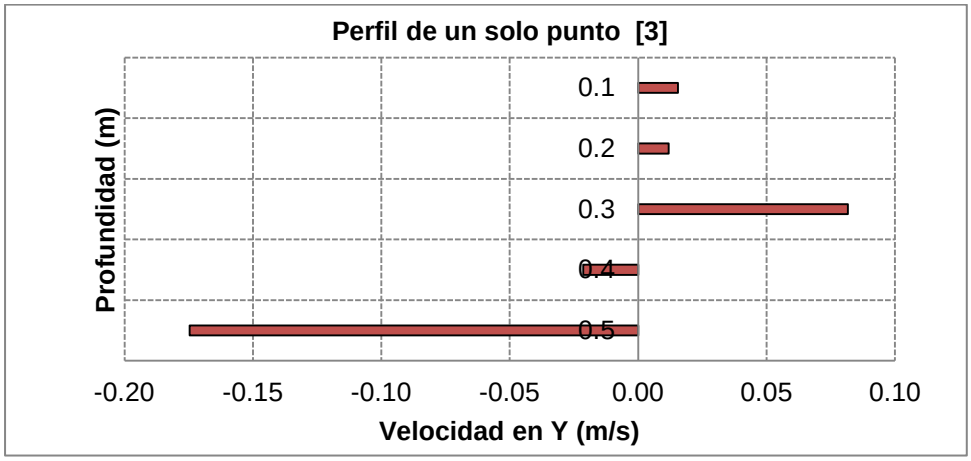


Figura 4.31 Perfil de velocidades en el punto3 en la dirección Y.

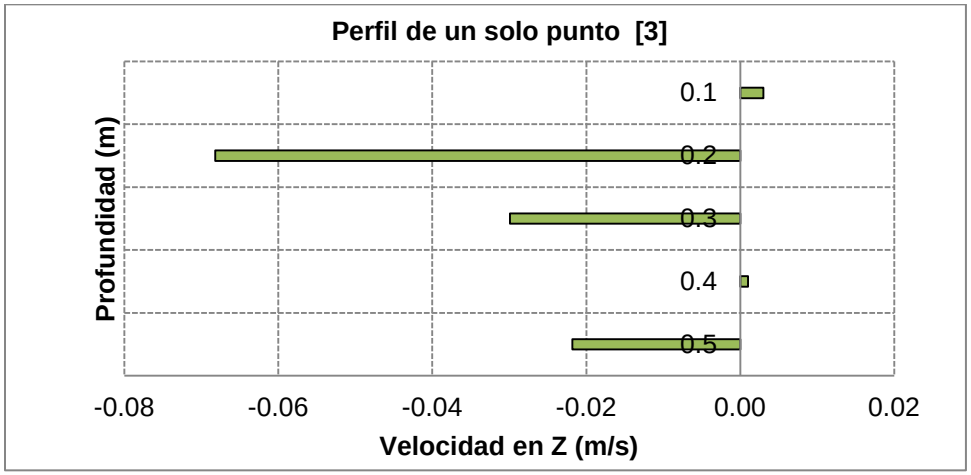


Figura 4.32 Perfil de velocidades en el punto3 en la dirección Z.

El comportamiento de la velocidad en Z aguas abajo del punto 3 es de arriba hacia abajo y puede ser observado en el análisis que hicimos para la sección longitudinal 3. Por lo anterior, encontramos que la velocidad en Z, en términos generales, 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 comprobamos que las líneas de corriente se modifican al llegar a un obstáculo y toman una forma curva para bordear el objeto interpuesto; en este caso, la variación de la velocidad en la dirección Y representa este fenómeno. En realidad este fenómeno es difícil distinguir a simple vista en un río, 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, volvimos a medir algunas secciones donde todavía teníamos 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, comparamos la sección 5 que se encuentra antes de llegar a la pila. Para ello, las figuras 4.33 y 4.34 muestran 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.

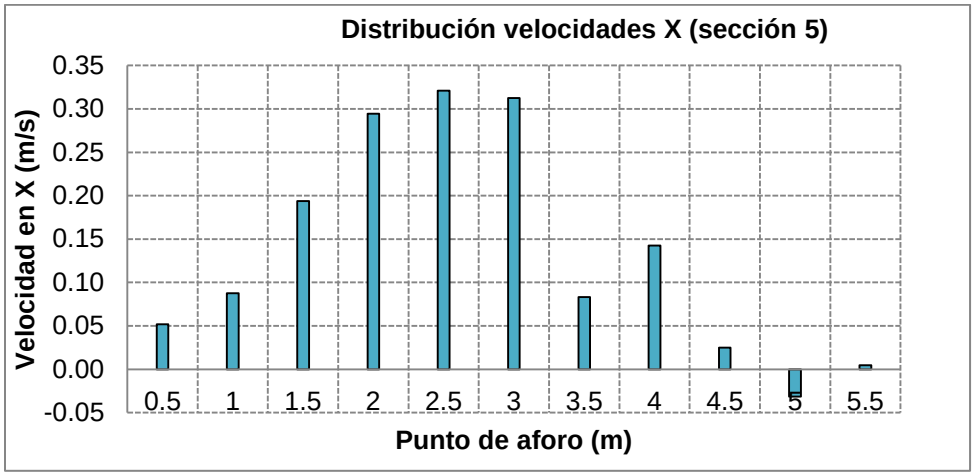


Figura 4.33 Distribución de velocidades en época de estiaje en la dirección X.

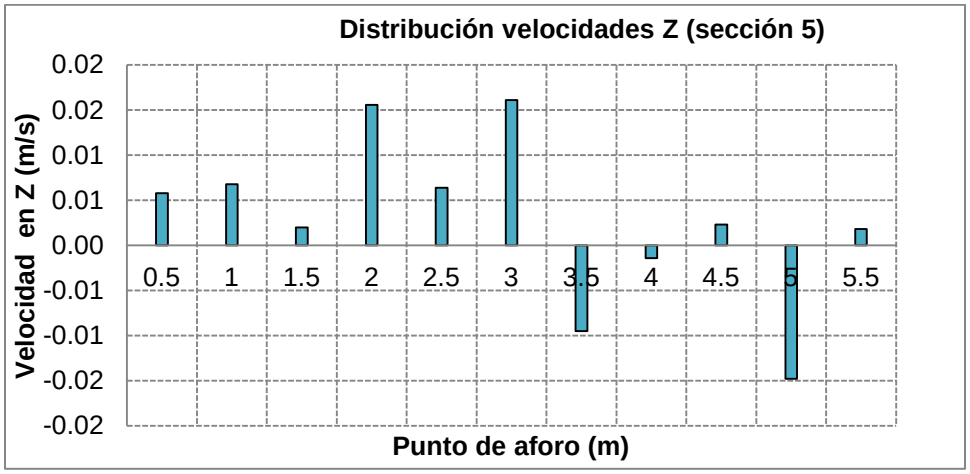


Figura 4.34 Distribución de velocidades en época de estiaje en la dirección Z.

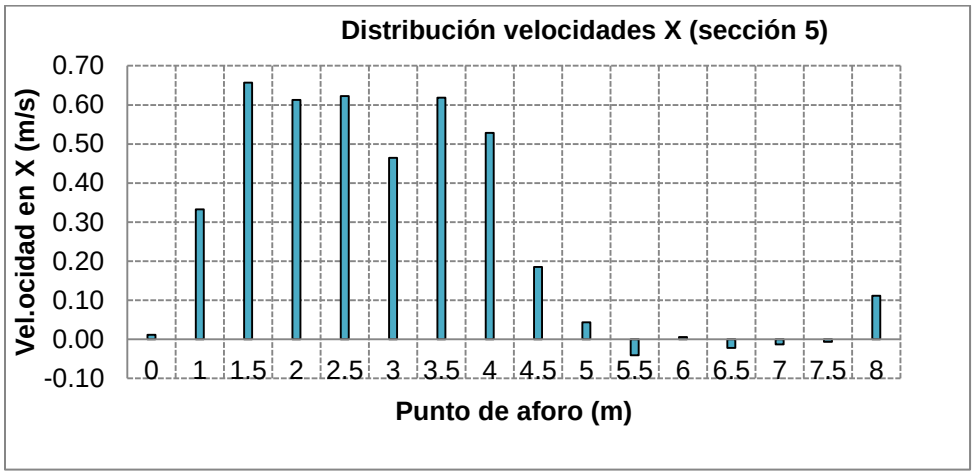


Figura 4.35 Distribución de velocidades en época de lluvias en la dirección X.

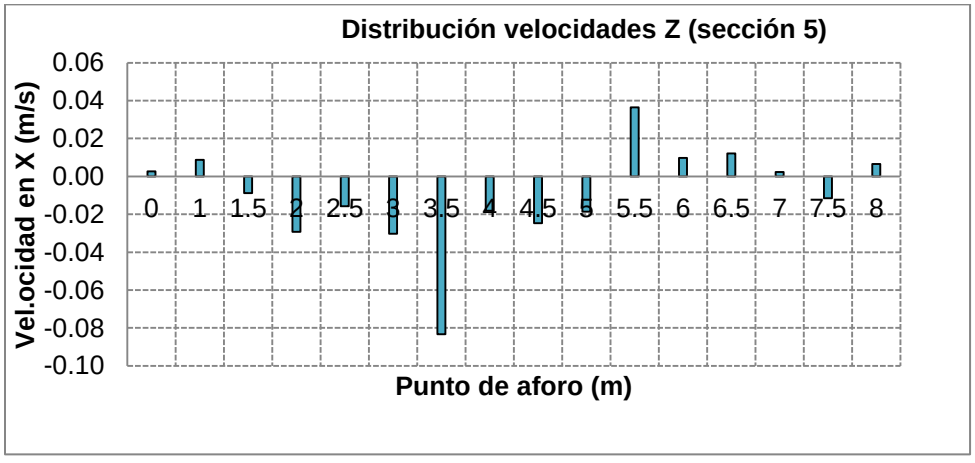


Figura 4.36 Distribución de velocidades en época de lluvias en la dirección Z.

Para finalizar este capítulo de análisis de resultados, presentamos la figura 4.37, la que representa 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 qué secciones tuvimos 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. En la figura podemos ver que en todas las secciones el SNR es mayor que 10.

Ahora bien; tenemos que aguas arriba del puente, el SNR tiene un comportamiento en disminución e inclusive hasta dos 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, tenemos un incremento en el SNR. Aguas abajo de la estructura del puente, observamos que el valor de SNR disminuye.

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

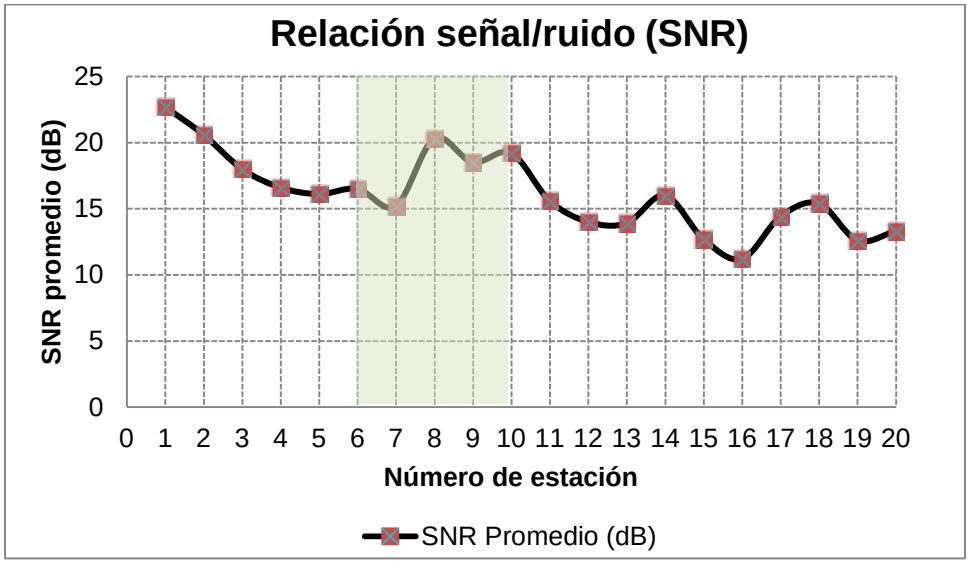


Figura 4.37 Gráfica de valores de SNR promedio de cada sección transversal medida.

5 Conclusiones y recomendaciones

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 hemos 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 población, es importante garantizar su seguridad. 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. lo que genera pérdidas en toda la población beneficiada.

Gracias al estudio bibliográfico, hemos podido comprobar que una gran cantidad de investigadores han trabajado 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 podremos modificar las características del flujo antes de que llegue a la pila o al llegar a ella 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 así como las dimensiones de la pila.

Sin embargo, cuando tenemos puentes ya construidos es posible 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; es posible hacer este análisis 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 investigación, 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 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 podemos 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 le dimos en este trabajo, sino que también es útil en el aforo de gasto en ríos de poca profundidad e inclusive en ríos muy caudalosos si hacemos uso de una embarcación.

Como conclusión general, podemos agregar que hacer uso del Flow Tracker en el diagnóstico de la socavación local en la pila de un puente ayuda al análisis de la velocidad de flujo del río, en cada una de las direcciones X, Y, Z; lo que permite definir si el flujo en las inmediaciones de la pila es turbulento y que evidentemente este flujo conlleva variaciones en el vector velocidad a cada instante y a diferente profundidad; 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, es posible detectar el comportamiento general del flujo cuando existe un objeto interpuesto que modifica las características hidráulicas de la sección del río. De los análisis generales en el cauce, podemos 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 del lecho del río hacia arriba; y pues en esta dirección el flujo provoca que el material del lecho sea extraído de su sitio e induce la socavación. Por otro lado, observamos que el comportamiento de la velocidad máxima varió 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 es posible usarlo 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 debe hacerse cuidando cada uno de los criterios fueron mencionados en el Capítulo III de la metodología, pues esto garantiza buenos resultados en la medición de velocidades; entre los parámetros más importantes tenemos el SNR, error estándar de velocidad o la presencia de límites. Estos tres criterios son comunes y aparecen después de realizada la medida. El mensaje de advertencia surge en la pantalla del instrumento, lo que da opción a aceptar la medición o repetirla, lo recomendable es volver a hacerla.

Para mejorar la relación señal/ruido (SNR), es necesario que tengamos presencia de sedimentos en suspensión; si no los tenemos es posible generarlos removiendo el lecho aguas arriba de donde vamos 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 (σV), 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 la evalúa como MALO, REGULAR, BIEN Y EXCELENTE. Para corregir este defecto de medición, podemos recolocar el sensor y cerciorarnos de 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 tengamos la presencia de un obstáculo en el volumen de muestreo.

Si una vez que hemos repetido la medición en una estación por cualquiera de las circunstancias antes mencionadas, y los resultados vuelven a salir con advertencias, podemos 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 podemos tomar es modificar los criterios de control de calidad desde la definición de parámetros (mencionados en el capítulo III), donde es posible 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 deseamos usar el Flow Tracker en un salto hidráulico o en un medio totalmente turbulento, es difícil que en el tiempo de muestreo el instrumento manifieste 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 lo usamos en medios turbulentos la velocidad que mide, sólo podemos visualizarla en pantalla mas no

procesar. En esta visualización, es posible apreciar cómo cambia de dirección la velocidad a cada segundo

Si pretendemos 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 investigación, para hacer el análisis de velocidades en las inmediaciones de la pila de un puente, resultó eficiente; dado que nos permitió identificar las zonas donde el flujo se modifica por la presencia de la pila. Por lo que si alguien pretende realizar un estudio similar en algún otro puente, puede volver a usar dicha metodología.

Bibliografía

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

Bonilla Gris, R. “Nueva Tecnología contra la socavación local,” Vías Terrestres, No. 5, Año 1, Mayo-Junio, pp.8-11. 2010.

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

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

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

Juárez Badillo Eulalio, Rico Rodríguez Alfonso. “Mecánica de suelos III”. Limusa: México D.F. 2008.

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

Muste, Marian- Kim, Won y M. Fulford, Janice. “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. 2008.

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. “Ingeniería de ríos, apuntes de la materia”, U.M.S.N.H, F.I.C. 2010.

P.F. Lagasse, J.D. Schall, E.V. Richardson. “Stream Stability at Highway Structures Third Edition”, FHWA Publication No. FHWA NHI 01-002, U.S. 2001

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

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

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

Santiago Casanova María Elena. "Hidráulica de ríos socavación en ríos puentes y carreteras". Tesis del Instituto Politécnico Nacional: México, D.F. 2007.

Sotelo Ávila, Gilberto. "Apuntes de Hidráulica II". Facultad de Ingeniería, UNAM: México, 1993.

World Meteorological Organization. "Manual on Stream Gauging". Volume I WMO-No. 1044, 2010.

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=lQqcTLfqFJK8sQOjmpioCQ&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.ysi.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/publications/research/infrastructure/hydraulics/99156/

Anexo 1.

A continuación se muestran las tablas con las que se generaron las graficas y que no se mostraron en el texto.

Tabla A1.1 Datos de velocidad de la sección longitudinal 2

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	6	0	0.16	40	0.3768	-0.148	-0.013	30.9	30.9	30.5	0.0165	0.008	0.0117
2	6	3	0.16	40	0.3729	-0.136	0.0003	28.3	28.8	27	0.0095	0.0086	0.0071
3	6	3	0.22	40	0.3573	-0.123	0.0041	24.5	25.7	24	0.0112	0.0073	0.0057
4	6	3	0.25	40	0.3637	-0.05	-0.005	24	24.5	23.6	0.0092	0.0045	0.0068
5	5	2.5	0.32	40	0.3209	-0.022	0.0064	23.6	24.5	23.6	0.0078	0.0065	0.0044
6	4	2	0.3	40	0.3457	-0.012	0.0055	22.3	22.7	21	0.0085	0.0065	0.0066
7	4	2	0.32	40	0.3348	0.0114	0.0145	21.9	22.3	22.7	0.0069	0.0048	0.0049
8	4	2	0.34	40	0.3278	0.0117	0.0304	22.3	23.6	22.3	0.0065	0.0059	0.0049
9	4	2	0.34	40	0.2894	0.0396	0.0354	21	22.3	21	0.0062	0.0052	0.0049
10	5	2	0.31	40	0.2304	0.0711	0.0026	19.7	20.2	18.9	0.0064	0.0037	0.0034
11	5	2.5	0.3	40	0.2125	0.0646	0.0023	20.2	21	20.2	0.0046	0.0033	0.0037
12	4	2.5	0.27	40	0.2526	0.0723	-0.005	18	18.9	18	0.0054	0.0044	0.0034
13	4	2.5	0.26	40	0.2815	0.0777	-0.035	15.9	17.2	15.9	0.0056	0.0053	0.0037
14	4	2.5	0.22	40	0.256	0.059	-0.023	17.2	17.6	16.3	0.0067	0.0064	0.0069
15	5	2.5	0.25	40	0.2731	0.0447	-0.019	12.8	13.7	13.3	0.0054	0.0049	0.0039
16	4	2.5	0.23	40	0.2345	-0.014	-0.015	11.1	11.6	10.3	0.0078	0.0039	0.0056
17	7	3	0.22	40	0.2548	0.0644	-0.018	15.4	16.7	15.4	0.0067	0.0043	0.0046
18	7	3	0.22	40	0.2038	0.0408	-0.01	15	16.3	15	0.0073	0.0045	0.0052
19	6	3	0.22	40	0.2195	0.0567	-0.016	13.7	14.1	13.7	0.0059	0.0062	0.0048
20	6	3	0.22	40	0.1753	0.0408	-0.002	13.7	14.1	12.8	0.0052	0.0042	0.0048

Tabla A1.2 Datos de velocidad de la sección longitudinal 3

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	10	0	0.18	40	0.0627	0.0427	0.001	15.9	17.2	15.9	0.0038	0.0031	0.0044
2	10	5	0.16	40	0.1772	0.0153	-0.01	16.7	17.6	15.9	0.0041	0.0043	0.0051
3	9	5	0.11	40	0.1345	-0.015	0.0049	15.4	15.4	14.1	0.0057	0.0043	0.0047
4	10	5	0.12	40	0.2075	-0.115	0.0312	14.6	15.4	14.1	0.007	0.0058	0.0073
5	10	5	0.18	40	-0.031	0.0195	-0.015	12	12.4	12	0.002	0.0021	0.0019
6	10	4.75	0.32	40	-0.04	-5E-04	-0.01	21	21.5	20.6	0.0015	0.0012	0.001
7	10	4.6	0.34	40	0.0005	-3E-04	-0.001	15.4	18	18.9	0.0006	0.0002	0.0007
8	9	4.5	0.34	40	-0.026	0.0061	-0.008	21.5	21.5	20.2	0.001	0.0014	0.0013
9	9	4.5	0.2	40	-0.004	0.0058	-7E-04	22.3	23.2	20.6	0.0005	0.0006	0.0007
10	10	4.5	0.15	40	0.0152	0.0028	0.0029	23.6	24	22.7	0.0008	0.0005	0.0005
11	9	4.5	0.15	40	0.0492	0.0146	0.0046	10.7	10.7	9.8	0.0011	0.0007	0.0011
12	8	4.5	0.15	40	0.1113	0.0355	0.0059	11.6	12	10.3	0.0016	0.0012	0.0013
13	7	4	0.16	40	0.1507	0.0724	-0.004	9.8	10.3	9.4	0.0019	0.002	0.0017
14	8	5.5	0.19	40	0.0496	0.0349	0.0053	7.3	7.7	6.8	0.0026	0.0026	0.0026
15	10	6.2	0.4	40	0.0197	0.0135	-6E-04	7.7	8.1	6.4	0.0037	0.0021	0.003
16	10	6.3	0.42	40	0.0072	0.0001	0.0016	6.4	6.8	5.5	0.0027	0.002	0.0023
17	13	6.9	0.44	40	0.0349	0.0171	-0.009	9	9.8	8.6	0.0042	0.0035	0.0028
18	14	6.5	0.4	40	0.0425	0.0202	-2E-04	14.6	14.6	13.3	0.0019	0.0019	0.0024
19	13	6.5	0.37	40	0.0675	0.0134	-0.005	9	8.6	7.3	0.002	0.0016	0.0018
20	13	6.5	0.32	40	0.0713	0.0267	-0.006	10.7	11.1	10.3	0.0014	0.0017	0.0017

Anexo 2

A continuación mostramos todos los datos de velocidades obtenidos en las secciones medidas en el río donde se encuentra el puente en estudio. Esta información es tal cual fue obtenida con el Flow Tracker

Sección transversal no. 1

Resumen de aforo

Datos generados: Fri Nov 18 2011

Informacion de fichero	
Nombre del fichero	DAT1411.TXT.WAD
Fecha y hora de inicio	2010/11/14 16:39:10

Detalles del punto de aforo	
Nom. del punto de aforo	
Operadores	HIDRAULICA

Informacion del sistema	
Tipo de sensor	FlowTracker
Numero de serie #	P3080
Version de CPU	3.7
Version de software	2.30
Factor de corrección montaje	0.0%

Unidades tecnicas	(Metrico)
Distancia	m
Velocidad	m/s
Area	m^2
Caudal	m^3/s

Resumen			
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

Resultados de la medida

St	PtoAfo1	PtoAfo2	Calado	CalMed	Reloj	Ndp	Spike	Vx	Vy	Vz	SNR1	SNR2	SNR3	Vxerr	Vyerr	Vzerr	Bnd	Temp
1	0.00	0.00	0.000	0.000	16:39	40	1	0.1147	0.0147	-0.0098	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	-0.0549	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	-0.1379	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	-0.1214	-0.0018	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	-0.1476	-0.0131	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	-0.1331	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	-0.0797	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	1	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

Informacion de fichero	
Nombre del fichero	DATOS02.TXT.WAD
Fecha y hora de inicio	2010/11/14 17:28:59

Detalles del punto de aforo	
Nom. del punto de aforo	
Operadores	HIDRAULICA

Informacion del sistema	
Tipo de sensor	FlowTracker
Numero de serie #	P3080
Version de CPU	3.7
Version de software	2.30
Factor de corrección montaje	0.0%

Unidades tecnicas	(Metrico)
Distancia	m
Velocidad	m/s
Area	m^2
Caudal	m^3/s

Resumen			
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

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	0.260	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	-0.0136	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	-0.0217	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	-0.0291	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	-0.0216	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

Informacion de fichero	
Nombre del fichero	DATOS03.TXT.WAD
Fecha y hora de inicio	2010/11/15 10:09:32

Detalles del punto de aforo	
Nom. del punto de aforo	
Operadores	HIDRAULICA

Informacion del sistema	
Tipo de sensor	FlowTracker
Numero de serie #	P3080
Version de CPU	3.7
Version de software	2.30
Factor de corrección montaje	0.0%

Unidades tecnicas	(Metrico)
Distancia	m
Velocidad	m/s
Area	m^2
Caudal	m^3/s

Resumen			
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

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	0.190	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	-0.0069	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	-0.0098	-0.0077	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	-0.0531	0.0078	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	-0.0535	-0.0156	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	-0.1226	0.0041	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	-0.1800	-0.0605	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	-0.0351	-0.0915	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	-0.0150	0.0049	15.4	15.4	14.1	0.0057	0.0043	0.0047	0	8.13

Sección transversal no. 4

Resumen de aforo

Datos generados: Fri Nov 18 2011

Informacion de fichero	
Nombre del fichero	DATOS04.TXT.WAD
Fecha y hora de inicio	2010/11/15 10:52:12

Detalles del punto de aforo	
Nom. del punto de aforo	
Operadores	HIDRAULICA

Informacion del sistema	
Tipo de sensor	FlowTracker
Numero de serie #	P3080
Version de CPU	3.7
Version de software	2.30
Factor de corrección montaje	0.0%

Unidades tecnicas	(Metrico)
Distancia	m
Velocidad	m/s
Area	m^2
Caudal	m^3/s

Resumen			
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

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	0.260	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	-0.0014	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	-0.0219	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	-0.0049	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	-0.0005	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	-0.0095	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	-0.1025	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

Informacion de fichero	
Nombre del fichero	DATOS05.TXT.WAD
Fecha y hora de inicio	2010/11/15 11:40:41

Detalles del punto de aforo	
Nom. del punto de aforo	
Operadores	HIDRAULICA

Informacion del sistema	
Tipo de sensor	FlowTracker
Numero de serie #	P3080
Version de CPU	3.7
Version de software	2.30
Factor de corrección montaje	0.0%

Unidades tecnicas	(Metrico)
Distancia	m
Velocidad	m/s
Area	m^2
Caudal	m^3/s

Resumen			
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

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	0.210	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	-0.0095	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	-0.0014	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	-0.0148	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

Informacion de fichero	
Nombre del fichero	DATOS061.TXT.WAD
Fecha y hora de inicio	2010/11/15 12:41:59

Detalles del punto de aforo	
Nom. del punto de aforo	
Operadores	HIDRAULICA

Informacion del sistema	
Tipo de sensor	FlowTracker
Numero de serie #	P3080
Version de CPU	3.7
Version de software	2.30
Factor de corrección montaje	0.0%

Unidades tecnicas	(Metrico)
Distancia	m
Velocidad	m/s
Area	m^2
Caudal	m^3/s

Resumen			
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

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	0.250	0.000	12:41	40	0	0.0539	-0.0042	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	-0.0064	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	-0.0121	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	-0.0291	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	-0.0012	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	-0.0279	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	-0.0137	-0.0257	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	-0.0027	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	-0.0400	-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

Informacion de fichero	
Nombre del fichero	DATOS07.TXT.WAD
Fecha y hora de inicio	2010/11/15 13:39:12

Detalles del punto de aforo	
Nom. del punto de aforo	
Operadores	HIDRAULICA

Informacion del sistema	
Tipo de sensor	FlowTracker
Numero de serie #	P3080
Version de CPU	3.7
Version de software	2.30
Factor de corrección montaje	0.0%

Unidades tecnicas	(Metrico)
Distancia	m
Velocidad	m/s
Area	m^2
Caudal	m^3/s

Resumen			
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

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	0.280	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	-0.0031	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

Informacion de fichero	
Nombre del fichero	DATOS08.TXT.WAD
Fecha y hora de inicio	2010/11/15 14:25:35

Detalles del punto de aforo	
Nom. del punto de aforo	
Operadores	HIDRAULICA

Informacion del sistema	
Tipo de sensor	FlowTracker
Numero de serie #	P3080
Version de CPU	3.7
Version de software	2.30
Factor de corrección montaje	0.0%

Unidades tecnicas	(Metrico)
Distancia	m
Velocidad	m/s
Area	m^2
Caudal	m^3/s

Resumen			
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

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	0.290	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	-0.0257	0.0061	-0.0084	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

Informacion de fichero	
Nombre del fichero	DATOS09.TXT.WAD
Fecha y hora de inicio	2010/11/15 14:59:47

Detalles del punto de aforo	
Nom. del punto de aforo	
Operadores	HIDRAULICA

Informacion del sistema	
Tipo de sensor	FlowTracker
Numero de serie #	P3080
Version de CPU	3.7
Version de software	2.30
Factor de corrección montaje	0.0%

Unidades tecnicas	(Metrico)
Distancia	m
Velocidad	m/s
Area	m^2
Caudal	m^3/s

Resumen			
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

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	0.300	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

Informacion de fichero	
Nombre del fichero	DATOS101.TXT.WAD
Fecha y hora de inicio	2010/11/20 14:56:41

Detalles del punto de aforo	
Nom. del punto de aforo	
Operadores	HIDRAULICA

Informacion del sistema	
Tipo de sensor	FlowTracker
Numero de serie #	P3080
Version de CPU	3.7
Version de software	2.30
Factor de corrección montaje	0.0%

Unidades tecnicas	(Metrico)
Distancia	m
Velocidad	m/s
Area	m^2
Caudal	m^3/s

Resumen			
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

Resultados de la medida

St	PtoAfo1	PtoAfo2	Calado	CalMed	Reloj	Ndp	Spike	Vx	Vy	Vz	SNR1	SNR2	SNR3	Vxerr	Vyerr	Vzerr	Bnd	Temp
1	0.00	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

Informacion de fichero	
Nombre del fichero	DATOS11.TXT.WAD
Fecha y hora de inicio	2010/11/20 15:29:26

Detalles del punto de aforo	
Nom. del punto de aforo	
Operadores	HIDRAULICA

Informacion del sistema	
Tipo de sensor	FlowTracker
Numero de serie #	P3080
Version de CPU	3.7
Version de software	2.30
Factor de corrección montaje	0.0%

Unidades tecnicas	(Metrico)
Distancia	m
Velocidad	m/s
Area	m^2
Caudal	m^3/s

Resumen			
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

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	0.190	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

Informacion de fichero	
Nombre del fichero	DATOS12.TXT.WAD
Fecha y hora de inicio	2010/11/20 15:54:56

Detalles del punto de aforo	
Nom. del punto de aforo	
Operadores	HIDRAULICA

Informacion del sistema	
Tipo de sensor	FlowTracker
Numero de serie #	P3080
Version de CPU	3.7
Version de software	2.30
Factor de corrección montaje	0.0%

Unidades tecnicas	(Metrico)
Distancia	m
Velocidad	m/s
Area	m^2
Caudal	m^3/s

Resumen			
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

Resultados de la medida

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	-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

Informacion de fichero	
Nombre del fichero	DATOS13.TXT.WAD
Fecha y hora de inicio	2010/11/20 16:20:28

Detalles del punto de aforo	
Nom. del punto de aforo	
Operadores	HIDRAULICA

Informacion del sistema	
Tipo de sensor	FlowTracker
Numero de serie #	P3080
Version de CPU	3.7
Version de software	2.30
Factor de corrección montaje	0.0%

Unidades tecnicas	(Metrico)
Distancia	m
Velocidad	m/s
Area	m^2
Caudal	m^3/s

Resumen			
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

Resultados de la medida

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	1	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

Informacion de fichero	
Nombre del fichero	DATOS14.TXT.WAD
Fecha y hora de inicio	2010/11/20 16:52:05

Detalles del punto de aforo	
Nom. del punto de aforo	
Operadores	HIDRAULICA

Informacion del sistema	
Tipo de sensor	FlowTracker
Numero de serie #	P3080
Version de CPU	3.7
Version de software	2.30
Factor de corrección montaje	0.0%

Unidades tecnicas	(Metrico)
Distancia	m
Velocidad	m/s
Area	m^2
Caudal	m^3/s

Resumen			
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

Resultados de la medida

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	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

Informacion de fichero	
Nombre del fichero	DATOS15.TXT.WAD
Fecha y hora de inicio	2010/11/20 17:27:32

Detalles del punto de aforo	
Nom. del punto de aforo	
Operadores	HIDRAULICA

Informacion del sistema	
Tipo de sensor	FlowTracker
Numero de serie #	P3080
Version de CPU	3.7
Version de software	2.30
Factor de corrección montaje	0.0%

Unidades tecnicas	(Metrico)
Distancia	m
Velocidad	m/s
Area	m^2
Caudal	m^3/s

Resumen			
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

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	0.140	0.070	17:27	40	2	0.0730	-0.0005	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	-0.0063	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	-0.0217	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	-0.0191	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	-0.0064	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	-0.0046	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	-0.0064	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	-0.0006	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	-0.0002	-0.0002	0.0001	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

Informacion de fichero	
Nombre del fichero	DATOS16.TXT.WAD
Fecha y hora de inicio	2010/11/20 17:59:10

Detalles del punto de aforo	
Nom. del punto de aforo	
Operadores	HIDRAULICA

Informacion del sistema	
Tipo de sensor	FlowTracker
Numero de serie #	P3080
Version de CPU	3.7
Version de software	2.30
Factor de corrección montaje	0.0%

Unidades tecnicas	(Metrico)
Distancia	m
Velocidad	m/s
Area	m^2
Caudal	m^3/s

Resumen			
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

Resultados de la medida

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	-0.0010	-0.0018	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	-0.0058	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	-0.0075	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	-0.0141	-0.0151	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	-0.0308	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	-0.0068	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	-0.0080	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	-0.0064	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

Informacion de fichero	
Nombre del fichero	DATOS17.WAD
Fecha y hora de inicio	2010/11/21 10:40:37

Detalles del punto de aforo	
Nom. del punto de aforo	
Operadores	HIDRAULICA

Informacion del sistema	
Tipo de sensor	FlowTracker
Numero de serie #	P3080
Version de CPU	3.7
Version de software	2.30
Factor de corrección montaje	0.0%

Unidades tecnicas	(Metrico)
Distancia	m
Velocidad	m/s
Area	m^2
Caudal	m^3/s

Resumen			
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

Resultados de la medida

St	PtoAfo1	PtoAfo2	Calado	CalMed	Reloj	Ndp	Spike	Vx	Vy	Vz	SNR1	SNR2	SNR3	Vxerr	Vyerr	Vzerr	Bnd	Temp
1	0.00	0.00	0.140	0.080	10:40	40	0	-0.0076	0.0036	-0.0019	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	-0.0087	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	-0.0017	-0.0068	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	-0.0117	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	-0.0087	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	-0.0082	-0.0079	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	-0.0176	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	-0.0215	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	-0.0145	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	-0.0010	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	-0.0107	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	-0.0021	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	-0.0092	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	-0.0104	8.6	8.6	8.1	0.0034	0.0023	0.0028	0	8.84

Sección transversal no. 18

Resumen de aforo

Datos generados: Fri Nov 18 2011

Informacion de fichero	
Nombre del fichero	DATOS18.WAD
Fecha y hora de inicio	2010/11/21 11:14:00

Detalles del punto de aforo	
Nom. del punto de aforo	
Operadores	HIDRAULICA

Informacion del sistema	
Tipo de sensor	FlowTracker
Numero de serie #	P3080
Version de CPU	3.7
Version de software	2.30
Factor de corrección montaje	0.0%

Unidades tecnicas	(Metrico)
Distancia	m
Velocidad	m/s
Area	m^2
Caudal	m^3/s

Resumen			
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

Resultados de la medida

St	PtoAfo1	PtoAfo2	Calado	CalMed	Reloj	Ndp	Spike	Vx	Vy	Vz	SNR1	SNR2	SNR3	Vxerr	Vyerr	Vzerr	Bnd	Temp
1	0.00	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

Datos generados: Fri Nov 18 2011

Informacion de fichero	
Nombre del fichero	DATOS19.WAD
Fecha y hora de inicio	2010/11/21 11:49:58

Detalles del punto de aforo	
Nom. del punto de aforo	
Operadores	HIDRAULICA

Informacion del sistema	
Tipo de sensor	FlowTracker
Numero de serie #	P3080
Version de CPU	3.7
Version de software	2.30
Factor de corrección montaje	0.0%

Unidades tecnicas	(Metrico)
Distancia	m
Velocidad	m/s
Area	m^2
Caudal	m^3/s

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	-0.0007	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	-0.0019	-0.0064	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	-0.0092	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	-0.0142	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	-0.0160	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	-0.0159	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	-0.0223	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	-0.0180	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	-0.0106	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	-0.0103	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	-0.0077	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	-0.0005	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	-0.0054	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	-0.0153	17.6	17.6	15.9	0.0011	0.0011	0.0009	0	9.64

Sección transversal no. 20.

Resumen de aforo

Datos generados: Fri Nov 18 2011

Informacion de fichero	
Nombre del fichero	DATOS20.WAD
Fecha y hora de inicio	2010/11/21 12:23:20

Detalles del punto de aforo	
Nom. del punto de aforo	
Operadores	HIDRAULICA

Informacion del sistema	
Tipo de sensor	FlowTracker
Numero de serie #	P3080
Version de CPU	3.7
Version de software	2.30
Factor de corrección montaje	0.0%

Unidades tecnicas	(Metrico)
Distancia	m
Velocidad	m/s
Area	m^2
Caudal	m^3/s

Resumen			
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

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	0.305	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

Informacion de fichero	
Nombre del fichero	EX011.WAD
Fecha y hora de inicio	2010/11/21 13:51:26

Detalles del punto de aforo	
Nom. del punto de aforo	
Operadores	HIDRAULICA

Informacion del sistema	
Tipo de sensor	FlowTracker
Numero de serie #	P3080
Version de CPU	3.7
Version de software	2.30
Factor de corrección montaje	0.0%

Unidades tecnicas	(Metrico)
Distancia	m
Velocidad	m/s
Area	m^2
Caudal	m^3/s

Resumen			
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

Resultados de la medida

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	-0.0066	-0.0203	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	-0.0081	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	-0.0083	-0.0119	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	-0.0010	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	-0.0139	-0.0061	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	-0.0195	-0.0033	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	-0.0113	-0.0099	0.0046	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	-0.0085	0.0024	0.0080	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	-0.0043	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	-0.0144	-0.0065	0.0004	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	-0.0300	0.0037	0.0064	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	-0.0357	0.0025	0.0040	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	-0.0352	-0.0057	0.0030	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

Informacion de fichero	
Nombre del fichero	EX02.WAD
Fecha y hora de inicio	2010/11/21 14:38:45

Detalles del punto de aforo	
Nom. del punto de aforo	
Operadores	HIDRAULICA

Informacion del sistema	
Tipo de sensor	FlowTracker
Numero de serie #	P3080
Version de CPU	3.7
Version de software	2.30
Factor de corrección montaje	0.0%

Unidades tecnicas	(Metrico)
Distancia	m
Velocidad	m/s
Area	m^2
Caudal	m^3/s

Resumen

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

Resultados de la medida

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	-0.0163	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	-0.0039	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	-0.0022	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	0.0006	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	-0.0166	0.0008	0.0033	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	-0.0057	0.0040	-0.0011	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	-0.0084	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	-0.0307	-0.0024	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	-0.0366	-0.0051	0.0136	12.4	12.4	10.7	0.0011	0.0008	0.0011	2	12.13

Sección transversal Adicional 3.

Informacion de fichero	
Nombre del fichero	2DATOS01.WAD
Fecha y hora de inicio	2011/09/17 13:11:13

Detalles del punto de aforo	
Nom. del punto de aforo	
Operadores	HIDRAULICA

Informacion del sistema	
Tipo de sensor	FlowTracker
Numero de serie #	P3080
Version de CPU	3.7
Version de software	2.30
Factor de corrección montaje	0.0%

Unidades tecnicas	(Metrico)
Distancia	m
Velocidad	m/s
Area	m^2
Caudal	m^3/s

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	Bnd	Temp
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	-0.1238	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	-0.0580	-0.0088	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	-0.0292	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	-0.0157	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	-0.0302	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	-0.0834	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	-0.0181	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	-0.1033	-0.0247	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	-0.1751	-0.0187	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	-0.0414	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	-0.0480	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	-0.0224	-0.0281	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	-0.0130	0.0046	0.0023	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	36.9	36.5	35.6	0.0016	0.0024	0.0018	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

Informacion de fichero	
Nombre del fichero	2DATOS02.WAD
Fecha y hora de inicio	2011/09/17 14:32:26

Detalles del punto de aforo	
Nom. del punto de aforo	
Operadores	HIDRAULICA

Informacion del sistema	
Tipo de sensor	FlowTracker
Numero de serie #	P3080
Version de CPU	3.7
Version de software	2.30
Factor de corrección montaje	0.0%

Unidades tecnicas	(Metrico)
Distancia	m
Velocidad	m/s
Area	m^2
Caudal	m^3/s

Resumen			
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

Resultados de la medida

St	PtoAfo1	PtoAfo2	Calado	CalMed	Reloj	Ndp	Spike	Vx	Vy	Vz	SNR1	SNR2	SNR3	Vxerr	Vyerr	Vzerr	Bnd	Temp
1	0.10	0.00	0.200	0.100	14:32	40	3	-0.0296	-0.0074	-0.0012	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	0.0899	0.0179	0.0094	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	0.4405	0.0117	0.0356	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	0.5881	-0.0183	-0.0381	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	0.5372	-0.2413	-0.0045	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	0.4909	-0.2897	-0.0090	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	0.3945	0.0489	0.0102	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	0.5489	0.0142	-0.0185	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	0.5462	-0.2528	-0.0655	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	0.2720	-0.2000	-0.1640	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	0.4416	0.0813	-0.0563	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	0.3183	-0.1044	-0.1446	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	0.1195	-0.1916	-0.1521	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	-0.0135	-0.0907	-0.1184	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	-0.2492	-0.0219	-0.1603	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	-0.1485	-0.0686	-0.2615	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	0.0021	-0.0005	-0.0014	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	-0.0849	0.2310	0.1378	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	0.1443	-0.0019	-0.0581	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	0.0801	-0.0362	-0.0699	36.5	36.9	36.1	0.0160	0.0099	0.0100	0	15.27

Sección transversal Adicional 5.

Resumen de aforo

Datos generados: Fri Nov 18 2011

Informacion de fichero	
Nombre del fichero	2DATOS03.WAD
Fecha y hora de inicio	2011/09/17 15:39:30

Detalles del punto de aforo	
Nom. del punto de aforo	
Operadores	HIDRAULICA

Informacion del sistema	
Tipo de sensor	FlowTracker
Numero de serie #	P3080
Version de CPU	3.7
Version de software	2.30
Factor de corrección montaje	0.0%

Unidades tecnicas	(Metrico)
Distancia	m
Velocidad	m/s
Area	m^2
Caudal	m^3/s

Resumen			
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

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	0.250	0.120	15:39	40	1	0.0678	-0.0032	0.0038	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	-0.0224	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	-0.0403	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	-0.0340	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	-0.0010	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	-0.0218	37.4	37.8	36.5	0.0112	0.0165	0.0163	0	15.15

CIUDAD DE MÉXICO
Av. Nuevo León 210
Col. Hipódromo Condesa
CP 06100, México, D F
Tel +52 (55) 52 653600
Fax +52 (55) 52 653600

SANFANDILA
Carretera Querétaro-Galindo km 12+000
CP 76700, Sanfandila
Pedro Escobedo, Querétaro, México
Tel +52 (442) 216 9777
Fax +52 (442) 216 9671

www.imt.mx
publicaciones@imt.mx