

Informe Final del Proyecto Interno HC1004.1

# ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE MEDICIÓN PARA GRANDES VOLÚMENES EN CANALES



**S. Tamari**

**Diciembre 2010**

**Jefe del proyecto:**

- SERGE TAMARI WAGNER

**Participantes:**

- ARIOSTO AGUILAR CHAVEZ
- VICTOR MANUEL RUIZ CARMONA
- JORGE ARMANDO LAUREL CASTILLO
- RUBEN ANTELMO MORALES PEREZ
- VICTOR GUILLERMO MEJIA ASTUDILLO
- GUILLERMO REZA ARZATE
- MAURICIO DE JESUS ESCALANTE ESTRADA
- VICTOR MANUEL ARROYO CORREA

**Apoyo técnico:**

- DANIEL SAMANIEGO MARTÍNEZ (CPSUR)

Tamari S. 2010. Estación experimental de medición para grandes volúmenes en canales. *Informe Final del Proyecto Interno HC-1004.1 (Diciembre 2010)*. IMTA, Jiutepec (Mor.).

# Índice

<b>1.</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>Trabajos de campo realizados .....</b>	<b>7</b>
2.1.	Levantamiento topográfico del tramo de canal.....	7
2.1.1.	Trabajos de campo .....	7
2.1.2.	Elaboración de los planos.....	10
2.2.	Instalación de un puente de aforo .....	13
2.2.1.	Cimentación y escalones.....	13
2.2.2.	Estructura metálica del puente de aforo.....	15
2.2.3.	Traslado y colocación del puente de aforo .....	17
2.3.	Instalación de escalas para leer el tirante .....	18
2.3.1.	Diseño de las escalas.....	18
2.3.2.	Colocación de las escalas .....	19
2.4.	Instalación de nichos en el canal.....	21
2.4.1.	Soporte trapecial para empotrar sensor .....	21
2.4.2.	Base prefabricada de concreto armado.....	22
2.5.	Instalación de un sistema de telemetría .....	23
<b>3.</b>	<b>Conclusión .....</b>	<b>25</b>
<b>4.</b>	<b>Anexo - Manuales redactados en el marco del proyecto .....</b>	<b>27</b>



## 1. Introducción

El personal del IMTA tiene más de 10 años de experiencia en la instrumentación de canales de riego, para monitorear el gasto y el tirante. En este contexto, sería de gran utilidad contar con una estación piloto de aforo, por los siguientes motivos:

- **CAPACITACIÓN.**- A la altura de la estación piloto, se podría enseñar al personal técnico encargado de medir el gasto en canales como utilizar adecuadamente una serie de técnicas de aforo que se han implementando en decenas de sitios del país (tecnologías "ATT", "AD" y "PD").
- **INVESTIGACIÓN APLICADA.**- En la estación piloto se podrían evaluar más a detalle las nuevas técnicas de aforo (en el pasado, el personal del IMTA ha realizado unas pruebas con esta finalidad, pero dichas pruebas tuvieron que hacerse en lugares lejanos). En cuanto a los equipos se tienen ciertas dudas en cuanto al funcionamiento y la exactitud de las técnicas de aforo antes mencionadas; además, estas técnicas de aforo se van refinando año tras año.
- **INVESTIGACIÓN BÁSICA.**- Contar con un tramo de canal instrumentado, con geometría bien definida que permita realizar estudios relacionados con flujos a superficie libre y automatización.
- **TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA.**- Cada vez se solicita que los sistemas de monitoreo de gasto en canales cuenten con telemetría. En la actualidad, se tienen varias soluciones para hacerlo. Sin embargo, resulta importante probarlas en sitio, para saber cuales son las más robustas y económicas.

En este contexto, se ha propuesto instrumentar el Canal Principal II "Las Estacas", que pertenece al DR 016 "Estado de Morelos". Es conveniente, porque se encuentra cerca del IMTA, se encuentra en buen estado, y tiene una compuerta aguas arriba que permite regular el gasto. Las actividades de campo realizadas para llevar a cabo la instrumentación del canal se describen a continuación.

### ACTIVIDADES DE CAMPO CONTEMPLADAS.

Código	Actividad
3	Levantamiento topográfico del tramo de canal a altura de la estación de aforo
4	Instalación de un puente de aforo
5	Instalación de escalas de nivel a altura de la estación de aforo
6	Instalación de nichos en el canal, para poder instalar equipos fijos de aforo
7	Instalación de un sistema de telemetría, para enviar los datos de aforo a <i>Internet</i>



## 2. Trabajos de campo realizados

### 2.1. Levantamiento topográfico del tramo de canal

#### 2.1.1. Trabajos de campo

El sitio para la realización de los trabajos se ubica en el Canal Principal II "Las Estacas" (km 0+200) del Distrito de Riego 016, ubicado en Tlaltizapan (Mor.). El sitio para el levantamiento topográfico se ubica geográficamente entre los paralelos 18°41' de latitud norte y los 99°07' de longitud oeste, a una altura de 945 m sobre el nivel del mar. Limita al norte con Yautepec, al sur con Tlaquiltenango, al este con Ayala; al oeste con Puente de Ixtla y Xochitepec, al noroeste con Emiliano Zapata y al sureste con Zacatepec.

Los trabajos de topografía se realizaron en un área de aproximadamente 6,211.00 m<sup>2</sup>, cubriendo una longitud de 280 m lineales contando desde la salida de la compuerta del canal de riego. El personal que participo fue una brigada de campo compuesta por un ingeniero civil, un topógrafo, un chofer y cuatro ayudantes generales. El equipo de campo estuvo compuesto por una camioneta, un camión (Torton), una grúa (Hiab), una estación total electrónica (marca Sokkia) de precisión 6 segundos y un nivel electrónico (marca Sokkia) de precisión 1 mm, así como un par de prismas ópticos, estadales retractiles de aluminio, radios de comunicación y computadora portátil.



LOCALIZACION DEL CANAL PRINCIPAL II "LAS ESTACAS"

Para realizar los trabajos de planimetría se ubico la estación total en un lugar que permitiera observar la mayoría del canal principal, en primera instancia se coloco la estación sobre la estructura del puente donde se encuentra la compuerta del canal, una vez que se ubica y nivela perfectamente dicha estación, se comienza a tomar las lecturas, que para este trabajo en particular, en primer instancia se levanto parte de la estructura de derivación aguas arriba de la compuerta del canal continuando aguas abajo sobre el canal de riego.

Para el seccionamiento transversal del canal se colocaron marcas para la identificación de las secciones sobre los hombros del canal, estas secciones tienen una separación de 20 m entre cada una de estas, se determino la distancia a cubrir para el proyecto, considerándose la parte más recta del canal, la ultima sección considerada para este levantamiento fue la 0+280 comenzando con el cadenamamiento 0+000 en la zona de la compuerta.

Por otra parte, se continuó, con el levantamiento de los caminos de tercera los cuales son los accesos que se localizan sobre la margen izquierda y derecha del canal. Continuando con el levantamiento de las secciones dentro del canal, se requirió de la ubicación de bancos de nivel. Para realizar el trabajo con la mayor exactitud posible se requirió de un Nivel Fijo. Con el objeto de obtener una mejor exactitud en la obtención los datos de cada una de las secciones, se ubicaron tres bancos de nivel (BN 1, BN 2 y BN A) en diferentes puntos a lo largo del canal, ligados entre si, eligiendo como banco principal el BN 1, el cual se localiza sobre la estructura de la compuerta sobre la margen izquierda del canal, el segundo se ubica sobre los escalones del puente de aforo en la estación 0+135, el tercero y ultimo banco de nivel, es auxiliar el cual se ubica entre dos árboles grandes sobre la margen derecha del río, a la altura de de la estación 0+020.



**TRABAJOS NECESARIOS PARA EL  
LEVANTAMIENTO DE LA ESTRUCTURA  
DONDE SE LOCALIZA LA COMPUERTA**



**LEVANTAMIENTO PLANIMETRICO DEL CANAL  
DE RIEGO.**



Una vez identificados los bancos de nivel, se continuó con la obtención de la configuración de las secciones, la cual consiste en situar el estadal metálico graduado sobre cada cambio de dirección que se pueda apreciar dentro y fuera del canal de forma perpendicular a este, por otro lado se verifica la distancia de cada posición del estadal, para este caso se tomo como centro de línea el hombro del canal de la margen derecha. Para cada estación se aplica la misma metodología.

Es importante hacer mención que en la estación 0+100 se contemplaba construir una caseta de aforo, por tal motivo se proyecta alojar diferentes sistemas de medición y monitoreo dentro del canal a un costado de la caseta.

Con el propósito de observar mejor la configuración del canal, se obtuvieron 4 secciones más a cada 5 m de distancia, quedando 2 aguas arriba de la estación 0+100 y 2 aguas abajo de la misma.

Por otro lado, aguas abajo, en la estación 0+135 se propone ubicar el puente de aforo, en esta sección, se realizaron otras 2 secciones adicionales de 5 m de distancia, una aguas arriba de dicha estación y la otra aguas abajo, éste trabajo se ejecuto con la objetivo de adquirir a detalle la superficie del canal así mismo implementar la configuración para cada uno de los distintos sistemas de medición en su momento.



UBICACIÓN Y NIVELACION DEL EQUIPO PARA COMENZAR CON LOS TRABAJOS DE ALTIMETRIA.



POSICIONAMIENTO DEL ESTADAL DENTRO DEL CANAL PARA OBTENER LA CONFIGURACION DE LA SECCION.

### **2.1.2. Elaboración de los planos**

Se elaboro un plano de Planimetría y Secciones, en el cual se observa la configuración planimetría de la zona de trabajo con un área aproximada de 6,211.124 m<sup>2</sup>, en esta área de trabajo de localiza la estructura de la compuerta del canal, el canal de riego, caminos de acceso, bancos de nivel, sección propuesta para la caseta de aforo, sección propuesta para el puente de aforo y secciones levantadas sobre el canal de riego.

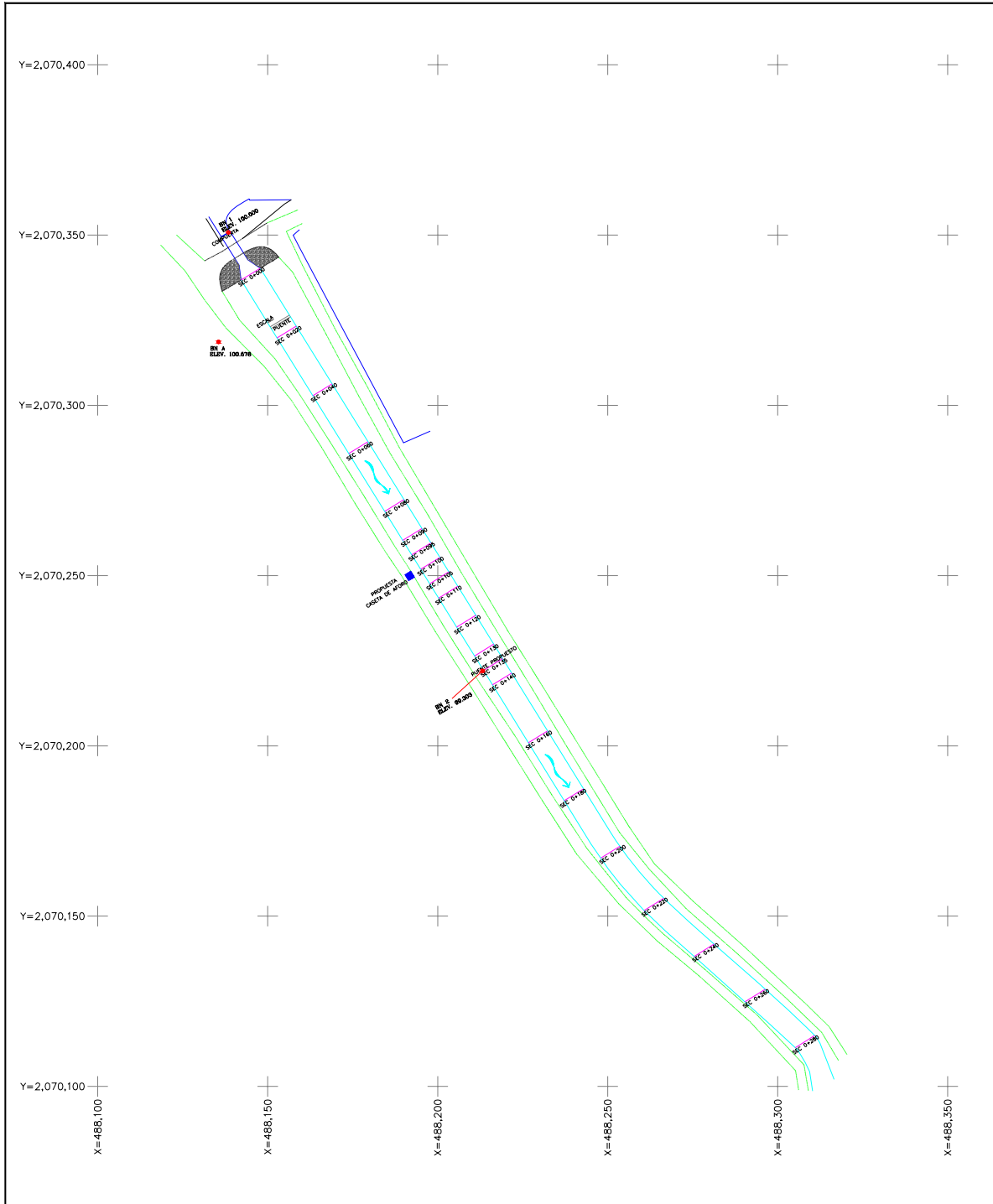
En esta planta se localizan los bancos de nivel (BN 1, BN 2, BN A) localizados; BN 1 sobre el muro de la compuerta del canal, BN 2 sobre los escalones del acceso al puente de aforo, por ultimo BN A se localiza a un costado entre los árboles que se encuentran sobre la margen derecha del canal, al la altura de la sección 0+020.

Para identificar las secciones del canal, la primer estación 0+000 comienza en la salida de la compuerta del canal de riego, continuando aguas abajo se localizan las demás estaciones a cada veinte metros de distancia entre cada una. En la estación 0+100 se propone la construcción de la caseta de aforo sobre la margen derecha del canal, conjuntamente a esto, se propone la instalación dentro del canal, los diferentes sistemas de monitoreo. Es importante mencionar el levantamiento de cuatro secciones más, dos aguas arriba y dos aguas debajo de esta, con una separación de cinco metros, quedando la configuración de la siguiente manera 0+090, 0+095, 0+100, 0+105, 0+110, el levantamiento de estas secciones proporcionara información necesaria para conocer la configuración del canal con mayor detalle, lo cual es necesario para la ubicación de los sensores y la configuración de los mismos.

Continuando con las secciones aguas abajo, en la estación 0+135 se ubica la propuesta para la construcción del puente de aforo, en la que, al igual que en la estación 0+100 se hicieron dos estaciones mas a cinco metros, una aguas arriba y la otra aguas abajo, quedando la configuración de la siguiente forma, 0+130, 0+135, 0+140, estas secciones se hicieron al igual que la sección 0+100, para conocer la configuración del canal con mayor preescisión y posteriormente instalar mas sistemas de aforo dentro del canal, por ultimo se continúan con las secciones a cada veinte metros hasta llegar a la estación 0+280 que es la ultima considerada dentro de este plano.

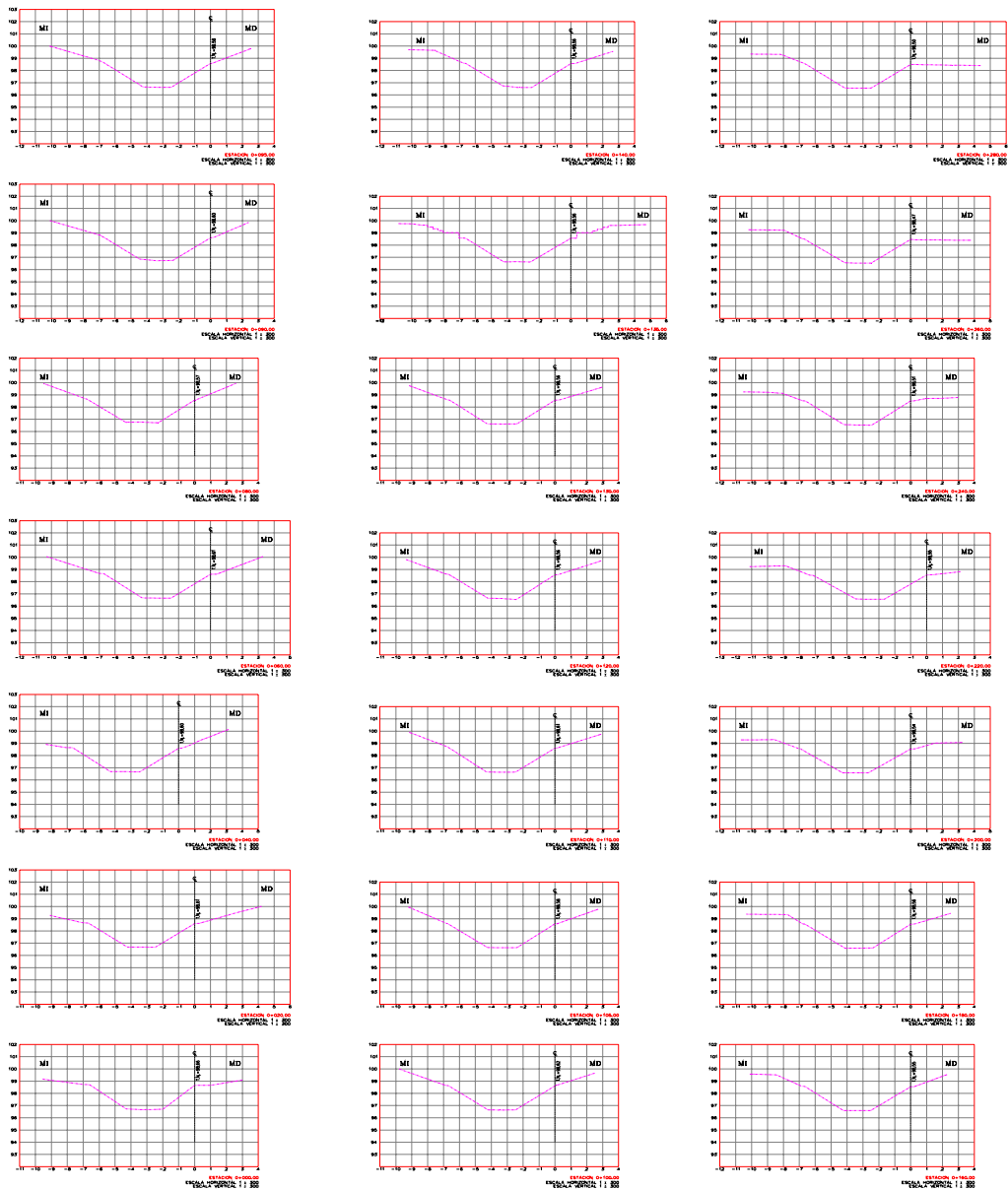
Conjuntamente a este plano, se observa la configuración de cada una de las secciones levantadas sobre el canal, identificándose en sentido horizontal la distancia en metros, el ancho del canal y en sentido vertical se la elevación de cada cambio de dirección en la estructura del canal, el centro de línea se localiza sobre en la margen derecha sobre el hombro del canal. Con estas secciones se aprecia la configuración general del canal de riego.

Una de las características importantes de este plano es que se encuentra referenciado bajo coordenadas geográficas.



PLANO TOPOGRÁFICO CON LA PLANIMETRIA CANAL

## SECCIONES TRANSVERSALES AL CANAL DE LAS ESTACAS



SECCIONES LEVANTADAS.

El resultado de los trabajos realizados fue la configuración de un plano de "Planimetría y Secciones", el cual se pudo obtener mediante la utilización del programa especializado CAD el cual está diseñado para trabajos de Ingeniería, se pueden utilizar las diferentes herramientas para la realización de los trabajos referentes a la topografía. En la actualidad son utilizados con mayor frecuencia ya que se pueden obtener óptimos resultados con una precisión excelente del dibujo, pues permite realizar las correcciones con mayor agilidad y lo más importante es poder adicionar o eliminar información de acuerdo a las características del proyecto, reproducirse las veces que sean requeridas, además de poder cambiar la escala de dibujo.

Por otra parte se tiene la gran ventaja de almacenar la información en forma de archivo, la cual puede ser respaldada en cualquier dispositivo de almacenamiento para PC. Los planos son la representación gráfica y exhaustiva de todos los elementos que se plantea en un proyecto. Los planos constituyen la geometría plana de las obras proyectadas, de forma que se defina en sus tres dimensiones.

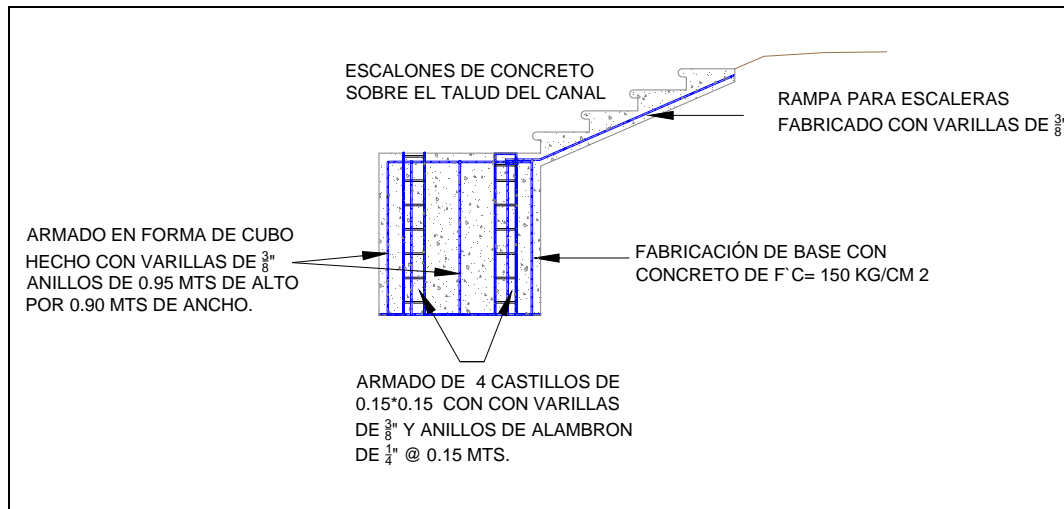
## **2.2. Instalación de un puente de aforo**

### **2.2.1. Cimentación y escalones**

Para la construcción de la cimentación se hizo una excavación de 1.00 m<sup>3</sup> sobre los hombros del canal en ambos márgenes, a la altura de la sección 0+135, tomando como eje central de la cimentación en eje de la sección.

Para la cimentación se realizó un armado en forma de dado, se utilizaron varillas de 3/8", con seis anillos de 0.95 m. de alto por 0.90 m. de ancho. Creando un armado con forma de cubo, estos anillos están separados a cada 0.30 m uno del otro, en ambos sentidos, adicionalmente a este armado se fabricaron cuatro castillos con varilla de 3/8" de 0.15 x 0.15 m. con anillos hechos con alambres de 1/4" a cada 0.15 m de separación. Estos castillos se colocaron en las cuatro esquinas dentro del armado de cubo, se traslaparon las varillas de la base de los castillos con las varillas del armado de dado.

En conjunto a este armado, se fabricó el armado para los escalones, el cual consiste en un emparrillado con varillas de 3/8", la separación de las varillas se hizo de 0.15 m tanto en sentido vertical como horizontal, quedando enganchadas las varillas con sentido vertical al armado del cubo.



### ARMADO DE DADO DE CIMENTACIÓN Y ESCALONES DE ACCESO.

Una vez terminado el armado de la cimentación – escalera en ambas márgenes, se continúa con el cimbrado y posteriormente con el colado de los elementos. El concreto utilizado se fabrica con una resistencia de  $f_c = 150 \text{ kg/cm}^2$ , en el caso del dado de cimentación se vertió el concreto cinco centímetros arriba de las varillas del cubo armado, quedando sobresalientes las varillas de 2 castillos. Por otra parte se coló monóticamente con la cimentación la plantilla de concreto para los escalones, los cuales servirán como acceso al puente, una vez terminados estos trabajos, se le dio acabado aparente a los escalones y a la los dados de cimentación.



COLADO DE CIMENTACION Y  
 ESCALERAS PARA EMPOTRAR EL  
 PUEBTE DE AFORO.



ACABADO APARENTE EN CIMENTACION Y  
 ESCALERAS DE AMBAS MARGENES DEL CANAL  
 DE RIEGO LAS ESTACAS.





VIGAS IPS DE 3" EN FORMA PARALELA CON UNA SEPARACIÓN DE 0.80 M.



REJILLA TIPO IRVING DE 1/8" SOLDADA A LAS VIGAS

Por otra parte para fijar el puente con la cimentación, se utilizaran 2 placas de acero de 0.25 x 0.25 m de 1/4" de espesor para cada dado de cimentación. Estas placas estarán soldadas a las varillas de los castillos la cimentación y a su vez las placas se soldaran a las vigas (ver siguiente figura).



COLOCACIÓN DE PLACA DE ACERO DE 0.25 x 0.25 M. DE 1/4"



COLOCACIÓN DE PLACAS DE AMBOS LADOS



### 2.2.3. *Traslado y colocación del puente de aforo*

Para llevar a cabo el traslado y colocación del puente fue necesario el uso de un camión plataforma así como de una grúa de 10 ton para realizar las maniobras de colocación, una vez colocado se soldó a las placas previamente colocadas.



MANIOBRA DE COLOCACIÓN DE PUENTE



PUENTE COLADO Y SOLDADO

## 2.3. Instalación de escalas para leer el tirante

### 2.3.1. Diseño de las escalas

Para poder diseñar la escala de aforo se tomo como referencia los niveles en el talud del canal que se obtuvieron mediante el levantamiento topográfico antes realizado, una vez elegido el sitio se realizo el diseño de cada una de las escalas, el cual se muestra en la siguiente tabla.

Nombre del sitio	Estacas km 0+020 (MI)	Estacas km 0+105 (MI)	Estacas km 0+140 (MI)
Longitud el talud: $L$ (m)	3.150	3.203	2.967
Altura del talud: $H$ (m)	1.967	1.977	1.837
Ángulo: $a = A \cos [ H / L ]$ (deg.)	51.37	51.90	51.75
Pendiente: $s = \tan[ a ]$ (m:m)	1.251	1.275	1.268
Profundidad aprox. del canal (m)	1.96	1.97	1.83
Primera graduación de la escala (m)	0.20	0.20	0.20
Última graduación de la escala (m)	1.80	1.80	1.80
Longitud <i>teórica</i> de la escala (m)	2.56	2.59	2.58
Ancho de la base del canal (m)	1.740	1.947	1.830

TABLA. INFORMACIÓN PARA FABRICACIÓN DE ESCALAS

### **2.3.2. Colocación de las escalas**

El material que se utilizó para su elaboración fue acero inoxidable, para evitar la corrosión en estos elementos se les aplicó capas de pintura epoxica de color rojo.

Una vez realizadas las escalas se preparó el sitio del canal, para que estuviera libre de polvo y vegetación, aplicando pintura epoxica blanca quedando como fondo para las escalas metálicas. Para su correcta colocación se hicieron orificios utilizando taladro industrial para realizar la perforación en el concreto y así fijar la escala con taquetes expansivos y tornillos de cabeza plana de seguridad para evitar vandalismo de este material.



**ESCALAS METÁLICAS LISTAS PARA SU COLOCACIÓN**



**TAQUETES EXPANSIVOS Y TORNILLOS  
DE CABEZA PLANA DE SEGURIDAD**



**COLOCACION DE ESCALA METALICA**



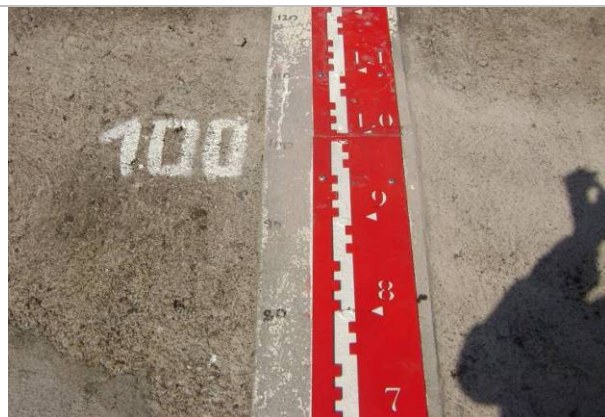
**APLICACIÓN DE PINTURA EPOXICA  
BLANCA**



**TRABAJOS DE COLOCACION DE ESCALA  
TERMINADOS**



**PERFORACION CON TALADRO  
INDUSTRIAL PARA COLOCAR TAQUETES  
EXPANSIVOS Y TORNILLOS**



**COLOCACION DE ESCALA METALICA**

## 2.4. Instalación de nichos en el canal

### 2.4.1. Soporte trapezoidal para empotrar sensor

El soporte está hecho con Nylacero, este material se eligió por sus características físicas. Debido a que este material es un polímero, resiste la corrosión u oxidación provocada por el constante contacto con el agua que es el principal factor que afecta a los materiales. La forma trapezoidal inversa de dicho soporte se hizo con la finalidad de empotrarse fácilmente al nicho y a su vez quedar protegido de tal forma de que no se remueva fácilmente de su base a menos que se cuente con la herramienta necesaria para su desinstalación.

El soporte se fija a la base de concreto con tornillos de cabeza plana de entrada para llave de estrella, las medidas de los tornillos son de  $\frac{1}{4}$ " de diámetro por  $3\frac{1}{2}$ " de largo.

En la base de concreto se hacen dos perforaciones con taladro y broca para concreto de  $\frac{1}{2}$ " en la parte superior derecha e izquierda de la base con la misma medida del soporte trapezoidal, hechas las perforaciones se colocan 2 taquetes expansivos de  $\frac{3}{4}$ " con entrada para tornillo de  $\frac{1}{4}$ ", y así fijar el soporte con los tornillos.



SOPORTE TRAPEZOIDAL DE NYLACERO

### 2.4.2. Base prefabricada de concreto armado para colocar soporte trapecial

Es importante que en la fabricación de esta base, se obtengan las medidas especificadas para que el soporte de Nylacero quede empotrado en la base, esta base deberá estar completamente nivelada para que no se tengan problemas a la hora de instalar el sensor. La finalidad de este prefabricado es la de facilitar el trabajo de construcción en campo del nicho de concreto armado poder instalar el sensor.

Para el armado de la base prefabricada de concreto se emplea malla electro soldada 10 x 10. El concreto utilizado para la fabricación de esta base se hace con una resistencia de  $f_c = 150 \text{ kg/cm}^2$  utilizando cemento y arena proporcionalmente para obtener la resistencia indicada.



BASE DE CONCRETO Y PLACA DE NYLACERO



BASE DE CONCRETO  
Y PLACA DE NYLACERO



MEDIDOR DE VELOCIDAD ACÚSTICO DE  
EFECTO DOPPLER (FRECUENCIA DE 3 MHz)

## 2.5. Instalación de un sistema de telemetría

Dentro de la caseta de control se colocó un gabinete en el cual se instaló el sistema de telemetría ya que de esta forma se facilita la monitorización automática y el registro de las mediciones, así como el envío de alertas o alarmas al centro de control, con el fin de que el funcionamiento sea seguro y eficiente. Este equipo permite la conexión de un sensor, la adquisición de datos y el envío de información por telemetría a una computadora conectada a la red Internet. Se fundamenta en una comunicación IP sobre la red de distribución actual de GSM. De esta forma se reduce el coste de las inversiones a realizar por los operadores.

Para el desarrollo del sistema se utilizó un equipo que permite programación interna y conexión basada en Internet mediante telefonía móvil. Para la transmisión de datos, se utilizó GPRS (o servicio general de paquetes vía radio). Las ventajas de usar GPRS vienen determinadas por la posibilidad de dotar a cualquier dispositivo, en cualquier sitio, de soporte de Internet sin necesidad de cables (siempre y cuando se puede conectar el módem a una computadora o que la electrónica asociada soporte TCP/IP). Para tal uso del equipo de telemetría se ha desarrollado una aplicación informática para la adquisición, control, evaluación y almacenamiento de los datos enviados por el equipo de telemetría. En la figura siguiente se muestran detalles del sistema de telemetría.



INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE  
TELEMETRÍA



EQUIPO DE TELEMETRÍA





### 3. Conclusión

Durante el año 2010, se instrumentó el Canal Principal II "Las Estacas" km 0+100, para tener una estación piloto de aforo a cargo del IMTA y de la CONAGUA. Al respecto, se obtuvieron los resultados esperados en el marco del proyecto:

- Sistema de monitoreo de referencia (tipo "ATT4", modelo "DeltaWave", marca "Systec"), a cargo de CONAGUA.
- Caseta de operación, desde la cual se pueden enviar datos por telemetría.
- Nichos en el canal, para poder instalar y probar otros sistemas de monitoreo.
- Puente de aforo, desde el cual se pueden probar diversos equipos portátiles.
- Referencias topográficas y escala de nivel.



#### 4. Anexo - Manuales redactados en el marco del proyecto

En el marco del proyecto, también se elaboraron y se imprimieron dos manuales sobre técnicas de aforo:

- Tamari S., Aguilar Chávez A. 2010. *Aforo en canales y presas: selección de una técnica*. Jiutepec, Mor.: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, © 2010. (Colección Guías Técnicas) 40 p. [ISBN: 978-607-7563-18-1]
- Tamari S., Aguilar Chávez A. 2010. *Metodología de calibración de un aforador Doppler*. Jiutepec, Mor.: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, © 2010. (Colección Guías Técnicas) 40 p. [ISBN: 978-607-7563-20-4]



