

## FICHA INFORMATIVA DE PROYECTOS

**Coordinación:** Hidráulica  
**Subcoordinación:** Hidráulica Ambiental  
**Jefe de proyecto:** Dr. Ariosto Aguilar Chávez

**Clave:** HC-0816.3

**Título del proyecto:** “Medición de caudales en el río Grijalva y desarrollo de ingeniería y suministro de un sistema para la determinación y análisis del flujo de agua en el canal Juan Grijalva”.

### **Problemática:**

Derivado de la contingencia producto del deslizamiento de tierra en el tramo del río Grijalva entre las Centrales Hidroeléctricas de Malpaso y Peñitas, se construyó un canal para restablecer el flujo de agua entre las Centrales. Para conocer el flujo que circula por este canal es necesario realizar aforos de forma sistemática en forma continua. La calidad del aforo debe tomar en cuenta las recomendaciones de orientación de flujo y la trazabilidad metrológica tanto del procedimiento de aforo, así como del equipo que se utilice para este fin.

Las metodologías de referencia para determinar la incertidumbre en la medición del caudal, tiene que, por una parte, incorporar las prácticas de uso actual por los operarios, y por otra, considerar todas las variables físicas por medir.

El sitio de medición conocido como el canal de San Juan Grijalva se encuentra localizado entre las inmediaciones de las Centrales Hidroeléctricas de Nezahualcoyotl (Malpaso) y Ángel Albino Corzo (Peñitas). Estas centrales son parte del sistema de generación hidroeléctrica sobre el río Grijalva de la Comisión Federal de electricidad.

### **Objetivo:**

- a) Localizar la sección de aforo en el sitio del caído en el río Grijalva.
- b) Efectuar los aforos de caudal durante 7 días al mes de abril a diciembre, con un método de perfilación acústica Doppler móvil.
- c) Realizar el estudio y propuesta de un equipo de monitoreo fijo para medir el caudal en el río Grijalva en forma continua.
- d) Entrega de informe final.

### **Resultados y/o productos:**

En un inicio de este proyecto el sitio de monitoreo del caudal se localizó en el cadenamamiento 0+ 040 dentro del canal San Juan Grijalva, el periodo en que se utilizó esta sección aforo fue de enero a marzo. Este sitio de muestreo durante los meses de enero a marzo tenía una condición de flujo casi uniforme sin grades turbulencias emergentes de fondo, así como velocidades menores a 3 m/s, lo cual permitió con el equipo de medición ultrasónico determinar el perfil de velocidades con baja

desviación estándar. El rango de caudales medidos durante este periodo fue entre 250 a 480 m<sup>3</sup>/s.

El procedimiento de aforo en las campañas de monitoreo del caudal fue en modo estacionario siguiendo las recomendaciones de la norma ISO 748:1998, con un dovelado de al menos 20 secciones con un tiempo de promediado en cada sección de 45 s. la frecuencia de muestreo durante el día se definió cada 3 horas iniciando a las 7:00hrs y terminando a las 19:00 hrs.

Durante el mes de marzo la CFE decidió cerrar el flujo en el canal, con el fin de ampliar la sección transversal con un aumento del ancho y profundidad. Esta acción tenía por objeto de aumentar el volumen de descarga en el canal pasando de 480 m<sup>3</sup>/s, para operación normal, y en forma extraordinaria a 3000m<sup>3</sup>/s.

La condición de operación del canal bajo la nueva configuración no permitió el continuar el aforo en la sección 0+040, ya que se presentaba una gran turbulencia con oscilaciones de la superficie libre del agua y la maniobra de tendido de la cuerda para manejo del bote era difícil poner y operar el equipo, por este motivo se buscó una nueva sección de foro, la cual después de varias pruebas quedó establecida a 300m antes del inicio del canal, en el sitio conocido como “La Mandarina”. El motivo por el cual se seleccionó este sitio se motivó por las siguientes condiciones: presentaba una profundidad menor a 25m y las líneas de corriente eran normales a la sección transversal. Este sitio presentaba un inconveniente en la medición que la hacía no recomendable: a) la sección transversal no es regular; b) aunque es gradual, existe una aceleración del flujo, y c) no era posible el tendido de una cuerda para hacer la operación en forma estacionaria.

Por lo tanto y para poder subsanar las deficiencias de este sitio, se propuso seguir el siguiente protocolo de pruebas: a) realizar mediciones de repetibilidad (4 al menos y en muchos casos fueron 8 con dos mediciones simultáneas, con dos perfiladores trabajando al mismo tiempo); b) evaluación sistemática de la desviación estándar cuidando que el valor obtenido para cada aforo no fuera mayor al 5%, y c) realización de los aforos desde un bote autónomo con motor fuera de borda.

Adicionalmente a los aforos se definió el sitio de instalación del equipo de medición fija ADCP-SL y se procedió a la instalación definitiva y calibración.

La calibración del sistema fijo se realizó con una serie de 26 aforos y cada aforo es con al menos cuatro repeticiones, y la curva de calibración para el equipo es:

- Ecuación de ajuste de velocidad para el medidor:  $V_m = -0.0412 + 0.8531V_{SL500}$

Rango recomendado:  $V \in (0.34, 0.75)$

Incertidumbre expandida (p=0.95): 7.68%

Dentro de los resultados del proyecto se determinó la factibilidad y análisis de beneficio costo de utilizar diferentes técnicas para el aforo en el canal San Juan Grijalva, las técnicas comparadas son aforo con un equipo doppler ADCP móvil, perfilador acústico doppler ADCP lateral fijo, relación carga-caudal y el método de caída relación constante y el resumen de resultados se observa en la tabla siguiente:

| Metodología                                               | Equipo o parámetros                                                                                                 | Incer<br>$p = 0.95$ | Costo de<br>operación | Rango de<br>operación<br>Q (m <sup>3</sup> /s) |
|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------|------------------------------------------------|
| Área-velocidad<br>(ISO-748)                               | Perfilador acústico doppler<br>ADCP, móvil                                                                          | 4%                  | \$\$\$                | 0 - 2500                                       |
| Velocidad índice<br>(ISO/TS 24154)                        | Perfilador acústico doppler<br>ADCP lateral fijo                                                                    | 7.7%                | \$                    | 340 - 1500                                     |
| Relación de<br>carga-caudal<br>(ISO-1100-2)               | Medición Aguas Arriba<br>del canal, ajuste lineal                                                                   | 72%                 | \$                    | 0 – 10,000                                     |
|                                                           | Medición de diferencia<br>entre el nivel aguas arriba<br>– nivel aguas abajo, (<br>ajuste polinomial de 4<br>orden) | 28%                 | \$                    | 0 – 10,000                                     |
| Método de caída<br>– relación<br>constante (ISO-<br>9123) | Medición de Nivel Aguas<br>arriba y diferencia de nivel<br>aguas arriba- nivel aguas<br>abajo                       | 26%                 | \$                    | 0 – 10,000                                     |

#### Metodología y desarrollo:

- a) Localizar la sección de aforo en el sitio del caído en el río Grijalva. Visita la canal y definir los puntos posibles para la realización del aforo con equipo de perfilación acústica Doppler en su modalidad fija y estacionaria.
- b) Efectuar los aforos de caudal, durante 7 días al mes, de abril a diciembre, haciendo uso de un medidor integral de perfilación acústica Doppler móvil, el procedimiento de aforo se realizará en la modalidad de posición fija (ISO 748 Flow measurement area velocity method) en caso de verificar el funcionamiento de la sección, y la forma de rastreo de fondo como procedimiento operativo.
- c) Realizar el estudio, adquisición e instalación de un equipo de monitoreo fijo para medir el caudal en el río Grijalva en forma continua. Definir el sitio y elaborar el proyecto ejecutivo para la instalación y calibración de equipo de perfilación acústica fijo, el cual debe funcionar en forma continua y no debe estar influenciado por el cambio de la sección de flujo del canal en el tramo de interconexión. Instala, calibrar y poner en funcionamiento del equipo de medición de caudal. Capacitar al personal de la división hidrométrica para dar mantenimiento y verificación de la curva de calibración.
- d) Elaboración del informe final.

