

ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE LA VARIACIÓN ESPACIO TEMPORAL DEL CAUDAL DEL RÍO LA GAVIA, MÉXICO

M. Narvaez Saucedo¹, B. López Rebollar², I. Martínez Cienfuegos¹
S. Tejeda Vega³ y L. M. Flores Gutiérrez²

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México, México.

² Centro Interamericano de Recursos del Agua, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México, México.

³ Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, México.

E-mail: narvaezmani@gmail.com, bmlopezr@uaemex.mx

Introducción

El río La Gavia nace en la parte Oeste de la sub-cuenca que lleva el mismo nombre y se desarrolla en dirección Noreste hasta descargar sus aguas en el embalse de la presa Ignacio Ramírez, junto con otros dos ríos denominados El Rosario y Almoloya de Juárez (SEGOB, 2003), ubicados en el municipio de Almoloya de Juárez, Estado de México.

En este estudio se desarrolla una evaluación teórico-experimental del caudal en un tramo específico del río La Gavia. Se realizó una base de datos con parámetros físicos e hidráulicos utilizando herramientas de modelado. Se aplicaron diversos métodos para el cálculo de caudales a partir de datos hidrométricos y meteorológicos disponibles y se realizó una comparación con los datos medidos *in situ*. Lo anterior tiene como objetivo estimar la viabilidad de aprovechamiento del recurso hídrico en torno a la pequeña generación hidroeléctrica.

Metodología

En la **Figura 1** se observan las secciones de aforo y la ubicación de las estaciones hidrométricas, así como el tramo de análisis de la batimetría para modelación del río.



Figura 1.- Descripción general de la zona de estudio, estaciones hidrométricas y puntos de aforo.

Como etapa inicial del trabajo de investigación, se realizaron visitas de campo para identificar el tramo del río considerado para el análisis. Se establecieron tres secciones de control en puntos estratégicos (ver **Figura 1**), donde se realizó un aforo mensual para la estimación del caudal mediante el método sección-velocidad (IMTA y CONAGUA, 1992). Los aforos se realizaron por estación del año conforme a la división propuesta para el hemisferio norte, tomando en cuenta los meses lluviosos representativos.

Datos hidrométricos

En conjunto con los aforos realizados, se analizaron los datos de estaciones hidrométricas pertenecientes a la cuenca (ver **Figura 1**), calculando caudales promedios mensuales para realizar la comparación en un mismo periodo de tiempo. Las estaciones hidrométricas utilizadas fueron “Puente los Velázquez” (99° 52’ 05” O - 19° 27’ 10” N) la cual es coincidente con la sección de aforo A, y a una distancia de 1.48 km de la sección B y “Atotonilco II” (99° 46’ 35” O - 19° 27’ 10” N). De acuerdo con el Atlas de la Cuenca Lerma-Santiago, esta última es la estación que registra los datos de caudal del río (Gobierno del

Estado de México, 2011) y se encuentra a una distancia de 10.1 km respecto a la sección A y 8.76 km de la sección B, las cuales cuentan con datos históricos del año 1963 al 2014 y 1965 al 2014, respectivamente.

Datos hidrológicos

Para la obtención de caudales teóricos, se utilizaron datos de precipitaciones obtenidas de las estaciones meteorológicas pertenecientes a la cuenca del río, las cuales se encuentran ubicadas sobre el cauce principal de análisis. Se aplicaron funciones de probabilidad estadística tipo LogPearson III, LogNormal, y Gumbel en el tratamiento de los datos para periodos de retorno de 2, 5, 10, 20 y 50 años con la finalidad de obtener intensidades de precipitación. Para la estimación de caudales en dichos periodos de retorno, se aplicaron los métodos Racional y SCS (Sanchez, 2017; Aranda, 2010). Mediante la implementación de sistemas de información geográfica, se obtuvieron los parámetros geográficos e hidrológicos de la cuenca, tales como: área, perímetro, pendiente, áreas de curvas de nivel, orden y longitud de la red hídrica, entre otros.

Modelación hidráulica

Para la modelación hidráulica mediante la herramienta computacional HEC-RAS, se tomó en cuenta una plantilla geométrica del río con una longitud total de 4.7 km. Se realizaron distintos escenarios de funcionamiento hidráulico del río. Las condiciones de entrada de flujo fueron: caudales promedio mensuales (medios, máximos y mínimos), obtenidos de los datos de las estaciones hidrométricas, puesto que estos se encuentran completos por el registro mensual.

Con los resultados obtenidos a partir de las velocidades, tirantes, caudales, comportamiento de flujo, así como el área mojada a lo largo del año, se identificó la zona y el tramo para la posible implementación del aprovechamiento hidráulico.

Curva de energía específica y potencia

Una vez identificado el tramo para el posible aprovechamiento hidráulico, se realizó una curva de energía específica y posible potencia de generación para los gastos máximos, medios y mínimos.

Resultados y discusión

Aforos mensuales

Derivado de las campañas de aforo en el río, se obtuvieron los resultados siguientes: Otoño, mes de octubre, Sección B: 0.907 m³/s y sección C: 0.908 m³/s; Invierno, Febrero, Sección A: 0.251 m³/s y Sección B: 0.28 m³/s, Marzo, Sección A: 0.275 m³/s y Sección B: 0.303 m³/s, Primavera, Abril, Sección A: 0.174 m³/s, Mayo, Sección A: 0.251 m³/s y Sección B: 0.251 m³/s.

Estaciones hidrométricas

El resultado obtenido a partir de los datos de las estaciones hidrométricas “Puente Los Velázquez” y “Atotonilco II”, fueron los caudales promedio mensuales de los años de registro mostrados en la **Figura 2**. Se observa la comparación

con los datos medidos en sitio de las respectivas secciones de aforo. Es importante mencionar que sólo se muestran los caudales de la estación “Puente Los Velázquez”, ya que la estación “Atotonilco II”, al estar ubicada sobre el embalse, presenta caudales mayores debido a aportes intermitentes de escurrimientos aguas abajo de las secciones de aforo.

Datos hidrológicos

Con el análisis de datos y propiedades morfométricas de la cuenca se determinó un tiempo de concentración de 242 min de acuerdo con el método de Kirpich (Thompson, 2006). Este método y condición, arroja el escenario más desfavorable en cuanto al escurrimiento y aporte de la cuenca hacia el río. Se observó que los caudales obtenidos con el método racional, resultan mayores en comparación con los caudales aforados en campo y con los obtenidos de las estaciones hidrométricas, principalmente en los meses lluviosos. Esto debido a que no se consideran las pérdidas por infiltración y evapotranspiración en la cuenca. Derivado de ello, se aplicaron métodos para el cálculo de dichas pérdidas y así obtener valores más precisos de los caudales con el método SCS.

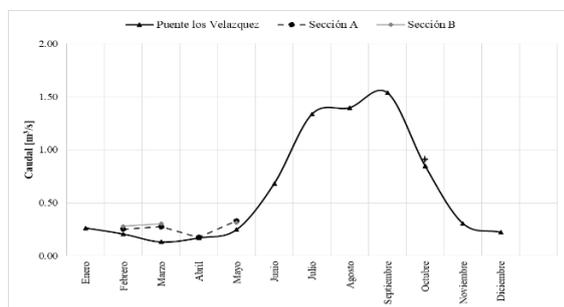


Figura 2.- Caudales promedio mensuales, comparación de datos experimentales, e hidrométricos, río La Gavia.

A partir de los resultados obtenidos con el método SCS en los respectivos periodos de retorno, se observa un comportamiento similar en los meses lluviosos, y los caudales resultan ser más aproximados a los reportados por la estación hidrométrica al encontrarse dentro del intervalo establecido del caudal pico. Es importante mencionar que este método muestra el caudal pico de cada mes.

Modelación

Como resultado de la modelación en HEC-RAS, en la **Figura 3** se muestra el perfil longitudinal del río, con una longitud total de 4.7 km. Con los caudales promedio anuales para cada mes, se obtuvieron los perfiles de velocidad de flujo, caudal, tirante, área mojada, entre otros. Con ello se identificaron las zonas con mayor velocidad y pendiente en el río. Estas condiciones se sugieren para la posible instalación del pequeño aprovechamiento hidroeléctrico.

Con los resultados de caudales, obtenidos con el método SCS, se alimentó nuevamente el software de modelado para los periodos de retorno mencionados. Como resultado, se observa que el río mantiene un comportamiento constante en torno a la variación del tirante y velocidad para cada mes asociado a los periodos de retorno analizados. En el Tr 20 se obtiene un posible aumento de caudal en temporada de estiaje, por lo tanto, el software estima posibles zonas de desborde e inundación, información útil para proyectar obras de control y protección de la zona del posible aprovechamiento hidroeléctrico. No se utilizaron los resultados de caudales obtenidos por el método racional, ya que los caudales al ser sobreestimados por la misma naturaleza del método, muestran la mayor parte del río inundado. Estos caudales se emplearon con fines comparativos.

Con los resultados obtenidos mediante HEC-RAS para la variación temporal y espacial del flujo en el río, se obtuvieron

los tirantes asociados a los caudales mensuales en una sección de control. Como condición inicial de los caudales de los datos hidrométricos se estimó un promedio nominal de generación. Así mismo se realizó el análisis con los caudales obtenidos en los periodos de retorno establecidos para observar el comportamiento de flujo durante un determinado tiempo. La **Figura 4** muestra la energía específica disponible para un aprovechamiento mini-hidráulico, obtenida a partir de la simulación con HEC-RAS

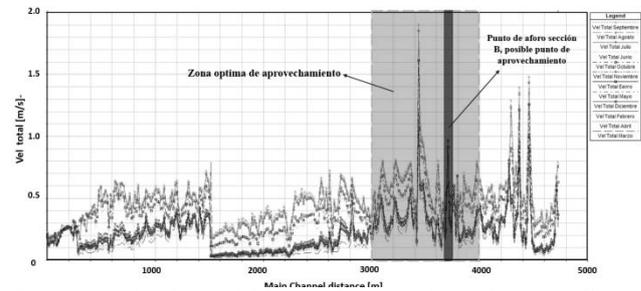


Figura 3.- Velocidad total del cauce de la zona de estudio, río La Gavia

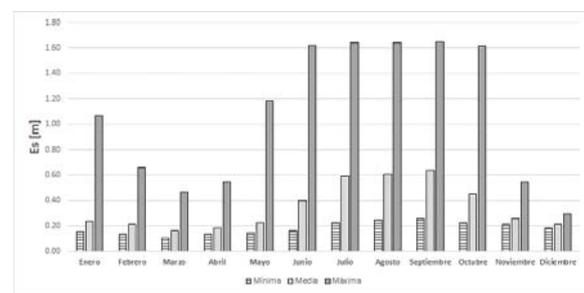


Figura 4.- Energía específica de la zona de estudio, río La Gavia.

Conclusiones

Mediante la recopilación de información y el tratamiento de los datos, fue posible estimar los caudales mínimos, medios y máximos que se presentan en el río La Gavia. Con la simulación del flujo en un estado estacionario sobre el cauce del río, se logró identificar las zonas donde se presentan las condiciones del flujo para la posible instalación de un aprovechamiento hidroeléctrico a pequeña escala.

Referencias bibliográficas

- Aranda, D. C.** (2010). *Introducción a la hidrología Urbana*. San Luis Potosí, México: Printego. Recuperado Enero 2018
- Gobierno del Estado de México.** (2011). *Atlas de la cuenca del Río Lerma en el Estado de México, Copendio* (Primera ed., Vol. I). Toluca, Esato de México, México: Consejo Editorial de la Administración Pública Estatal. Recuperado el 18 de Enero de 2018
- H. Ayuntamiento de Almoloya de Juárez.** (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Almoloya de Juárez, México*. Almoloya de Juárez, Esatado de México, México. Recuperado en Enero de 2018
- IMTA y CONAGUA.** (1992). Manual de Aforos. En I. CONAGUA, *Métodos de aforos para ríos y canales* (págs. 3-9). México: Subcoordinación editorial, IMTA. Recuperado en Febrero de 2018
- Sanchez, S. R.** (2017). Calculo de la precipitación Neta mediante el método del S.C.S. En *Hidrología superficial y subterránea* (págs. 1-12). Salamanca, España: Dpto de Geología de la universidad Salamanca. Recuperado en Febrero de 2018
- SEGOB, S. d.** (15 de Octubre de 2003). *ACUERDO por el que se dan a conocer las denominaciones y la ubicación geográfica de las diecinueve cuencas localizadas en la zona hidrológica denominada Río Lerma-Chapala*. (SEGOB, Productor, & SEGOB), de Diario Oficial de la Federación: www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=688874&fecha=15/10/2003
- Thompson, D. B.** (20 de Septiembre de 2006). *The Rational Method*. Texas, U.S.A: Texas Tech University.