

Tech note: Hydraulic evaluation of the bridges over La Guardia creek using a two-dimensional model with live-bed

Carlos Freitez*, Fabiana Martínez, Jean Carlos Rincón

^aDepartamento de Ing. Hidráulica y Sanitaria, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado.

Abstract.-

This paper had as main objective, evaluation from the hydraulic point of view, the bridges over the creek La Guardia, considering moving bed and using a two-dimensional model called Iber, once it was already rebuilt after the failure occurred in the year 2008 due to the erosive effects of water. For this, the digital elevation model was constructed from the topographic survey done, and with hydrological data obtained from previous studies, the model was assembled in Iber for simulation and subsequent analysis of results. Subcritical regime and Depths between 1,34 m and 2,22 m) were obtained upstream of the first bridge, while downstream of the second bridge, the depths are less than 1 m and the regime is supercritical. The maximum erosion occurs around the piers in the first bridge with a value of 1,50 m. The importance of the protection structure bed located downstream of the second bridge was determined, since it of the results it was concluded that this place was the most sensitive to degradation of the channel bottom and where velocities are highest.

Keywords: hydraulic; bridge; two-dimensional.

Nota técnica: Evaluación hidráulica de los puentes sobre la quebrada La Guardia aplicando un modelo bidimensional con fondo móvil

Resumen.-

El presente trabajo tuvo como objetivo principal evaluar desde el punto de vista hidráulico, los puentes sobre la quebrada La Guardia considerando el fondo móvil y mediante el uso de un modelo bidimensional llamado Iber, una vez que el mismo ya fue reconstruido luego de la falla ocurrida en el año 2008 producto de los efectos erosivos del agua. Para ello se construyó el modelo digital de elevación a partir del levantamiento topográfico realizado, y con los datos hidrológicos obtenidos de estudios anteriores, se realizó el montaje del modelo en Iber para su simulación y posterior análisis de resultados. Se obtuvo profundidades mayores (1,34 m a 2,22 m) y régimen subcrítico aguas arriba del primer puente, mientras que aguas abajo del segundo puente las profundidades son menores a 1 m y el régimen es supercrítico. La máxima erosión se presenta alrededor de las pilas en el primer puente con un valor de 1,50 m. Se determinó la importancia que tiene la estructura de protección de lecho ubicada aguas abajo del segundo puente, puesto que de los resultados obtenidos se concluyó que este era el lugar más sensible a degradación del fondo del cauce y donde las velocidades son máximas.

Palabras clave: hidráulica; puente; bidimensional.

Recibido: febrero 2017

Aceptado: junio 2017

1. Introducción

A lo largo del tiempo las sociedades han ido evolucionando en muchos aspectos según sus respectivas necesidades, entre ellas la necesidad de expandirse y trazar nuevos territorios para así poder desarrollar sus actividades cotidianas, es

*Autor para correspondencia

Correo-e: carlosfreitezp@gmail.com (Carlos Freitez)

en este momento donde comenzaron a crearse las infraestructuras las cuales permitieron unir los distintos territorios, y zonas donde se veía imposibilitado el acceso, justamente entre estas creaciones se encuentran los puentes, donde la esencia de los mismos está en subsanar y solucionar el acceso a zonas que se ven de otro modo imposibilitadas de acceder. Para la creación de estas estructuras, intervienen diversas ramas de la Ingeniería Civil, siendo de vital importancia tomar en cuenta aspectos hidráulicos en su diseño, dado que por la amplia interacción existente entre el río y el puente, en la que uno trata de influir sobre el otro, el puente necesita la estabilidad y permanencia en el tiempo, mientras el río, en cambio, por su propia naturaleza es esencialmente dinámico [1]. Asimismo, la socavación en los estribos y pilares de los puentes ha sido históricamente, la causa más importante de falla en estas estructuras, mas aún, cuando los pilares del puente se establecen en lechos erosionables, la alta velocidad local del flujo, causada por la interacción fluido-estructura, origina socavación a las zonas aledañas a los pilares, que gradualmente se extiende por debajo de ellos, eventualmente destruyéndolos [2].

Particularmente en el Estado Lara, uno de los puentes en estudio, ubicados en la vía troncal 7 sector el Rodeo-Quibor, Municipio Jiménez, del Estado Lara colapsó debido a la socavación dejando incomunicado a una gran parte de municipios que conforman una vía agrícola principal para el estado [3].

Por tal razón, el principal objetivo de esta investigación fue evaluar el comportamiento hidráulico de la quebrada La Guardia, a la altura de los puentes ubicados en la vía Troncal 7, sector el Rodeo-Quibor, Municipio Jiménez del Estado Lara, tomando en cuenta el puente reconstruido y actualmente en funcionamiento, mediante la aplicación del modelo matemático bidimensional Iber, considerando para ello un fondo móvil del canal. Para ello fue necesario recopilar la información hidrológica, cartográfica, hidráulica, geológica y bibliográfica de la zona en estudio y analizar el modelo conceptual del software seleccionado.

2. Marco conceptual del modelo bidimensional iber

Iber es un modelo numérico de simulación de flujo turbulento en lámina libre en régimen no-permanente, y de procesos medioambientales en hidráulica fluvial, desarrollado por la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). El rango de aplicación de Iber abarca la hidrodinámica fluvial, la simulación de rotura de presas, la evaluación de zonas inundables, el cálculo de transporte de sedimentos y el flujo de marea en estuarios [4].

El modelo Iber consta actualmente de 3 módulos de cálculo principales: un módulo hidrodinámico, un módulo de turbulencia y un módulo de transporte de sedimentos. Todos los módulos trabajan sobre una malla no estructurada de volúmenes finitos formada por elementos triangulares o cuadriláteros. En el módulo hidrodinámico, que constituye la base de Iber, se resuelven las ecuaciones de aguas someras bidimensionales promediadas en profundidad (ver ecuaciones (1), (2) y (3)), o también llamadas ecuaciones de St. Venant 2D [4].

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hU_x}{\partial x} + \frac{\partial hU_y}{\partial y} = M_s \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial hU_x}{\partial t} + \frac{\partial hU_x^2}{\partial x} + \frac{\partial hU_xU_y}{\partial y} = \\ -gh\frac{\partial Z_s}{\partial x} + \frac{\tau_{s,x}}{\rho} - \frac{\tau_{b,x}}{\rho} - \frac{gh^2}{\rho 2} \frac{\partial \rho}{\partial x} + \\ 2\Omega \operatorname{sen}(\lambda U_y) + \frac{\partial h\tau_{xx}^e}{\partial x} + \frac{\partial h\tau_{xy}^e}{\partial y} + M_x \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial hU_y}{\partial t} + \frac{\partial hU_xU_y}{\partial x} + \frac{\partial hU_y^2}{\partial y} = -gh\frac{\partial Z_s}{\partial y} + \\ \frac{\tau_{s,y}}{\rho} - \frac{\tau_{b,y}}{\rho} - \frac{g h^2}{\rho 2} \frac{\partial \rho}{\partial y} + \\ 2\Omega \operatorname{sen}(\lambda U_x) + \frac{\partial h\tau_{xy}^e}{\partial x} + \frac{\partial h\tau_{yy}^e}{\partial y} + M_y \end{aligned} \quad (3)$$

Donde h es el calado, U_x , U_y son las velocidades horizontales promediadas en profundidad, g es la aceleración de la gravedad, Z_s es la elevación de la

lámina libre, τ_s es la fricción en la superficie libre debida al rozamiento producido por el viento, τ_b es la fricción debido al rozamiento del fondo, ρ es la densidad del agua, Ω es la velocidad angular de rotación de la tierra, λ es la latitud del punto considerado, τ_{xx}^e , τ_{xy}^e , τ_{yy}^e son las tensiones tangenciales efectivas horizontales, y M_s , M_x , M_y son respectivamente los términos fuente/sumidero de masa y de momento, mediante los cuales se realiza la modelización de precipitación, infiltración y sumideros.

El módulo de turbulencia permite incluir las tensiones turbulentas en el cálculo hidrodinámico y el módulo de transporte de sedimentos resuelve las ecuaciones de transporte de sedimentos no-cohesivos en régimen no estacionario. Se resuelven tanto las ecuaciones de transporte de fondo como las ecuaciones de transporte en suspensión. El módulo de transporte de sedimentos utiliza el campo de velocidades, calados y de turbulencia proporcionado por los módulos hidrodinámico y de turbulencia. La variación de la cota de fondo se calcula mediante la ecuación de conservación del sedimento de Exner [4] (ver ecuación (4)).

$$(1 - p) \frac{\partial Z_b}{\partial t} + \frac{\partial q_{sb,x}}{\partial x} + \frac{\partial q_{sb,y}}{\partial y} = D - E \quad (4)$$

Donde p es la porosidad de los sedimentos que forman el lecho, Z_b es la cota de fondo, $q_{sb,x}$ y $q_{sb,y}$ son las dos componentes del caudal sólido de fondo. La diferencia $D - E$ representa un balance entre carga de fondo y carga en suspensión.

3. Metodología

3.1. Descripción

Los puentes que sirvieron de base para el análisis Hidráulico se encuentran geográficamente ubicados en el Municipio Jiménez, Estado Lara específicamente sobre la quebrada la Guardia, la cual es una quebrada intermitente que recibe su afluente de otras quebradas de la región. Inicialmente años atrás sobre esta quebrada se construyó un primer puente de concreto ciclópeo con características geométricas de un solo canal por sentido, con el pasar de los años y debido al alto tránsito surgió la necesidad de construir otro puente de dos canales

para satisfacer dicha demanda; este fue construido de concreto armado, obteniendo así 2 canales en el sentido Barquisimeto-Quibor y a su vez 2 canales en el sentido Quibor-Barquisimeto. En noviembre del año 2008 debido a las altas precipitaciones que hubo en la zona se produjo el colapso y posterior caída de una parte del puente La Guardia generado por la socavación en la quebrada específicamente en el sentido Barquisimeto-Quibor el cual generó problemas de congestión vial, ya que la movilización por ese lugar es elevada [5].

El Ministerio del Poder Popular para Transporte Terrestre realizó un proyecto para la reconstrucción del puente caído (ya construido), el cual se realizó con concreto de Resistencia mínima a compresión de $f'c = 250\text{Kg/cm}^2$. Este proyecto tiene las siguientes especificaciones:

- ancho de la calzada = 9,60 m,
- largo del tablero = 105m,
- pilotes = 0,80 m,
- L = 12 m,
- capacidad = 90 Ton,
- estribos con aletas en ambos extremos del puente y
- 16 pilas de 0,80 m distribuidas a lo largo del puente.

A su vez, el puente más antiguo tiene las siguientes características:

- ancho de la calzada = 10.5m,
- largo del Tablero = 91.90m,
- estribos con aletas en ambos extremos del puente y
- 2 pilas de 1m de diámetro distribuidas a lo largo del puente

Se puede resaltar que en la zona aguas abajo del puente reconstruido se encuentra una obra de protección compuesta por unos escalones de concreto los cuales cumplen la función de disipar la energía cuando el río entra en operación.

3.2. Hidrología

El dato hidrológico utilizado para la modelación hidráulica fue obtenido mediante un estudio previo realizado en la cuenca por [5], en el cual a través del software Hec-HMS se determinó el hidrograma y caudal pico para un periodo de retorno de 50 años de la quebrada La Guardia, siendo éste de 231,2 m³/s.

3.3. Curva granulométrica característica de la quebrada

Se tomaron 3 muestras granulométricas de 24.100 kg, 23.600 kg, 18.200 kg respectivamente, las cuales se obtuvieron en tres puntos distintos aguas arriba del puente más antiguo. Una vez hecho el análisis granulométrico por muestra, se procedió a determinar la granulometría efectiva o característica del río, sumando el peso del material retenido por malla en los respectivos tamizados. Al analizar la curva característica del material del cauce de la quebrada La Guardia se obtuvo que un 59,73 % del material es grava, un 37,15 % arena y un 3,12 % finos, con un D_{50} igual a 7 mm. De igual manera se realizaron otros ensayos para obtener la porosidad, la cual se estimó en 34.8 %.

3.4. Modelo digital de elevación

Se realizó el levantamiento topográfico de la quebrada con detalle de ambos puentes en una extensión de 615 m aproximadamente, de los cuales 415 m fueron en la dirección aguas arriba de los mismos. Con la información obtenida se construyeron las curvas de nivel a cada 0.50 m con el software Autocad Civil3d, y esta sirvió de base para la construcción del modelo digital de elevación de la superficie a estudiar en formato TIN en el software ArcGIS 10.0.

3.5. Modelación hidráulica de la quebrada “La Guardia” en IBER 2.1

Geometría. El primer componente necesario para realizar una modelación hidráulica en este software es la definición de la geometría. Para ello se empleó la herramienta RTIN en IBER para importar una geometría, el cual consiste en discretizar la superficie del terreno en triángulos rectángulos isósceles hasta que todos los triángulos formen la

superficie en la cual se trabajó. Esto se hace a partir de un modelo digital de elevación en formato ASCII. Los parámetros empleados fueron un error cordal igual a 0,10 m y un lado mínimo y máximo de elemento de 1 m y 10 m respectivamente. De este modo se tuvo un buen control tanto del error altimétrico como de los tamaños de los elementos, para que estos no fuesen excesivamente pequeños y pudieran retrasar la simulación. Luego se colapsó la geometría con la finalidad de eliminar la duplicidad de líneas en los lados anexos entre superficies vecinas, para obtener la geometría del cauce a estudiar.

La configuración del modelo digital de elevación en formato ASCII se realizó en el software ArcGIS 10.0, transformando el modelo obtenido en formato TIN a formato Raster y posteriormente de Raster a ASCII. En la conversión a tipo Raster se seleccionó en la opción tamaño de celda (Cellsize) un valor de 0,5 m, 1 m y 2 m para luego analizar la más adecuada en función de los resultados arrojados y de los tiempos de simulación. Cabe destacar que para las pilas de los puentes se elaboró un raster por cada pila generando un archivo (ASCII) para cada una de ellas.

Datos hidrodinámicos. El segundo componente son los datos hidrodinámicos que se resumen en las condiciones de borde o de contorno, las condiciones iniciales y las condiciones de rugosidad. La condición de contorno de entrada que se asignó aguas arriba de la quebrada fue un hidrograma con régimen subcrítico/crítico para un periodo de retorno de 50 años tomado de [5]. Para la condición de contorno de salida se realizaron dos simulaciones, una con la condición de salida supercrítica y otra con la condición subcrítica, a fin de comparar los resultados obtenidos en los dos tipos de régimen y establecer a partir de que distancia los resultados son similares sin importar la condición de borde impuesta.

La condición inicial se fijó con un calado igual a cero (0,00) m., ya que se consideró para el inicio de la simulación toda la superficie seca, en virtud también de que es una quebrada intermitente.

La rugosidad se asignó a través de un coeficiente

de rugosidad de Manning para toda la superficie, cuyo valor fue estimado en 0,034 aplicando el método de Cowan.

Datos para el transporte de sedimentos. El tercer componente es opcional para una simulación con fondo fijo pero debe ser activado para la modelación hidráulica con fondo móvil que es el caso de este estudio. Los datos asignados al modelo fueron: la activación del módulo de transporte de fondo, la ecuación a emplear para el cálculo del transporte de sedimentos asignando la ecuación de Meyer Peter y Muller, $D_{50} = 7\text{mm}$, Porosidad=0,348 y ángulo de fricción 0,61. Se asignó dentro del modelo digital de elevación la capa no erosionable que son las zonas de la quebrada que no tienen transporte de sedimentos como en las pilas y estribos de los puentes y en la estructura de protección existente en el lecho aguas abajo del puente recién inaugurado. Finalmente se asignó la condición de contorno en el extremo aguas arriba de la quebrada para el transporte de sedimentos igual a la condición de arrastre.

Generación de malla de cálculo. La malla de cálculo es un elemento fundamental para obtener buenos resultados. Iber dispone de multitud de maneras de construcción de mallas de cálculo, para este caso se creó la malla con el criterio de formar un elemento en cada superficie la cual tiene como principal ventaja trabajar como mallas no estructuradas las cuales se adaptan a cualquier geometría, ya que no es necesario que la malla tenga ningún tipo de organización o estructura interna. Esta característica las hace especialmente indicadas y adecuada para su utilización en hidráulica fluvial. Una vez generada la malla de cálculo se procedió a editar la misma, creando más divisiones en los sectores donde se encuentran las 18 pilas de los puentes con la intención de poder generarlas con mayor precisión, estas se crearon mediante la asignación de una elevación desde un archivo ASCII creado en ArcGis previamente con la cota más elevada de cada una de las pilas. Sin embargo, no se pudo alcanzar la precisión deseada ya que el modelo durante la corrida resultaba inestable.

Configuración de la simulación. En esta fase se configuró el tiempo de duración de la simulación y el intervalo de resultados, el cual se ajustó a la duración del hidrograma y con resultados cada 200 seg.

4. Análisis y discusión de resultados

Antes de presentar el análisis de resultados de la simulación hidráulica de la quebrada La Guardia en el software IBER 2.1, se realizó un análisis de sensibilidad para determinar con mayor precisión donde comienzan a ser confiables los resultados, en la cual se realizaron dos corridas estableciendo para ello como condición de entrada SubCrítico/Critico, y variando solo la condición de salida, una supercrítica y la otra subcrítica. En tal sentido, se hizo un análisis de los niveles de agua en la zona aguas abajo de la quebrada para el instante de tiempo donde se produce el caudal pico (3 horas) (ver Figura 1) y para el instante final de la corrida (6 horas) (ver Figura 2). De dichas figuras se desprende que a partir de una distancia mínima de 65 m desde el extremo aguas abajo, la condición de frontera no afecta los resultados del resto del dominio, tanto para el instante de tiempo donde se produce el caudal pico, como para el instante final de la corrida.

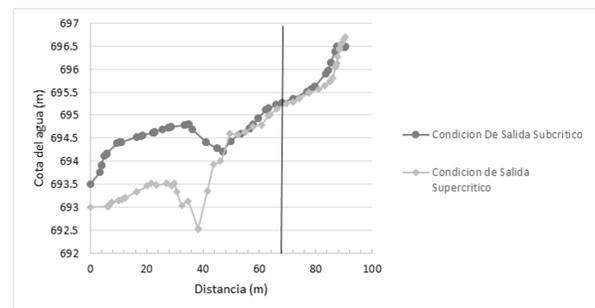


Figura 1: Transiciones del nivel del agua en función de la distancia, en las primeras secciones aguas abajo de la quebrada, en el instante donde se produce el caudal pico.

Posterior a esto se realizó un análisis del comportamiento hidráulico en el instante donde se presenta el caudal pico del hidrograma introduciendo. Se observa en la Figura 3 que las profundidades más elevadas están ubicadas en el tramo central de la quebrada, en el primer puente la profundidad del

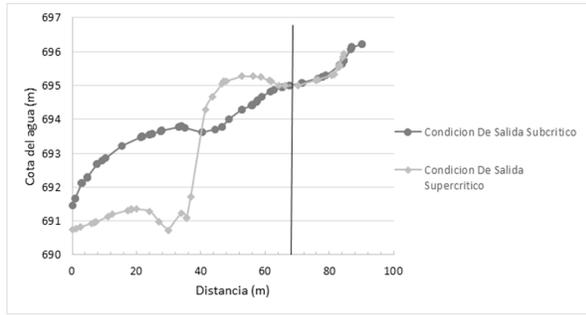


Figura 2: Transiciones del nivel del agua en función de la distancia, en las primeras secciones aguas abajo de la quebrada, en el instante final de la corrida.

agua aumenta debido a la contracción que existe por la presencia de esta estructura, encontrándose en esta zona una profundidad que oscila entre 1,34 metros y 2,22 metros, esta se va atenuando notablemente a un rango de calado menor a 1 metro al pasar el segundo puente debido a las altas pendientes que se encuentran en esta zona generando el cambio de régimen a supercrítico.

Asi mismo se puede apreciar en la Figura 4 que el número de froude se encuentra en un rango de (0-3,5), al respecto se puede ver que aguas arriba del primer puente, predomina el flujo en régimen subcrítico con un número de froude < 1, en comparación con el tramo donde se encuentra la obra de protección inmediatamente al pasar el segundo puente donde existe la presencia de un régimen supercrítico con un número de froude > 1.

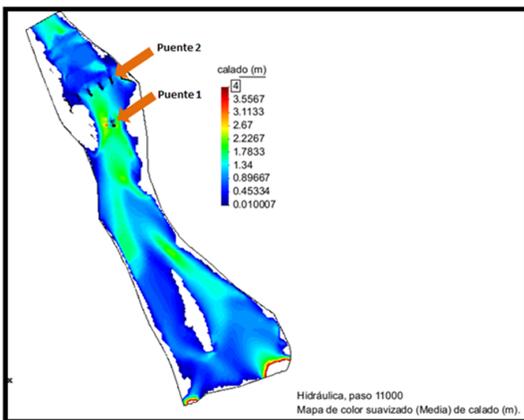


Figura 3: Profundidad del agua a lo largo de la quebrada La Guardia para el instante de tiempo donde se produce el caudal pico.

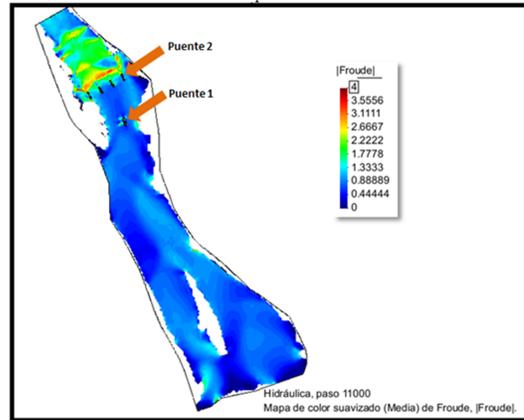


Figura 4: Número de Froude a lo largo de la quebrada La Guardia para el instante de tiempo donde se produce el caudal pico.

Del mismo modo se obtuvieron datos de velocidad, encontrando la máxima velocidad aguas abajo de la quebrada con un valor de 7,70 m/s la cual se extiende 80 metros después del segundo puente en funcionamiento (Figura 5), a su vez aguas arriba de esta estructura se encuentran un rango de velocidades de 0,84 m/s a 3,80 m/s.

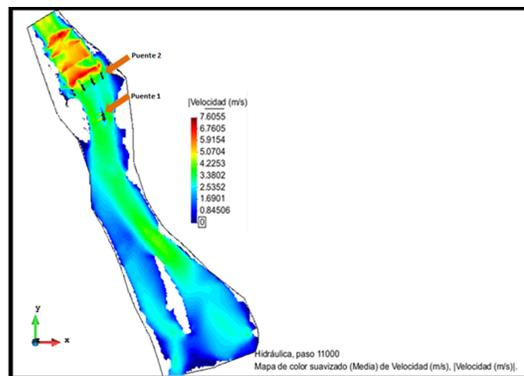


Figura 5: Velocidades a lo largo de la Quebrada La Guardia para el instante de tiempo donde se produce el caudal pico.

Con respecto a la erosión se puede observar en la Figura 6, tres puntos de erosión significativos a lo largo de la quebrada, el primero alrededor de las pilas en el primer puente, el segundo en una pequeña parte del tramo aguas arriba en donde existe la presencia de una bifurcación del flujo debido a la topografía del mismo, en ambos casos, la magnitud de la erosión está por encima de 1 metro, esto a consecuencia de las altas velocidades que se producen en estas

zonas generando perturbaciones en el flujo y ocasionando estos fenómenos locales. Finalmente, el tercer punto significativo de erosión se ubica al final de la estructura de protección de lecho, donde las altas velocidades se mantienen haciendo que esta zona de la quebrada sea vulnerable a la erosión, con valores por el rango de 3 metros siendo esta una zona altamente afectada.

También se puede notar en la Figura 6, las zonas sensibles a sedimentación las cuales se encuentran ubicadas aguas arriba del primer puente construido, con un rango de valores de 0,286 metros a 1,51 metros.

Finalmente, se realizó un estudio más detallado en cuanto a velocidades y erosión en las cercanías de los puentes. Para este análisis se realizaron dos corridas, una con fondo fijo con la presencia de la totalidad de las pilas de ambos puentes y otra con fondo móvil incorporando en esta solo el detalle de las pilas del primer puente, ya que para agregar las 16 pilas del segundo puente sobre la quebrada, el modelo Iber 2.1 requería un detallado muy fino de la malla lo cual implicaba duraciones de corrida de hasta 1 semana y amplia inestabilidad numérica.

Se realizó un análisis de velocidad en los puentes para cada una de las corridas, obteniendo cierta similitud en los vectores de velocidad de ambas, se puede observar en la Figura 7 como el flujo al entrar en contacto con las pilas de los puentes se va distorsionando formando altas velocidades alrededor de estas, lo que ocasiona un choque vertical generando vórtices frontales, laterales y de estelas detrás de las pilas.

A su vez se puede observar en la Figura 8, como en la zona lateral a las pilas del primer puente construido se presenta una erosión de 1,50 metros, producto de las altas velocidades que se originan por la presencia de las mismas, mientras que en la zona frontal a las pilas se observa la presencia de sedimentación con un valor de 1 metro.

5. Conclusiones

En cuanto a las corridas en el software Iber se generó la malla más adecuada para satisfacer las condiciones requeridas por el modelo, donde se hicieron varias modificaciones sobre la misma,

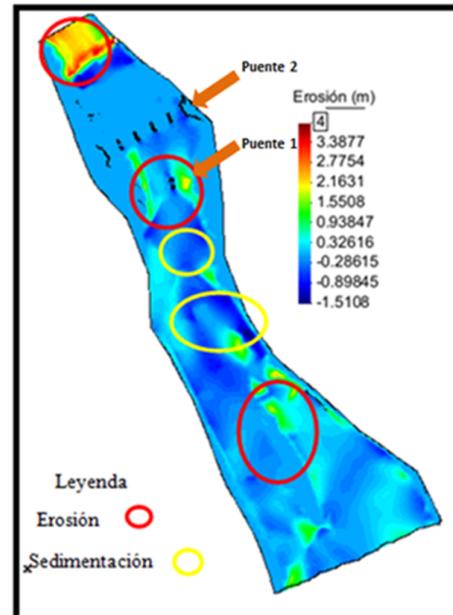


Figura 6: Erosión y Sedimentación a lo largo de la Quebrada La Guardia para el instante final de la corrida.

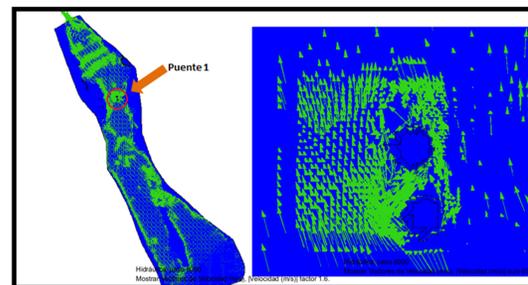


Figura 7: Vectores de Velocidad en las pilas del puente con Fondo Móvil.

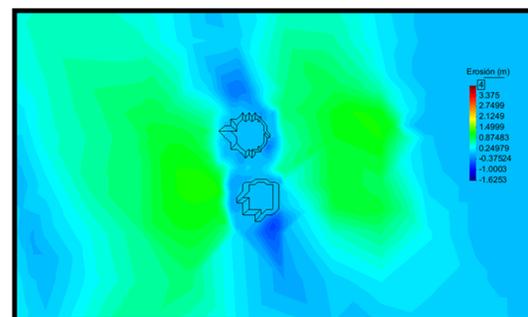


Figura 8: Erosión y sedimentación en las pilas del primer puente construido de la Quebrada la Guardia.

perdiendo precisión en la concepción de las pilas de los puentes debido a inestabilidades presentes durante la corrida en esa zona.

Ante la incertidumbre en cuanto a la condición

de borde aguas abajo, se realizaron corridas con diferentes condiciones de borde, a fin de determinar la distancia desde el extremo aguas abajo sobre la cual la condición de borde impuesta no tiene incidencia. Esa distancia fue igual a 65 m.

La evaluación hidráulica de puentes incorporando el componente de movilidad del sedimento, proporciona resultados que se aproximan mejor a la realidad. Se obtuvo profundidades mayores (1,34 a 2,22 m) y régimen subcrítico aguas arriba del primer puente, mientras que aguas abajo del segundo puente las profundidades son menores a 1 m y el régimen es supercrítico. Por otra parte, se pudo determinar los tramos del río que son sensibles a erosión y que pudiesen poner en riesgo la estructura hidráulica analizada. Para el estudio la máxima erosión se presenta alrededor de las pilas en el primer puente con un valor de 1,50 m y en la zona inmediatamente después de la estructura de protección del lecho ubicada aguas abajo del segundo puente, de aproximadamente 3 m de socavación. Se determinó la importancia que tiene la estructura de protección de lecho ubicada aguas abajo del puente, puesto que de los resultados obtenidos se concluyó que este era el lugar más sensible a degradación del fondo del cauce y donde las velocidades son máximas (7,70 m/s).

Reconocimiento

Este trabajo es producto del proyecto de investigación titulado “Estudio comparativo entre un modelo unidimensional y bidimensional en el análisis hidráulico de puentes. Caso de estudio: Quebrada la Guardia, Municipio Jiménez, Estado Lara”, registrado en El Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (CDCHT) de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA) bajo el código 001-IC-2013.

Referencias

- [1] María de los Ángeles Perozo y Jean Carlos Rincón Ortiz. Evaluación hidráulica de un puente sobre una quebrada con régimen mixto y lecho móvil. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 36(1):16–30, 2015.
- [2] Peter F Lagasse. 1998 scanning review of european practice for bridge scour and stream instability countermeasures. *NCHRP Research Results Digest*, (241):1–36, 1999.
- [3] Jean Carlos Rincón y María de los Angeles Perozo. Comportamiento hidráulico de la quebrada Atarigua en el cruce con el puente ubicado sobre la troncal 7, Municipio Jiménez, Edo. Lara. *Revista Ingeniería UC*, 21(1):77–86, 2014.
- [4] E. Bladé, L. Cea, G Corestein, E. Escolano, J. Puertas, E. Vázquez-Cendón, J. Dolz y A. Coll. Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 30(1):1–10, 2014.
- [5] Guillermo Delfín y María Pérez. Evaluación hidráulica de la propuesta de reconstrucción del puente sobre la quebrada la guardia, ubicado en la vía troncal 7, Municipio Jiménez del Estado Lara, mediante la aplicación de modelos matemáticos. Trabajo Especial de Grado, Decanato de Ingeniería Civil, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Barquisimeto, Venezuela, 2014.