



Congreso Iberoamericano de Ecología y Control de Erosión y Sedimentos IX CICES y II ISI, Santiago De Chile, Chile, 26 a 28 septiembre de 2018

Evaluación de las causas del colapso de la bocatoma Cantería – Puno

Área temática: Erosión hídrica

Juan C. Jiménez¹, José Mamani² y Roberto Alfaro²

1) Tesista, Universidad Nacional del Altiplano Puno, Perú, jcjimenez2204@hotmail.com

2) Docentes de la Facultad de Ingeniería Agrícola, UNA Puno; jmamani@unap.edu.pe y ralfaro@unap.edu.pe

Resumen

La presente investigación consiste en evaluar las causas que originaron el colapso de la bocatoma Cantería – Puno, la metodología usada se basa en dos niveles, el nivel I comprende el estudio de la estructura y las causas que originaron su colapso, en el nivel II se realizó los estudios de hidrología, hidráulica fluvial, geología general, transporte de sedimentos y socavación local. La evaluación indica que la falla de los diversos componentes de la estructura se produjo por la acumulación de sedimentos de fondo aguas arriba del barraje el cual genero dos corrientes de agua totalizando mayor velocidad de flujo en los puntos críticos generando socavación local por debajo de su cimentación, el problema se le atribuye al mal diseño de profundidad de cimentación. La máxima avenida que produjo colapso de la bocatoma es de 323.18 m³/s. los niveles de agua alcanzados en el momento de colapso es de 2.31m. La profundidad de socavación que produjo el colapso de la estructura es de 1.97 m., se plantea una captación mixta con un sistema de vertedero compuesta (fija y móvil), tal estructura tiene la capacidad de evacuar los sedimentos de fondo libremente a través del vertedero móvil de tal manera que la estructura pueda funcionar libre de sedimentos y que la derivación del caudal requerido de 2.5 m³/s sea eficiente.

Palabras clave: Bocatoma Cantería, Río Cabanillas, Colapso, Socavación, Diseño Hidráulico

Abstract

This thesis is to assess the causes of the collapse of the intake Canteria - Puno, the methodology used is based on two levels: Level I includes the study of the structure and the causes of its collapse, level II he studied hydrology, river hydraulics, general geology,

sediment transport and local scour, the evaluation indicates that the failure of the various components of the structure was caused by the accumulation of bottom sediments upstream of the barrage which two streams generate higher speed water flow totaling in hotspots generating local scour below its foundation, the problem is attributed to poor design foundation depth. The maximum flood that produced collapse of the intake is $323.18 \text{ m}^3/\text{s}$. Water levels achieved at the time of collapse is 2.31m. scour depth that caused the collapse of the structure is 1.97 m. Mixed uptake arises a weir system composed (fixed and mobile), such structure has the ability to evacuate bottom sediments freely through the movable weir so that the structure can operate free from sediment and that diverting required capacity of $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$ is efficient.

Keywords: Cantería intake, Cabanillas river, Collapse, Scour, Hydraulic Design.

Presentación

Los ríos han sido siempre utilizados de manera intensa por el hombre para diferentes fines, tales como, captación de agua (para consumo humano, agrícola e industrial), generación de energía, pesca, recreación, entre otros. A su vez, los ríos también han originado grandes desastres, tales como, inundaciones, avalanchas y colapso de estructuras (presas, diques, puentes y bocatomas).

El sistema de Riego y Drenaje Cantería es parte importante del Sistema Integral Lagunillas este sistema de riego, está compuesto por sistemas de captación, conducción y distribución de aguas, la infraestructura de captación que capta un caudal $2.5 \text{ m}^3/\text{seg.}$, destinados para irrigar 2,453 has, infraestructura que a la fecha fue rehabilitada.

En la bocatoma Cantería, se produce la socavación en los cimientos del barraje y canal de limpia, en un proceso combinado de largo y transitorio plazo en forma no visible por lo que ocurrió bajo el agua, hasta que se manifestó irreversiblemente como un colapso de la estructura, la percepción de estos hechos, nos motiva mediante la presente investigación, observar el grado de influencia de los parámetros que involucran diferentes variables, que intervinieron en el colapso de la estructura, la investigación tiene como objetivo fundamental evaluar las causas que originaron el colapso de la bocatoma Cantería – Puno.

Objetivos del trabajo

La presente investigación tiene por objetivo general evaluar las causas que originaron el colapso de la bocatoma Cantería – Puno, y como objetivos específicos:

1. Determinar las descargas de máximas avenidas, características del suelo y niveles de agua alcanzados en la bocatoma Cantería;
2. Determinar la socavación general y local en las diversas estructuras de la bocatoma Cantería;
3. Evaluar el comportamiento estructural de la bocatoma existente;
4. Plantear una propuesta alternativa de diseño hidráulico de una bocatoma.

Marco teórico

La socavación consiste en la remoción de materiales del lecho de un cauce debido a la acción erosiva del flujo de agua alrededor de una estructura hidráulica (Alfaro 2008; Rodríguez Díaz 2010).

La socavación general es el descenso generalizado del fondo del río como consecuencia de una mayor capacidad de la corriente para arrastrar y transportar sedimentos del lecho en suspensión durante crecientes y no necesariamente se debe a factores humanos, este tipo de socavación viene acompañado de la socavación a largo plazo lo que quiere decir que puede presentarse en años o décadas, gracias al ensanchamiento del canal este tipo de socavación también incluye la degradación o agradación progresiva; la degradación es un proceso natural o una actividad humana que causan decrecimiento del lecho mientras que la agradación es el incremento de este; en Colombia es muy frecuente la presencia de agradación progresiva ya que gran parte de los puentes son construidos con una insuficiente área hidráulica (Schroder 1994; Mansen 2003).

La socavación por contracción ocurre cuando un canal se estrecha y las velocidades del flujo aumentan. Muchos tramos de puentes del Servicio Forestal están subdimensionados según los estándares actuales y la erosión por contracción está presente aumentan (Kattell y Eriksson 1998).

La socavación en estribos ha sido menos investigada que la socavación en pilares, pero se piensa que está afectada por los mismos fenómenos; al igual que en la socavación en pilares la socavación en estribos se produce por la obstrucción de el paso del agua. Dicha

obstrucción genera un vórtice de eje horizontal y de eje vertical (Julien 2018), esto es evidente por la pérdida de la cimentación de estribos, como pilotes descubiertos, huecos o vacíos por debajo de la zapata de cimentación. La socavación en estribos comúnmente se denomina socavación local (Kattell y Eriksson 1998). La socavación local implica la eliminación de material de áreas aisladas causada por una aceleración del flujo más allá de una obstrucción y el agua turbulenta posterior (vórtices). La erosión local se ve acentuada por la acumulación de desechos o las inestabilidades de las corrientes que cambian la corriente hacia un estribo o cambian el ángulo de ataque. Las ubicaciones más comunes para la socavación local en un puente de un tramo único típico del Servicio Forestal con contrafuertes de pared verticales se encuentran junto a las esquinas corriente arriba y corriente abajo que se cruzan con las paredes laterales.

Una de las causas más comunes de falla de los puentes es la ocurrencia de crecientes que producen socavación excesiva alrededor de pilas y estribos. La evaluación de la socavación en puentes es un tema sobre el que no se ha dicho la última palabra, y a la fecha, se sigue investigando en el desarrollo de metodologías para determinar la profundidad de socavación al presentarse una creciente. Prácticamente todas las expresiones comúnmente usadas para el cálculo de la socavación son resultado de investigaciones de laboratorio con muy poca verificación en el campo (Muñoz 2002; Alomía y Calderón 2013).

La falla de la estructura hidráulica, como la falla del aliviadero de una presa, puede brindar la oportunidad de evaluar los impactos de este tipo de evento sobre la formación y migración de un canal de arrastre corriente arriba del aliviadero (Demissie *et al.* 1988).

Antecedentes o estado de la investigación

Según, Martínez López (2007) llega a la conclusión de que los fenómenos climatológicos de los años recientes han ocasionado la destrucción por socavación de numerosas obras hidráulicas, en consecuencia, se registraron grandes y lamentables pérdidas humanas como económicas, y se requieren estudios en forma intensiva y en cooperación con las instituciones involucradas en este problema.

Macleán (1991) en su trabajo sobre esfuerzo cortante de lecho y socavación sobre captación de río tipo de fondo, concluyó que la profundidad de socavación final es directamente proporcional a la diferencia entre la tensión de cizalladura inicial del lecho debido a la succión y la tensión de cizalladura del lecho umbral en los granos de lecho en presencia de succión, a través de ensayos de laboratorio.

Las estructuras de control escalonado de bloques de concreto se usan ampliamente en Taiwán para proteger los lechos de los ríos de la degradación y para disipar la alta energía asociada del flujo sobre los vertederos, (Lai *et al.* 2010) llegaron resultados que indican una reducción máxima de profundidad de socavación de hasta 98.7%. El presente trabajo propone una nueva metodología de diseño que incluye la consideración de las alturas de los bloques y la carencia de espacios en bajas descargas. Se usó una prueba de modelo físico para verificar el método. Los resultados indicaron una reducción máxima de profundidad de socavación de hasta 98.7%.

Según, Guevara Alvarez (2013) respecto a la Evaluación de la Socavación en Puentes, realizado por la Universidad del Cauca – Colombia., llega a la conclusión de que el proceso de la evaluación de un puente con relación a socavación es el mismo en casos de puentes construidos o por construir. La diferencia radica en que un puente ya existente no se puede modificar substancialmente y debe procederse a estudiar, diseñar y construir medidas de prevención y control. Si un puente está en la etapa de diseño, es susceptible de ser modificado para mejorar sus condiciones de estabilidad frente a la socavación. Por lo tanto, los pasos que se siguen para determinar la socavación son los mismos tanto para puentes existentes como para puentes nuevos.

Según, Carriaga (2012) desarrolló y evaluó un programa basado en Windows, codificado en Visual Basic, para calcular cada componente de socavación por etapa y, en última instancia, evaluar el socavamiento total del lecho. La entrada de datos para el programa incluye datos sobre el lecho, la hidráulica de flujo en el curso de agua y la geomorfología del canal. La hidráulica de flujo asociada con el diseño y los flujos dominantes se puede importar directamente de los resultados del modelo HEC-2 o HEC-RAS en los que se realiza una evaluación de socavación en todo el alcance. El programa de evaluación de socavación tiene un análisis de sensibilidad incorporado para datos de entrada para evaluar el impacto de estos datos en la socavación valores evaluados.

Asimismo también evaluó el procedimiento de cálculo de socavación para estructuras de drenaje (Carriaga y Davies 2001). Asimismo (Hoffmans y Pilarczyk 1995) en su trabajo sobre socavación local aguas abajo de estructuras hidráulicas, discute brevemente el diseño funcional de la protección del lecho aguas abajo de grandes estructuras hidráulicas. Las fases del proceso de socavación y el mecanismo de transporte se tratan de manera introductoria. Posteriormente, se discuten las relaciones semiempíricas para la profundidad de socavación máxima de la erosión del agua clara (socavación sin flujo de sedimentos desde la corriente ascendente) y el análisis de estabilidad de las laderas de escurrimiento aguas arriba.

Aspectos metodológicos

Dentro de los materiales, instrumentos, equipos y servicios utilizados para la ejecución de este proyecto se tiene los siguientes: a) Materiales y equipos de gabinete como son: equipo de cómputo e impresión, equipo de dibujo, útiles de escritorio y dibujo, programas como son: (Word, Excel y Power Point), AutoCAD, LAND, HEC – 18, HEC – 04 “Monthly Streamflow Simulation”, HEC – HMS (Hydrologic Modeling System), HEC – RAS (River Análisis System), S10, ArcGis y otros (Villon Bejar 2010; Brunner 2016). b) Materiales y equipos de campo, teodolito convencional, nivel de ingeniero y accesorios, GPS Etrex Legend, correntómetro marca Hidrological, Muestreadores de suelo para sedimentos de lecho (bolsas), calculadora, wincha, libreta de campo y lapiceros, pintura esmalte y brochas, estacas de madera, cámara fotográfica, camioneta c) servicios; ploteo de planos, pruebas y ensayos de laboratorio de suelos, impresión, fotocopias, anillados, escaneados y otros.

La metodología seguida en la ejecución del presente estudio está de acuerdo a textos, manuales, proyectos y experiencias de esta naturaleza, adecuados y orientados a los fines de estudio y a la realidad de nuestro medio, las diferentes acciones, realizadas para la ejecución de este estudio se pueden agrupar en dos niveles de evaluación que se explican en la figura 1 (Kattell y Eriksson 1998; Trb 2011; Guevara Alvarez 2013).

Revisión y Evaluación de la Información Recolectada con Anterioridad a la Visita de Campo:

La revisión de la información existente debe orientarse hacia los siguientes aspectos:

- Orientación y profundidad de la cimentación.
- Información geológica y de suelos para estudiar la habilidad del lecho y las bancas para resistir socavación.

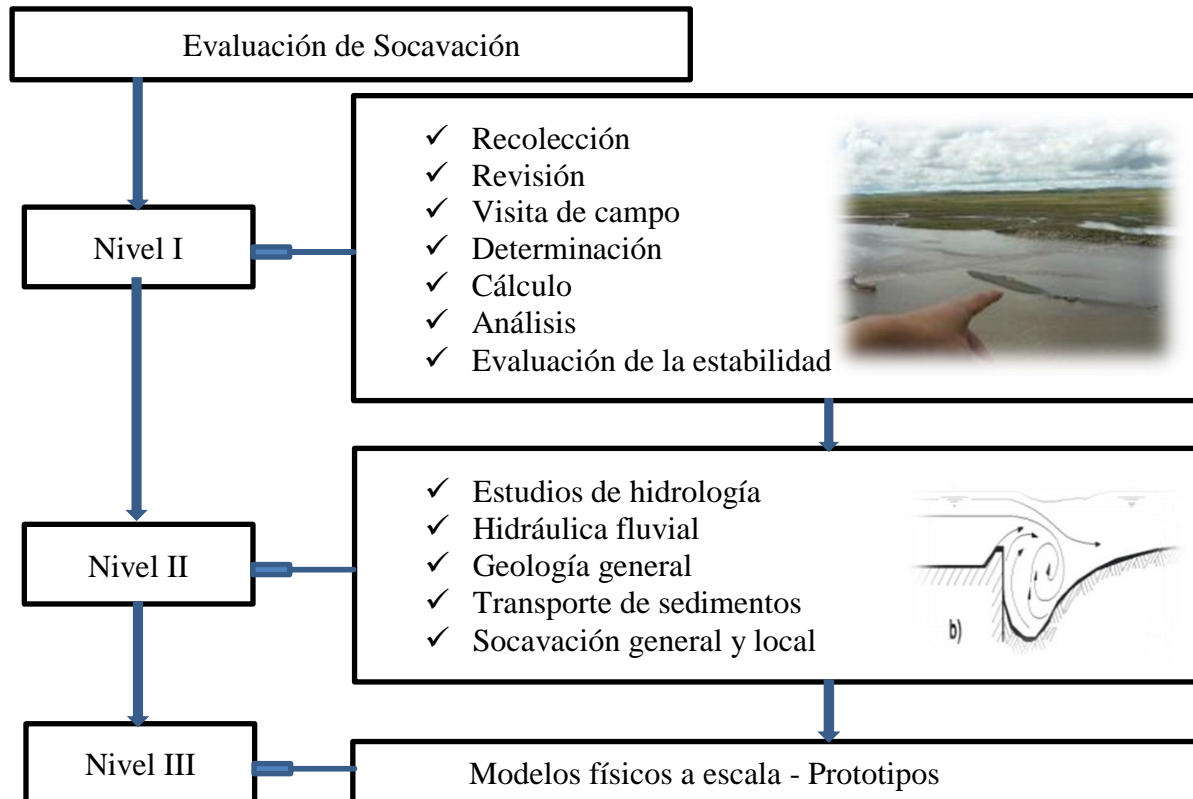


Figura 1: Evaluación de la socavación aplicando el nivel I o el nivel II

- Información hidrológica relacionada con niveles máximos, caudales pico, velocidades, y perfiles de la superficie del agua. La evaluación de la estabilidad de una bocatoma debe hacerse considerando el caudal correspondiente a períodos de retorno de diseño y debe chequearse para períodos de retorno de una creciente extraordinaria (por ejemplo, 1 en 200 años, Q200) (Mejía 2012).

Visita de Campo y Recolección de Información en el Sitio de la Bocatoma:

- El equipo mínimo requerido incluye equipo de topografía, correntómetro, equipo de sondeo manual, cámara de retratar, es siempre recomendable aforar el caudal presente para calibrar el modelo hidráulico y determinar algunos parámetros como el gradiente hidráulico que faciliten la modelación durante crecientes (Ratnayaka *et al.* 2009).

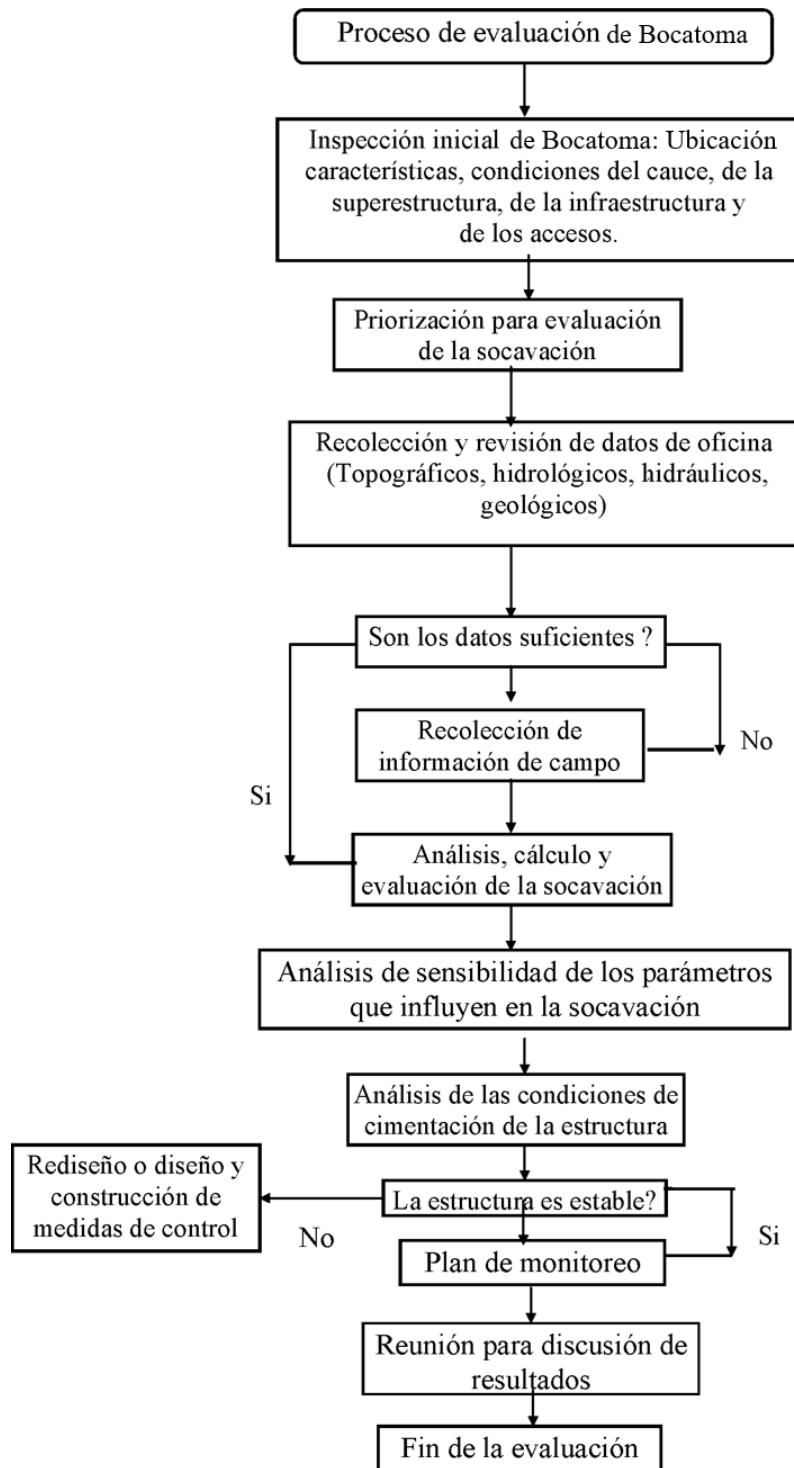


Figura 2: Proceso de evaluación de una bocatoma con respecto a la socavación, (Alomía y Calderón 2013)

La información de campo requerida incluye:

- Tipo de río.
- Secciones transversales del cauce en las caras aguas arriba y aguas debajo de la Bocatoma (PELT 2011).
- Profundidades incluyendo el Nivel de Aguas Máximas Extraordinario (NAME) y datos sobre velocidad del agua.
- Pendiente longitudinal del cauce tomando como base los niveles del agua.
- Material del lecho, las bancas y las laderas del cauce.
- Cobertura vegetal de las laderas del cauce y signos de erosión.
- Sondeos alrededor de barrajes y otras estructuras de la Bocatoma.
- Verificación del ángulo de ataque del flujo visualizado para el cauce lleno y para caudales de creciente.

Determinación y Análisis de las Variables que Afectan la Socavación:

La mayor diferencia entre el nivel I y el nivel II de evaluación está en la forma en que se hace el modelaje hidráulico, el nivel I requiere una modelación sencilla que considera flujo uniforme en la zona de la bocatoma, el nivel II implica considerar flujo variado y el efecto del remanso. En esta etapa pueden usarse programas como el HEC-RAS para niveles de agua, las variables a determinar son:

- Determinación de los caudales correspondientes al período de retorno de diseño (Q_d), a una creciente extraordinaria (Q), y el caudal que sobrepasó el diseño anteriormente proyectado, por tanto, la socavación debe analizarse para estas dos situaciones.
- Evaluación del coeficiente de rugosidad n de Manning. Para rivera y lecho del río.
- Cálculo de la profundidad normal, de la velocidad del flujo, área mojada, perímetro mojado y otros parámetros hidráulicos para Q_d , Q , y Q_p . Si la sección transversal aguas debajo de la bocatoma difiere mucho de la sección transversal aguas arriba, los efectos de la curva de remanso son muy pronunciados y se requerirá de un Nivel II de evaluación. Algunos métodos de cálculo de la socavación requieren de valores medios, pero otros de valores puntuales de los parámetros hidráulicos al pie del barraje y canal de limpia.

Resultados

Según el planteamiento de los objetivos, se llegaron a los siguientes resultados:

En cuanto a las máximas avenidas; Para estimar la magnitud del evento asociado a un periodo de retorno, se aplicó el software HEC HMS, en la figura 3 se observa el esquema de la cuenca.

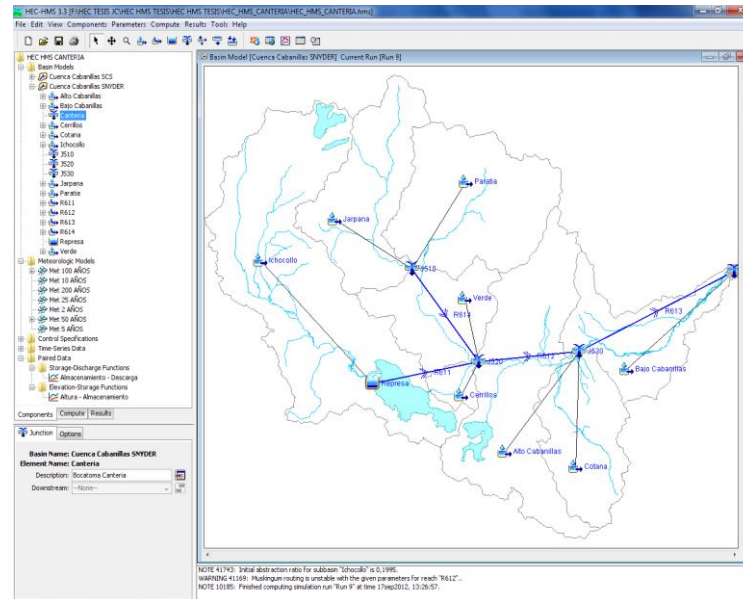


Figura 3: Modelo de cuenca e interconexión de subcuencas - Cabanillas

Los resultados de caudales máximos simulados en el punto de interés bocatoma cantería para diferentes períodos de retorno punto de interés bocatoma Cantería

Tabla 1: Caudales máximos simulados para diferentes períodos

ITEM	Periodo de Retorno (años)	Caudal Máximo de Diseño (m^3s^{-1})
1	2	162.23
2	5	306.09
3	10	397.98
4	25	501.31
5	50	584.70
6	100	639.92
7	200	709.31

- En cuanto a los niveles de agua alcanzados en la bocatoma Cantería, se tienen los siguientes datos mostrados en la tabla 1, para la simulación mediante la utilización del modelo y conforme la introducción de caudales, además se obtuvo que con un caudal de 323.18 m^3/s , colapso la Bocatoma Cantería colapsó.

- En cuanto a la socavación local la profundidad de socavación máxima para TR=50 años, está en el rango de 1.41m. a 3.55 m., por lo tanto, el tramo del río inmediatamente del pie de la poza disipadora deberá ser diseñado con una profundidad de 3.5m. y además deberá ser protegido con una capa de enrocado de protección.
- En cuanto el comportamiento estructural de la bocatoma existente, los diferentes elementos estructurales si cumplen con las exigencias por rigidez y resistencia, sin embargo, no cumplen por durabilidad, los componentes de la estructura presentan falla estructural por socavación a nivel de la cimentación.
- En cuanto a la propuesta alternativa de diseño hidráulico de una bocatoma, se plantea una captación mixta con un sistema de vertedero compuesta (Fija y Móvil), tal estructura tiene la capacidad de evacuar los sedimentos de fondo libremente a través del vertedero móvil de tal manera que la estructura pueda funcionar al 95% libre de sedimentos y que la derivación del caudal requerido de 2.5 m³/s. sea eficiente.

Bibliografía

- Alfaro, R. 2008. Erosion y Transporte de Sedimentos. Puno, UNAP.
- Alomía, D; Calderón, J. 2013. Inspeccion y evaluacion de la socavacion en cimentaciones de puentes y establecimiento de medidas de proteccion contra este fenomeno. Cuenca, Universidad de Cuenca.
- Brunner, GW. 2016. HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual. Davis, CA, U.S. Army Corps of Engineers - Hydrologic Engineers Center. p. Disponible en <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>
- Carriaga, C; Davies, R. 2001. Scour Evaluation Procedure for Determining Toe-Down Depths of Hydraulic Structures. World Water and Environmental Resources Congress 2001.
- Carriaga, C. 2012. Scour Evaluation Program for Toe-Down Depth Assessment. Joint Conference on Water Resource Engineering and Water Resources Planning and Management 2000.
- Demissie, M; Tsihrintzis, VA; Bogner, WC; Bhowmik, NG. 1988. Scour Channel Development After Spillway Failure. Journal of Hydraulic Engineering 114(8):844-860.
- Guevara Alvarez, ME. 2013 Socavacion En Puentes. Popayán, Universidad del Cauca. p.

- Hoffmans, GJCM; Pilarczyk, KW. 1995. Local Scour Downstream of Hydraulic Structures. *Journal of Hydraulic Engineering* 121(4):326-340 p.
- Julien, PY. 2018. *River Mechanics*. Cambridge University Press. p.
- Kattell, J; Eriksson, M. 1998. *Bridge Scour Evaluation: Screening, Analysis, & Countermeasures*. California, USDA Forest Service. p.
- Lai, JS; Tsung, SC; Chiew, YM; Lee, FZ. 2010. Gap Scour at a Stepped Concrete Block Grade Control Structure. *International Conference on Scour and Erosion (ICSE-5) 2010*.
- Maclean, AG. 1991. Bed Shear Stress and Scour over Bed-Type River Intake. *Journal of Hydraulic Engineering* 117(4):436-451 p.
- Mansen, A. 2003. *Diseño de Bocatomas*. Lima, UNI-FIC. p.
- Martínez López, G. 2007. *Socavación en obras civiles y su problemática*.
- Mejía, J. 2012. *Hidrología Aplicada*. Lima-Peru, Universidad Nacional Agraria La Molina. 222 p.
- Muñoz, E. 2002. Estudio de las causas del colapso de algunos puentes en Colombia. *Ingeniería y universidad* 6(1):33-48.
- PELT. 2011. *Estudio Técnico: Proyecto Rehabilitación de la Irrigación Cantería*. Puno – Perú, Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca. p.
- Ratnayaka, DD; Brandt, MJ; Johnson, KM. 2009. CHAPTER 5 - Dams, Reservoirs and River Intakes. *Water Supply (Sixth Edition)*. Boston, Butterworth-Heinemann. 149-193. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780750668439000135>
- Rodríguez Díaz, HA. 2010 *Hidráulica fluvial: fundamentos y aplicaciones socavación*. Colombia, Escuela Colombiana de Ingeniería. p.
- Schroder, W. 1994. *Regulación y Control de Ríos*. 1 ed. Piura, Universidad de Piura – Instituto de Hidráulica, Hidrología e Ingeniería Sanitaria. p.
- TRB. 2011. *Evaluation of Bridge-Scour Research: Abutment and Contraction Scour Processes and Prediction*. Sturm, TW; Melville, BW; Ettema, R. Washington, DC, The National Academies Press, Transportation Research Board. 106 p.
- Villon Bejar, M. 2010. *HEC-HMS Ejemplos*. Cartago, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Aportes de la investigación a la toma de decisiones

Se concluye que las causas del colapso de la bocatoma Cantería, se produjo por la falla a nivel de la cimentación debido al comportamiento del flujo por la acumulación de sedimentos de fondo aguas arriba del barraje el cual generó dos corrientes de agua totalizando mayor velocidad de flujo en los puntos críticos generando socavación local por debajo de su cimentación, el problema se le atribuye al mal diseño de profundidad de

cimentación, las conclusiones de acuerdo a los objetivos específicos del trabajo de investigación son las siguientes:

a) Sobre el Primer Objetivo Específico

- Se determinó el caudal máximo de avenida en el punto de interés de 584.70 m³/s. para un periodo de retorno de 50 años. El caudal medio y mínimo obtenido es de 26.74 y 11.08 m³/s. respectivamente.
- Se determinó el caudal máximo que tránsito en la sección del río a través de las huellas dejadas por tránsitos de máximas avenidas el cual dio como resultado 323.18 m³/s., el cual coincide con los caudales máximos instantáneos registrados en la estación puente isla.
- La estructura está emplazada en depósitos cuaternarios - depósitos fluviales (Qh-A2), que están conformados por los depósitos transportados, estos materiales corresponden a gravas y arenas mal seleccionadas en matriz arena limosa, la capacidad admisible a la profundidad de cimentación $D_f = 3.5$, $q_a = 1.910 \text{ kg/cm}^2$.
- El transporte de sedimento de fondo por el método de Meyer Peter - Muller y Einstein, dieron resultados de 24,610.7 y 66,009.3 Tn/día para un caudal de periodo de retorno de 50 años.

b) Sobre el Segundo Objetivo Especifico

- La profundidad de la socavación para TR50. Estimada con el método de Breusers es de 1.41 m, mientras que el estimado con el método de Dietz es de 3.55 m. Por lo tanto, propone ser diseñado el cimiento a una profundidad de 3.5m y protegido con enrocado de protección; la estructura actual fallo con una profundidad máxima de socavación de 1.97 m.

c) Sobre el Tercer Objetivo Específico

Con respecto al comportamiento estructural los diferentes elementos estructurales si cumplen con las exigencias por rigidez y resistencia, sin embargo, no cumplen por durabilidad, los componentes de la estructura presentan falla estructural por socavación a nivel de la cimentación.

d) Sobre el Cuarto Objetivo Específico

Para el planteamiento alternativo de rediseño hidráulico de la estructura de captación, se ha tomado en consideración los siguientes parámetros:

- La estructura de canal de limpia, se ha diseñado para un caudal medio anual de 27.0 m³/s., que consta de 03 compuertas de tipo izaje de 4.00 x 1.50 m.
- El vertedero móvil, se ha dimensionado para una longitud de 52 ml, diseñado para un caudal de descarga de 398.0 m³/s., la misma que consta de 13 compuertas de tipo izaje de 4.00 x 1.30 m.
- El barraje de perfil tipo Creager, esta dimensionado para una longitud de 46.40 m. Para un caudal de descarga de 187.00 m³/s., con una poza disipadora de 12.0 m. y con enrocado de protección aguas abajo de 10.0 m.
- La ventana de captación, está diseñado para derivar un caudal de 2.50 m³/s., con dimensiones de 0.60 x 1.30 m. que consta de 03 ventanas.
- El modelamiento del río Cabanillas, se realizó con el software HEC-RAS, con la que se determinó los niveles del río, la cual ha permitido dimensionar una altura de 4.35m de los muros de encauzamiento y diques de enrocado.

Con las conclusiones de la presente investigación, que fue realizada con apoyo del Proyecto Especial Binacional del Lago Titicaca y la Universidad Nacional del Altiplano, se contribuyó al diseño final para la rehabilitación de la Bocatoma Cantería, en beneficio de la población usuaria de sistema de riego.

Aportes de la investigación a los temas de la región

En este trabajo se presenta un proyecto en el cual el Departamento de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, busca articular con el estado y la comunidad del sector rural, en aras lograr un proyecto productivo a través de la investigación tecnológica que necesitan para mejorar su producción agrícola.