

Evaluación y diseño de protección frente a la socavación hidráulica del puente Unocolla, Juliaca – Puno

*Evaluation and design of protection against hydraulic scouring of the Unocolla bridge,
Juliaca - Puno*

*Avaliação e projeto de proteção contra erosão hidráulica da ponte Unocolla, Juliaca –
Puno*

Néstor Almonte Pilco 

Universidad Cesar Vallejo, Perú

nalmontepi@ucvvirtual.edu.pe

Sleyther De La Cruz Vega 

Universidad Cesar Vallejo, Perú

sleyther@ucvvirtual.edu.pe

RESUMEN

Por lo general cuando el caudal del río aumenta, se producirá un fenómeno de socavación, en el que la subestructura del puente, ya sea estribo y/o pilares, se verá afectada, resultando en un colapso parcial o total de la estructura. Todo lo anterior es la clave para lograr nuestros objetivos de investigación, el cual es realizar una evaluación y diseño de protección contra el proceso de socavación hidráulica del puente Unocolla de la ciudad de Juliaca, Puno. La población será el puente Unocolla y la muestra será una subestructura del puente. El método utilizado es aplicado y su diseño es experimental puro, utilizando métodos cuantitativos, en el que se describe el problema de investigación como los resultados realistas. Para determinar los efectos de socavación se recolectó información topográfica, hidrológica y sedimentológica para posteriormente realizar un modelamiento hidráulico en el programa Hec – Ras. Se determinó profundidades de socavación en referencia a pilares, determinando en el pilar 1 profundidad de socavación 1.2 m, en el pilar 2 profundidad de socavación 2.46 m, en el pilar 3 profundidad de socavación 1.2 m, en el pilar 4 profundidad de socavación 1.2m, por lo cual se propone como alternativa de solución el proceso de enrocado.

Palabras clave: Socavación, puente, modelamiento, enrocado.

ABSTRACT

In general, when the river flow increases, a scour phenomenon will occur, in which the substructure of the bridge, be it abutment and / or piers, will be affected, resulting in a partial or total collapse of the structure. All of the above is the key to achieving our research objectives, which is to carry out an evaluation and protection design against the hydraulic scour process of the Unocolla bridge in the city of Juliaca, Puno. The population will be the Unocolla bridge and the sample will be a substructure of the bridge. The method used is applied and its design is pure experimental, using quantitative methods, in which the research problem is described as realistic results. To determine the scour effects, topographic, hydrological and sedimentological information was collected to later carry out hydraulic modeling in the Hec-Ras program. Scour depths were determined in reference to pillars, determining in

pillar 1 scour depth 1.2 m, in pillar 2 scour depth 2.46 m, in pillar 3 scour depth 1.2 m, in pillar 4 scour depth 1.2 m, for which the castling process is proposed as an alternative solution.

Keywords: Scouring, bridging, shaping, castling.

RESUMO

Em geral, quando a vazão do rio aumenta, ocorrerá um fenômeno de solapamento, no qual a subestrutura da ponte, seja ela de encontro e/ou pilares, será afetada, resultando em colapso parcial ou total da estrutura. Todo o exposto é a chave para alcançar nossos objetivos de pesquisa, que é realizar uma avaliação e projeto de proteção contra o processo de erosão hidráulica da ponte Unocolla na cidade de Juliaca, Puno. A população será a ponte Unocolla e a amostra será uma subestrutura da ponte. O método utilizado é aplicado e seu desenho é puramente experimental, utilizando métodos quantitativos, nos quais o problema de pesquisa é descrito como resultados realistas. Para determinar os efeitos da erosão, foram coletadas informações topográficas, hidrológicas e sedimentológicas para posteriormente realizar a modelagem hidráulica no programa Hec-Ras. As profundidades de desminagem foram determinadas em referência aos pilares, determinando no pilar 1 profundidade de erosão 1,2 m, no pilar 2 profundidade de erosão 2,46 m, no pilar 3 profundidade de erosão 1,2 m, no pilar 4 profundidade de erosão 1,2 m, para o qual o processo de enrocamento é proposto como uma solução alternativa.

Palavras-chave: Minando, ponte, modelagem, enrocamento.

INTRODUCCIÓN

En el mundo, según AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) publicado en 1994, en EEUU y el mundo gran parte de los puentes que han suscitado fallas, se debieron a la socavación que son fallas por erosión hidráulica; son raras las fallas de puentes por motivos estructurales. En Estados Unidos, Wardhana y Hadipriono realizaron un estudio de 500 puentes donde se produjeron fallas entre 1989 y el 2000 de los cuales el 53% se debieron a las avenidas y a la socavación. En el año 2003, EEUU tenía cerca de 26 500 puentes en condiciones críticas por la acción erosiva de la socavación, así como 26 890 afectados por este fenómeno (Rocha, 2014).

Por ello, en el Perú, por el Fenómeno del Niño las fallas de los puentes debido a factores hidráulicos son más altas que en otras partes del mundo, por lo que los estudios hidrológicos e hidráulicos son necesarias e importantes para prevenir dichos percances en puentes del Perú. En el año 2018 el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) hizo su última actualización del Manual de Diseño de Puentes que publicó en el año 2003, detalla aspectos estructurales de un puente y reseña brevemente los factores hidráulicos (caudal de diseño, profundidades de erosión, requisitos topográficos para el cálculo hidráulico, etc.) y aún no menciona en detalle cuáles son los métodos para realizar el cálculo de socavación. Los manuales de otros países establecen las dimensiones hidráulicas del

puente tales como longitud y altura, profundidades de erosión y cuáles deben de ser los requisitos topográficos para el cálculo hidráulico (Rodríguez & Yataco, 2021).

El agua se considera con un recurso elemental en el desarrollo de nuestro país, es utilizado en muchas áreas como la agricultura, las actividades mineras, actividades industriales, etc. (Reyes & Asis, 2020)

En datos técnicos para la determinación de la oferta de agua es importante para utilizar correctamente nuestros recursos hídricos, pero, su información hidrológica es escasa y limitada, debido a que existen pocas estaciones hidrométricas y su periodo de registros es corto. (Apolinario & et al, 2017)

Los cálculos que se requieren para los proyectos que aprovechan los recursos hídricos de los ríos, requiere de datos hidrológicos para su diseño. Sin embargo (...) solo se tienen datos de las lluvias y poca información sobre los caudales registrados, teniendo complicaciones en el cálculo de su escorrentía y evaluación de sus producciones hídricas. (Sandoval & Aguilera, 2014)

En la Región de Puno, existen un gran número de puentes, entre ellos el puente Unocolla de la ciudad de Juliaca, que es motivo de análisis porque está expuesto al proceso de socavación tanto en sus pilares de apoyo como en sus estribos, esto debido a las avenidas ocasionadas por las lluvias en el periodo diciembre - marzo. El puente Unocolla se encuentra en un estado

vulnerable debido a los fenómenos naturales que se presentan año a año en la región de Puno y con el paso de los años se ve expuesta la cimentación de algunos de los cuatro pilotes la cual se ve al descubierto, de manera que la estructura del puente se ve perjudicado por el fenómeno de socavación.

METODOLOGÍA

Este estudio fue de tipo aplicada, porque busca conocer, actuar, construir y modificar una realidad problemática (Borja, 2012), diseño de investigación experimental puro y el enfoque de investigación es cuantitativo; la población y muestra fue el puente Unocolla de la ciudad de Juliaca, el muestreo a realizar fue del tipo estratificado simple y la unidad de análisis fueron la subestructura del puente, estribos y pilares del puente en mención; en cuanto al estudio de investigación se usó la técnica de la observación participante y/o no participante (Instrumento que ayuda a registrar los datos obtenidos en laboratorio, con el propósito de recopilar datos necesarios en campo) y la de sistematización bibliográfica la cual se basa en hacer un registro visual y donde se presenta el proceso que se sigue para realizar el estudio del estado del puente Unocolla ante los efectos de la socavación. Para la determinación del área de la subcuenca se utilizará el programa Arcgis, para la evaluación de los valores extremo máximos el programa Hidroesta 2, para la determinación de los caudales extremos el programa HEC – HMS, para el procesamiento de las curvas de nivel el programa Autocad Civil 3d 2019, para la elaboración de planos el programa Autocad 2019, para la realización de cálculos y obtención de la granulometría del suelo Microsoft Excel 2016 y para la realización del modelamiento del proceso de socavación el programa HEC – RAS 6.0.0 Beta 3.

RESULTADOS

Se realizó un reconocimiento del área de terreno a evaluar tales como, ubicación geográfica de la cuenca, estado físico de la estructura y subestructura. Recolección de datos topográficos, se realizó un levantamiento topográfico de 200 m aguas arriba y 200 m aguas abajo, obedeciendo las indicaciones del Manual de Puentes, donde se hizo una comparación de secciones transversales cada 20 m para verificar si el cauce es estable aguas arriba y aguas abajo. Datos sedimentológicos, mediante la elaboración de 3

calicatas de 2.50 m de profundidad, tomándose en cuenta la calicata del pilar más crítico, dando por resultado que el suelo es del tipo GP (Grava mal graduada, mezcla de arena – grava con poca cantidad de material fino). Datos hidrológicos como precipitaciones máximas de avenidas para el diseño las cuáles se calculó con un registro de precipitaciones máximas en 24 horas proporcionadas por SENAMHI, el caudal de diseño se consideró a 500 años de periodo de retorno, obteniéndose un caudal de 751.1 m/s, tirante del flujo de 1.8307 m, Número de Froude de 0.7558, Velocidad de 3.2 m/s con éstos datos se estimará la profundidad del efecto de socavación. Para establecer la hondura de socavación se hizo un modelado hidráulico en el programa HEC-RAS y se determinó que la erosión de es 1.200 m en el primer pilar, 2.460 en el segundo pilar, 1.200m en el tercer pilar y 1.200 en el cuarto pilar; cuanto mayor es el período de retorno, más profunda es la socavación local del pilar. El situar enrocados cerca de los pilares es la elección que más reduce la hondura de socavación local. Se sitúa el enrocado por lo menos 2 veces el ancho de la pila. En caso de continuar presentando socavación debería reponerse las piedras. El espesor mínimo del enrocado es 3 veces el diámetro D50 de la piedra. La medida más alta de la piedra no debería exceder el doble del tamaño D50 promedio del material. El diámetro promedio de la piedra es de 0.35 centímetros. El método se basa en excavar 120 cm en el lecho del flujo de agua, que es un poco más de 3 veces el diámetro de la piedra, no habrá un compactado especial, solo el tránsito de la maquinaria pesada, y siendo según especificaciones técnicas el enrocado a de ser mínimo 2 veces el ancho de la pila, se bordeará la pila a 1.5 m.

DISCUSIÓN

Al realizar las evaluaciones correspondientes tales como reconocimiento del área de terreno, ubicación geográfica, recolección de datos topográficos, datos sedimentológicos, datos hidrológicos, realizando el debido modelamiento hidráulico con el programa Hec – Ras y determinando que el caudal de diseño apropiado tomando como referencia un periodo de retorno de 500 años, es de 751.1 m/s, tirante del flujo de 1.8307, número de Froude 0.7558, velocidad de 3.2m/s; deduciendo que la erosión de es 1.200 m en el primer pilar, 2.460 en el segundo pilar, 1.200m en el tercer pilar , 1.200 en el cuarto pilar y concluyendo

que el situar enrocados cerca de los pilares es la elección que más reduce la hondura de socavación local concordamos con (Enciso, 2015), quien indica que el periodo de retorno indicado debe ser igual o parecido al que se utilizó en el diseño del puente, el caudal de diseño deberá considerarse 500 años de periodo de retorno, deduce de igual manera que el caudal obtenido servirá para corroborar la estabilidad en la cimentación del puente, con los periodos de retorno se estimará la profundidad del efecto de socavación y (Soberón, 2015) quien indica que al realizar modelizaciones en los programas Hec -Ras y RiverFLO-2D los resultados de análisis y comparación son mínimos de manera que ambos modelos son aceptables para representar sistemáticamente cualquier representación de un caudal en un río, de manera que se pueden realizar proyectos para mitigar futuras avenidas que puedan ocasionar daños estructurales en un determinado puente.

Lo cual es viable debido que al realizar modelamientos en HEC – RAS los resultados son óptimos para poder representar sistemáticamente cualquier representación del caudal de un río, de manera que se pueden realizar proyectos para mitigar futuras avenidas y no puedan ocasionar daños materiales y estructurales en un puente. La metodología empleada es la adecuada porque se logró determinar que existe socavación en los pilares por la velocidad del río lo cual puede ocasionar inestabilidad en los pilares y a futuro ocasionar desmoronamiento del puente en análisis.

CONCLUSIONES

La oxigenación con MNB tiene efecto positivo en la Al efectuar evaluaciones y registrar la situación presente del puente, se distinguió las condiciones que indican fallas potenciales como el fenómeno de socavación y se definirá a tiempo las medidas correctivas, a lo que se concluye que el caudal de diseño apropiado es tomando como referencia un periodo de retorno de 500 años, a lo que se obtuvo un caudal de 751.1 m/s, tirante del flujo de 1.8307, número de Froude 0.7558, velocidad de 3.2m/s, con dichos datos establecidos se estimará la profundidad del efecto de socavación hidráulica.

Al aplicar el método de HEC - RAS se estableció la profundidad de socavación hidráulica en los pilares del puente Unocolla de la ciudad de Juliaca, Puno,

dando como resultados las profundidades de socavación en los cuatro pilares que componen el puente Unocolla a lo que tomando como referencia el periodo de retorno de 500 años se dedujo que a más años de periodo de retorno más profunda es la socavación en dicho puente, obteniendo los siguientes resultados, la socavación en el primer pilar es de 1.200 m, en el segundo pilar es de 2.460 m, en el tercer pilar es de 1.200 m y en el cuarto pilar es de 1.200 m. La alternativa que se propone y disminuirá la profundidad de socavación local es la de colocar enrocados alrededor de los pilares.

Haciendo los cálculos correspondientes se determinó que el tamaño promedio de piedra es de 0.35 cm a lo que se excavará 120 cm, que es un poco más de 3 veces el diámetro de la roca, siendo el ancho de la pila 0.50 m se colocará el enrocado 1.50 m alrededor de la pila siendo las especificaciones mínimo 2 veces el ancho de la pila.

| Hydrologic Element | Drainage Area (KM2) | Peak Discharge (M3/S) | Time of Peak | Volume (MM) |
|--------------------|---------------------|-----------------------|------------------|-------------|
| Subcuenca Unocolla | 314,54 | 751,1 | 15ene2019, 15:05 | 40,88 |
| Puente Unocolla | 314,54 | 751,1 | 15ene2019, 15:05 | 40,88 |

Figura 1. Cálculo Q (caudal) - Periodo de retorno 500 años

Fuente. Elaboración propia.

Datos:

- Caudal (Q): 751.1 m³/s
- Ancho de solera (b): 128 m
- Talud (Z): 0.105
- Rugosidad (n): 0.045
- Pendiente (S): 0.0096 m/m

Resultados:

- Tirante normal (y): 1.8307 m
- Área hidráulica (A): 234.6793 m²
- Espejo de agua (T): 128.3844 m
- Número de Froude (F): 0.7558
- Tipo de flujo: Subcrítico
- Perímetro (p): 131.6815 m
- Radio hidráulico (R): 1.7822 m
- Velocidad (v): 3.2009 m/s
- Energía específica (E): 2.3528 m·kg/kg

Cuidado velocidad erosiva

Figura 2. Tirante determinado para un periodo de retorno de 500 años

Fuente. Elaboración propia

Artículo de revisión

Volumen 3, Número 1, enero - junio, 2022
 Recibido: 02-01-2022, Aceptado: 15-03-2022

<https://doi.org/10.47797/llamkasun.v3i1.85>



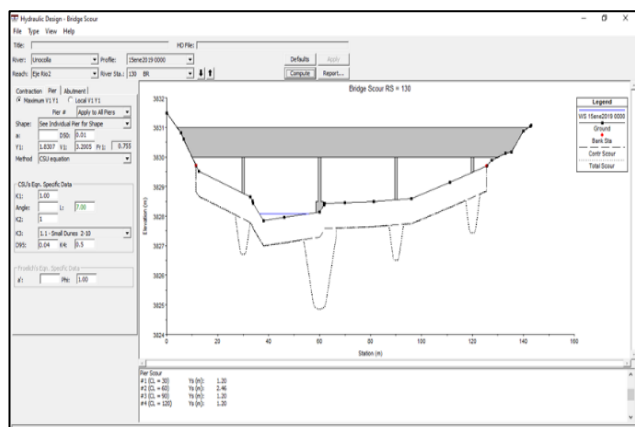


Figura 3. Proceso de simulación de socavación hidráulica para un periodo de retorno de 500 años
Fuente. Elaboración propia

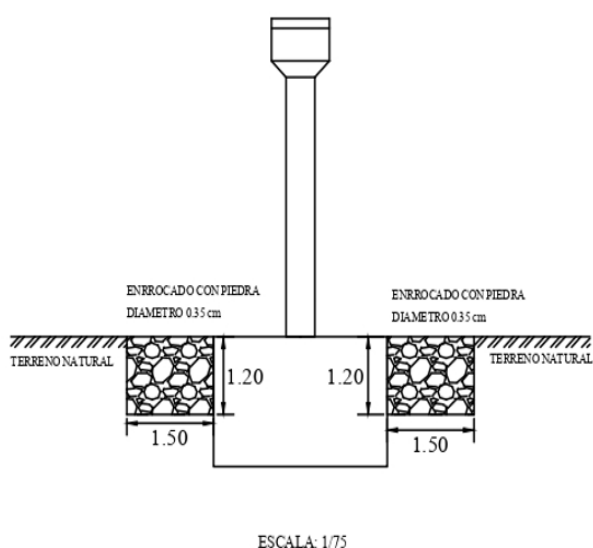


Figura 4. Elevación lateral. Propuesta de enrocado.
Fuente. Elaboración propia

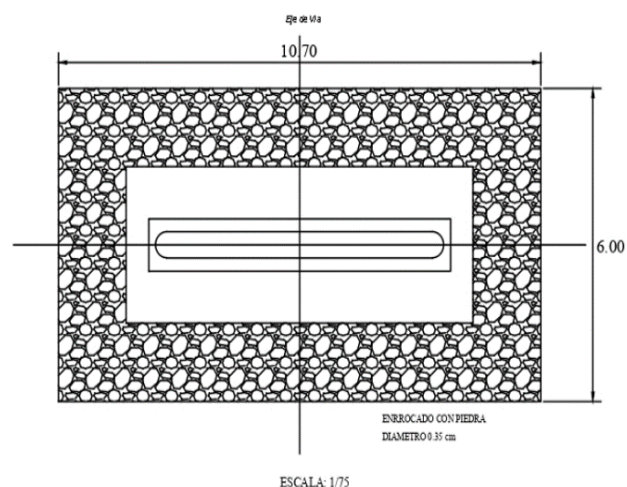


Figura 5. Plano en planta. Propuesta de enrocado.
Fuente. Elaboración propia

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Apolinario, L., & et al. (2017). Regionalización de Caudales Mensuales en la Región Hidrográfica del Titicaca, Perú. *Rev. Investigaciones Altoandinas*, 219-230.
- [2] Borja, M. (2012). Metodología de la investigación científica para ingenieros. Lima.
- [3] Enciso, P. (2015). Estudio hidráulico y estimación de socavación en el puente interconexión Muyurina - Ayacucho. Ayacucho: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- [4] Reyes, T., & Asis, M. (2020). Modelos de pronóstico de caudales mensuales en el río Shullcas (Huancayo - Perú) con redes neuronales artificiales. *Aporte Santiaguino*, 222-236.
- [5] Rocha, A. (mayo de 2014). doi:<https://www.researchgate.net/publication/315737339>
- [6] Rodríguez, R., & Yataco, G. (2021). Comparación de los modelos numéricos 1D y 2D en el análisis de socavación total en el puente Huallaga. Lima: Departamento de Biblioteca - Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- [7] Sandoval, W., & Aguilera, E. (2014). Determinación de caudales de cuencas con poca información hidrológica. *Revista Ciencias Unemi*, 100-110.
- [8] Soberón, A. (2015). Rastreo de la crecida máxima registrada en el río Biobio, aplicado a la verificación hidráulica del puente Llacolén, región del Biobio, Chile. Santiago de Chile: Universidad de Chile.