

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



Una Institución Adventista

Evaluación de la socavación en la cimentación de estribos de puentes ubicados en lechos no cohesivos con HEC-RAS

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Bach. Emely Dolores Mendoza Huamantupa

Asesor:

Ing. Ferrer Canaza Rojas

Lima, setiembre de 2021

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD DE LA TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Ing. Ferrer Canaza Rojas, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura,
Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: “**EVALUACIÓN DE LA CIMENTACIÓN EN LA SOCAVACIÓN DE ESTRIBOS DE PUENTES UBICADOS EN LECHOS NO COHESIVOS CON HEC-RAS**” constituye la memoria que presenta la **Bach. Emely Dolores Mendoza Huamantupa** para aspirar al título profesional de Ingeniero Civil, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección. Se ha desarrollado de manera íntegra, respetando derechos intelectuales de las personas que han desarrollado conceptos mediante las citas en las cuales indican la autoría, y cuyos datos se detallan de manera más completa en la bibliografía.

Las opiniones y declaraciones en este trabajo de investigación son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución. En virtud de esta declaración y estando de acuerdo, firmo la presente declaración.

Lima, 17 de Setiembre de 2021.



Ing. Ferrer Canaza Rojas
Asesor de la Investigación

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los **14** día(s) del mes de **setiembre** del año 2021 siendo las **11:00 horas**, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Mg. Leonel Chahuares Paucar**, el secretario: **Ing. Reymundo Jaulis Palomino** y los demás miembros: **Ing. David Díaz Garamendi** y el asesor **Ing. Ferrer Canaza Rojas**, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Evaluación de la Socavación en la Cimentación de Estribos de Puentes Ubicados en Lechos No Cohesivos con HEC-RAS"

.....de el(los)/la(las) bachiller/es: a)..... **EMELY DOLORES MENDOZA HUAMANTUPA...**

.....b)

.....conducente a la obtención del título profesional de

.....**INGENIERO CIVIL**.....
(Nombre del Título Profesional)

con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): **EMELY DOLORES MENDOZA HUAMANTUPA**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
	16.33	B	BUENO	MUY BUENO


Candidato (b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente
Mg. Leonel
Chahuares
Paucar



Secretario
Ing. Reymundo
Jaulis Palomino

Asesor
Ing. Ferrer Canaza
Rojas

Miembro
Ing. David Diaz
Garamendi

Miembro

Candidato/a (a)
Emely Dolores
Mendoza
Huamantupa

Candidato/a (b)

DEDICATORIA

Al guía de cada uno de mis pasos hasta esta meta, Dios; a los grandes amores mi vida, mi familia, amigos y a ti querido Iván, por el apoyo incondicional en cada una de las expresiones posibles; a mi asesor, por su paciencia, dedicación y entrega. Finalmente, a mí, por tanto y por todo.

“Clama a mí y yo te responderé, y te enseñaré cosas grandes y ocultas que tú no conoces”

Jeremías 33:3

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haberme permitido este logro, por su amor infinito y por seguir demostrándome su bondad en cada etapa de mi vida.

A mis padres, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, por su apoyo incondicional, por sus consejos, por sus cuidados, por sus oraciones, por cada acción que contribuyó en mi formación; gracias papá y gracias mamá.

A la empresa KINCAR S.A.C., por hacerme parte de ellos, por permitirme realizar este proyecto que tuvo origen y desarrollo dentro de la entidad, por contribuir en mi formación profesional, asimismo, a sus representantes legales, por sus disposiciones, por sus exigencias, por sus consejos y recomendaciones, sobre todo, por el cariño y la consideración que he recibido.

A PRONABEC, por haberme brindado la oportunidad de estudiar esta carrera profesional.

A la Universidad Peruana Unión, mi casa de estudios, por cada una de sus enseñanzas y por haber sido el enlace de la cercanía de Dios en mi vida.

A mi asesor, el Ing. Ferrer Canaza Rojas, por su entera disposición, por compartir sus conocimientos y por todo el apoyo en cada paso del desarrollo de este proyecto.

A los docentes, a cada uno de ellos desde el primero hasta el décimo ciclo de la carrera, porque aportaron su conocimiento, experiencia y paciencia en mi formación profesional, fueron cada ingrediente de lo que ahora soy profesionalmente.

ÍNDICE

RESUMEN.....	4
ABSTRACT.....	4
INTRODUCCIÓN.....	5
1. METODOLOGÍA.....	6
1.1. Reconocimiento de la zona de estudio.....	6
1.2. Socavación en la Cimentación de Estribos de Puentes Ubicados en Lechos no Cohesivos.....	8
2. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	9
2.1. Topografía del Lecho.....	9
2.2. Muestreo y Caracterización del Material del Lecho del Río.....	9
2.3. Determinación de Caudales Máximos.....	11
2.4. Socavación en Puentes.....	11
2.4.1. Socavación General.....	11
2.4.2. Socavación Local.....	12
2.5. Modelamiento en el HEC-RAS.....	13
3. CONCLUSIONES.....	15
REFERENCIAS.....	16

EVALUACIÓN DE LA SOCAVACIÓN EN LA CIMENTACIÓN DE ESTRIBOS DE PUENTES UBICADOS EN LECHOS NO COHESIVOS CON HEC-RAS

EVALUATION OF SCOUR IN THE FOUNDATION OF ABUTMENTS OF BRIDGES LOCATED IN NON-COHESIVE BEDS WITH HEC-RAS

Emely Dolores, Mendoza Huamantupa
Bachiller en Ingeniería Civil
Universidad Peruana Unión
Lima, Perú
emelymendoza@upeu.edu.pe

RESUMEN

En el presente artículo se presenta el proceso que se realiza para poder determinar la socavación en el estribo de un puente, que se encuentra ubicado en una quebrada cuyo lecho presenta un material no cohesivo. El estudio incluye desde la toma de datos que se realiza en campo, el procesamiento de los datos obtenidos, los ensayos que se realizan en el laboratorio de suelos para la caracterización del material presente en el cauce, la determinación de las características hidrológicas, los cálculos de la socavación general y local, los procedimientos de la modelación en el software HEC RAS y los análisis de los resultados. Desde un enfoque amplio de diferentes situaciones, nacional e internacional, se evalúan las diferentes situaciones que pueden generar daños en una estructura, se muestran imágenes, fotografías y planos que permiten tener una visualización real de la problemática del puente KM 14+229.87 que forma parte de la integración vial de la Red Nacional EMP. PE-26A (Toyoc - Castrovirreyna) en el Perú, con el fin de contribuir a la conservación y el buen funcionamiento de las estructuras.

Palabras clave: Estribo, socavación, lecho, puente, no cohesivo.

ABSTRACT

This article presents the process that is carried out to determine the undercut in the abutment of a bridge, which is located in a ravine whose bed has a non-cohesive material. The study includes from the data collection that is carried out in the field, the processing of the data obtained, the tests that are carried out in the soil laboratory for the characterization of the material present in the channel, the determination of the hydrological characteristics, the calculations of general and local scour, the procedures of the modeling in the HEC RAS software and the

analysis of the results. From a broad approach to different situations, national and international, the different situations that can generate damage to a structure are evaluated, images, photographs and plans are shown that allow a real visualization of the problems of the km 14 + 229.87 bridge that is part of the of the road integration of the national emp network. Pe-26a (toyoc - castrovirreyna) in peru, in order to contribute to the conservation and proper functioning of the structures.

Keywords: abutment, scour, bed, bridge, non-cohesive.

INTRODUCCIÓN

Mediante un análisis de la socavación en cauces naturales, existen dos maneras de generar una variación en la morfología de un cauce pudiendo generar la socavación o en el peor de los casos el colapso de la estructura (puente), siendo estos, la acción de fenómenos fluviales o hidrológicos (crecidas) y la intervención humana (implantación de obras) [1].

Según estadísticas de fuentes mundiales y nacionales indican que la mayoría de puentes fallan por razones hidráulicas, producido principalmente por la socavación hidráulica. Si bien existen y se van desarrollando metodologías apropiadas para el cálculo de las profundidades de socavación, la problemática se mantiene hasta la actualidad, más aún en el Perú [2].

Un estudio sobre la evaluación de las causas de colapso en sesenta y tres (63) puentes de Colombia, concluye que el 70% son producidos por fenómenos hidráulicos, tales como socavación y avalanchas [3]. En el mismo país, un análisis realizado sobre la evolución de daños a 1995 puentes, indican que uno de los problemas principales de los puentes en Colombia es la socavación [4].

Además, un informe basado en el análisis de problemas hidráulicos y contramedidas en 224 puentes, divididos entre 27 estados estadounidenses y 3 provincias canadienses; se detalla minuciosamente las características de las contramedidas que utilizaron cada uno de los sitios para reducir las pérdidas de puentes atribuibles a la socavación y la erosión de los bancos. Los cuales reflejan 100 casos con problemas en los pilares, 80 en estribos; específicamente con problemas de socavación se detallan 50 casos con socavación local y 55 con socavación general. Se menciona además que la contramedida más utilizada desde aproximadamente el año 1920 en adelante es el RipRap [5]. Otro estudio sobre el tema detalla que en Estados Unidos, la socavación ha sido identificada como la causa más común de fallo de puentes de carreteras. Se analizaron las causas de colapso de más de 500 puentes en el país entre los años 1989 y 2000, determinándose que el 53% de los fallos fueron debidos a la socavación [7].

En el Perú, el colapso de puentes es un riesgo inminente, siendo un evento que ha sucedido en muchas ocasiones debido a diversos factores, teniendo como causa principal las crecidas de caudal en ríos (avenidas), las cuales usualmente son potenciadas por el fenómeno de "El Niño". Un caso ejemplar es el Puente "Cascajal" (Lambayeque), que fue rehabilitado debido a que sufrió socavación y asentamiento del primer pilar de la margen izquierda durante el fenómeno del Niño

del año 1983, detallado en una investigación sobre fallas hidráulicas en puentes [6].

El Puente “KM 14+229.87” (en estudio) es una estructura de gran importancia que forma parte de la integración vial de la Red Nacional EMP. PE-26A (Toyoc - Castrovirreyna), es decir, si el puente llegara a presentar algún daño estructural o cualquier otro que impida su funcionamiento se restringiría muchos aspectos sociales; afectando directamente a la población. Teniendo esto en consideración, se puede asegurar que los puentes hacen parte principal de las obras de infraestructura del país, por lo tanto, es importante asegurar su conservación y buen funcionamiento.

El objetivo de la investigación es evaluar la socavación general y local en puentes, detallando los principales aspectos de la toma de datos en campo, aquello que permite determinar las características físicas del lecho y el estrato en la cimentación del estribo, analizando el comportamiento y características del flujo en la estructura del puente desde un punto de vista hidrológico mediante la topografía y los ensayos de suelos y finalmente discutiendo los cálculos y resultados de la evaluación de la socavación general y local del estribo izquierdo del puente “KM 14+229.87” mediante los métodos empíricos de Lischtvan-Levediev y Artamonov y el Software HEC-RAS v 5.0.7.

1. METODOLOGÍA

1.1. Reconocimiento de la zona de estudio

El estudio se realizará en la progresiva 14+229.87 de la Red Nacional EMP. PE-26A (Toyoc - Castrovirreyna). Se encuentra ubicado en el distrito de Huachos, provincia de Castrovirreyna – región Huancavelica (Fig. 1). El Puente “Km 14+229.87” de 21.13m de longitud total, es de superestructura viga-losa de concreto armado, se encuentra apoyado sobre dos estribos de gravedad de concreto simple, ambos sobre zapatas de la misma característica, en la (Fig.2) se puede observar en la imagen superior una vista general del puente desde aguas abajo y en la parte inferior se muestra los estribos derecho e izquierdo de la estructura.

La cimentación del estribo derecho se ubica sobre una enorme roca al borde del lecho de río; mientras que el estribo izquierdo (elemento estructural en estudio), se encuentra cimentado directamente sobre el lecho de río, sobre material visualmente granular (Fig. 2).

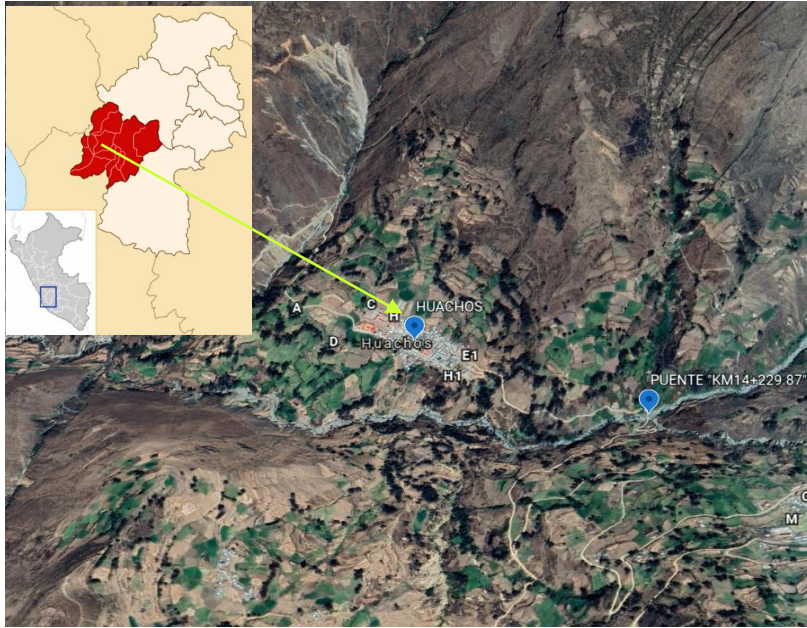


Fig. 1: Ubicación Geográfica de la zona de estudio
Fuente: Elaboración propia



Fig. 2: Visualización general de la estructura (Puente KM 14+229.87)
Fuente: Elaboración propia

1.2. Proceso metodológico para la evaluación de la socavación en la cimentación de estribos de puentes ubicados en lechos no cohesivos

El estudio presenta un proceso metodológico que se indica en la (Fig.3), que en resumen consta de 04 partes fundamentales que permitirán llegar al objetivo de la investigación.

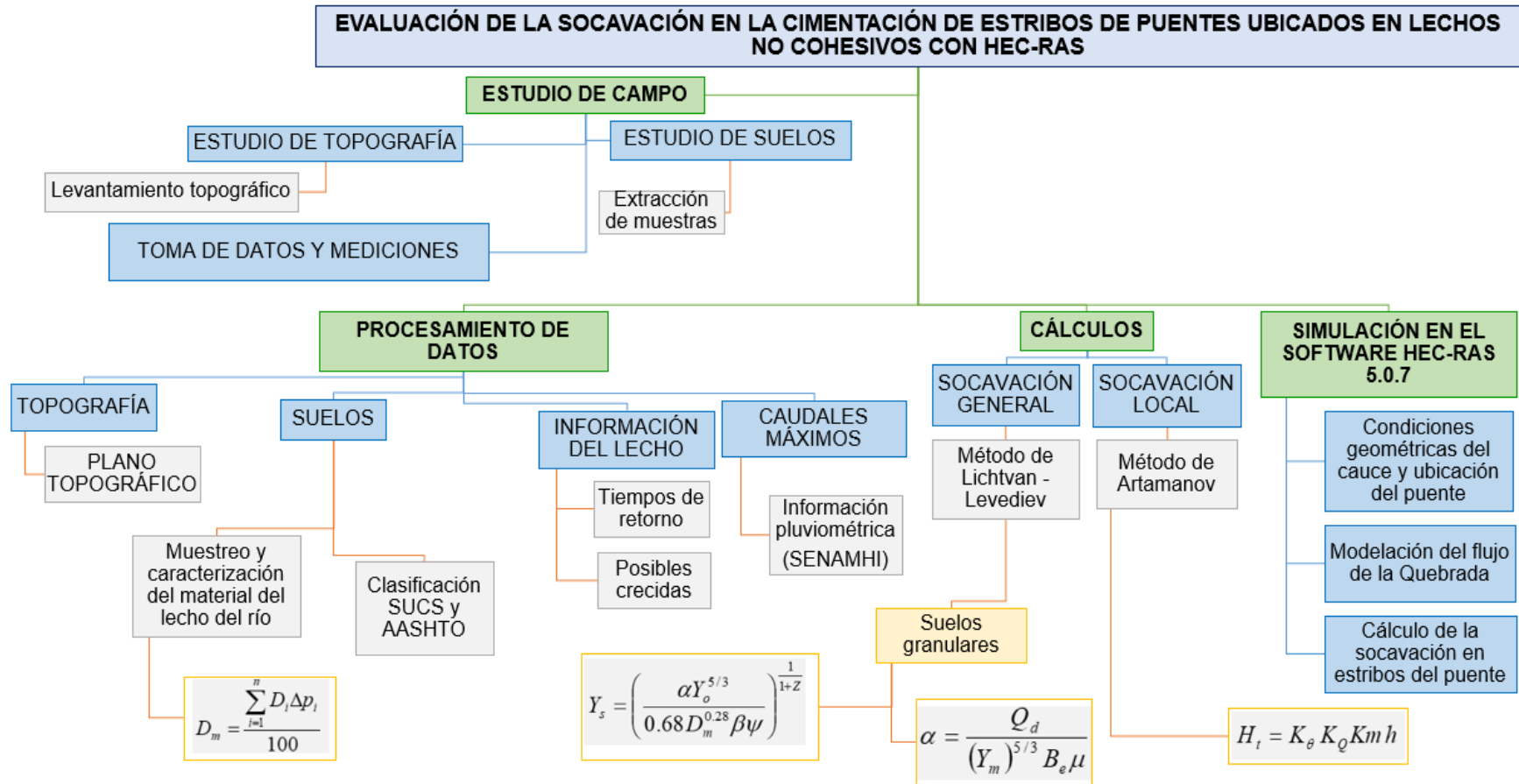


Fig. 3: Diagrama de flujo de la metodología utilizada para el cálculo de la socavación en estribos de puentes ubicados en lechos no cohesivos
Fuente: Elaboración propia

2. RESULTADOS Y ANÁLISIS

2.1. Topografía del lecho

El levantamiento topográfico fue realizado según lo indicado en el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje (pag.88) [8]. Considerando que el puente se encuentra ubicado en una quebrada, con pendientes pronunciadas, se tomarán en cuenta esta indicación, como se muestra en la (Fig. 4).

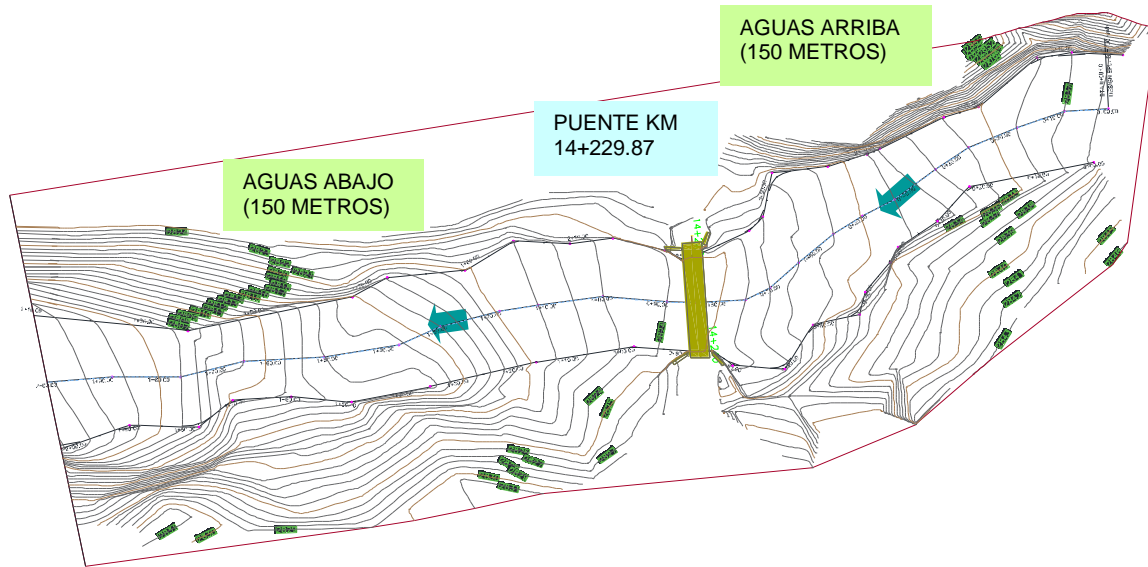


Fig. 4: Plano topográfico de la Quebrada S/N
Fuente: Elaboración propia

2.2. Muestreo y caracterización del material del lecho del río

Se desarrolló acorde a lo establecido en el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje acápite a.3) [8-1]. Mediante la siguiente relación “Ecuación (1)”:

$$D_m = \frac{\sum_{i=1}^n D_i \Delta p_i}{100} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde, D_i : Es el tamaño de la partícula en que el $i(\%)$ indica el porcentaje en peso de las fracciones de las partículas cuyo tamaño es menor o igual a ese diámetro D_i . Además, p_i : Es el porcentaje en peso del material cuyo tamaño cae dentro del intervalo cuya marca de clase es D_i , par $i=1 \dots n$ intervalos.

En ese sentido, se realizaron los ensayos y cálculos para poder obtener el diámetro medio de cada muestra obtenida, cuyos resultados luego se haberlos representado en la curva granulométrica, se muestran en la (Tabla 1).

Tabla 1: Dm de las muestras del lecho de río

PUENTE KM 14 + 229.87	Dm				
	CALICATA 1	CALICATA 2	CALICATA 3	CALICATA 4	PROMEDIO
	13.42	8.87	9.27	8.22	9.95

Fuente: Elaboración propia

Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado (MTC E107)

El presente ensayo se realizó según se indica en la sección MTC E107 del Manual de Ensayo de Materiales [10].

El análisis granulométrico de suelos tiene como objetivo principal, la clasificación de los estratos que conforman la muestra, es decir, se considera la textura y el tamaño de las partículas del suelo. Está basado, además, de los límites líquido y plástico en el índice de grupo en el cual se van clasificando debido a las características antes mencionadas [11-1]. En la (Tabla 2), se encuentra la clasificación SUCS y AASHTO de las muestras que representan esta investigación (07 en total).

Tabla 2: Clasificación SUCS Y AASHTO de las muestras

CALICATA	MUESTRA	PROF. (m)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LÍMITES		CLASIFICACIÓN	
				LL	LP	SUCS	AASHTO
1	M1 CAUCE A. ARRIBA	0.00 - 0.35	1.16	NP	NP	Arena mal graduada con grava SP	A-1-a Fragmentos de roca, grava y arena
2	M2 CAUCE A. ARRIBA	0.00 - 0.35	1.16	NP	NP	Arena mal graduada con grava SP	A-1-a Fragmentos de roca, grava y arena
3	M3 CAUCE A. ABAJO	0.00 - 0.35	3.92	NP	NP	Grava mal graduada con arena GP	A-1-a Fragmentos de roca, grava y arena
4	M4 CAUCE A. ABAJO	0.00 - 0.35	5.12	NP	NP	Grava bien graduada con arena GW	A-1-a Fragmentos de roca, grava y arena
5	M5 - 1 ESTRIBO IZQUIERDO	0.00 - 0.40	3.43	NP	NP	Grava bien graduada con arcilla y limo con arena GW GC	A-1-a Fragmentos de roca, grava y arena
	M5 - 2 ESTRIBO IZQUIERDO	0.40 - 1.40	5.91	NP	NP	Grava bien graduada con arcilla y limo con arena GW GC	A-2-4 Grava y arena arcillosa o limosa
6	M6 ESTRIBO DERECHO	0.00 - 1.40	1.18	NP	NP	Grava bien graduada con arena GW	A-1-a Fragmentos de roca, grava y arena

Fuente: Elaboración propia

2.3. Determinación de caudales máximos

Se recurre a la información pluviométrica, en este caso Precipitación Máxima de 24 horas. La información citada fue obtenida de los archivos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) de los años 1981-2017, obteniéndose la precipitación mínima, media y máxima; como se muestra en la (Tabla 3).

Tabla 3: Registro de precipitación máxima de 24 horas – Estación Huachos

Precipitación Máxima en 24 horas (mm)													
Estación:	HUACHOS			Altitud(msnm):	2744		Coord. UTM						
Distrito:	HUACHOS			Latitud S:	13° 13' S		E:						
Provincia:	CASTROVIRREYNA			Longitud W:	75° 32' W		N:						
Departamento:	HUANCAVELICA			Operador:	SENAMHI		Zona: 18						
AÑO	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Máxima
Media	17.9	18.8	18.7	9.1	1.4	0.2	0.0	0.6	1.1	2.4	5.9	11.3	25.2
Máximo	38.5	37.5	85.27	22.5	9.0	3.2	1.2	8.2	7.3	12.6	20.2	24.6	85.27
Mínimo	5.5	0.0	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.2

Fuente: SENAMHI

2.4. Cálculo de la socavación

2.4.1. Socavación general

Método de Lischtván – Levediev

Es el más usado en nuestro país para el cálculo de la socavación general incluyendo el efecto de la contracción de un puente.

Para Suelos Granulares

Las expresiones para evaluar la socavación general en suelos granulares son las siguientes, según Maza [15]:

$$Y_s = \left(\frac{\alpha Y_o^{5/3}}{0.68 D_m^{0.28} \beta \psi} \right)^{\frac{1}{1+Z}} \quad \text{Ecuación (2)}$$

$$\alpha = \frac{Q_d}{(Y_m)^{5/3} B_e \mu} \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde: Y_s : profundidad al pie del estribo debido a la socavación, Y_o : tirante antes de la erosión siendo igual a 1.65m, Y_s, Y_o : Se miden en cada sección vertical donde se desea hacer el cálculo, Y_m : Tirante medio medido entre la superficie del agua al pasar la avenida y el fondo original. Se obtiene de dividir el área hidráulica entre el ancho de la superficie libre B_e , B_e : Ancho libre de la superficie en la sección transversal, Q_d : Caudal del diseño, D_m : Diámetro medio;

si el material del fondo es friccionante, z : Exponentes en función de D_m o Y_s según el tipo de material del fondo, de acuerdo al diámetro medio de las partículas del material presente en el lecho, tomando el valor de 0.34, ψ : Coeficiente que depende de la concentración del material transportado en suspensión, β : Coeficiente, depende del período de retorno del gasto de diseño, tomándose el valor igual a 1.00 y μ : Coeficiente que depende de la contracción del cauce, de acuerdo a la velocidad en la sección y la luz libre del puente, considerándose el valor de 0.92. Finalmente, se consideran el periodo de retorno igual a 500 años y 85.27m³/seg como caudal de diseño (Tabla 3).

Entonces:

$$Y_s = 3.52 \text{ m}$$

Considerando que $Y_0 = 1.65$

ds = profundidad de socavación respecto al fondo del cauce

$$ds = 1.87 \text{ m}$$

Asumimos

$ds = 1.90 \text{ m}$

2.4.2. Socavación Local

Método de Artamonov

Este método permite determinar la profundidad de socavación que se produce al pie de estribos [8-3], mediante la expresión "Ecuación (4)".

$$H_t = K_\theta K_Q Km h \quad \text{Ecuación (4)}$$

Donde, H_t : tirante incrementado al pie del estribo debido a la socavación, K_θ : Coeficiente que depende del ángulo que forma la corriente con el eje longitudinal del puente, tomando el valor de 0.99, K_Q : Coeficiente que depende de la relación entre el gasto teórico interceptado por el estribo Q_1 o Q_2 y el caudal total que escurre por la sección transversal $\frac{Q_1}{Q}$, tomando el valor de 2.0; Km : Coeficiente que depende del talud que tienen los lados del estribo, considerándose igual a 1.00 y h : Tirante de agua en la zona cercana al estribo antes de la socavación, siendo igual a 1.78m.

Entonces,

$$H_t = 3.52 \text{ m}$$

Considerando que $h = 1.78$

S_0 = profundidad de socavación respecto al fondo del cauce

$$S_0 = 1.74 \text{ m}$$

Asumimos

$S_0 = 1.70 \text{ m}$

2.5. Modelamiento en el HEC-RAS [16]

El presente estudio fue trabajado mediante el software HEC RAS versión 5.0.7 (2019). En las siguientes imágenes, los pasos del modelamiento y cálculo de la socavación en el software.

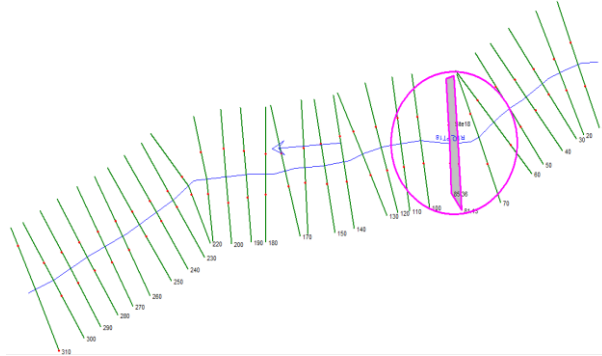


Fig. 7: Condiciones geométricas del cauce y ubicación del puente KM 14+227.89

Fuente: Elaboración propia en el software HEC RAS 5.0.7.

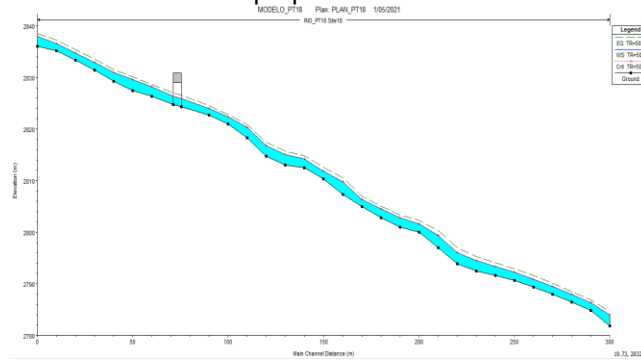


Fig. 8: Perfil longitudinal del cauce de la Quebrada S/N

Fuente: Elaboración propia en el software HEC RAS 5.0.7.

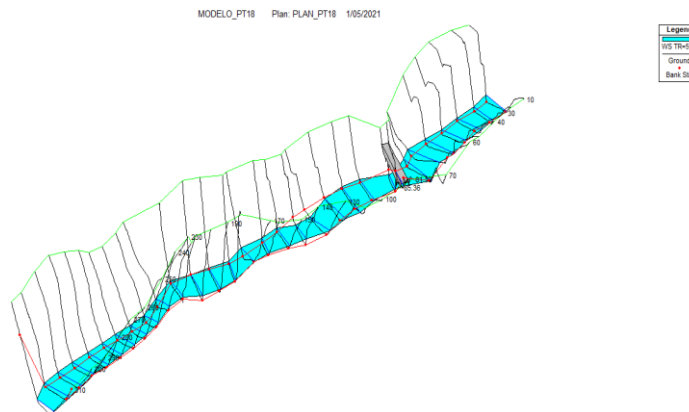


Fig. 9: Modelación del flujo de la Quebrada S/N

Fuente: Elaboración propia en el software HEC RAS 5.0.7.

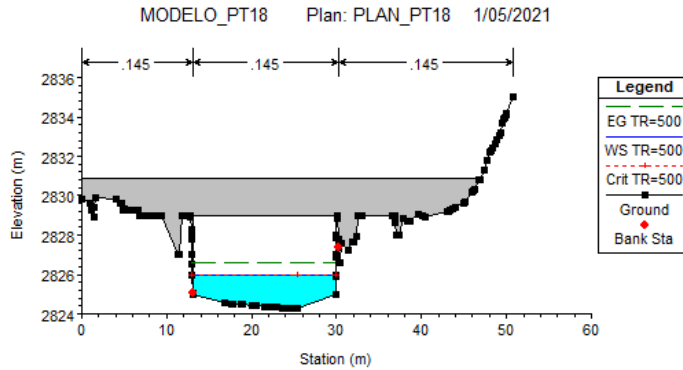


Fig. 10: Sección transversal del cauce a la altura del PUENTE KM 14+229.87

Fuente: Elaboración propia en el software HEC RAS 5.0.7.

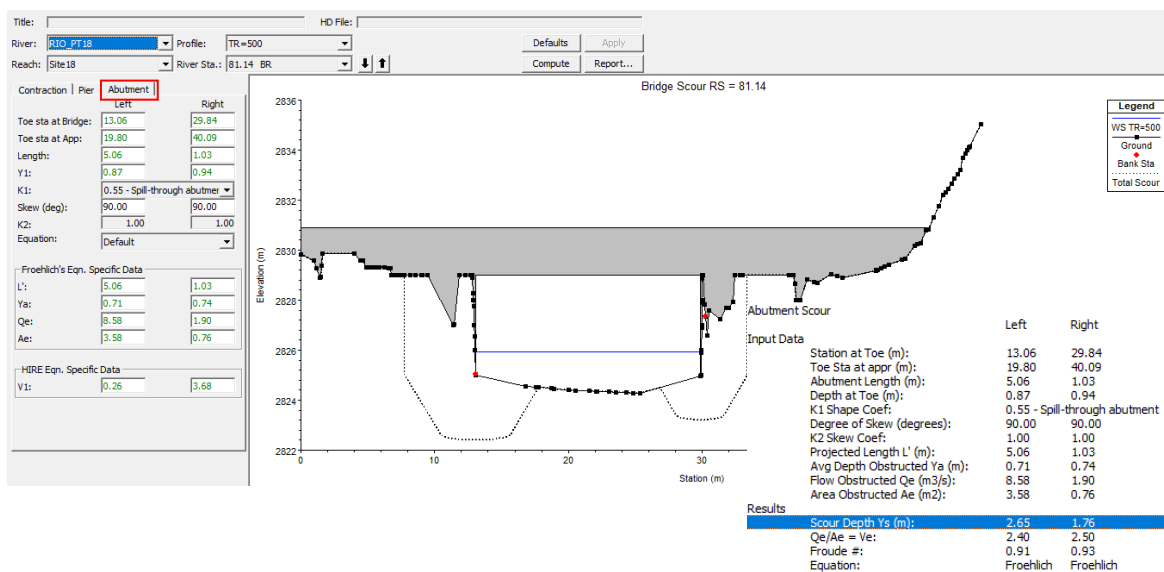


Fig. 11: Cálculo de la socavación en estribos del puente KM 14+227.89

Fuente: Elaboración propia en el software HEC RAS 5.0.7.

La propuesta de la metodología para la estimación de la socavación a través del software HEC-RAS se asemeja mucho a la de otros estudios con el mismo fin, mencionando entre ellos a Barbosa S.[18] en su investigación sobre la metodología para calcular la profundidad de socavación general en ríos de montaña (lecho de gravas) en Colombia y al estudio realizado por Laurente C. & Salvador S. en Perú, ambos direccionados en el uso de este software, presentando un procedimiento similar sino igual al del presente estudio.

Del modelamiento en el software HEC RAS 5.0.7, se pueden obtener el cálculo de la socavación por contracción, en pilares y en estribos, en este caso la socavación en el estribo izquierdo del puente KM 14+229.87 es de 2.65m, ver (Fig. 11) y (Fig. 12). De la misma manera se ve reflejado un resultado similar en el estudio realizado por Alarcón T. & Ramírez G.[18], que consta en el análisis del fenómeno de socavación en diferentes puentes, quienes obtienen los cálculos de la socavación por contracción, local y en pilas para diferentes periodos de retorno,

siendo una ventaja que ofrece este software que es la simulación de escenarios, la adecuación de parámetros para diferentes escenarios, entre otros. Permitiendo una amplia interpretación de los resultados.

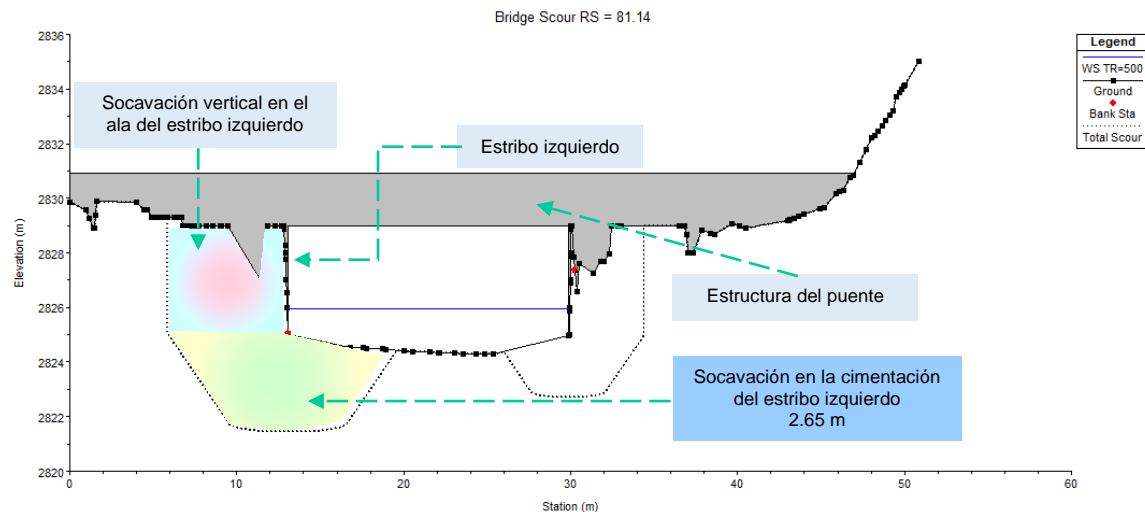


Fig. 12: Análisis de los resultados del cálculo de la socavación en el estribo izquierdo del puente KM 14+229.84

Fuente: Elaboración propia

3. CONCLUSIONES

La socavación general consiste entonces en la disminución generalizada del fondo por el aumento del arrastre de sedimentos debido al incremento de la capacidad de flujo (crecidas), mientras que la socavación local es producida por estrechamientos o estructuras que interfieran en la corriente del flujo.

Los principales parámetros que influyen en la socavación sea general o local son las condiciones de borde del lecho, ancho del cauce, topografía del cauce y pendiente.

El comportamiento del flujo y los daños que éste puede causar a una estructura, dependen mucho de la topografía del terreno se puede decir que una crecida del cauce natural en una quebrada puede presentar más daños que en un río con pendientes casi nulas.

Se realizó solo el cálculo o estimación de la socavación en la cimentación del estribo izquierdo, porque el estribo derecho se encuentra cimentado sobre roca, el cual presenta probabilidades casi nulas de socavación.

La diferencia de valores correspondientes a la socavación local o socavación al pie de estribos, calculados mediante el método empírico de Artamonov y el resultado del HEC RAS, varían debido a que el software ejecuta los cálculos con el método de Froehlich, que es un cálculo de la socavación en agua clara y en lecho móvil, como es el caso en estudio.

REFERENCIAS

- [1] Toapaxi, G. H. (2015). Análisis de la Socavación en Cauces Naturales. Revista Politécnica, 11.
- [2] Cáceres, C. F. (2014). Análisis de la socavación hidráulica en puentes. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Doi: 10.4067/SO718-50732013000100003
- [3] Muñoz, E. (2014). Estudio de las causas del colapso de algunos puentes en Colombia. Colombia.
- [4] Edgar Muñoz, & Daniel Gomez. (2011). Análisis de la evolución de los daños en los puentes de Colombia. Ingeniería de Construcción RIC, 26
- [5] Brice, J., & Blodgett, J. (1979). Countermeasures for Hydraulic Problems at Bridges. Washington, D.C. 20509: Federal Highway Administration.
- [6] Thomas Ernesto Alarcón Llaja, & Gabino Alberto Ramírez Arones. (2016). Investigación de la falla hidráulica del puente Bella Unión para el análisis comparativo de costos de falla y costos de prevención, brindando lineamientos para el análisis del fenómeno de socavación en otros puentes. Lima, Perú: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- [7] IDVIA. (29 de Abril de 2020). IDVIA ingeniería. Obtenido de La socavación y su relación con el colapso de los puentes: <https://www.idvia.es/la-socavacion-y-su-relacion-con-el-colapso-de-los-puentes>
- [8] Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje. Lima: MTC.
- [9] Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). Manual de Ensayo de Materiales. Lima: MTC.
- [10] Das, B. M. (2001). Fundamentos de la Ingeniería Geotécnica. Cengage Learning Latin Am.
- [11] Guerrero, C. C., & Crus Velasco, L. G. (2017). Estudio experimental de clasificación de suelos derivados de cenizas volcánicas en el suroccidente colombiano con el método SUCS, AASHTO y un nuevo método de clasificación de suelos. Artículos Originales.
- [12] Geoxmet. (04 de Agosto de 2019). Obtenido de Geoxmet: <https://post.geoxnet.com/clasificacion-de-suelos/>
- [13] (2014). Estudio Hidrológico del Río Huallaga (margen derecha) Defens Rivereña desde Afilador, Brisas y Tingo María, Perú. Tingo María. Obtenido

de <https://www.monografias.com/docs111/estudio-hidrologico-fundo-siberia/estudio-hidrologico-fundo-siberia2.shtml>

- [14] Maza J.A. (1967), "Erosión del cauce de un río en el cruce de un puente". Revista Ingeniería Hidráulica en México. vol. 21 - No. 1-2.
- [15] Juarez Badillo, E., & Rico Rodriguez, A. (2018). Fundamentos de la mecánica de suelos, Tomo I. Editorial Limusa S.A.
- [16] Zaldivar Piña, M., & Salinas Tapia, H. (2016). Herramienta computacional para estimar la socavación. -, 10.
- [17] Thomas Ernesto Alarcón Llaja, & Gabino Alberto Ramírez Arones. (2016). Investigación de la falla hidráulica del puente Bella Unión para el análisis comparativo de costos de falla y costos de prevención, brindando lineamientos para el análisis del fenómeno de socavación en otros puentes. Lima, Perú: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- [18] Sebastian, B. G. (2013). Metodología para calcular la profundidad de socavación general en ríos de montaña (lecho de gravas). Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

EVIDENCIA DE SUMISIÓN DEL ARTÍCULO “Evaluación de la Socavación en la Cimentación de Estribos de Puentes Ubicados en Lechos no Cohesivos con HEC-RAS” a la Revista **CIENCIA E INGENIERÍA NEOGRANADINA**

