

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**



**DEFENSA EN PILAS Y ESTRIBOS PARA PUENTES DEBIDO A LOS  
EFECTOS DE EROSIÓN LOCAL Y SOCAVACIÓN**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE  
BACHILLER EN INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**

**AUTOR**

**Romel Willian Farroñan Inoñan**

**ASESOR**

**Hector Augusto Gamarra Uceda**

<https://orcid.org/0000-0002-3653-1394>

**Chiclayo, 2022**

# PROYECTO DE TESINA - USAT

---

## INFORME DE ORIGINALIDAD

---

21%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

---

## FUENTES PRIMARIAS

---

1	<a href="http://astesj.com">astesj.com</a> Fuente de Internet	3%
2	<a href="http://tesis.ucsm.edu.pe">tesis.ucsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	2%
3	<a href="http://tesis.usat.edu.pe">tesis.usat.edu.pe</a> Fuente de Internet	2%
4	<a href="http://www.colibri.udelar.edu.uy">www.colibri.udelar.edu.uy</a> Fuente de Internet	2%
5	<a href="http://es.slideshare.net">es.slideshare.net</a> Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	1%
7	Submitted to Universidad Ricardo Palma Trabajo del estudiante	1%
8	<a href="http://repositorio.uss.edu.pe">repositorio.uss.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%

---

## Índice

Resumen .....	3
Abstract.....	4
Introducción.....	5
1. Marco Teórico .....	6
1.1. Antecedentes del Problema.....	6
1.2. Bases Teórico-Científicas .....	8
1.3. Definición de Términos Básicos .....	22
2. Hipótesis y variables .....	22
2.1. Formulación de la hipótesis .....	22
2.2. Variables – Operacionalización .....	22
2.3. Objetivo General.....	23
2.4. Objetivos Específicos .....	23
3. Diseño Metodológico .....	23
3.1. Tipo de Estudio y Diseño de Contrastación de Hipótesis.....	23
3.2. Población, Muestra de Estudio y Muestreo .....	23
3.3. Métodos, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos .....	24
3.4. Estrategia metodológica para demostración de la hipótesis .....	24
4. Conclusiones .....	26
5. Recomendaciones.....	26
6. Referencias .....	27

## Resumen

Los estudios avanzados en hidráulica de puentes reflejan que es vital disminuir el riesgo de estas importantes estructuras. La mayoría de los colapsos de puentes que han sucedido se debe a la carencia del amplio conocimiento del fenómeno mecánico conocido como erosión local.

Como se sabe los puentes forman parte de una red de comunicación, son estructuras hidráulicas que interactúan con el río por lo tanto deben ser proyectados y diseñado bajo la iteración cauce - estructura, tal que así se provoque la mínima perturbación posible con el lecho fluvial, con bajo costo y cumplan su servicio.

En este trabajo se analiza la evolución temporal del fenómeno de erosión local, socavación alrededor de las pilas y estribos de puentes, además los sistemas de protección existentes que ayudan a mitigar estos efectos.

**Palabras clave:** Erosión local, Socavación, Vórtice, Pilas, Estribos, Puente.

### **Abstract**

Advanced studies in bridge hydraulics show that it is vital to reduce the risk to these important structures. The majority of bridge collapses that have occurred are due to the lack of extensive knowledge of the mechanical phenomenon known as local erosion.

As it is known, bridges are part of a communication network, they are hydraulic structures that interact with the river, therefore they must be projected and designed under the iteration riverbed - structure, in order to cause the minimum possible disturbance to the riverbed, with low cost and fulfill their service.

This paper analyzes the temporal evolution of the local erosion process, scour around bridge piers and abutments, as well as the existing protection systems that help mitigate these effects.

**Keywords:** Local erosion, Scour, Vortex, Piles, Abutments, Bridge.

## **Introducción**

Como bien se conoce, los puentes son estructuras cuya función es salvar un obstáculo de tal manera que se siga dando continuidad a una vía. No obstante, los puentes son muy susceptibles a daños estructurales, ya sea por factores ambientales o por un diseño deficiente. Las fallas de puentes no solo causan costos inesperados, sino también problemas económicos y sociales e incluso pueden provocar la muerte de personas. Mediante esta investigación es fundamental aportar conocimientos de acerca de la defensa de pilas y estribos contra expuestas a erosión y socavación, de los problemas básicos hasta incluso llegar al colapso de estructuras.

Por ejemplo; en el 2009, en un viaducto sobre el estuario Broadmeadow en Holanda, cuando la sección transversal del viaducto cayo 20 m, el puente ferroviario se derrumbó parcialmente. Afortunadamente, no hay heridos ni muertos. Las inspecciones posteriores no mostraron daños a la estructura, lo que indica que la causa del colapso fue la erosión y la erosión del fondo marino. Así mismo pasó con el puente Jorge Gaitan Duran, en Colombia, cuando se Se derrumbó en noviembre de 1996 debido a la socavación en la pila n°2. La solución fue quitar el pilar y construir un puente de acero que permitió cubrir grandes luces.

Para concluir mediante una estimación de la altura de la socavación que se genera en los pilares y estribos de puente, dimensionar correctamente la cimentación de modo de sea segura, durable y económica. Además, proponer sistemas de protección para la infraestructura de un puente para contrarrestar los efectos de erosión producto de avenidas. Por ello en base al MTC, un puente definitivo se diseña para una vida útil mayor a 75 años, son un complemento de una carretera es por ello que este tipo de estructuras deben estar al servicio a las comunidades.

## **1. Marco Teórico**

### **1.1. Antecedentes del Problema**

#### **1.1.1. Antecedentes internacionales:**

TESIS POSGRADO: “EROSIÓN LOCAL EN PILAS DE PUENTES, EVOLUCIÓN TEMPORAL Y ENFOQUE PROBABILÍSTICO”

Guillermo [1] en su investigación destaca que los estudios en hidráulica de puentes avanzados en las décadas remotas que muestran la necesidad de reducir el riesgo de falla en estructuras de puentes. La mayoría de estas patologías que han ocurrido se debe a la falta de conocimiento del complejo fenómeno involucrado en el mecanismo de la erosión local. Por ello los efectos erosión local en que se producen en pilas de puentes es muy alta ya que la interacción existente entre el flujo y el material del lecho río conjuntamente con sus mecanismos de transporte de sedimento origina daño al impactar en la infraestructura. Por otra parte, la problemática de la erosión local de puentes cortos, el elevado número de pequeños puentes en Uruguay, tanto ferroviarios como carreteros, permite pronosticar adecuadamente las alturas por erosión local que se generan y su progreso en el tiempo afectando a la infraestructura de estos puentes. A su vez las metodologías de estimación de la profundidad de erosión local se basan en el método de “superposición” bajo condiciones estacionarias y no estacionarias de flujo, mostrando un resultado que las fundaciones de puentes fallan principalmente durante crecidas de caudales.

ARTICULO: “ESTUDIO DE LAS CAUSAS DEL COLAPSO DE ALGUNOS PUENTES EN COLOMBIA”

Con el estudio 73 casos de puentes, casos registrados desde 1986. Las causas principales que han generado el colapso total o parcial de puentes son por una deficiencia en el diseño estructural, falta de conocimiento de socavación entre otros. El 35% de los puentes estudiados han fallado por socavación de la cimentación de sus pilas y estribos, donde el criterio de cimentación obedece más a la capacidad portante. Los ríos son cambian constantemente de forma, en ello se produce socavación al interactuar el flujo de agua con un obstáculo transportando las partículas en suspensión, por arrastre, etc, entre los daños tenemos asentamiento de pilas y estribos, sedimentación e insuficiente gálibo en [2].

### **1.1.2. Antecedentes nacionales:**

TESIS PREGRADO: “MODELAMIENTO HIDRAULICO PARA EL ESTUDIO DE LA SOCAVACIÓN EN PILARES DE PUENTES Y ANALISIS DE LOS MÉTODOS PARA SU CÁLCULO”

Wilson [3] redacta en su informe de investigación que en la actualidad existe un historial de datos cuantitativos que revela que la razón fundamental del colapso de muchos puentes cimentados sobre lechos de ríos. Como causa primera tenemos la socavación que se genera alrededor de sus apoyos. Es por ello, que pretende determinar un método que permita el cálculo de la profundidad de desgaste del lecho, que se desarrolla generalmente con gran rapidez durante una avenida originada por eventos ordinarios u extraordinarios dentro de una zona específica. Además, da a conocer una variedad de métodos estimativos que ayudan a predecir la profundidad de socavación a la hora de realizar el diseño, de esa manera el proyectista pueda optar entre las muchas por una adecuada cimentación del puente ubicado sobre un río.

Realizo 60 ensayos de socavación, 20 para pilas de sección circular y 40 para pilas de sección alargadas, teniendo en cuenta la influencia de los factores como: forma del pilar, velocidad de flujo, profundidad del flujo, sus condiciones críticas, tamaño del sedimento.

TESIS PREGRADO: “MODELAMIENTO DEL PROCESO DE SOCAVACIÓN LOCAL DE LOS PILARES DE CONCRETO ARMADO DEL PUENTE METÁLICO DE LA CIUDAD DE LLAVE-PUNO”

Rodyn [4] ha argumentado que en la ciudad de Ilave, lugar con importantes vías de comunicación que conectan el sur Puno Desaguadero por medio del puente de estructura tipo reticular. Realizo un análisis completo de ingeniería, estudios topográficos, estudios geotécnicos, estudios hidrológicos e hidráulicas, con la intención de conocer la socavación en pilas y estribos de puentes para distintos periodos de retorno, teniendo en cuenta que los pilares están expuestos a movimiento que pueden causar derrumbes en toda la subestructura. Hace la comparación de métodos empíricos y un modelado de cómputo en Hec-Ras, para determinar con una mejor precisión las alturas y las diferentes características de socavación, con la finalidad de mitigar las fallas de puentes. Los resultados mostraron que a más años de periodo retorno, la profundidad de socavación local en el pilar será mayor, está sujeto a variaciones por ende se debe implementar alternativas de protección para afrontar la socavación en el pilar ayudando así a disminuir el proceso de socavación.

### 1.1.3. Antecedentes locales:

TESIS PREGRADO: CUANTIFICACIÓN DE LOS EFECTOS DE LA EROSIÓN Y SOCAVACIÓN EN LA ESTRUCTURA DE PUENTES Y SU APLICACIÓN EN EL PUENTE DEL RÍO MOTUPE DEL DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

José [5] en su investigación detalla el fin de computar los efectos de erosión y socavación que ocurren pilares de puentes, asimismo un consolidado de la parte estructural, geotécnica, geológica, así como la parte hidráulica van relacionado y son necesarios para evitar fallas en los puentes. Dentro de su trabajo cita autores como Yaroslavtziev (1969) quien toma los siguientes parámetros:

- La velocidad del flujo aguas arriba del pilar.
- El calado de la corriente aguas arriba del pilar (yn), además la socavación general del cauce.
- El ángulo de esviaje respecto a la corriente del río.
- La forma geométrica del elemento estructural sometido a carga axial.
- El diámetro de las partículas del sedimento.
- Del suelo predominante en la zona.

Una de sus conclusiones fue que la erosión local en pilares es de 4.06m computada con los métodos teóricos, verificando este dato con un software de modelamiento hidráulico HEC-RAS obteniendo una profundidad de erosión de 4.04m, es importante para proponer el tipo de cimentaciones a utilizar, ya sea cimentaciones superficiales o profundas con pilotaje.

Presento métodos de protección para mitigar la erosión en pilares de puentes ejemplo las mallas de enrocado, colocándolos alrededor de las pilas. Estos son hechos a base de roca con diámetros de 28 – 30 cm, su ancho de 3.20m y una distancia de 10.95m.

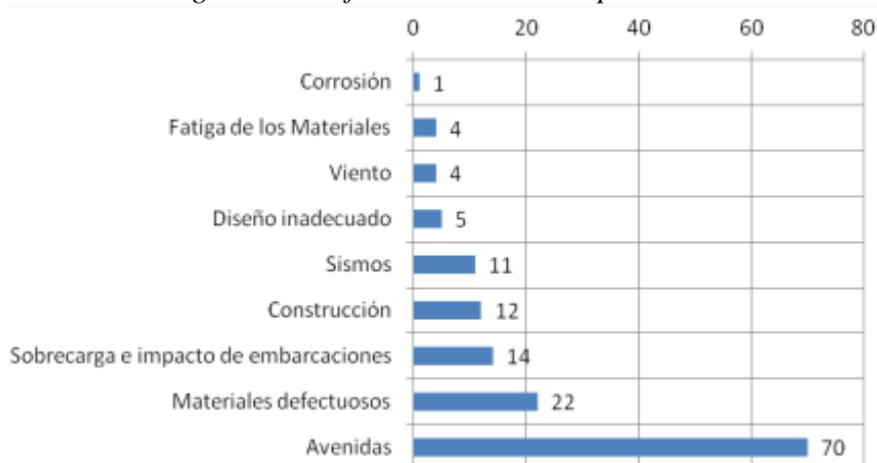
## 1.2. Bases Teórico-Científicas

### 1.2.1. Falla en los Puentes

Arturo [6] explica que existen muchos estudios sobre las causas de las fallas más comunes que ocurren en tipos de puentes de diferentes países. Estas tienen diferente comportamiento según el tipo de puente o de río. Según diversos estudios, las causas más habituales de falla de puentes son:

- Impacto de cuerpos extraños (palizadas, embarcaciones, bloques de hielo y otros).
- Manifestación del Comportamiento fluvial (Socavación y de la dinámica fluvial).
- Acción de la fuerza del viento
- Fuerza e intensidad de sismos

*Figura 4. Las fallas ocurridas en puentes.*



*Fuente: Bridge failures*

### 1.2.2. Comportamiento y degradación fluvial

Los ríos se caracterizan por ser elementos dinámicos en la naturaleza. Es decir, cambian constantemente de posición y forma. Básicamente, el río tiene tres funciones naturales a) Drenaje del agua generada en la cuenca como resultado de la precipitación, b) Desaguar los sólidos producto de la erosión de la cuenca y, c) Evacuar el hielo en las zonas en que éste se presenta.

En la sección del río donde está instalado el puente, hay tres casos en los que el determina la profundidad del lecho en función de las condiciones de diseño.

Estos son:

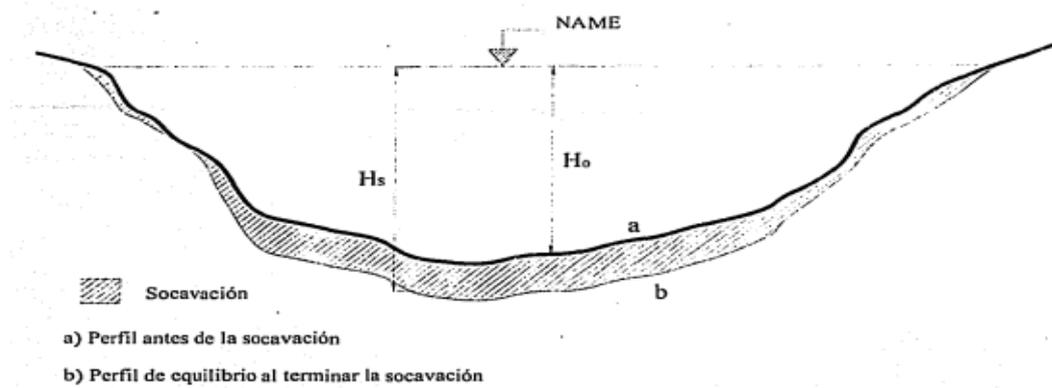
- Socavación por cambios en el perfil longitudinal provocados por el comportamiento del río (erosión general: degradación).
- Socavación accidental por reducción de la sección transversal del cauce; debida al estrechamiento creado, esencialmente para construir el puente.
- Erosión local causada iteración cauce- infraestructura (pilares y estribos).

La socavación, o erosión local, puede mostrarse al mismo tiempo que otros fenómenos sedimentológicos. El proceso de socavación progresa hasta alcanzar un estado de equilibrio sedimentológico, no es infinito, sino que se puede conocer su límite mediante estimaciones. Conocer la profundidad de socavación es importante para determinar la profundidad de la base de los cimientos.

### 1.2.3. Socavación General

Se denomina socavación general al descenso generalizado durante una creciente, del fondo de un cauce como consecuencia del incremento en la capacidad de arrastrar y transportar en suspensión el material del fondo, lo cual provoca cambios en las condiciones hidráulicas del cauce.

*Figura 5. Sección transversal de cauce*



*Fuente: Análisis hidráulico para diseño de puentes*

### 1.2.4. Socavación Local

Cuando se coloca un obstáculo al paso de una corriente se produce la remoción del suelo en el lado de aguas arriba del mismo obstáculo. Los huecos o depresiones que se forman también se rellenan al disminuir la velocidad del agua, aunque en general, quedan pequeñas depresiones como testimonio de este fenómeno [7].

### 1.2.5. Socavación en pilas de puentes

El efecto provocado por una pila al cruce de un cauce es el que aguas arriba de la misma el agua se levanta y posteriormente, por debajo del puente, el nivel del agua baja para volver a levantarse una vez que ha salido del puente [7].

### *1.2.5.1. Factores que influyen en la socavación al pie de las pilas*

- Velocidad del cauce. Se dice que la socavación aparece cuando existe un flujo subcrítico o supercrítico.
- Tirante, el aumento del tirante del cauce puede incrementar la probabilidad de socavación en el orden de 2 o más.
- Ancho de las pilas, una pila considerada ancha (más de 10 metros) aumenta la profundidad de socavación, además que no existen ecuaciones apropiadas para calcular dicha profundidad.
- Longitud de las pilas, si se duplica la longitud de la pila, la profundidad de la socavación se verá incrementada entre un 30% y 60% (dependiendo de su forma, geometría y ángulo de esviaje frente al cauce)
- Materiales del fondo, se deben tener en cuenta para calcular la profundidad de la socavación, por ejemplo: el diámetro de los granos, distribución granulométrica, grado de cohesión del suelo, peso específico sumergido del suelo y la estratigrafía del sueño.
- Angulo de esviaje con el cual incide la dirección de la corriente sobre el eje de las pilas.

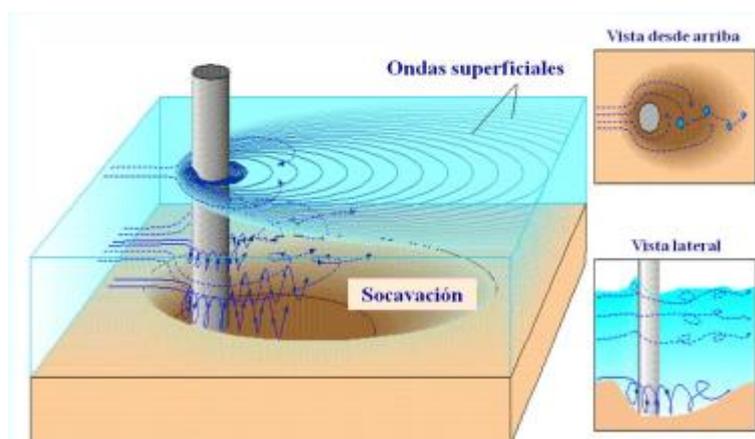
Según Richardson y otros autores. Definen un término de "profundidad de equilibrio" que es el promedio de las dos profundidades de socavación mencionadas anteriormente, donde los experimentos de laboratorio han demostrado que la profundidad de socavación es un 30% mayor que la profundidad de equilibrio [6].

Las corrientes de agua originan vórtices que hacen desplazar el material del lecho, aun cuando la velocidad de la corriente es baja, o la fuerza tractiva, no fuera bastante grande para hacerlo.

Los vórtices que se producen de manera horizontal (torbellinos), estos se adaptan a la forma de la sección transversal del pilar en estudio.

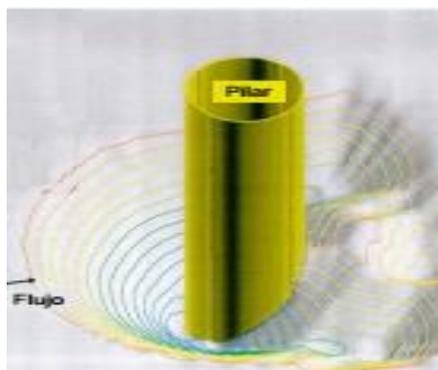
Los vórtices de que se generan de vertical nacen por separación de la capa límite del contorno del pilar, su magnitud se ve reflejada cuando el pilar es muy ancho.

Figura 6. Presencia de vórtices alrededor de un pilar circular



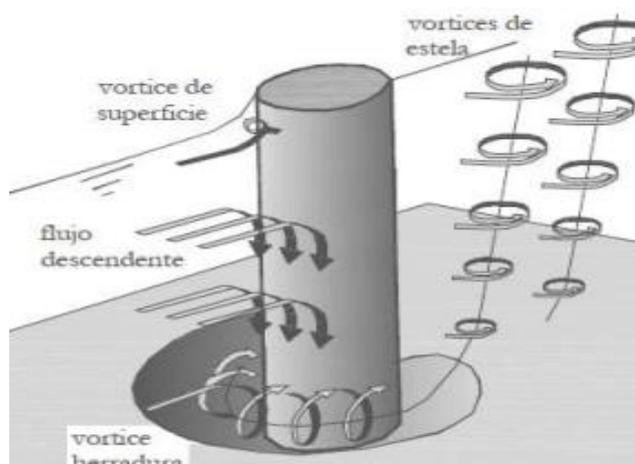
Fuente: USGS

Figura 7. Simulación de la socavación en un pilar de puente



Fuente: Arturo rocha

Figura 8. Patrón de flujo en torno a una pila cilíndrica erosionada



Fuente: De Melville y Coleman (2000)

### 1.2.6. Socavación en estribos de puentes

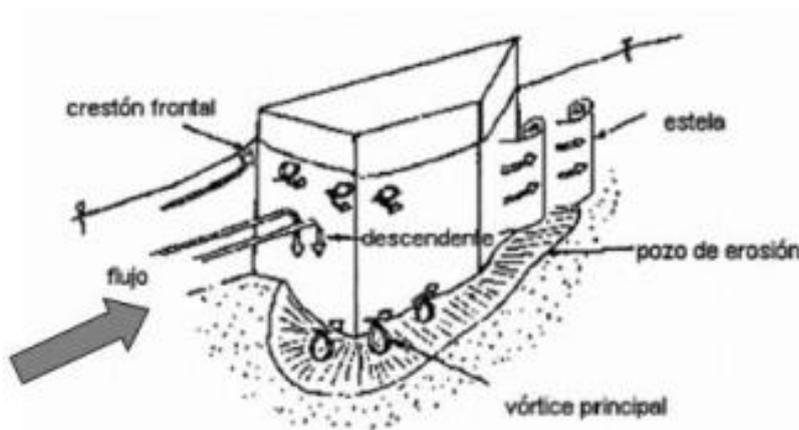
El concepto de socavación en estribos se estudia de la misma manera ocurrida en los pilares de este tipo de estructuras, son elementos estructurarles que se ubican en los extremos del puente e implican ordinariamente una disminución del ancho del río. Este parámetro de reducción debe ser considera dentro del diseño cuidadosamente. Durante las precipitaciones se generan avenidas ordinarias o extraordinarias, los ríos aluviales intentan alcanzar sus respectivos anchos, tras lo cual los puentes pueden sufrir graves daños [6].

En general, la erosión de estribos se estudia menos que la erosión de pilas. Según Martínez Marín, una investigación de la Administración de Carreteras de los EE. UU. De 383 puentes encontró que el 25% fallaron en las pilas y el 72% en los estribos.

Parámetros que determinan la socavación en estribos son:

- La distribución granulométrica.
- La variedad de tamaños de los granos que se encuentran en el lecho.
- La fuerza del flujo.
- La longitud del estribo (es muy importante).
- Si es un estribo esviado o no con respecto a la corriente.
- La relación ancha/longitud del estribo.

*Figura 9. Nacimientos de vórtices al impactar con un estribo*



*Fuente: Martínez Marín y otros*

*Figura 10. Socavación alrededores de un estribo*



*Fuente: José Daniel Brea y otros*

### **1.2.7. Defensas para mitigar el riesgo por socavación en puentes**

En general, existen varios tipos de protección que se pueden considerar contra la socavación en pilares y estribos de un puente.

La protección contra la socavación se usa para minimizar, controlar, retrasar, mitigar o monitorear los problemas de estabilidad del canal y del puente. Las soluciones al problema de la socavación del puente incluyen estudios de las causas fundamentales, incluidos los aspectos topográficos, hidrológicos, hidráulicos, estructurales y de geotecnia [8].

#### **1.2.7.1. Clasificación en dos sistemas:**

**Hidráulicas:** Los sistemas hidráulicos suelen ser temporales y su propósito es cambiar el flujo o contrarrestar la fuerza corrosiva del flujo en el canal. Estas son estructuras adicionales al puente que son total o parcialmente destruidas o arrastradas por el flujo de agua. Luego tienen que pasar por reparaciones posteriores, siempre es más barato y más fácil reparar el puente [8].

**Estructurales:** Por lo general, están destinados a mejorar el estado de la cimentación del puente. Se utilizan o aplican cuando la socavación daña o expone los pilotes o cimientos sobre los que se vierte el revestimiento y los deja sin apoyos laterales en condiciones no previstas en el proyecto original. Por ello se consideran medidas de protección para restaurar la integridad estructural del puente [8].

### 1.2.8. Medidas Hidráulicas

#### a) Estructuras longitudinales

- Protección del talud con mallas a base de roca.

*Figura 11. Protección de dique*



*Fuente: Centro Nacional de Prevención de desastres, México, 2017.*

- Construcción de Una para protección del talud de la orilla superior ante deslizamiento.

*Figura 12. Elaboración de mallas y enrocado*



*Fuente: Centro Nacional de Prevención de desastres, México, 2017.*

- Protección de la orilla inferior para evitar la erosión en las paredes del río.

*Figura 13. Colocación de mallas en banquetas*

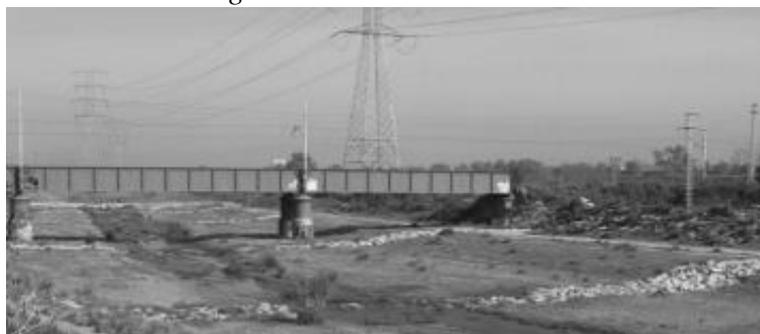


*Fuente: Centro Nacional de Prevención de desastres, México, 2017.*

**b) Estructuras transversales**

- Traviesas de fondo del río

*Figura 14. Traviesas*



*Fuente: Centro Nacional de Prevención de desastres, México, 2017.*

- Espolones implantados en el cauce para disminuir la energía del flujo.

*Figura 15. Espolones*



*Fuente: Centro Nacional de Prevención de desastres, México, 2017.*

- Protección con sistemas de puntos fijos

*Figura 16. Puntos fijos*



*Fuente: Centro Nacional de Prevención de desastres, México, 2017.*

- Protección con sistemas de muros deflectores

*Figura 17. Instalación de muros deflectores a orilla de río*



*Fuente: Centro Nacional de Prevención de desastres, México, 2017.*

### **c) Protección local del puente**

- Protección contra socavación por contracción

*Figura 18. Protección de estructura*



*Fuente: Centro Nacional de Prevención de desastres, México, 2017.*

- Protección contra la socavación local al pie de pilas

*Figura 19. Protección de estructura*



*Fuente: Centro Nacional de Prevención de desastres, México, 2017.*

- Protección contra la socavación al pie de estribos

*Figura 20. Protección de estribo*



*Fuente: Centro Nacional de Prevención de desastres, México, 2017.*

- Protección de pilas y estribos con pantallas

*Figura 21. Otros sistemas de protección*



*Fuente: Centro Nacional de Prevención de desastres, México, 2017.*

- Protección de pilas y estribos con sacos rellenos

*Figura 22. Otros sistemas de protección*



*Fuente: Centro Nacional de Prevención de desastres, México, 2017.*

- Protección de pilas y estribos con gaviones

*Figura 23. Otros sistemas de protección*



*Fuente: Centro Nacional de Prevención de desastres, México, 2017.*

- Protección de pilas y estribos con colchacretos

*Figura 24. Otros sistemas de protección*



*Fuente: Centro Nacional de Prevención de desastres, México, 2017.*

### **1.2.9. Medidas Estructurales**

#### **a) Reparaciones en seco y bajo el agua**

- Reparaciones en seco (islas)

*Figura 25. Protección de pilares*



*Fuente: Centro Nacional de Prevención de desastres, México, 2017*

- Reparaciones en seco (ataguías)

*Figura 26. Protección de pilares*



*Fuente: Centro Nacional de Prevención de desastres, México, 2017*

- Reparaciones bajo agua (buceo especializado)

*Figura 27. Reparaciones de pilares*



*Fuente: Centro Nacional de Prevención de desastres, México, 2017*

#### **b) Reforzamiento de las cimentaciones existentes**

- Recalce de cimentación

*Figura 28. Recalce de cimentaciones*



*Fuente: Centro Nacional de Prevención de desastres, México, 2017*

- Encamisado de pilas o estribos

*Figura 29. cimentaciones*



*Fuente: Centro Nacional de Prevención de desastres, México, 2017*

- Profundización de la cimentación (micropilotes)

*Figura 30. cimentaciones*



*Fuente: Centro Nacional de Prevención de desastres, México, 2017*

- Mejoramiento del suelo (jet grouting)

*Figura 31. Estructuras*



*Fuente: Centro Nacional de Prevención de desastres, México, 2017*

### 1.3. Definición de Términos Básicos

**Vórtices:** Los vórtices se originan en el contacto del fluido y el pilar ya sea aguas arriba del mismo y además se propagan aguas abajo y actúan como pequeños tornados eliminan los sedimentos del suelo.

**Erosión:** La erosión local del lecho aluvial del río ocurre cerca de los elementos estructurales del puente, debido a la turbulencia del campo de flujo y al transporte de sedimentos.

**Socavación:** Esto implica principalmente la erosión local de los cimientos en las estructuras de drenaje u obstáculos en los cursos de agua.

**Medidas de protección:** Se implementan medidas de protección contra la erosión para evitar que las estructuras colapsen y sean dañadas por el proceso socavación.

## 2. Hipótesis y variables

### 2.1. Formulación de la hipótesis

Será posible mitigar los efectos de erosión local y la intervención del fenómeno de socavación en las pilas y estribos de puentes.

### 2.2. Variables – Operacionalización

*Tabla 1. variables operacionalización*

<b>VARIABLE</b>	<b>DIMENSIÓN</b>	<b>INDICADOR</b>
pilas y estribos (Variable independiente)	Infraestructura	-Ancho de pilar -Forma del pilar -Forma del estribo -Angulo de esviaje
Erosión local y socavación (Variable dependiente)	Cauce del río	-Sedimentación -Generación de vórtices -Profundidad del flujo aguas arriba del pilar u estribo -Velocidad de corriente de agua -Profundidad de socavación -Tipo de suelo

*Fuente: Elaboración propia*

## 2.3. Objetivo General

Exponer la defensa en pilas y estribos para puentes debido a los efectos de erosión local y socavación.

## 2.4. Objetivos Específicos

- Discriminar los problemas de socavación en este tipo de estructuras.
- Describir los sistemas de protección existentes.

## 3. Diseño Metodológico

### 3.1. Tipo de Estudio y Diseño de Contrastación de Hipótesis

La investigación es correlacional básica ya que las dos variables tienen vinculación por ende al aumentar el cauce del río (causa), se aumenta los efectos de erosión local, la socavación en los pilares y estribos del puente(efecto).

Es una investigación experimental pura, porque tiene que ser evaluada mediante modelos a escala en laboratorio que me representen la realidad a fin de conocer más a fondo el proceso de socavación, conocer cómo se incrementa la profundidad mediante una corriente de flujo normal y durante avenidas extraordinarias, va permitir análisis y tomar notas de la erosión que se produce en la interacción cauce-estructura, ya que el río es cambiante, incluso detectar las anomalías y fallas que hacen que una estructura como es el caso de puentes colapsen. De modo que así ya se tendrá una certeza que mi estructura la cual fue diseñada va cumplir con su servicio durante su vida útil.

### 3.2. Población, Muestra de Estudio y Muestreo

- **Población:** Cauce del río.
- **Muestra:** Tramo donde está situado el puente.
- **Unidad de estudio:** Discriminar la iteración cauce- estructura, evaluar los problemas de erosión y socavación que se originan, y de esa manera suministrar el tipo de protección.

### 3.3. Métodos, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

*Tabla 2. Técnicas e instrumentos*

<b>Técnica</b>	<b>Instrumentos</b>
Análisis documental	*Memoria descriptiva y memoria de cálculo del proyecto. *Planos del proyecto.
Análisis de documentos	*Guías, libros, revistas, artículos de investigación, tesis.
Observación	*Modelos a escala en laboratorio *Juicio de ingenieros estructurales

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.4. Estrategia metodológica para demostración de la hipótesis

#### *3.4.1. Puentes en Servicio (ya construidos)*

1. Evaluar toda la infraestructura antes de las avenidas, conocer el emplazamiento, puede que aún no se hayan generado problemas.
2. Evaluar la infraestructura durante y después de las avenidas producto de las precipitaciones, evaluar el comportamiento del flujo- estructura, la formación de vórtices horizontales y verticales, etc.
3. Pasado las avenidas, se tendrá que evaluar los pilares, estribos, cimentaciones, medir la altura de socavación ya sea en seco (ríos estacionarios) o mediante buceo (ríos perennes), como ha sido afectado la infraestructura de estos puentes.
4. Proponer el un sistema de protección de los ya mencionados, repara los daños, así salvaguardar estas estructuras y garantizar la seguridad a los transportistas y peatones que transitan a diario por esa ruta.

#### *3.4.2. Puentes en Proyecto (aún en diseño)*

1. Levantar información del comportamiento del río, la erosiones que se producen en el fondo y a los bordes del mismos.
2. Evaluar el historial de caudales que han pasados por el tramo donde se va a cimentar la estructura.
3. En todo proyecto de gran envergadura donde se invierte una gran cantidad de dinero, se debe evaluar su comportamiento en laboratorios especiales, es decir todo el proyecto a escala para conocer su comportamiento hidráulico, estructural y ambiental.
4. Otra manera es evaluar mediante un software de análisis hidráulico, porque puede que no sea necesario hacer modelos físicos; así se vuelve más económico analizar

este tipo de problemas.

5. Estimar la profundidad de la socavación en los pilares y estribos; de esa manera el ingeniero diseñe la estructura con cimentaciones superficiales u cimentaciones superficiales a base de pilotaje.
6. Evaluar las medidas de protección que se adapte más la infraestructura (pilares y estribos), estos ayudaran en gran medida a salvar el puente en caso de avenidas ordinarias u extraordinaria que ocurran en la zona.
7. Con lo planteado, salvaguardar estas estructuras y garantizar la seguridad a los transportistas y peatones que transitan a diario por esa ruta.

#### **4. Conclusiones**

Respecto al tipo de investigación es una investigación experimental pura, debido a que tiene que ser evaluada mediante modelos a escala en laboratorio que me representen la realidad a fin de conocer más a fondo el proceso de socavación, conocer cómo se incrementa la profundidad mediante una corriente de flujo normal y durante avenidas extraordinarias, va permitir análisis y tomar notas de la erosión que se produce en la interacción cauce-estructura, ya que el río es cambiante, incluso detectar las anomalías y fallas que hacen que una estructura como es el caso de puentes colapsen.

Con respecto a tipo de defensa en pilas y estribos para puentes debido a los efectos de erosión local y socavación, cabe recalcar que hay varias, pero para esta investigación, nos enfocamos en 2 sistemas, el sistema hidráulico y el estructural, para el hidráulico, este se aplica cuando se quiere cambiar el flujo del agua y mayormente es para plazos cortos; mientras que para estructuras a la largo plazo, se concluye que el sistema estructural es mejor, debido a que este sistema está destinado a mejorar la cimentación del puente.

#### **5. Recomendaciones**

Cada diseño debe realizarse en base a la normativa vigente, así mismo se debe ser muy riguroso en cuanto a los factores de distribución y a los factores de amplificación.

Se debe realizar un estudio de refracción sísmica, para conocer las ideas de las propiedades y el espesor de los estratos donde se va a cimentar la estructura. Cabe recalcar que este ensayo nos arroja información indirecta que puede ser correlacionada con un SPT.

Ser cuidadoso al realizar el estudio hidrológico, debido a que este estudio es fundamente en el diseño de puentes por que la gran mayoría de puentes no fallan por resistencia sino por socavación local.

Respecto a la literatura, se debe trabajar con fuentes con 5 años de antigüedad como máximo, de tal manera que se pueda actualizar la base de datos con información reciente.

## 6. Referencias

- [1] G. López Méndez, «Erosión local en pilas de puentes : evolución temporal y enfoque probabilístico,» Universidad de la República, Uruguay, 2013.
- [2] E. Muñoz Diaz, «Estudio de las causas de colapso de algunos puentes en Colombia,» *Pontificia Universidad Javeriana* , pp. 1-20.
- [3] W. T. Rojas Gomez, «Modelamiento hidraulico para el estudio de la socavación en pilares de puentes y analisis de los métodos para su cálculo,» Universidad católica de Santa Maria, Arequipa, 2014.
- [4] R. Pilcomamani Arias, «Modelamiento del proceso de socavación local de pilares de concreto armado del puente metálico,» Universidad Andina Nestor Cáceres Velásquez, Juliaca, 2020.
- [5] J. M. Rivas Parraguez, «Cuantificación de los efectos de erosión y socavación en la estructura de puentes y su aplicación en el puente del río Motupe departamento de Lambayeque,» Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, 2018.
- [6] R. F. Arturo, «Erosión en pilares y estribos de puentes,» de *Trabajo presentado al IV congreso internacional de la construcción ICG*, Lima, 2014.
- [7] S. Jara Gonzales, «Análisis hidráulico para diseño de puentes,» Universidad Autónoma de México, Mexico, 2003.
- [8] G. M. Roberto, D. Flores Vidriales y J. C. Primero Venegas, «Vulnerabilidad de estructuras de puentes en zonas de gran influencia de huracanes,» Centro nacional de prevención de desastres, México, 2017.
- [9] A. J. Monge Aguilar, «Sistemas de control de erosión en la subestructura de puentes,» Instituto Tecnológico de Costa Rica , 2007.
- [10] S. Alisson, «Dimensionamiento hidráulico optimizado de puentes con terraplenes,» Universidad de Piura, Piura, 2006.
- [11] M. Elbio Felipe, «Socavación producida por el río Huallaga al puente Colpa Alta en la provincia de Huánuco, utilizando los métodos de Artamanov, Straub y Maza, en el HEC-RAS,» Universidad de Piura, Piura, 2016.