

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA SOCAVACIÓN LOCAL EN
PILAS DE PUENTES EN EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA
DE LA UAJMS**

Por:

IVAN MARCELO CARRASCO SANCHEZ

SEMESTRE I - 2025

TARIJA – BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA SOCAVACIÓN LOCAL EN
PILAS DE PUENTES EN EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA
DE LA UAJMS**

Por:

IVAN MARCELO CARRASCO SANCHEZ

Propuesta elaborada en la asignatura CIV-502 a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar al grado académico de licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE I - 2025

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía constante, por darme la fortaleza en los momentos difíciles y por iluminar cada paso de este camino con sabiduría y esperanza.

A mi querida familia, motor y sostén en cada etapa de mi vida: Gracias por su amor incondicional, sus palabras de aliento y su compañía silenciosa pero firme. Cada logro alcanzado es también de ustedes, porque sin su apoyo este camino habría sido mucho más difícil.

A mi madre, mi mayor inspiración: Tu amor, sacrificio y alegría son la fuerza que me impulsa. Verte feliz es mi mayor recompensa. Esta dedicatoria es solo una pequeña muestra del inmenso amor y gratitud que siento por ti.

ÍNDICE

pág.

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES

1.1.	Introducción.	1
1.2.	Justificación del proyecto.	1
1.2.1.	Justificación académica.	1
1.2.2.	Justificación técnica.	1
1.2.3.	Justificación social.	2
1.2.4.	Justificación económica.	2
1.3.	Planteamiento del problema.	2
1.3.1.	Descripción del problema.	2
1.3.2.	Planteamiento del Problema.	3
1.4.	Objetivos generales y específicos.	3
1.4.1.	Objetivos General.	3
1.4.2.	Objetivos Específicos.	3
1.5.	Alcance del trabajo.	4

CAPÍTULO II: MARCO TEORICO

2.1.	Erosión local en pilas.	5
2.1.1.	Tipos de variables.	5
2.1.2.	Conceptos previos.	7
2.1.3.	Estimación de la socavación local en pilas.	12
2.2.	Inicio del movimiento de una partícula	28

2.2.1. Métodos de la velocidad media crítica.	29
2.2.2. Procedimiento para el diseño de un cauce con el criterio de la velocidad media crítica.....	30
2.3. Equilibrio de la profundidad de socavación local.....	32
2.4. Conceptos necesarios para la elaboración de guías de laboratorio.	33
2.4.1. Conceptos esenciales.	33
2.4.2. Tipos de guías.....	35
CAPÍTULO III:PLANTEAMIENTO DEL MODELO EXPERIMENTAL	
3.1. Introducción.	37
3.2. Determinación de variables.....	37
3.2.1. Geometría	37
3.2.2. Características del flujo.....	38
3.2.3. Características del material del lecho	39
CAPÍTULO IV:METODOLOGÍA	
4.1. Antecedente.	40
4.2. Diseño del modelo experimental.....	40
4.2.1. Características del material del lecho.	40
4.2.2. Características hidráulicas.....	43
4.2.3. Características geométricas de la pila.....	44
4.3. Operación del modelo experimental.	45
4.3.1. Limitaciones de uso del modelo experimental.....	46
4.3.2. Materiales y equipos.	47

4.4. Manual de operación del modelo experimental en laboratorio.....	47
4.4.1. Limpieza y alistamiento del canal.	47
4.4.2. Instalación de las pilas.....	48
4.4.3. Instalación del material granular del fondo.	49
4.4.4. Aforo de caudal.	50
4.4.5. Realización de los ensayos.	50
4.4.6. Toma de datos.	51
4.4.7. Conclusión del ensayo.....	53

CAPITULO V:ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Características de las pilas de puentes usadas.	54
5.1.1. Análisis de resultados para pila circular.	54
5.1.2. Análisis de resultados para pila rectangular.....	60
5.1.3. Análisis de resultados para pila de nariz triangular.	66
5.1.4. Estimación de la socavación local en pilas de puentes aplicando diferentes métodos.....	72
5.1.5. Determinación de la velocidad critica.	86
5.1.6. Determinación del tiempo equilibrio de socavación.	86

CAPITULO VI:CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones	90
6.2. Recomendaciones.....	92

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO I: LEVANTAMIENTO DE DATOS

ANEXO II: ESTIMACIÓN DE SOCAVACIÓN LOCAL

ANEXO III: PROPUESTA DE GUÍA

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Vista transversal de erosión local alrededor de un obstáculo	7
Figura 2.2: Configuración del flujo sobre una esfera lisa.....	8
Figura 2.3: Configuración del flujo sobre una esfera lisa.....	8
Figura 2.4: Variación de estela según el número de Reynolds y el coeficiente de arrastre....	9
Figura 2.5: Esquema longitudinal del flujo alrededor de la pila de un puente.	10
Figura 2.6: Esquema características del flujo alrededor de una pila	10
Figura 2.7: Coeficiente K_g	18
Figura 2.8: Coeficientes $K\alpha$	18
Figura 2.9: Coeficientes $K\alpha$	21
Figura 2.10: valores de K_f y b para diferentes pilas y distintos ángulos de incidencia.	25
Figura 2.11: valores de K_f y b para diferentes pilas y distintos ángulos de incidencia.	26
Figura 2.12: valores de K_f y b para diferentes pilas y distintos ángulos de incidencia.	26
Figura 2.13: determinación del coeficiente K_v	27
Figura 2.14: determinación del coeficiente K_H	27
Figura 4.1: Curva granulométrica.....	41
Figura 4.2: Distribución de la pila.	45
Figura 4.3: Modelo experimental.	48
Figura 4.4: Instalación de pila de madera.....	49
Figura 4.5: Nivelado del lecho de arena.	49
Figura 4.6: Aforo de caudal.....	50
Figura 4.7: Apertura de válvula.....	51
Figura 4.8: Lectura de tirante de agua.	51
Figura 4.9: Lectura de tirante de agua.	52
Figura 4.10: Lectura de la profundidad de socavación en la pila.	52
Figura 4.11: Lectura de la profundidad de socavación en la pila.	52
Figura 4.12: Lectura del foso de socavación.	53
Figura 5.1: Socavación local vs caudal de un lecho de arena, con pendiente de 2,4 %.	55
Figura 5.2: Socavación local vs caudal para un lecho de arena, con pendiente de 4,8 %. ..	56
Figura 5.3: Socavación local vs caudal para un lecho de arena, con pendiente de 7,1%. ...	57
Figura 5.4: Socavación local vs caudal de un lecho de arena, con pendiente de 2,4‰, 4,8 ‰ y 7,1‰	57

Figura 5.5: Correlación múltiple de los resultados de socavación local en función de la pendiente y caudal.	60
Figura 5.6: Socavación local vs caudal de un lecho de arena, con pendiente de 2,4 ‰.	61
Figura 5.7: Socavación local vs caudal de un lecho de arena, con pendiente de 4,8 ‰.	62
Figura 5.8: Socavación local vs caudal de un lecho de arena, con pendiente de 7,1 ‰.	63
Figura 5.9: Socavación local vs caudal de un lecho de arena, con pendiente de 2,4 ‰, 4,8 ‰ y 7,1 ‰.	63
Figura 5.10: Correlación múltiple de los resultados de socavación local en función de la pendiente y caudal.	66
Figura 5.11: Socavación local vs caudal de un lecho de arena, con pendiente de 2,4 ‰. ...	67
Figura 5.12: Socavación local vs caudal de un lecho de arena, con pendiente de 4,8 ‰.	68
Figura 5.13: Socavación local vs caudal de un lecho de arena, con pendiente de 7,1 ‰. ...	69
Figura 5.14: Socavación local vs caudal para un lecho de arena, con pendiente de 2,4 ‰, 4,8 ‰ y 7,1 ‰.	69
Figura 5.15: Correlación múltiple de los resultados de socavación local en función de la pendiente y caudal.	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Factor de corrección por la forma de la pila K_f Método CSU. HEC-18. 1993...	15
Tabla 2.2: Factor de corrección por el ángulo de ataque del flujo K_θ . Método CSU. HEC-18. 1993.	15
Tabla 2.3: Factor de corrección por la forma del lecho K_c . Método CSU. HEC-18. 1993.	15
Tabla 2.4: Criterios para adoptar K_a (HEC-18, 2001).	16
Tabla 2.5: Coeficiente K_f	17
Tabla 2.6 : Factor de corrección K_f	20
Tabla 2.7: Factor de corrección K_α	20
Tabla 2.8: Taludes recomendados para los lados de canales.	30
Tabla 2.9: Formulas propuestas relacionando velocidad media y velocidad de corte.	30
Tabla 4.1. Granulometría del material usado.	40
Tabla 4.2: Diámetros representativos de la muestra.	41
Tabla 4.3: Características de las pilas.	43
Tabla 4.4: Dimensiones de las pilas	45
Tabla 5.1: Dimensiones de pilas.	54
Tabla 5.2: Datos recopilados en laboratorio de la socavación local (d_s) con una pendiente de 2,4 %.	54
Tabla 5.3: Resultados de socavación local (d_s) con una pendiente de 4,8 %.	55
Tabla 5.4: Resultados de socavación local (d_s) con una pendiente de 7,1 %.	56
Tabla 5.5: Resultados estadísticos de la regresión para pila circular.	58
Tabla 5.6: Análisis de varianza de la regresión para pila circular.	58
Tabla 5.7: Análisis de varianza de la regresión para pila circular.	58
Tabla 5.8: Resultados de la correlación múltiple de la socavación local en función de la pendiente y el caudal.	59
Tabla 5.9: Datos recopilados en laboratorio de la socavación local (d_s) con una pendiente de 2,4 %.	60
Tabla 5.10: Resultados de socavación local (d_s) con una pendiente de 4,8 %.	61
Tabla 5.11: Resultados de socavación local (d_s) con una pendiente de 7,1%.	62
Tabla 5.12: Resultados estadísticos de la regresión para pila rectangular.	64

Tabla 5.13: Análisis de varianza de la regresión para pila rectangular.	64
Tabla 5.14: Análisis de varianza de la regresión para pila rectangular.	64
Tabla 5.15: Resultados de la correlación múltiple de la socavación local en función de la pendiente y el caudal.....	65
Tabla 5.16: Datos recopilados en laboratorio de la socavación local (d_s) con una pendiente de 2,4%.	66
Tabla 5.17: Resultados de socavación local (d_s) con una pendiente de 4,8 ‰.	67
Tabla 5.18: Resultados de socavación local (d_s) con una pendiente de 7,1 ‰.	68
Tabla 5.19: Resultados estadísticos de la regresión para pila de nariz triangular.	70
Tabla 5.20: Análisis de varianza de la regresión para pila de nariz triangular.	70
Tabla 5.21: Análisis de varianza de la regresión para pila de nariz triangular.	70
Tabla 5.22: Resultados de la correlación múltiple de la socavación local en función de la pendiente y el caudal.....	71
Tabla 5.23: resultados de los diferentes métodos para pila de puentes circulares.....	77
Tabla 5.24: Resultados de los diferentes métodos para pila de puentes rectangular.	78
Tabla 5.25: Resultados de los diferentes métodos para pila de puentes de nariz triangular.	79
Tabla 5.26: Factor de ajuste para pila circular.....	80
Tabla 5.27: Factor de ajuste para pila rectangular.....	81
Tabla 5.28: Factor de ajuste para pila de nariz triangular.	82
Tabla 5.29: Resultados de socavación local ajustada para pila circular.	83
Tabla 5.30: Resultados de socavación local ajustada para pila rectangular.	84
Tabla 5.31: Resultados de socavación local ajustada para pila circular nariz triangular.	85
Tabla 5.32: Determinación de la velocidad critica por tanteo de R_h	86
Tabla 5.33: Tiempo de equilibrio de socavación para pila de puente circular.	87
Tabla 5.34: Tiempo de equilibrio de socavación para pila de puente rectangular.	88
Tabla 5.35: Tiempo de equilibrio de socavación para pila de puente punta triangular.	89