

Resumen

En el proyecto se analizaron 446 puentes en la costa del pacífico (ver figura 1), inspecciones visuales fueron realizadas en cada uno de los puentes para determinar su estado de deterioro y profundidad de socavación.

De entre los 446 puentes se eligieron 20 que por su exposición ante ciclones tropicales, condiciones hidrométricas y estado de deterioro se caracterizaron como más vulnerables. Se realizaron estudios topo hidráulicos y de mecánica de suelos para determinar las variables necesarias para la revisión de estabilidad de los 20 puentes elegidos.

Se presenta una metodología para determinar el riesgo de puentes ante socavación.

Metodología para el análisis de riesgo.

- 1) Inspección visual de puentes (ver figura 4).
- 2) Recolección de datos hidrométricos .
- 3) Análisis hidrológico de las cuencas.
- 4) Elaboración de modelo de exposición para al delimitación de la zona de estudio (ver figura 1).
- 5) Modelamiento de la incertidumbre por medio de distribuciones de probabilidad de extremos.
- 6) Modelo de amenaza determinista (ver figura 4)
- 7) Recolección de datos geotécnicos para puentes vulnerables.
- 8) Elaboración de modelos matemáticos simplificados para el cálculo de profundidades de socavación e inestabilidad estructural. (ver figura 5).
- 9) Determinación de la vulnerabilidad de estructuras.
- 10) Determinación y priorización de riesgos y propuesta de medidas de mitigación.
- 11) Propuesta de programa de monitoreo para puentes vulnerables.



Figura 5.- Vista de socavación local, puente Pijijiapan 2017

Modelo de amenaza

Con los datos de los pasos 1 y 2 de la metodología, se modeló matemáticamente la incertidumbre por medio de funciones de distribución de valores extremos, siguiéndose el siguiente procedimiento:

- 1) Determinación de los parámetros de las distribuciones por máxima verosimilitud
- 2) Pruebas de bondad de ajuste de Kite.
- 3) Elección de la distribución con mejor ajuste
- 4) Cálculo de eventos de diseño con un periodo de retorno de hasta 100 años (ver figura 4).

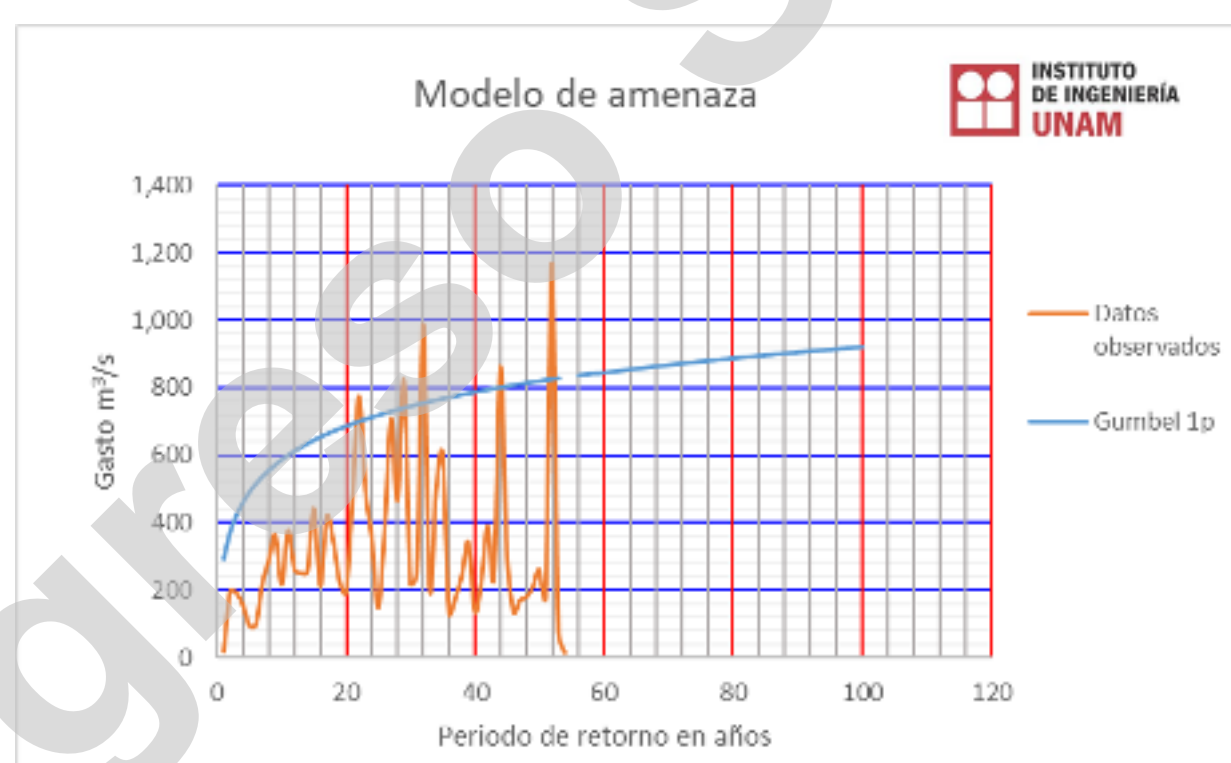


Figura 4.- Cálculo de eventos de diseño para un periodo de retorno dando, siguiendo una distribución de Gumbel.

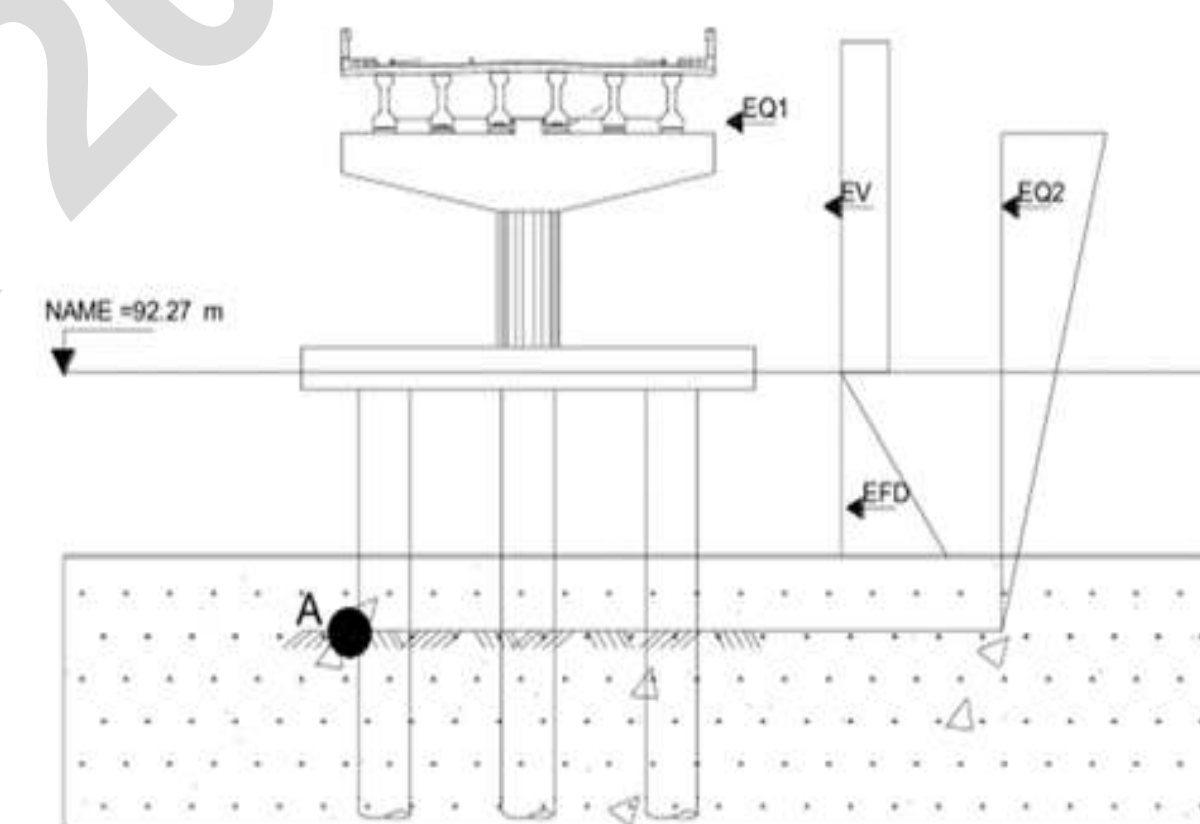


Figura 6.- Modelo matemático simplificado

Puentes	Estado	Coeficientes de seguridad CFE 2015		Socavación (M)	Condición de estabilidad
		Deslizamiento	Volteo		
El Novillero	Chiapas	No cumple	No cumple	1.26	Suficiente, reparaciones necesarias
Tepuzapa	Chiapas	Cumple	Cumple	0.2	Suficiente, reparaciones necesarias
Huixtla	Chiapas	No cumple	No cumple	3.33	Suficiente, reparaciones urgentes
Sin nombre	Chiapas	Cumple	Cumple	1.31	Suficiente, reparaciones necesarias
Pijijiapan	Chiapas	Cumple	Cumple	3.73	Suficiente, reparaciones urgentes
Urbina	Chiapas	Cumple	Cumple	0.44	Estable
Azteca	Chiapas	No cumple	No cumple	2.02	Suficiente, reparaciones urgentes
Los Perros	Oaxaca	No cumple	Cumple	2.28	Suficiente, reparaciones urgentes
San Francisco	Oaxaca	No cumple	Cumple	1.11	Suficiente, reparaciones necesarias
Cazadero	Oaxaca	No cumple	Cumple	0.26	Suficiente, reparaciones necesarias
Nexpa	Guerrero	Cumple	Cumple	1.2	Suficiente, reparaciones necesarias
Concheros	Guerrero	Cumple	Cumple	6.23	Suficiente, reparaciones necesarias
Tupitina	Michoacan	Cumple	Cumple	2.66	Suficiente, reparaciones necesarias
Ignacio Chávez	Michoacan	No cumple	Cumple	0.08	Suficiente, reparaciones necesarias
Tomatlan	Jalisco	No cumple	No cumple	3.58	Suficiente, reparaciones urgentes
Cañas Principal	Nayarit	No cumple	Cumple	2.22	Suficiente, reparaciones necesarias
Pericos	Sinaloa	No cumple	No cumple	6.08	Suficiente, reparaciones necesarias
Piaxtla	Sinaloa	No cumple	Cumple	2.14	Suficiente, reparaciones necesarias
Presidio	Sinaloa	Cumple	Cumple	0.15	Suficiente, reparaciones necesarias
Culiacan	Sinaloa	Cumple	Cumple	3.29	Suficiente, reparaciones necesarias

Figura 7.- Resultados de los modelos matemáticos



Figura 1.- Zona de estudio y ubicación de puentes sobre ríos en la costa del pacífico.

En México el motivo más frecuente de colapso de puentes es debido a fenómenos de socavación. En el periodo de 1997-2013, treinta y seis puentes colapsaron de manera parcial o total y otros noventa y nueve sufrieron daños. Con el aumento en la frecuencia y fuerza de los ciclones tropicales se hace necesario re-evaluar el estado de riesgo de puentes vulnerables debido al fenómeno de socavación.

En la Figura 2 se muestran estadísticas del daño por socavación en la zona de estudio, es interesante ver que la vulnerabilidad en la infraestructura pareciera tener una correlación con la vulnerabilidad social.

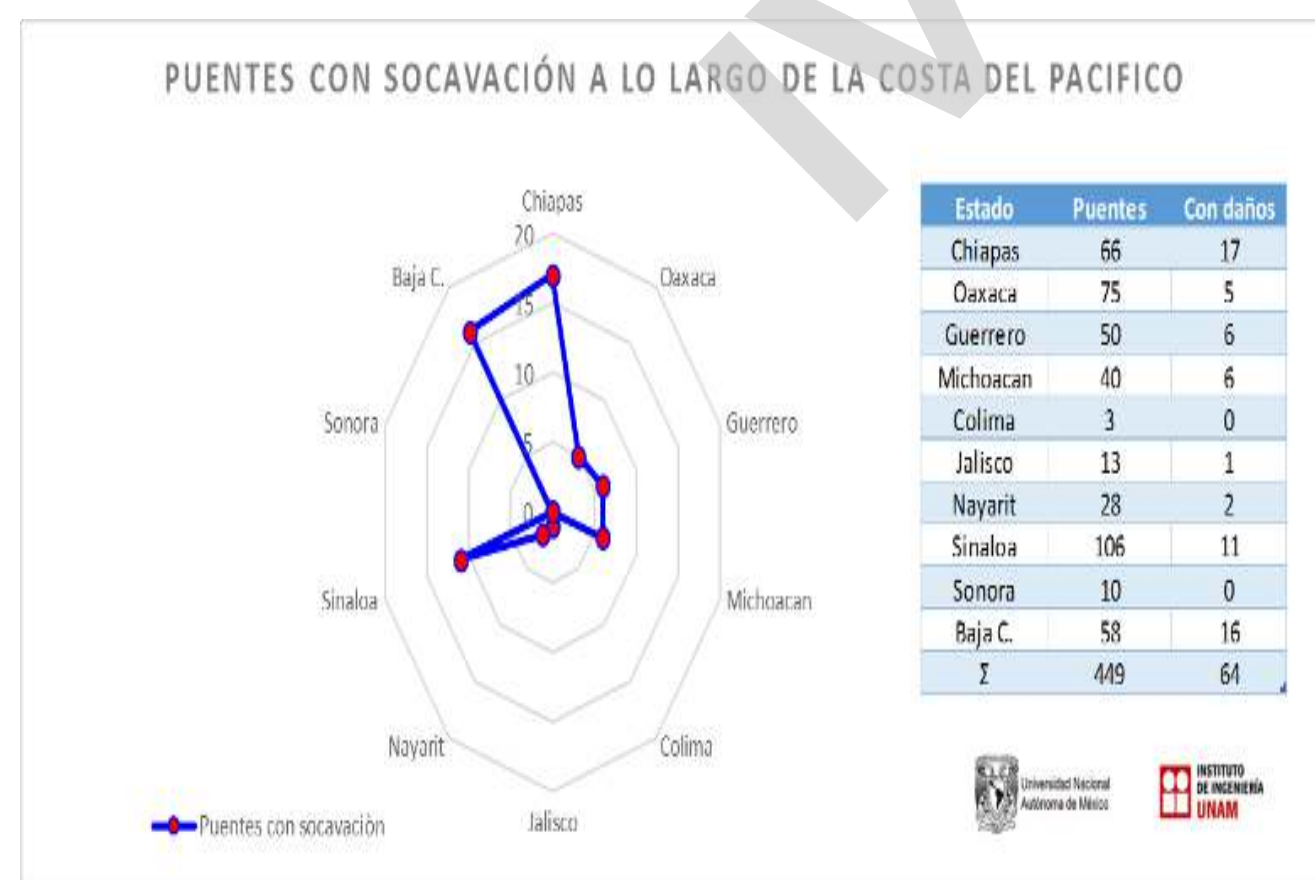


Figura 2.- Estadísticas de daño por socavación en la costa del pacífico.

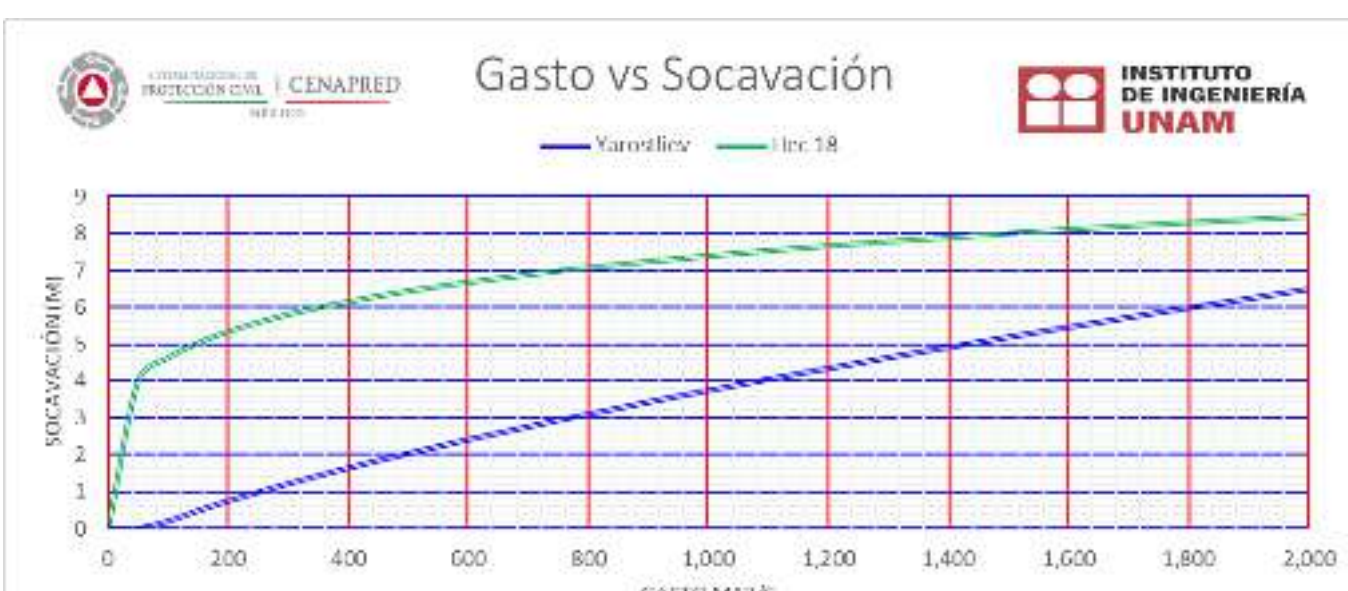


Figura 3.- Relación gasto-socavación.

Modelo de riesgo

Con el gasto de diseño obtenido del modelo de amenaza, junto con la información obtenida de paso 6 de la metodología se realizó un modelo de riesgo determinista en el cual, se expresa la capacidad de la estructura en términos de momentos de volteo y resistencia al deslizamiento, por ser estos los mecanismos de falla que predominan con el impacto de ciclones tropicales.

Se siguieron los siguientes pasos:

- 1) Cálculo de la profundidad de socavación utilizando las ecuaciones del HEC 18 y , Lischvan-Levediev y Yarovstlavtziev. (Ver figura 3).
- 2) Cálculo de los empujes laterales por fluido, sismo y viento utilizando el manual de obras civiles de CFE 2015.
- 3) Determinación de la estabilidad de la estructura para periodos de diseño de 100 años.
- 4) Determinación del cumplimiento de los factores de seguridad por volteo y deslizamiento, utilizando el manual de obras civiles de CFE 2015.

Los resultados del análisis se muestran en la figura 5, nótese que al existir socavación la socavación expresada por el cálculo debe de entenderse como una socavación adicional par aun evento con un periodo de retorno de 100 años.

Conclusiones

Dentro de la zona de estudio los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero son los más vulnerables al impacto de un ciclón tropical, lo cual coincide con la pobreza económica de la región y la vulnerabilidad social .

Con la identificación de los puentes vulnerables y un análisis de riesgo, es posible tomar decisiones para mitigar los daños y disminuir el riesgo de desastre.

Para los 20 puentes analizados el análisis simplificado señala que los puentes sufrirán daños severos por socavación pero no desarrollaran un mecanismo de falla para un evento con un periodo de retorno de 100 años.

Es necesaria mas investigación para mejorar los modelos matemáticos; un análisis de confiabilidad mejoraría enormemente el enfoque si en este el daño acumulado se considera a través de un enfoque multi-eventos de acuerdo al marco de de acuerdo al marco de Sendai para la reducción del riesgo de desastres 2015-2030.

Referencias

- [1] J. E. Petrie, *The Accuracy of River Bed Sediment Samples*, Virginia: Virginia Polytechnic Institute and State University, 1998.
- [2] G. E.J., *Statistical Theory of Extreme Values and Some Practical Applications*, New York: Columbia University Pres, 1958.
- [3] G. W. Kite, *Frequency and Risk Analyses in Hydrology. Water Resources Publications, USA, 264 pp.1988.*
- [4] L. A. Arneson, L. W. Zeven Bergen, P.F. Lagasse and P.E. Clopper, *Evaluating scour at bridges*, Hydraulic Engineering Circular No. 18: FHWA-HIF-12-003, U.S. DOT, Washington, DC. 2012.
- [5] CFE, *Manual de Obras Civiles*, México, 2015.
- [6] E. M. Salazar, *Revisión Estructural de un Puente Ferroviario y Vehicular por el Aumento del Cauce en un Río*, Bachelor Thesis, Faculty of Engineering, UNAM, 2014
- [7] T. Nakagawa, *Stochastic Processes with Applications to Reliability Theory*, Springer, 2011
- [8] R. Gomez and D. Flores, *Vulnerability of bridge structures in zones of high influence of tropical storms*, in Spanish, Internal Report, Institute of Engineering, UNAM, Mexico (2018).