



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y VINCULACIÓN



A. PROPUESTA PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

1. TIPO DE PROYECTO:

Interno	x	Grupal	
Semilla		Multidisciplinario	

2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Básica		Aplicada	x
--------	--	----------	---

3. UNIDAD EJECUTORA *(Departamento, Instituto o Estructura de Investigación)*

1. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

4. LINEA(S) DE INVESTIGACIÓN:

1. Mecánica teórica y computacional de fluidos

5. TÍTULO DEL PROYECTO *(mínimo 10 palabras):*

Análisis hidráulico de la erosión alrededor de pilas de puentes, mediante modelación numérica utilizando el paquete computacional Flow 3D

6. RESUMEN *(máximo 200 palabras)*

Dentro del Centro de Investigaciones y Estudios en Recursos Hídricos CIERHI, se realizó el análisis experimental en modelo físico de fenómenos de turbulencia, causantes de erosión alrededor de pilas de puentes, en el mes de junio del 2019. En el presente proyecto de investigación se pretende utilizar los datos del modelo experimental mencionado, como base de calibración para la modelación numérica tridimensional de la erosión alrededor de pilas de puentes, utilizando el paquete computacional Flow 3D. Una vez calibrado el modelo se ampliará la investigación mejorando las condiciones con las que se realizó el modelo físico, ya que en los resultados experimentales se determinó que era necesario un lecho de arena más profundo para poder determinar la profundidad máxima de erosión. Además, las paredes del canal del modelo físico influyeron directamente en los resultados. En el modelo numérico se colocarán las condiciones óptimas para obtener resultados sin las limitaciones físicas que se tiene en un modelo experimental.

7. PALABRAS CLAVE *(4-6)*

Modelación, numérica, Tridimensional, Flow 3D, erosión

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 "Campus J. Rubén Orellana"
Teléfonos: 2976300 Ext: 1053/1060/1062/5217



.....
Carla Guadalupe
17/12/2019
11:29



8. OBJETIVOS

8.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar la modelación numérica tridimensional de la erosión alrededor de pilas de puentes, utilizando el paquete computacional Flow 3D

8.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Calibrar la modelación numérica tridimensional de la erosión alrededor de pilas de puentes, en base a la geometría y resultados del modelo físico
- b. Mejorar las condiciones físicas y geométricas del modelo numérico, sin las limitaciones físicas que se tiene en un modelo experimental.
- c. Determinar la profundidad máxima de erosión alrededor de pilas de puentes de sección circular y cuadrada, con el modelo numérico mejorado.
- d. Elaborar un artículo en base a los resultados obtenidos

9. HIPÓTESIS *(opcional)*

- a. Mejorando las condiciones físicas y geométricas del modelo experimental, se puede obtener la profundidad máxima de erosión alrededor de pilas de puentes de sección circular y cuadrada, mediante un modelo numérico tridimensional

10. DETALLE DE LOS RESULTADOS ESPERADOS *(con relación a los objetivos)*

- a. Modelo numérico calibrado en base a la geometría y resultados del modelo físico
- b. Condiciones físicas y geométricas del modelo numérico mejoradas
- c. Profundidad máxima de erosión alrededor de pilas de puentes de sección circular y cuadrada, con el modelo numérico mejorado.
- d. Artículo.

11. IMPACTO DE LA INVESTIGACIÓN *(científico, social, económico u otros)*

En el ámbito de la ingeniería hidráulica, el flujo del río y los problemas asociados a éste, tales como el transporte de sedimentos, las deformaciones del lecho del río, la socavación y las inundaciones son considerados los principales problemas de cualquier país (Shrestha, 2015). La mayoría de fallas que se tiene en puentes son por socavación y un ejemplo de ello es el estudio de la U.S. Federal Highway Administration de 1973, donde se determinó que, de 383 casos de fallas en puentes observados, el 97% fueron causados por problemas hidráulicos de erosiones locales: 25% en pilas y 75% en estribos; es decir, solo el 3% de los fallos registrados se deben a causas no relacionadas con la hidráulica (Fernández M. , 2004).

Adicionalmente, el valor directo asociado a la reparación o sustitución de los puentes afectados por los periodos de crecida no es nada despreciable. Sin embargo, el costo indirecto debido a la interrupción en actividades comerciales y sociales que asumen las empresas locales e industrias se estima en más de cinco veces el costo de reparación o sustitución (Rodríguez, 2011). Como ejemplo, la U.S. Federal Highway Administration informó que tan solo en 1993, más de 2500 puentes fueron destruidos o con daños severos debido a la socavación provocada por periodos de avenida, lo que reflejó un costo de \$178 millones en obras de recuperación y reparación (Shrestha, 2015). Como consecuencia, tanto el flujo como la evolución de la erosión y socavación alrededor de pilas de puentes son temas relevantes en el diseño de este tipo de infraestructura vial. Estas



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y VINCULACIÓN



estructuras deben estar acorde a los fenómenos hidrodinámicos del río, para así, evitar costos elevados de mantenimiento y, si fuera el caso, de rehabilitación de puentes.

Los procesos erosivos en pilas de puentes son fenómenos de gran complejidad y requiere del estudio continuo para poder profundizar en su entendimiento. El proceso de erosión se basa en varios conceptos, el primero de ellos es el arrastre de las partículas de sedimento por el flujo de agua, la creación de vórtices activos debido al choque del agua contra la superficie de la pila, el derrumbe del material en la zona de formación del foso como un fenómeno independiente del arrastre, la distribución de presiones no hidrostáticas en la superficie del lecho alrededor de la pila, la geometría de las pilas, el tipo y granulometría del lecho, y otros aspectos relacionados con la morfología del cauce (Bateman, Medina, & Rodríguez, 2008)

12. ESTADO DEL ARTE, E INVESTIGACIONES PREVIAS DEL EQUIPO

(máximo tres carillas)

A continuación, se presentan estudios de la erosión local alrededor de pilas de puentes:

Chiliquinga y Pinto / 2019

Chiliquinga y Pinto en el año 2019 realizaron su proyecto de titulación: “Análisis experimental en modelo físico de fenómenos de turbulencia causantes de erosión alrededor de pilas de puentes utilizando acoustic doppler velocimeter adv” analizaron de manera experimental el fenómeno de turbulencia que provoca la erosión y socavación del material sólido alrededor de una pila de puente. El desarrollo del presente estudio se realizó mediante la experimentación de dos pilas de puentes de hormigón de diferente sección y dimensión (circular y cuadrada), con lecho de arena alrededor de ellas. Se llevó un registro de velocidades instantáneas en las tres dimensiones mediante el uso del ADV (Acoustic Doppler Velocimeter), para el análisis del flujo turbulento en las zonas de incidencia alrededor de las pilas.

Laursen y Toch / 1956

Laursen y Toch realizaron la toma de mediciones de la evolución de la erosión alrededor de pilas de puentes que se encontraban en el Río Skunk. En el cual plantea dos casos: si la alineación del eje longitudinal coincide con el ángulo de incidencia del flujo, y la otra que no.

Es considerado uno de los primeros modelos en la historia que incluye un factor de corrección por el ángulo de incidencia del flujo, así como la geometría de la pila. Además, proporciona una expresión que no solamente considera pilas cuadradas y circulares. Sin embargo, la limitación que tiene es su no aplicabilidad en lechos de materiales muy finos.

Larras / 1963

Larras fundamenta su estudio en el análisis y mediciones en varios puentes franceses, en los cuales habían ocurrido períodos de crecidas para evaluar su efecto en ellos. Una de las principales características del método es que incluye la utilización de las condiciones próximas a la velocidad crítica del movimiento de sedimentos.

Su conclusión principal consiste en que la profundidad de erosión máxima es independiente del nivel de agua y el diámetro característico del lecho del río,

Únicamente la forma de la pila es el factor determinante para este cálculo. La limitación que presenta es que su aplicabilidad se ve cuestionada cuando el nivel de agua no está en el rango de 30 a 40 veces el diámetro de sedimento y con secciones de ancho de pila menores al 10% del ancho del cauce.

Maza y Sánchez / 1968

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 “Campus J. Rubén Orellana”
Teléfonos: 2976300 Ext: 1053/1060/1062/5217



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y VINCULACIÓN



Realizaron su estudio en las instalaciones de la División de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Consistió en el ensayo utilizando lechos cubiertos de arena y grava para una gran variabilidad de formas de pilas (rectangulares, con aristas vivas, con aristas redondeadas, circulares).

Presenta como resultados la utilización de tres ábacos para las formas de pilas ensayadas, permitiendo así, la facilidad de cálculo en la profundidad de la erosión local en pilas de puentes. Además, propone un análisis comparativo entre las ecuaciones populares a la fecha, como lo son las de Laursen y Toch y la de Yaroslavtzeiv.

Colorado State University CSU / 1995 2001

Es considerado como uno de los modelos más completos desarrollados en los últimos 20 años. Se lo llevo a cabo en las instalaciones de la Universidad del Estado de Colorado con la ayuda de algunos investigadores, entre ellos Richardson y Davis, los cuales generaron la última versión de este modelo en el año de 2001.

Su expresión presenta la influencia de varios parámetros que tienen influencia directa en la erosión local alrededor de la pila, como lo es: la forma, la alineación, el nivel de agua, el diámetro de sedimento, la forma del lecho. Además, su expresión está considerando condiciones de agua clara y de lecho móvil.

Por estas razones es un modelo completo, razón por la cual está aprobada en la Administración Federal de Carreteras de Estados Unidos (FHWA) como guía para el cálculo de erosiones. De igual manera está en la plataforma del software HEC RAS como uno de sus principales modelos de cálculo.

Bateman, Medina y Rodríguez / 2008

El estudio fue desarrollado en las instalaciones del Laboratorio del Departamento de Hidráulica en la Universidad Politécnica de Catalunya España. Consiste en el análisis comparativo del desarrollo de la evolución temporal de la erosión local en pilas de puentes de sección cuadrada y circular, a su vez, la determinación de velocidades mediante el uso de sondas ADV.

La importancia del estudio radica en la utilización de iluminación láser y digitalización de imágenes para la medición de la configuración del foso de socavación generado. Lo cual mejora las condiciones en las que se mide este tipo efectos, ayuda a una mejor comprensión de la dimensión del fenómeno y sus consecuencias.

Chij Kumar Shrestha / 2015

Chij Kumar Shrestha, en las instalaciones del laboratorio de la Universidad de Tecnología de Sídney, desarrolló la experimentación de tres condiciones:

Interacción del flujo con el lecho de sedimentos. Interacción del flujo con la presencia de una pila de puente. Interacción del flujo con la presencia de dos pilas de puentes alineadas.

En las condiciones se generó el análisis de velocidades mediante el uso de sondas ADV. Esto ayudo a la generación de las características turbulentas de cada ensayo. Uno de los aportes significativos del estudio es la representación gráfica de los vectores de velocidad, tanto en planta como en corte transversal y longitudinal.

Los resultados de la evolución temporal de la erosión local fue que se alcanzó el 90% de la máxima profundidad de erosión esperada. Para una única pila en el flujo se obtuvo estos resultados con 10 horas de ensayo, sin embargo, para el caso de dos pilas alineadas a una distancia de 2.5 veces el ancho se la obtuvo al termino de 20 horas de ensayo. Algo importante que recalcar



es la comparación en los efectos del foso de socavación de ambos ensayos; Las pilas alineadas presentan un aumento del 18% en su profundidad de erosión alcanzada en comparación al que solo tenía una pila. Las razones de este fenómeno caen en que el flujo hace un mayor esfuerzo aguas arriba de las pilas alineadas, por esta razón, existen características turbulentas de mayor dimensión aguas arriba de la pila de choque, lo que provoca vórtices con una mayor potencia erosiva.

Ghodsí, Khanjani y Beheshti / 2018

Este estudio se basa en la recopilación de información experimental de varios estudios generados y que han propuesto algunos modelos a la comunidad científica, por ejemplo: Melville y Coleman (2000), HEC 18 (1995), Richardson y Davis (2001), etc. El propósito es ofrecer un algoritmo que se ajuste de mejor manera a la naturaleza del fenómeno de erosión y que las fórmulas o expresiones propuestas se acerquen a estos valores.

Los resultados presentados es el análisis comparativo entre esta ecuación generada por algoritmos de aproximación al error mínimo, llamado HS, con aquellas determinadas mediante el uso de estas ecuaciones empíricas. Con el manejo de los datos obtenidos de alrededor de 100 ensayos se determinó que el algoritmo HS se acerca un 16%, como máximo valor, a la naturaleza del fenómeno de erosión, con ello propone una ecuación y su respectivo algoritmo de programación para la determinación de erosión local alrededor de pilas de puentes complejas.

13. DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROYECTO, INCLUIDO METODOLOGÍA (máximo tres carillas)

En el presente proyecto se pretende realizar la modelación numérica del fenómeno que provoca la erosión y socavación de sedimentos alrededor de pilas de puentes, de sección transversal circular y cuadrada. La base de calibración y validación del modelo numérico es el estudio: “Análisis experimental en modelo físico de fenómenos de turbulencia causantes de erosión alrededor de pilas de puentes utilizando acoustic doppler velocimeter adv”, realizado por Chiliquinga y Pinto como proyecto de titulación.

Dentro del Centro de Investigaciones y Estudios en Recursos Hídricos CIERHI se analizó de manera experimental el fenómeno de turbulencia que provoca la erosión y socavación del material sólido alrededor de una pila de puente. Mediante la experimentación de dos pilas de puentes de hormigón de diferente sección y dimensión (circular y cuadrada), con lecho de arena alrededor de ellas. Además, se llevó un registro de velocidades instantáneas en las tres dimensiones mediante el uso del ADV (Acoustic Doppler Velocimeter), dichos resultados son muy importantes en el análisis del flujo turbulento, en las zonas de incidencia alrededor de las pilas. Los ensayos se realizaron utilizando dos pilas de puente de hormigón de diferente sección, cuadrada (10 cm de lado) y circular (10 cm de diámetro). Las pilas se colocaron de manera perpendicular y sobre la cama de arena que tiene 2 m de largo y un espesor de 12 cm.

Para garantizar que la cama de arena no sea arrastrada por el flujo en el canal hidrodinámico y procesar la evolución de erosiones y socavaciones que sufre el lecho alrededor de una pila, se determinó las condiciones del umbral del movimiento experimentalmente en el laboratorio y a través del diagrama de Shields se verificó el resultado. Lo que permitió encontrar las condiciones de contorno que se utilizaron en todos los experimentos, manteniendo constante; caudal, pendiente del canal y variando; calado, forma de la pila. Además de realizar el análisis de la erosión también se estudió el fenómeno de turbulencia con la ayuda del registro continuo de velocidades instantáneas en las tres dimensiones de las sondas ADV (Acoustic Doppler Velocimeter).



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y VINCULACIÓN



En el presente proyecto de investigación se pretende utilizar los datos del modelo experimental mencionado, como base de calibración para la modelación numérica tridimensional de la erosión alrededor de pilas de puentes, utilizando el paquete computacional Flow 3D.

Dentro del análisis de problemas de Mecánica de Fluidos se realiza investigación experimental, desarrollo teórico y la metodología de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD: por sus siglas en inglés Computational Fluid Dynamic), dichos métodos, se relacionan y complementan entre sí. En la resolución mediante la metodología CFD, se aplican (Carrillo 2014):

- Las ecuaciones generales de conservación a una partícula de fluido, cuyos principios y ecuaciones son: principio de conservación de la masa, conservación de la cantidad de movimiento o segunda ley de Newton → Ecuaciones de Navier-Stokes (si se tienen en cuenta los términos viscosos y de disipación de energía) o ecuaciones de Euler (si se desprecian) y principio de conservación de la energía.
- Ecuación de estado o de comportamiento del fluido y,
- Las ecuaciones constitutivas del medio.

Por otro lado, los pasos genéricos para la solución de un problema de mecánica de fluidos mediante la metodología CFD, son los siguientes (Blanco 2007):

- Especificación de la geometría del problema.
- Creación del mallado o celdas en las que van a ser calculadas todas las variables.
- Definición de los modelos que se van a utilizar: modelos de turbulencia.
- Especificación de las propiedades del fluido: viscosidad, densidad, propiedades térmicas, etc.
- Imposición de las condiciones de contorno que controlan los valores de ciertas variables en los límites del dominio.
- Introducción de las condiciones iniciales.
- Control de los parámetros que afectan a la resolución numérica del problema.
- Proceso de cálculo.
- Análisis de la solución.

Para obtener la solución hidrodinámica en cada uno de los elementos (celdas) que conforman el dominio, es necesario disponer de la siguiente información básica:

- Geometría
- Rugosidad
- Condiciones Iniciales
- Condiciones de Contorno

Los elementos mencionados son la base de la calibración, validación y modelación numérica de fenómenos hidráulicos.

Una vez calibrado el modelo se ampliará la investigación mejorando las condiciones con las que se realizó el modelo físico, ya que en los resultados experimentales se determinó que era necesario un lecho de arena más profundo para poder determinar la profundidad máxima de erosión. Además, las paredes del canal del modelo físico influyeron directamente en los resultados. En el modelo numérico se colocarán las condiciones óptimas para obtener resultados sin las limitaciones físicas que se tiene en un modelo experimental. Finalmente se pretende determinar la profundidad máxima de erosión alrededor de pilas de puentes de sección circular y cuadrada, con el modelo numérico mejorado.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y VINCULACIÓN



14. INFRAESTRUCTURA Y EQUIPOS

- Indicar la infraestructura y equipos **disponibles** para la ejecución del proyecto, con la ubicación actual de los mismos

Infraestructura	Equipos	
Laboratorio ZZ	Nombre del Equipo	Ubicación del Equipo
	Licencia educacional CFD	CIERHI
	Flow 3D	

15. MONTO REQUERIDO

16.1 Monto y justificación del equipo requerido

Equipo	Monto	Justificación
1 Workstation HP Z6	\$ 4.816,00	Simulación de modelos numéricos y renderización de imágenes en alta calidad
1 impresora A3 Sistema Continuo Wifi Duplex Adf	\$ 448,00	Impresión de planos y fotografías de los modelos en escalas representativas
2 discos duros externos de dos teras	\$ 336,00	Almacenamiento de datos y resultados

16. FONDOS ADICIONALES

- *Otros fondos de otros organismos (si los hubiere)*



B. DATOS INFORMATIVOS

1. INFORMACIÓN DEL DIRECTOR, CODIRECTOR, COLABORADORES Y COLABORADORES TÉCNICOS

Apellidos y nombres	No. de Cédula	HSS*	Departamento	Rol	Título de mayor nivel y mención.
Ahmed Hamad Khaled Mohamed	172232722-6	4	DICA	Director	*PhD. Ingeniería Civil - Transporte de sedimentos
Torres Jacobowitz Cristina Alexandra	1709340218	6	DICA	Colaborador	Magister en Recursos Hídricos con mención en "Diseño de Proyectos Hidráulicos"

* HSS =Horas Semana Semestre: Es el número de horas que se dedica por semana a la investigación. Este número de horas se mantiene para todo el semestre



DECLARACIÓN FINAL
DECLARACIÓN DEL DIRECTOR DEL PROYECTO

El equipo de investigadores, representado por el Director del Proyecto declara lo siguiente:

- Que el presente proyecto es una creación original de mi autoría y del equipo de investigadores, y por tanto asumimos la completa responsabilidad legal en caso de que un tercero alegue la titularidad de los derechos intelectuales del proyecto, exonerando a la EPN de cualquier acción legal que se derive por esta causa.
- Que el presente proyecto no ha sido presentado en ninguna convocatoria de otra institución pública o privada. El incumplimiento será causal para que el proyecto no sea tomado en consideración.
- Que si el proyecto genera algún producto o procedimiento susceptible de obtener derechos de propiedad intelectual, de los cuales se deriven beneficios, aceptamos que éstos serán compartidos entre los investigadores y la institución o las instituciones participantes en el proyecto, conforme a lo establecido en el COESC.
- Que el equipo de investigadores y/o instituciones participantes se comprometen a mantener la confidencialidad de la información si ésta podría ser susceptible de protección por patentes, y solicitar la valoración de propiedad intelectual respectiva previa a cualquier publicación o difusión.
- Que para el caso de derechos de autor otorgamos una licencia de uso exclusivo con fines académicos para la o las instituciones participantes en el proyecto.
- Que aceptamos conocer y cumplir con la normativa vigente para la gestión de proyectos.

Firma del Director del Proyecto
Nombre: Ahmed Hamad Khaled Mohamed
C.I.: 172232722-6