
Investigación e Innovación Educativa en Docencia Universitaria. Retos, Propuestas y Acciones

Edición de.

Rosabel Roig-Vila
Josefa Eugenia Blasco Mira
Asunción Lledó Carreres
Neus Pellín Buades

Prólogo de.

José Francisco Torres Alfosea
Vicerrector de Calidad e Innovación Educativa
Universidad de Alicante

Edición de:

Rosabel Roig-Vila
Josefa Eugenia Blasco Mira
Asunción Lledó Carreres
Neus Pellín Buades

© Del texto: los autores (2016)

© De esta edición:

Universidad de Alicante
Vicerrectorado de Calidad e Innovación educativa
Instituto de Ciencias de la Educación (ICE) (2016)

ISBN: 978-84-617-5129-7

Revisión y maquetación: Neus Pellín Buades

Elaboración de material docente para la mejora del aprendizaje y adquisición de habilidades en Hidráulica e Hidrología

Pardo, M.A., Chiva, L. y Valdés-Abellán, J.

¹ *Área de Ingeniería hidráulica,
Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Alicante*

RESUMEN

La adquisición de competencias y habilidades de los alumnos asociada a las enseñanzas técnicas requiere no sólo de clases magistrales impartidas en aula sino que resulta indudable que la visualización real de los fenómenos naturales estudiados, tanto a escala real como reducida, es un hecho diferenciador de gran calidad en el proceso educativo.

El proceso de diseño y elaboración de los montajes experimentales necesarios para la reproducción de estos fenómenos es complejo y requiere de un profundo estudio para establecer mecanismos y dispositivos ingeniosos.

Por tanto, el objetivo de esta red de investigación docente consiste en el desarrollo de prototipos con los que reproducir en las clases de laboratorio procesos naturales dentro del campo de la Hidráulica y la Hidrología. Entre estos fenómenos podemos destacar la generación de hidrogramas a partir de cuencas hidrológicas a escala, los procesos de socavación local en pilas de puentes, la generación de resaltos y otros fenómenos asociados a los procesos de remanso.

Palabras clave: Prácticas, Hidráulica e Hidrología, Ingeniería Civil, Laboratorio

1 INTRODUCCIÓN

1.1. Cuestión que se plantea

Este proyecto trata de mejorar la formación del alumnado en los ámbitos de conocimiento de la rama de la Ingeniería Hidráulica es una de las tres ramas principales dentro de la titulación y la mejora en el proceso educativo de esta rama contribuirá en última instancia a crear profesionales competentes que sean capaces no solo de desenvolverse en la sociedad actual sino de modificarla y mejorarla a través del conocimiento.

Se pretende reducir el salto que pueda existir entre la formación teórica que históricamente se ha ofrecido en la universidad y la realidad existente más allá de los límites de las aulas. Al fin y al cabo es indudable que el Ingeniero Civil es un profesional cuya labor es gestionar las necesidades de una sociedad y encontrar el punto de unión entre estas necesidades que la necesidad le reclama y los recursos que la Naturaleza ofrece.

Un buen conocimiento y entendimiento del comportamiento hidráulico de los puentes y de la interacción de estas estructuras con el cauce del río permite un mejor diseño de las estructuras y un menor coste total de estas infraestructuras. Es necesario conocer perfectamente el proceso de erosión local en las pilas de los puentes para poder predecir su comportamiento y a su vez prevenirlo y cuantificarlo. La socavación es la degradación del fondo del cauce del río por la acción dinámica de la corriente del agua cuando el material arrastrado es mayor que el depositado en un punto concreto.

Los puentes son estructuras con una gran importancia social, ya que cumple sus objetivos viales y además, si el puente cruza un río, se debe considerar como estructura hidráulica. La erosión local ha sido una de las principales causas de ruina en puentes, ya que el 50% de los fallos de los puentes se producen por socavación local alrededor de las pilas o los estribos durante los períodos de inundaciones. Es por este motivo que a lo largo del tiempo se han realizado distintos estudios para evaluar la cantidad de fallos en los puentes que se producen debido a la socavación. Los distintos estudios se enumeran a continuación:

En un estudio sobre el número y el tipo de fallos que se produjeron en 143 puentes de todo el mundo, se constató que prácticamente el 50% de los fallos que se produjeron en los puentes fueron ocasionados por grandes avenidas, debido a la gran descarga de material y en última instancia a la socavación que se produce en los puentes.

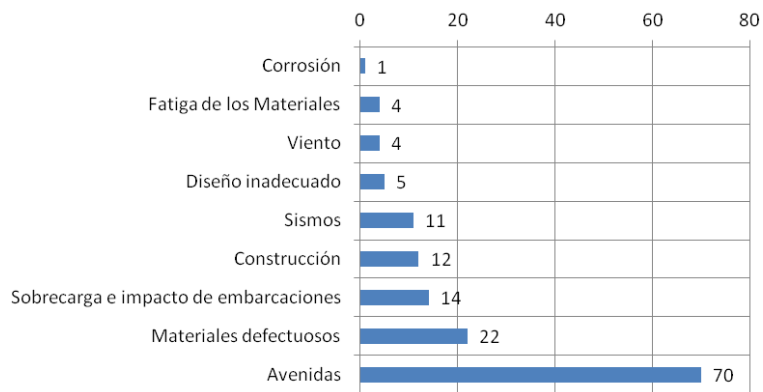


Figura 1. Distribución de los fallos de puentes mediante los distintos tipos de fallo que se pueden producir. (Rochas, 2008)

Esos mismos resultados los detalla en sus informes periódicos la American Association of state Highway and Transportation Officials (AASHTO, 1994 y 2002), que indica que la mayor parte de los puentes que han fallado en los Estados Unidos ha sido a causa de la socavación. Wadhana y Hadipriono (2003) cuantifican estas cifras y lo dejan en que el 53% de los casos fue debido a las avenidas y como consecuencia la socavación. En Colombia se realizaron estudios para fallos de puente para los periodos 1996-1997 y 2001-2002, encontrando que el 73% de los fallos ocurridos en los puentes fueron ocasionados a la erosión fluvial (Rochas, 2008).

1.2. Estado de la cuestión

En la actualidad, el área de Hidráulica imparte docencia en 2º curso de ingeniería civil y la asignatura de Hidráulica e Hidrología tiene asignada un total de 15 horas de laboratorio, ubicado en el edificio Politécnica III.

En el laboratorio se dispone de un canal abierto que habitualmente tiene una solera y unos cajeros de metacrilato. Para el estudio se recubrió el lecho de arena. El canal, es de sección transversal rectangular y su pendiente es ajustable. El flujo entra en el canal desde un tanque de almacenamiento y un equipo de bombeo que eleva el flujo haciéndolo circular en circuito cerrado a través del canal. Los cajeros del canal suelen construirse con metacrilato de modo que se pueden observar los procesos de flujo y erosión. Con este canal, se pretende estudiar la erosión en el lecho del río experimentalmente.

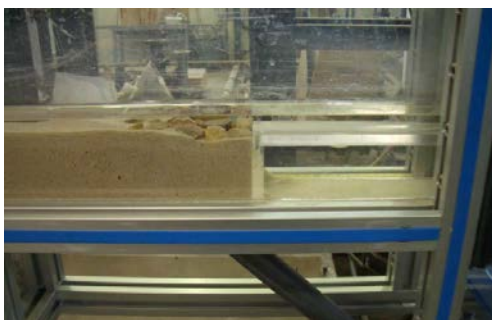


Figura 2. Canal abierto existente en laboratorio de hidráulica

2 METODOLOGÍA

El objetivo principal es crear un grupo de trabajo que en primer lugar analice qué fenómenos son los más interesantes desde el punto de vista de los ámbitos de conocimiento tratados. En segundo lugar, otro segundo grupo analizará estos fenómenos seleccionados y tratará de diseñar los dispositivos para poder llevar a cabo estos fenómenos. Como tarea adicional a este segundo grupo se sitúa la detección de los principales inconvenientes, tanto de complejidad en el diseño como económicos, existentes en los dispositivos necesarios previamente identificados.

Como tercera tarea se sitúa la elaboración material de los dispositivos seleccionados. Este objetivo parcial requiere elaboración de planos necesarios para la completa descripción de los dispositivos, y la ejecución material de dicha idea. Esta ejecución material previsiblemente se realizará en el taller mecánico de la propia Universidad de Alicante, y adicionalmente se adquirirán externamente los materiales necesarios no disponibles.

2.1 Descripción del contexto y materiales

El estudio de la socavación de las pilas de los puentes se lleva a cabo mediante un ensayo de laboratorio. En este ensayo se obtienen los parámetros necesarios para analizar los efectos y las consecuencias que tiene el paso del agua sobre el lecho del río que sustenta dichas pilas.

Los estudios experimentales para la obtención de la socavación de las pilas de un puente suelen realizarse en un canal abierto con lecho de arena. El tubo de admisión está protegido por un filtro con el fin de minimizar la presencia de arena en el sistema de recirculación y la bomba. La descarga de la bomba se puede ajustar mediante una válvula de control. Los alumnos en clase de laboratorio de la asignatura de hidráulica e hidrología podrán obtener, recurriendo a modelos físicos reducidos y con las distintas fórmulas empíricas aplicables, la erosión máxima final para régimen hidráulico permanente en el tiempo, de tipo lento y lecho granular.

Las variables que influyen en la erosión en las pilas, en orden de importancia son:

- La dimensión transversal de la pila

- La velocidad de la corriente
- La granulometría del material de fondo
- La forma del obstáculo
- El calado

2.2 Materiales

En primer lugar se deben buscar todos los materiales necesarios para la realización del ensayo y la cantidad que sea necesaria de cada uno. Para esto se busca arena que contenga mayoritariamente los tamaños interesados y que su composición sea bastante uniforme. Cabe destacar que es muy importante que el material seleccionado no sea excesivamente poroso, para evitar que flote al introducirlo en el canal. A continuación se debe obtener la cantidad de material necesaria para rellenar el canal y así poder realizar correctamente el ensayo.

2.3 Instrumentos

El canal estará compuesto por arena de tamaño uniforme. Para evitar la socavación y arrastre de material a la entrada del canal, se puede colocar una pantalla de metacrilato para absorber la energía del impacto del chorro de entrada. Además de reducir al mínimo las discontinuidades del banco de arena y del canal.

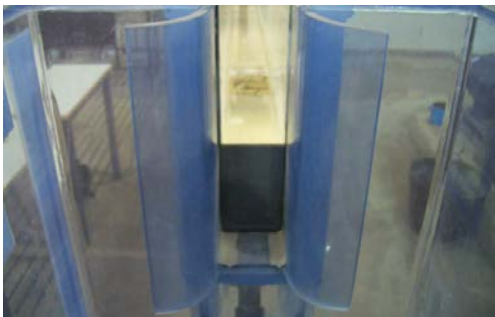


Figura 3. Entrada de canal.

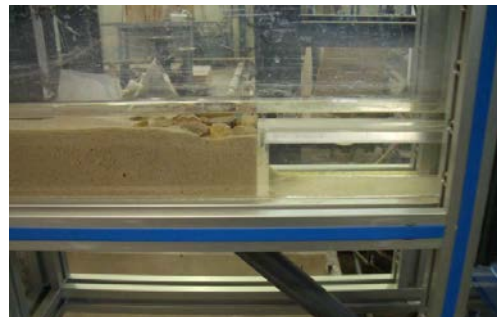


Figura 4- Banco inicial y de transición de grava.

Las pilas modeladas se podrán colocar en un panel horizontal que se apoya en las paredes del canal, como se ve en las figuras 4 y 5, o sujetarlas mediante una placa metálica con otro sistema de sujeción distinto. A lo largo de la línea de centro del panel, una ranura permitirá colgar las pilas y mantenerlas por medio de un dispositivo tornillo-tuerca.

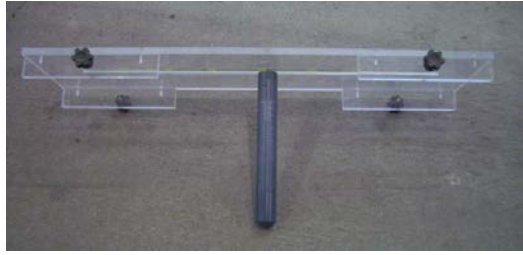


Figura 5. Panel de metacrilato para sujetar las pilas.



Figura 6. Panel de metacrilato sobre el canal.

2.4 Procedimientos

En la fase experimental que se explica a continuación se ensayan tres factores diferentes que se explican a continuación:

- Tipo de arena

Para el ensayo se van a usar tres granulometrías distintas de arena. Arena que pasa por el tamiz de 4 y queda retenida en el de 2mm, la que pasa por el de 2 y queda retenida en el de 1,25 mm, y por último la que pasa por el tamiz 1,25 y queda retenida en el de 0,5 mm.

- Tipo de pila

Se van a usar dos tipos de pilas cilíndricas distintas. En primer lugar se van a usar pilas de 0,3 m de diámetro, ensayadas en solitario y por parejas. También se usarán pilas de 0,15 m de diámetro

- Velocidad

El último factor que se va a tener en cuenta en el ensayo es la velocidad del flujo. Las velocidades que se van a ensayar son 0,008 m/s, 0,010m/s, 0,013 m/s, 0,017 m/s, 0,023 m/s, 0,029 m/s y 0,029 m/s. Para conseguir estas velocidades se combinan distintos caudales con distintos calados.

Una vez se han obtenido todos los datos necesarios, se representan los valores experimentales frente a los modelados, así se conoce la bondad de las fórmulas usadas. Con todos los datos obtenidos se comparan todas las fórmulas obtenidas, teniendo en cuenta cual da un menor error y a su vez es la que mejor se ajusta al ensayo experimental.

A continuación se obtiene el factor escala, muy necesario para conocer la equivalencia del ensayo realizado a un caso real y por último se va a diseñar una nueva fórmula para la obtención de la socavación con un mejor ajuste que el de las fórmulas anteriores. Seguidamente se comparan los resultados obtenidos en la nueva fórmula con los que se han obtenido en las fórmulas anteriormente descritas

La socavación se produce cuando el esfuerzo cortante en la interfaz de las partículas del flujo excede el valor crítico necesario para el movimiento de las partículas de sedimentos en la dirección del flujo.

$$T_c = 0.06 \cdot (Y_s - Y) \cdot D_{50} \quad (1)$$

Sabiendo que:

- T_c = esfuerzo crítico de corte (N/m^2),
- Y_s = peso específico de la partícula de sedimento (N/m^3)
- Y = peso específico del agua (N/m^3)
- D_{50} = diámetro medio del grano, (m)

Una desviación granulométrica alta, indica la capacidad de acorazamiento del lecho, fenómeno que reduce la profundidad de erosión. Queda sin ser objeto del presente estudio la influencia de las altas pendientes y las características de las avenidas cortas y bruscas, que son muy comunes en los ríos españoles de la vertiente mediterránea.

A continuación se van a introducir las distintas fórmulas empíricas que se van a aplicar en este proyecto para el cálculo de la socavación. Cabe señalar el alto número de expresiones existentes en la bibliografía científica, lo que pone de manifiesto por un lado el hecho de que todavía no se ha alcanzado una expresión con un nivel de bondad, universalidad y consenso suficiente para ser considerada válida en todos los casos; y en segundo lugar pone de manifiesto que el objeto de estudio de este trabajo es un tema todavía muy joven científicamente hablando y del que queda un largo camino por recorrer.

2.5 Puesta a punto del ensayo. Fase experimental

En primer lugar se deben buscar todos los materiales necesarios para la realización del ensayo y la cantidad que sea necesaria de cada uno. Una vez se ha localizado el material se lava, seca y tamiza en aras de separar los tamaños de árido a ensayar.

A continuación se diseñan y fabrican las pilas. Éstas son de PVC macizo con un orificio central en la parte interior para introducir una barra metálica para poder anclar las pilas por la parte superior a una pletina metálica. Todas las pilas son circulares pero de distinto diámetro y con la misma altura para que se logre un acople óptimo con la pletina (Figura 7).



Figura 7 Pilas que se van a usar para el estudio experimental. (Imagen propia)

Diseño y fabricación de un sistema de anclaje de las pilas al canal. Para el perfecto anclaje de la pila al canal se usa una pletina metálica. Para sujetar las pilas a la pletina metálica se usa el sistema que se va a explicar a continuación.

Una vez se han diseñado las pilas y los sistemas de anclaje, se debe diseñar y fabricar un sistema de contención para evitar la deposición del material en el depósito de almacenamiento y, sobre todo, un posterior contacto con el rodete de la bomba. En primer lugar se realiza un bastidor de madera (Figura 8) sobre el cual se colocan dos tamices. Además se diseñan unos topes para el sedimento (Figura 9).



Figura 8. Bastidor de madera y juego de tamices. (Imagen propia)



Figura 9 Topes para impedir la fuga de material hacia la bomba de madera y mortero respectivamente. (Imagen propia)

Con todo el instrumental necesario para la realización del ensayo, el siguiente paso es obtener los calados necesarios para obtener las velocidades con las que se va a realizar el ensayo de las pilas en el canal. Las velocidades que se van a ensayar se fijan previamente. Estas velocidades se consiguen combinando los distintos caudales con los calados que van de 0,1 a 0,03 metros. Los valores usados se pueden ver en la tabla 3.1 que hay a continuación.

Tabla 1. Valores de caudales, calados y velocidades para realizar el ensayo.

Q (l/s)	Y (m)	V (m/s)
0,5	0,1	0,065
0,6	0,09	0,087
0,7	0,08	0,114
0,8	0,07	0,148
0,9	0,06	0,195
1	0,05	0,260
1,1	0,04	0,357

Para el correcto desarrollo del ensayo se pone un tamaño de árido en el canal y un tipo de pila, seguidamente se un ensayo para cada calado que se ha seleccionado, como se indica en la *Tabla 1*. Una vez terminado el proceso se empieza con otra serie de ensayos pero esta vez se varía el número de pilas, se realiza el experimento con dos pilas iguales.

Tabla 2. Ensayos que se van a realizar en el canal para tener todas las variables cubiertas.

Tamaño de árido	Pila	Caudales	Tamaño de árido	Pila	Caudales	Tamaño de árido	Pila	Caudales	
pasa 4 retiene 2	1 grande	0,5	Pasa 2 retiene 1,25	1 grande	0,5	pasa 1,25 retiene 0,5	1 grande	0,5	
		0,6			0,6			0,6	
		0,7			0,7			0,7	
		0,8			0,8			0,8	
		0,9			0,9			0,9	
		1			1			1	
	1	1		1					
	2 grandes	0,5		2 grandes	2 grandes		0,5	2 grandes	0,5
		0,6					0,6		0,6
		0,7					0,7		0,7
		0,8					0,8		0,8
		0,9					0,9		0,9
		1					1		1
	1	1		1					
	1 pequeña	0,5		1 pequeña	1 pequeña		0,5	1 pequeña	0,5
		0,6					0,6		0,6
		0,7					0,7		0,7
		0,8					0,8		0,8
0,9		0,9	0,9						
1		1	1						

		1			1			1
	2 pequeñas	0,5		2 pequeñas	0,5		2 pequeñas	0,5
		0,6			0,6			0,6
		0,7			0,7			0,7
		0,8			0,8			0,8
		0,9			0,9			0,9
		1			1			1
		1			1			1

2.6 Factor escala

Para obtener el factor escala en primer lugar se deben obtener las medidas reales, se debe tener en cuenta que el número de Froude permanece constante para ambos casos, el modelo y el real, (tabla 3.3). Para obtener el valor real del resto de factores que intervienen se aplican las siguientes fórmulas, (ecuaciones 2 a 6).

$$\lambda = \frac{y_r}{y_m} \quad (2)$$

$$Q_m = Q_r \cdot \lambda^{-\frac{5}{2}} \quad (3)$$

$$V_m = V_r \cdot \lambda^{-\frac{1}{2}} \quad (4)$$

$$y_m = y_r \cdot \lambda^{-1} \quad (5)$$

$$F_m = F_r \quad (6)$$

Tabla 3. Valores usados en la modelización y equiparados a una situación real para obtener la escala a la que se está trabajando. Cabe tener en cuenta se ha usado $g = 9.8$ i todas las pilas ensayadas son de sección circular.

Ensayo	Modelo					Realidad							Escala
	\emptyset (m)	Q (l/s)	V (m/s)	γ (m)	F	\emptyset (m)	F	γ (m)	λ	V (m/s)	Q (l/s)	Q (hm3)	
1	0.03	0.5	0.064	0.100	6.250	2	0.065	6.50	65	0.52	17032	17.03	1:65
2	0.03	0.6	0.085	0.090	6.860	2	0.091	5.85	65	0.69	20438	20.44	1:65
3	0.03	0.7	0.112	0.080	7.395	2	0.126	5.20	65	0.90	23844	23.84	1:65
4	0.03	0.8	0.139	0.073	7.942	2	0.164	4.75	65	1.12	27250	27.25	1:65
5	0.03	0.9	0.196	0.055	8.668	2	0.267	3.58	65	1.58	30657	30.66	1:65
6	0.03	1	0.242	0.045	9.583	2	0.364	2.93	65	1.95	34063	34.06	1:65
7	0.03	1	0.313	0.030	10.320	2	0.577	1.95	65	2.52	34063	34.06	1:65
15	0.015	0.5	0.064	0.100	6.250	1	0.065	6.50	65	0.52	17032	17.03	1:65
16	0.015	0.6	0.085	0.090	6.860	1	0.091	5.85	65	0.69	20438	20.44	1:65
17	0.015	0.7	0.112	0.080	7.395	1	0.126	5.20	65	0.90	23844	23.84	1:65
18	0.015	0.8	0.139	0.073	7.942	1	0.164	4.75	65	1.12	27250	27.25	1:65
19	0.015	0.9	0.196	0.059	8.369	1	0.258	3.84	65	1.58	30657	30.66	1:65
20	0.015	1	0.242	0.049	9.183	1	0.349	3.19	65	1.95	34063	34.06	1:65
21	0.015	1	0.313	0.038	9.169	1	0.513	2.47	65	2.52	34063	34.06	1:65

Una vez realizados todos los cálculos pertinentes, se obtienen los parámetros que se ajustarían a la realidad. Cabe destacar que no corresponde a ninguna situación real en concreto. Como se observa en la tabla 3.2, las velocidades del flujo varían de 0,52 m/s a 2,52 m/s, siendo estas la menor y la mayor respectivamente. En cuanto al caudal varía de 17,03 a 34,06 hm³. Como se ha podido comprobar la escala a la que se ha realizado la modelización y el ensayo del presente trabajo es de 1:65

3 RESULTADOS

El cálculo de la socavación en las pilas de los puentes se puede obtener de forma empírica, usando las ecuaciones habituales. Los resultados obtenidos mediante este método se han registrado y almacenado. Se calcula el error absoluto de las distintas fórmulas empíricas usadas respecto a los datos obtenidos en el método experimental, este valor es muy útil para analizar el buen comportamiento y la adecuación de la fórmula usada frente al ensayo experimental.

Tabla 4. Cálculo de los errores absolutos de las fórmulas usadas para la obtención empírica de la socavación

	Sumatorio	Error absoluto		Sumatorio	Error absoluto
Canal	243,10		Larras	1609,24	16,85
Richardson	262,95	1,35	Neill	404,38	3,06
Laursen	387,83	3,45	Shen	11,10	3,25
Cartens	0,01	3,39	Hancu	-44927,65	595,19
Inglis	2346,00	33,08	Breuser	150,10	3,45
Yaroslavitzer	-1209602,64	14402,93	Flores	294,84	1,77
Jain Fisher	1688,99	18,72	León	42,04	2,90
CSU	1197,15	11,68	FHWA HEC-18	1661,83	125,88
Laursen ajustada	375,84	3,14			

El principal resultado del estudio consiste en la obtención de una nueva fórmula de socavación, se coge como base la fórmula de Richardson. En primer lugar se escogen los parámetros que tienen influencia directa sobre la socavación. Estos parámetros son el tamaño de grano, (ϕ), el número de pilas que hay en el ensayo, (n° pila), el ancho de la pila ensayada, (b), el calado, el caudal, (Q), la velocidad, (v), el número de Freud, (f_r), y los datos obtenidos experimentalmente de la socavación, ($Y_s \text{ exp.}$), y se realiza una tabla donde posteriormente se operará con ellos.

Como ya se ha indicado anteriormente la nueva fórmula para la socavación se obtiene cogiendo como base la ecuación de Richardson y operando, combinando con los parámetros

anteriormente citados. Una vez se ha obtenido una fórmula se debe obtener su bondad, del mismo modo que se ha explicado para las fórmulas empíricas en el apartado anterior.

Es la ecuación que se toma como base para hallar una nueva fórmula de socavación.

$$e = 2.0K_1K_2B^{0.65}Y_1^{0.35}Fr_1^{0.43} \quad K_1 \text{ y } K_2 = 1 \quad \text{error} = 0.022 \quad (7)$$

Siendo:

- e: erosión máxima en metros.
- B: anchura de la pila en metros.
- K_1 : constante de la forma de la pila, siendo 1 para pilas circulares y 1,1 para las rectangulares.
- K_2 : constante de ángulo de ataque
- Y_1 : calado
- Fr_1 : número de Froude aguas arriba

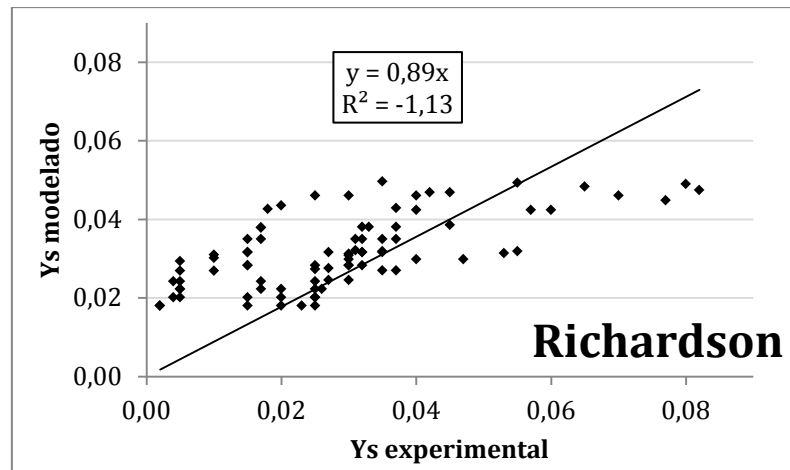


Figura 10. Relación obtenida entre los valores experimentales y los modelados con la nueva ecuación propuesta

4 CONCLUSIONES

Físicamente, el fenómeno de la socavación, consiste en que alrededor de la pila se dan velocidades locales mayores que las medias de la corriente, acompañadas de un sistema de vórtices frontales, laterales y de estela detrás de la pila. Los granos del lecho del río son aspirados y se forma un foso alrededor de la pila, con la mayor profundidad y extensión en la cara frontal. Geométricamente el foso de socavación tiene forma de cono invertido, con el eje situado en el punto de máxima erosión, en cambio al ver la socavación que se produce en planta, esta tiene forma de gota o de un óvalo.

El estudio de la socavación se puede realizar de forma experimental o empírica. La fase experimental se ha realizado combinando tres tipos de arena, dos tipos de pilas que se ensayan individualmente y en grupos de dos pilas iguales y distintos calados (para conseguir las

velocidades requeridas). De modo que se han realizado 84 ensayos de laboratorio. Y los resultados son que a mayor velocidad y con un menor tamaño de sedimento la socavación producida por una misma pila sea mayor. A parte de estos dos factores, también tiene una gran influencia sobre el proceso de la socavación el número y diámetro de pilas que se usan en el ensayo. Por tanto se obtiene que los procesos de socavación se incrementan en los ensayos que se usan dos pilas y estas son del mayor diámetro ensayado, 0,3 m.

La fase empírica se realiza obteniendo la socavación mediante la utilización de distintas fórmulas clásicas. De todas las ecuaciones estudiadas se observa que el mejor ajuste es la fórmula de Richardson (Tabla 4). Se propone una nueva ecuación que mejore el ajuste de la anterior y se obtengan unos datos de socavación más cercanos a los del ensayo experimental.

Por último, con la investigación realizada en el laboratorio del departamento, se han realizado unos estudios que han originado un material docente que permita a los alumnos entender perfectamente un fenómeno que condiciona el funcionamiento de unas estructuras hidráulicas estratégicas para la sociedad.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO (1994). *Manual for condition evaluation of Bridges, Second edition*. American Association of State Highways Officials, Washington, D.C.
- AASHTO (2002). *Standard specifications for highways bridges, Second edition*. American Association of State Highways Officials, Washington, D.C.
- Wardhana K, Hadipriono F C (2003). *Analysis of recent bridge failures in the United States* Journal of Performance of Constructed Facilities, 2003, 17(3): 144-150.
- Rochas, A. (Junio 2008). *Erosión de pilares y estribos de puentes*. IV Congreso Internacional de la Construcción-ICG, Lima diciembre 2008.