

PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE EN EL CAMPO DE LA INGENIERÍA HIDRÁULICA, APLICADO AL ESTUDIO DE LA SOCAVACIÓN EN CAUCES DE ARENA EN LA PILA DE LOS PUENTES

PROCESS OF TEACHING-LEARNING IN THE FIELD OF HYDRAULIC ENGINEERING, APPLIED TO THE STUDY OF THE SOCAVATION IN SAND CAUCES IN THE PILE OF THE BRIDGES

Ignacia Torres-Villegas¹ (angelatorresvillegas@yahoo.com)

Santiago Gustavo Ramírez-Aguirre² (s.ramirez0105@hotmail.com)

Vicente León-Toledo³ (vipaleto2004@yahoo.com)

RESUMEN

El artículo se centra en una estrategia didáctica que tiene como propósito motivar a los estudiantes de la carrera Ingeniería Civil, de la Universidad de Guayaquil, por la asignatura Hidráulica. Para ello se aplicó un modelo de aprendizaje basado en problemas (ABP), de forma tal que los estudiantes se interesen en el aprendizaje de la asignatura mediante un problema de la vida real, como el estudio de la socavación, para determinar las causas que han ocasionado la erosión en pilas de puentes. Esto permitió detectar carencias en el conocimiento tanto teórico como práctico, por lo que la metodología propuesta puede ser utilizada como una herramienta para diagnosticar y corregir las debilidades en el proceso formativo de los futuros ingenieros civiles.

PALABRAS CLAVES: Aprendizaje basado en problemas, Ingeniería Hidráulica, Ingeniería Civil, enseñanza-aprendizaje, socavación en puentes.

The article focuses on a didactic strategy that aims to motivate students of the Civil Engineering career, from the University of Guayaquil, for the subject Hydraulics. To this end, a problem-based learning model (PBL) was applied, so that students are interested in learning the subject through a real-life problem, such as the study of undermining, to determine the causes they have caused erosion in piles of bridges. This allowed detecting deficiencies in both theoretical and practical knowledge, so that the proposed methodology can be used as a tool to diagnose and correct weaknesses in the training process of future civil engineers.

KEYWORDS: Problem-based learning, Hydraulic Engineering, Civil Engineering, teaching-learning, bridge undercutting.

¹ Docente de la carrera Ingeniería Civil en la Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas de la Universidad de Guayaquil.

² Docente de la carrera Ingeniería Civil en la Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas de la Universidad de Guayaquil.

³ Docente de la carrera Ingeniería Civil en la Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas de la Universidad de Guayaquil.

Desarrollar y adaptar nuevas estrategias pedagógicas y didácticas que permitan la formación de profesionales en el campo de la ingeniería civil es una preocupación constante de los docentes en las universidades ecuatorianas, para ello se potencia el aprender a aprender, la aplicación del conocimiento en la práctica, trabajar de forma colaborativa, así como el desarrollo de competencias específicas, con la finalidad de que el alumno preste un mayor interés en lo que aprende.

Por tanto, en el presente artículo se describe la aplicación de la metodología ABP, adaptada para el desarrollo de competencias profesionales en los estudiantes de la carrera Ingeniería Civil, de la Universidad de Guayaquil, con el propósito de determinar el papel que juegan docentes y estudiantes, al llevar lo aprendido en el aula a proyectos relacionados con la vida, así como las competencias a desarrollar en el proceso formativo, los puntos de control y los mecanismos de evaluación.

Como resultado de la aplicación de la metodología se constataron cambios favorables en el desarrollo de competencias profesionales, lo cual ha sido manifestado por los estudiantes y los docentes.

Metodología propuesta

La metodología que se propone se aplicó a un caso de la vida real, con la finalidad de ayudar a los estudiantes a resolver problemas que se les puedan presentar y, sobre todo, para favorecer el desarrollo de las competencias contempladas en los planes de estudio de los programas de la carrera Ingeniería Civil. Se describe a continuación:

C1: Proponer la solución de problemas del entorno a través de un proyecto planteado en la asignatura Hidráulica.

C2: Conocer los métodos y estrategias más adecuadas para la recolección, manejo e interpretación de la información y el desarrollo del proyecto en la ingeniería civil.

El aprendizaje basado en problemas (ABP)

El ABP es uno de los métodos de enseñanza-aprendizaje que ha tenido mayor aceptación entre las instituciones de educación superior en los últimos años (Torres y Rodríguez, 2017). El ABP ha sido utilizado como una estrategia general a lo largo del plan de estudios de una carrera profesional, implementado como estrategia de trabajo a lo largo de cursos específicos e incluso como una técnica didáctica aplicada para la revisión de ciertos objetivos de aprendizaje. (Restrepo, 2005; González y Del Valle, 2008; Ortiz, González, Marcos, Victoria y Nardiz, 2003).

El ABP es un método de enseñanza caracterizado por el uso de problemas del "mundo real" establecidos como contextos en los que los estudiantes desarrollan

su capacidad crítica y de solución de problemas, al tiempo que adquieren los conceptos esenciales de un determinado ámbito del conocimiento. (Iglesias, 2002).

Aplicación práctica del problema

La investigación de la que se deriva este artículo se realizó con el propósito de estudiar la socavación, para determinar las causas que han ocasionado la erosión en la pila del puente, lo que posibilita evitar problemas en el futuro. En el campo de Ingeniería Hidráulica, el estudio de la socavación en cauces de arena, grava y arcilla es de considerable importancia, ya que es necesario predecir y controlar la erosión cerca de estructuras hidráulicas, la cual puede poner en peligro la seguridad de tales estructuras.

El problema de socavación es extremadamente complejo puesto que las condiciones del flujo, inclusive de turbulencia, en el foso de socavación son difíciles de evaluar. Aun cuando esto sea posible, la interacción entre los sedimentos y las propiedades del flujo no es fácil de cuantificar. Este problema se presenta en los escurrimientos en cauces con lechos móviles y se debe a una perturbación local del lecho causado por vórtices originados por alguna singularidad del escurrimiento, tal como presencia de un obstáculo, cambio de dirección del flujo, implantación de obras en un cauce aluvial o cambios bruscos de lecho fijo a lecho móvil. (Aguirre, Achinte, y Jegat, 1980).

En muchos casos el problema se le atribuye a la mala planeación, diseño, operación, mantenimiento o construcción de obras, así como asentamientos cercanos dentro del área de influencia del cauce de los ríos. (Enríquez, 2014).

Todo lo expuesto anteriormente nos permite afirmar que antes de diseñar obras para tratamiento de cauces es necesario conocer la magnitud de la socavación general, para ello se deben realizar análisis geomorfológicos entre puntos de control estables. Estos análisis se basan en el estudio de fotografías aéreas y cartografía de diferentes épocas y los cambios que se aprecien en observaciones de campo y en levantamientos topográficos.

Ubicación geográfica del proyecto

El proyecto se encuentra ubicado en el cantón Balao, limita al norte con el cantón Naranjal, al sur con la parroquia Tenguel del cantón Guayaquil, al este con la provincia del Azuay y al oeste con el Canal de Jambelí que forma parte del Golfo, tal como se muestra en la figura 1.

Fig. 1 Ubicación del proyecto



Como punto de referencia hemos tomado el puente Nueva Italia, que se encuentra en el río principal Balao Grande, entre los recintos San Carlos y San Antonio del cantón Balao de la provincia del Guayas.

Fig. 2 Esquema del puente Nueva Italia



El puente está ubicado a 13.50 kilómetros del cantón Balao. El río principal y que atraviesa el cantón es el río Balao Grande. Balao tiene un suelo muy fértil, con una buena producción de banano, cacao, arroz, maíz, yuca, tomate, café y una gran variedad de frutas tropicales. Entre las maderas más importantes está el balao, el guayacán, el laurel y la balsa, en todo el cantón se cría ganado vacuno y caballar, es importante también la actividad pesquera y camaronera.

La zona costera del Ecuador se caracteriza por presentar las siguientes estructuras geológicas: Cordillera Occidental, una cadena de montañas paralela a la Cordillera Real y separada de ella en la parte septentrional del país por una depresión o graben interandino central. Está compuesta por rocas de corteza oceánica adheridas (acrecionados) al terreno continental durante el Mesozoico tardío al Cenozoico; sobrepuestas a estas se encuentran secuencias de rocas volcánicas continentales (calco alcalinas) de edad geológica postecénicas desarrolladas en el margen continental.

Estudio hidrológico y cálculo matemático

Análisis de la cuenca hidrográfica

La ubicación del puente define una cuenca de drenaje de aproximadamente 227.4 km², con una longitud de cauce aproximada de 19.41 km.

Altitud media

Sirve para plantear curva de niveles y está dado en el promedio entre el desnivel más alto con el bajo. Para calcular la altitud media se utiliza la siguiente fórmula:

$$H_m = \frac{\sum_{i=1}^n H_i * a_i}{A_t}$$

H_i = altura media.

a_i = área entre curvas.

A_t = área total.

$$H_m = 856.14 \text{ km}^2 * m$$

Índice de compacidad

Es la relación entre el perímetro de la cuenca y el de un círculo de la misma superficie (Y) está dada por:

$$I_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

P = perímetro de la cuenca.

A = área de la cuenca.

$$I_c = 0.28 \frac{111.57 \text{ km}}{\sqrt{227.40 \text{ km}^2}}$$

$$I_c = 2.07$$

Este coeficiente sirve para saber la forma de la cuenca, cuanto más sea irregular mayor será su coeficiente de compacidad.

Curva hipsométrica

Es una curva que indica el porcentaje de área de la cuenca y bien la superficie de la cuenca en km² que existe por encima de una cota determinada.

Fig. 3. Curva hipsométrica



Sirve para determinar el relieve de la cuenca, en el cual se obtiene el 50 % de la curva.

Rectángulo equivalente

Es un rectángulo que tiene la misma superficie de la cuenca, igual índice de compacidad y la misma distribución hipsométrica. Está dada por:

LADO MAYOR

$$\text{Lado mayor} = \frac{I_c \sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{I_c} \right)^2} \right]$$

$$\text{Lado mayor} = \frac{2.07 \sqrt{227.40}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{2.07} \right)^2} \right]$$

Lado mayor = 51.36 km

LADO MENOR

$$\text{Lado menor} = \frac{I_c \sqrt{A}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{I_c} \right)^2} \right]$$

$$\text{Lado menor} = \frac{2.07 \sqrt{227.40}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{2.07} \right)^2} \right]$$

Lado menor = 4.43 km

Índice de pendiente

Es la relación entre las áreas parciales y la superficie total de la cuenca y está dada por:

$$I_p = \sum_{i=1}^n \sqrt{\beta_i (a_n - a_i)} \left(\frac{1}{\sqrt{L_{may}}} \right); \quad \beta = \frac{a_i}{A_{total}}$$

L= longitud del lado mayor del rectángulo equivalente.
β= Es la fracción de la superficie total.
an= Cota de la curva de nivel del rectángulo equivalente.
ani= Ultima anterior.
n= número de curvas de nivel del rectángulo equivalente.
lp = 11.89

Pendiente media del río

La pendiente del río puede ser vista y calculada con la siguiente fórmula:

$$S = \left(\frac{L}{\left(\frac{l_1}{S_1^{0.5}} + \dots + \frac{l_n}{S_n^{0.5}} \right)^2} \right)$$

S = 14%

Sirve como parámetro que permite evaluar el potencial para erosionar, a partir de la velocidad de flujo, la cual nos ayuda a entender el comportamiento en el tránsito de avenidas, así como las determinaciones de las características óptimas para hidroeléctricas y estabilización de cauces.

Curvas de intensidad, duración y frecuencia

El cálculo hidrológico de la avenida de diseño en estructuras cuya cuenca es pequeña, como presas de almacenamiento; derivación o control de avenidas; alcantarillas y puentes pequeños; obras de drenaje agrícola y urbano se deberá basar en el análisis en la información disponible sobre lluvias máximas de la zona y en las características físicas de esta. Las curvas de intensidad, duración y frecuencia (IDF) son básicas en todo análisis hidrológico para la estimación de avenidas máximas por métodos empíricos e hidrológicos. (Pizarro, Abaza y Flores, 2017).

Aplicación del método de los bloques alternos

Con las curvas IDF graficamos el hietograma por medio de la metodología de los bloques alternos que consiste en dividir a la precipitación en intervalos iguales.

Los valores de las intensidades fueron tomados de las curvas IDF de la estación troncal.

Métodos aplicados a la cuenca del río Balao Grande

Hidrograma unitario triangular

Cálculo del hidrograma unitario de la cuenca del río Balao Grande que tiene como datos los siguientes:

Área	227.4 Km ²
Longitud del cauce principal	19.41 Km
Perímetro de la cuenca	111.50 Km
Pendiente del río	0.0132

Cálculo del tiempo de concentración

Para poder hacer uso de las curvas IDF es necesario conocer el tiempo de concentración de la lluvia, que se define como el tiempo que pasa desde el final de la lluvia neta, hasta el final de la escorrentía directa. Representa el tiempo que tarda en llegar al aforo la última gota de lluvia que cae en el extremo más alejado de la cuenca y que circula por escorrentía directa. Por lo tanto, el tiempo de concentración sería el tiempo de equilibrio o duración necesaria para que con una intensidad de escorrentía constante se alcance el caudal máximo.

L= longitud del cauce principal en (millas).

H= altura en (pies).

$$t_c = \left(\frac{11.9 L^3}{H} \right)^{0.385}$$

$$t_c = \left(\frac{11.9 \times 12.06^3}{11663.38} \right)^{0.385}$$

$$t_c = 1.25 \text{ horas}$$

Duración de la tormenta

$$de = 2\sqrt{t_c}$$

$$de = 2\sqrt{1.25}$$

$$de = 2.23 \text{ horas}$$

Tiempo de retardo

$$tr = 0.6 t_c$$

$$tr = 0.6 \times 1.25$$

$$tr = 0.75 \text{ horas}$$

Tiempo pico

$$tp = \frac{de}{2} + tr$$

$$tp = \frac{2.23}{2} + 0.75$$

$$tp = 1.86 \text{ horas}$$

Tiempo base

$$t_b = 2.67 t_p$$

$$t_b = 2.67 \times 1.86$$

$$t_b = 4.96 \text{ horas}$$

Caudal pico

$$q_p = \frac{0.208 \times A}{t_p}$$

$$q_p = \frac{0.208 \times 227.4}{1.86}$$

$$q_p = 25.42$$

$$q_p = 25.42 \frac{m^3}{sg}$$

Hidrograma de Snyder

El cuerpo de ingenieros de los EEUU introdujo dos ecuaciones adicionales al modelo con el objeto de obtener 4 puntos del hidrograma unitario de Snyder que facilitan su definición.

Dichas ecuaciones son:

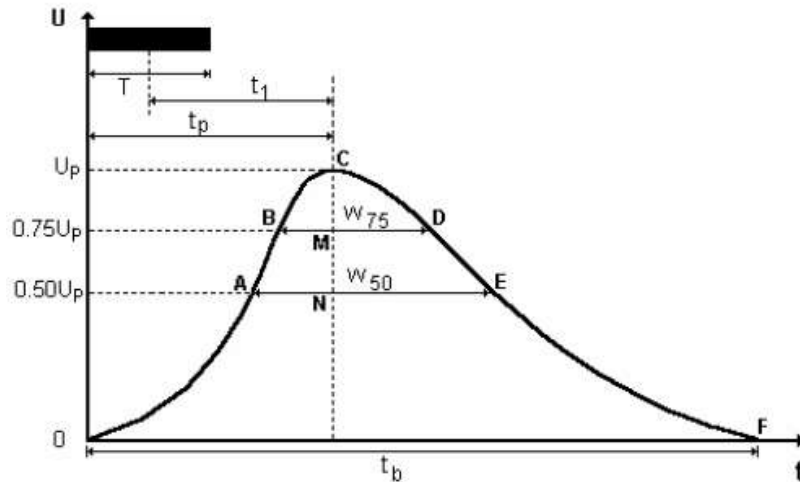
$$w = C_w q_p r^{-1.08}$$

$$75\% C_w$$

$$50\% C_w$$

Donde **qpr** representa el caudal al pico por unidad de área, es el intervalo de tiempo en horas correspondiente al 50 % del caudal al pico y es el intervalo de tiempo en horas correspondiente al 75 % del caudal al pico. Cada intervalo de tiempo se ubicará en la hidrógrafa de tal forma que su tercera parte quede a la izquierda de la vertical que pasa por el pico del hidrograma unitario y las dos terceras partes a la derecha de dicha línea como se muestra en la (Fig. 4).

Fig. 4 Hidrograma de Snyder



Fórmula

$$t_p = 5.5tr$$

$$t_p = C_1 C_T (L \times L_c)^{0.3}$$

Lc: Longitud del centro de gravedad a lo largo de la orilla del río

L: Longitud del cauce principal

tp: El tiempo en que se produce el mayor caudal. Este tiempo está dado al recorrido del agua a través del cauce.

$$L_c = 9.64 \text{ km}$$

$$L = 19.41 \text{ km}$$

$$t_p = 0.75 \times 2.65 \times (19.41 \times 9.64)^{0.3}$$

$$t_p = 9.55 \text{ horas}$$

$$tr = \frac{t_p}{5.5}$$

$$tr = \frac{9.55}{5.5}$$

$$tr = 1.74 \text{ horas}$$

La duración de la tormenta será de 24 horas

$$Tr = 24 \text{ horas}$$

$$Tpr = t_p - \left(\frac{tr - Tr}{4} \right)$$

T_{pr}: El tiempo de retardo pico producido por la lluvia.

T_r: Tiempo de retardo producido al inicio de la lluvia.

$$T_{pr} = 9.55 - \left(\frac{1.74 - 2.4}{4} \right)$$

$$T_{pr} = 15.12 \text{ horas}$$

Caudal pico

$$q_p = \frac{C_2 C_p}{t_p}$$

$$C_2 = 2.75$$

$$C_p = 0.56$$

$$q_p = \frac{2.75 \times 0.56}{9.55}$$

$$q_p = 0.16 \frac{m^3}{seg}$$
$$\frac{\quad}{km^2 cm}$$

El caudal pico unitario será:

$$q_{pr} = \frac{q_p T_p}{T_{pr}}$$

q_{pr}: Caudal pico producido por la lluvia

$$q_{pr} = \frac{0.16 \times 9.55}{15.12}$$

$$q_{pr} = 0.10 \frac{m^3}{seg}$$
$$\frac{\quad}{km^2 cm}$$

$$Q_{pr(total)} = q_{pr} \times Area$$

$$Q_{pr(total)} = 0.10 \times 227.4$$

$$Q_{pr(total)} = 22.74$$

$$Q_{pr(total)} = 227.20 \frac{m^3}{sg}$$

Cálculo del tiempo base

$$tb = \frac{C_3}{qpr}$$

$$tb = \frac{5.56}{0.074} = 75.14 \text{ horas}$$

Ancho del hidrograma

El ancho al 75 % y 50 % se saca en función del caudal y el ancho se determina con w.

$$w = C_w qpr^{-1.08}$$

$$75\% C_w = 1.22$$

$$50\% C_w = 2.14$$

$$w_{75} = 1.22 \times (0.074)^{-1.08} = 20.30$$

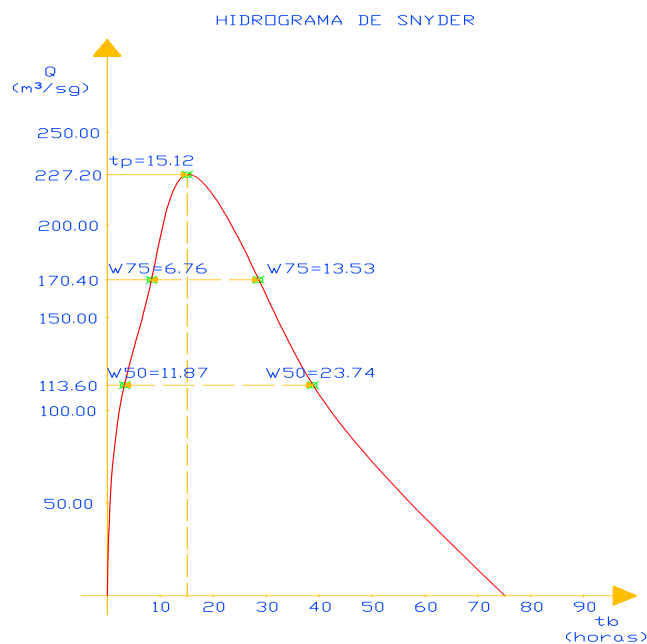
$$w_{50} = 2.14 \times (0.074)^{-1.08} = 35.61$$

$$\frac{1}{3} w_{75} = \frac{1}{3} \times 20.30 = 6.76$$

$$\frac{2}{3} w_{75} = \frac{2}{3} \times 20.30 = 13.53$$

$$\frac{1}{3} w_{50} = \frac{1}{3} \times 35.61 = 11.87$$

$$\frac{2}{3} w_{50} = \frac{2}{3} \times 35.61 = 23.74$$



Estudio hidráulico

Determinación del nivel de diseño y velocidad media

Para determinar el nivel de creciete máximo en el cruce del puente Nueva Italia, se utilizó el método del factor de sección para el cálculo del flujo uniforme. La expresión es $ARh^{2/3}$ se conoce como factor de sección para el cálculo del flujo uniforme y es un elemento importante para dicho cálculo. A partir de la ecuación (4.19).

$$K = \frac{1}{n} ARh^{2/3}$$

$$ARh^{2/3} = nK \quad (4.20)$$

Y a partir de la ecuación (4.17)

$$K = \frac{Q}{\sqrt{S}}$$

$$ARh^{2/3} = \frac{nQ}{\sqrt{S}} \quad (4.21)$$

La ecuación (4.21) es una herramienta muy útil para el cálculo y el análisis del flujo uniforme, cuando se conoce el caudal, la pendiente y la rugosidad. Esta ecuación da el factor de forma o de sección $ARh^{2/3}$ y por consiguiente la profundidad normal "Yn". Por otra parte, cuando n, S y la profundidad son conocidos y por consiguiente el factor de sección, puede calcularse el caudal Q utilizando la ecuación en la siguiente forma.

$$Q = \frac{1}{n} ARh^{2/3} \sqrt{S} \quad (4.22)$$

$$\frac{ARh^{2/3}}{b^{8/3}} = \frac{nQ}{b^{8/3} \sqrt{S}} \quad (4.23)$$

Datos:

$$q_p = 278,2 \frac{m^3}{sg}$$

$$n = 0.100$$

$$S = 0.0132$$

$$b = 60.57 \text{ m}$$

$$z = 4.0$$

Cálculo del tirante normal

$$\frac{ARh^{2/3}}{b^{8/3}} = \frac{nQ}{b^{8/3} \sqrt{S}}$$

$$\frac{ARh^{2/3}}{b^{8/3}} = \frac{(0.100) \left(278.20 \frac{m^3}{sg} \right)}{(60.57m)^{8/3} \sqrt{0.0132}}$$

$$\frac{ARh^{2/3}}{b^{8/3}} = 0.0042$$

$$\frac{Y_n}{b} = 0.036$$

$$Y_n = 0.036(60.57m)$$

$$Y_n = 2.18m$$

Tanteo para determinar el área y perímetro hidráulico

$$Q = \frac{1}{n} ARh^{2/3} \sqrt{S}$$

$$Q = \frac{1}{0.100} (158.16m^2) \left(\frac{158.16m^2}{83.46m} \right)^{2/3} \sqrt{0.0132}$$

$$Q = 278.26 \frac{m^3}{sg}$$

Nivel de aguas máximas ordinarias (Cota Name)

Cota Name = 46.61 m.s.n.m.

Velocidad media en el cruce

Datos:

$$n = 0.100$$

$$S = 0.0132$$

$$A = 158.16 m^2$$

$$P = 83.46 m$$

$$Rh = \frac{A}{P}$$

$$Rh = \frac{158.16m^2}{83.46 m}$$

$$Rh = 1.89 m$$

$$V = \frac{1}{n} Rh^{2/3} S^{1/2}$$

$$V = \left(\frac{1}{0.100} \right) (1.89 m)^{2/3} (0.0132)^{1/2}$$

$$V = 1.75 m/sg$$

Cálculo del Número de Froude

$$F = \frac{V}{\sqrt{gy}}$$

$$F = \frac{1.75 m/sg}{\sqrt{(9.8 m/sg^2)(2.18 m)}}$$

$$F = 0.37$$

El número de Froude es 0.37 menor que uno, por lo tanto, el flujo es suscritico.

Caso del flujo de agua paralelo al eje mayor de la pila

Pila 1

Datos:

$$a = 1.20 \text{ m}$$

$$H_s = 1.51 \text{ m}$$

Forma de la pila: Nariz semicircular

$$K_f = 0.90$$

$$\frac{H_s}{a} = \frac{1.51 \text{ m}}{1.20 \text{ m}} = 1.25$$

$$k_g = \frac{d_s}{a} = 1.75$$

$$d_s = k_g k_f a$$

$$d_s = (1.75)(0.9)(1.20 \text{ m})$$

$$d_s = 1.89 \text{ m}$$

Pila 2

Datos:

$$a = 1.20 \text{ m}$$

$$H_s = 0.315 \text{ m}$$

Forma de la pila: Nariz semicircular

$$K_f = 0.90$$

$$\frac{H_s}{a} = \frac{0.315 \text{ m}}{1.20 \text{ m}} = 0.26$$

$$k_g = \frac{d_s}{a} = 1.02$$

$$d_s = k_g k_f a$$

$$d_s = (1.02)(0.9)(1.20 \text{ m})$$

$$d_s = 1.10 \text{ m}$$

Pila 3

Datos:

$$a = 1.60 \text{ m}$$

$$H_s = 2.54 \text{ m}$$

Forma de la pila: Nariz biselada

$$K_f = 0.78$$

$$\frac{H_s}{a} = \frac{2.54 \text{ m}}{1.60 \text{ m}} = 1.58$$

$$k_g = \frac{d_s}{a} = 1.77$$

$$d_s = k_g k_f a$$

$$d_s = (1.77)(0.78)(1.60 \text{ m})$$

$$d_s = 2.20 \text{ m}$$

Al aplicar la metodología las temáticas se eligieron de acuerdo con el nivel de formación de los estudiantes, de modo que pudieran valerse de los conocimientos adquiridos previamente. En cuanto a la metodología del cálculo, se utilizaron dos métodos de socavación: general y local, con la finalidad de obtener resultados de erosión general por contracción y vórtices.

Para socavación general se escogió Lischvan-Lebediev, debido a que se puede emplear independientemente de que exista o no un puente, además, otra ventaja de este método es que no es necesario adicionar el efecto de contracción, porque ya lo considera, y la parte más importante de este método es que tiene como variante los suelos cohesivos y no cohesivos, que en nuestro caso solo aplica para suelos no cohesivo. Los resultados obtenidos se aproximan a la realidad.

Para la socavación local en pilas se escogió el método Laursen y Toch, ya que es aplicable para suelos arenosos como es el caso del río Balao Grande. Los resultados evidenciaron la necesidad de tener en cuenta los vórtices frontales y laterales, debido a la agresividad que resulta en el foso de socavación.

La socavación traspasó la profundidad de la cota de cimentación y debido a que la pila 1 es de cimentación directa, la velocidad del flujo arrastró el material de fundación, asentándose diferencialmente. Se puede observar en la sección transversal de la pila 1 que por los dos métodos de socavación: general y local falla la pila 1. La socavación es apenas el borde del lado derecho de la zapata, esto hace que la zapata se asiente diferencialmente, pero falla más por socavación local que por la general.

REFERENCIAS

Aguirre J., Achinte, J. R. y Jegat, H. J. (1980). Estudio experimental de la socavacion local en una estructura de caída de seccion trapecial. In *Proceedings of the Ninth Congresso Latinoamericano de Hidraulica* (volumen 1, pp. 447-456).

Enríquez, J. E. I. (2014). Dinámica de flujo de lodos. *Revista Unimar*, 30(2).

González, A. E. y Del Valle, Á. (2008). *El aprendizaje basado en problemas: una propuesta metodológica en educación superior* (volumen 18). Narcea Ediciones.

- Iglesias, J. (2002). El aprendizaje basado en problemas en la formación inicial de docentes. *Perspectivas*, 32(3), 1-17.
- Ortiz, J. A. M., González, A. G., Marcos, A. P., Victoria, M. y Nardiz, A. (2003). Aprendizaje basado en problemas: una alternativa al método tradicional. *Revista de Docencia Universitaria*, 3(2).
- Pizarro, R., Abaza, A. y Flores, P. (2017). Análisis comparativo de las curvas intensidad duración frecuencia (IDF) en 6 estaciones pluviográficas (VII Region del Maule, Chile). Biblioteca Virtual del Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe de la UNESCO.
- Restrepo, B. (2005). Aprendizaje basado en problemas (ABP): una innovación didáctica para la enseñanza universitaria. *Educación y Educadores*, 8.
- Torres, L. C., y Rodríguez, A. A. G. (2017). Metodologías de enseñanza-aprendizaje exigencia o paradigma en la universidad del siglo XXI. Caso de estudio: Universidad de Guayaquil. *Revista Publicando*, 10 (1), 131-146.