

# ANÁLISIS DE LA SOCAVACIÓN LOCAL EN PILAS COMPLEJAS DE UN PUENTE SOBRE EL RÍO DULCE. SGO. DEL ESTERO

Luis A. Olmos, María T. Pilán, Jesús Ibáñez

Instituto de Recursos Hídricos - Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías - Universidad Nacional de Santiago del Estero.  
lolmos@unse.edu.ar, tpilan@unse.edu.ar, jesus\_7603@hotmail.com

## Introducción y Objetivo

El Puente San Francisco Solano construido sobre el Río Dulce une las ciudades de La Banda y Capital de la Provincia de Santiago del Estero. El mismo está soportado por 11 pilas complejas. Una pila compleja es el conjunto estructural formado por la pila, la viga cabezal y el conjunto de pilotes. El puente bajo estudio posee tres diferentes tipos de pilas complejas, debido a la reparación de las mismas, ante daños estructurales desencadenados por el fenómeno de estudio del presente trabajo. En este trabajo se evalúa el comportamiento de la socavación local en dichas pilas, de manera de estimar la misma para diferentes eventos hidrológicos y tener los elementos suficientes para valorar la pérdida de resistencia de la fundación por efecto del descubrimiento temporal de los pilotes.

## Materiales y Métodos

Para llevar a cabo el objetivo planteado se determinaron las configuraciones iniciales de las pilas a partir del relevamiento topográfico realizado en Octubre de 2006 (IRRI-UNSE, 2007), el caudal máximo instantáneo a partir de los caudales máximos medios diarios provistos por la Unidad Ejecutora de Riego de la provincia de Santiago del Estero, las características hidráulicas mediante el software HECRAS, el diámetro equivalente con el método de Coleman y la socavación local mediante la metodología de Melville.

En las Figuras 1 a 3 se presentan fotos de las pilas relevadas.



**Figura 1**  
Pila Tipo I



**Figura 2**  
Pila Tipo II



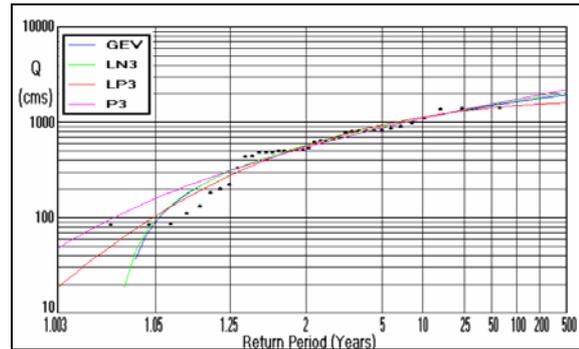
**Figura 3**  
Pila Tipo III

Desde el punto de vista hidrológico se requiere la determinación del Caudal Máximo Instantáneo para una recurrencia de 100 años debido a la magnitud e importancia de la vía de comunicación expuesta al proceso de socavación (IMT, 2000).

El tramo del curso fluvial en estudio, ubicado aguas arriba del puente S.F. Solano, exhibe un funcionamiento hidrológico claramente diferenciado a partir de la construcción de la presa de embalse de Río Hondo, la cual comenzó a operar en el año 1967.

En consecuencia, se realizó el análisis de frecuencias mediante la aplicación de cuatro funciones teóricas de frecuencias apropiadas (Olmos, 2006), a los caudales máximos medios diarios derivados (QMMD) desde 1968 hasta el 2007, es decir una longitud de registro de 40 años. El resultado de este análisis indica que la creciente máxima presentada en condiciones reguladas para un  $Tr=100$  años es de  $1.637 \text{ m}^3/\text{s}$ , (Figura 4). Como este valor esta referido al caudal máximo medio diario y se requiere

del caudal máximo instantáneo, estudios previos que se presentan en IRHi-UNSE, 2007, demuestra que al ser un sistema fluvial regulado por un embalse de gran capacidad, prácticamente el pico del hidrograma a nivel diario puede compensarse con el tránsito de 90 Km desde Río Hondo hasta la ciudad de Santiago del Estero, por lo que el QMI asociado a un periodo de retorno de 100 años es de  $1.637 \text{ m}^3/\text{s}$ , para el caso de estudio.



**Figura 4.-** Valores experimentales y curvas de frecuencias de las distribuciones de frecuencias. (QMMD 1968/2007)

En octubre de 2006 se realizó un relevamiento topográfico de un tramo de 30 Km. del Río Dulce comprendido entre el Dique los Quiroga y el barrio Los Flores. La modelación inicial en HECRAS se realizó con los 46 perfiles transversales relevados y para 5 perfiles (caudales) cuyos periodos de retorno fueron 2.33, 5, 10, 25 y 50 años. (IRHI-UNSE, 2007). En el marco de este trabajo se simularon 10 perfiles más, entre los cuales está incluido el QMI para  $Tr=100$  años definido anteriormente y un caudal aforado en marzo de 2007. Con la simulación se determinaron los parámetros hidráulicos necesarios para el cálculo de la socavación local. Los mismos se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1:** Parámetros hidráulicos

Perfil	Q (m <sup>3</sup> /s)	h (m)	V (m/s)	Perfil	Q (m <sup>3</sup> /s)	h (m)	V (m/s)
1	600	1,87	1,35	9	250	1,19	0,92
2	907	2,3	1,63	10	200	1,05	0,84
3	1109	2,36	1,79	11	180	0,98	0,81
4	1340	2,53	1,95	12	150	0,88	0,76
5	1495	2,64	2,06	13	120	0,78	0,71
6	1637	2,73	2,15	14	100	0,72	0,67
7	339	1,4	1,04	15	90	0,69	0,65
8	300	1,31	0,99				

El diámetro equivalente,  $a_*$ , es el diámetro que representa la configuración expuesta al flujo de la pila compleja y se puede calcular con diferentes criterios. En un trabajo anterior (Pilán, 2007), se determinó que el criterio que mejor representa la realidad es el de Coleman.

El diámetro equivalente se calcula en función de Y (distancia desde plano superior de la viga cabezal de pilotes hasta el lecho) y el valor de  $Y_T$  que se define en el marco del presente trabajo como la mitad de la altura de la

viga cabezal, (Coleman, 2005). A continuación se presentan las ecuaciones:

$$a_* = a_{pila} \text{ para } Y \geq 0 \tag{1}$$

$$a_* = a_{pila} \cdot \left( \frac{a_{pila}}{a_{vc}} \right)^{\left\{ \left( \frac{a_{pila}}{a_{vc}} \right)^3 + 0.1 - \left[ 0.47 \left( 0.75 - \frac{Y}{a_{pila}} \right)^{0.5} \right] \right\}}$$

para  $0 \geq Y \geq Y_T$  (2)

$$a_* = \left[ \frac{0.52 \cdot E_{vc} \cdot a_{vc} + (h_0 - 0.52 \cdot E_{vc}) \cdot a_{gp}}{h_0} \right]$$

para  $Y = -h_0$  (3)

$$a_* = a \text{ para } Y = -h_0 - E_{vc} \tag{4}$$

Por último el cálculo de la socavación local se realiza en base a la expresión propuesta por Melville (Melville & Coleman, 2000) que tiene la ventaja de ser válida para un amplio rango de caudales, tamaño de sedimentos y tipos de pilas. La misma se escribe como sigue:

$$d_s = K_I K_d K_{ha} K_\alpha K_F \tag{5}$$

donde:  $K_I$ : Factor que depende de la intensidad del flujo;  $K_d$ : Factor que depende del tamaño del sedimento;  $K_{ha}$ : Factor que depende de la relación entre la profundidad del flujo y el ancho de la pila  $K_\alpha$ : Factor que depende del ángulo de ataque de la corriente o esviaje;  $K_F$ : Factor que depende de la forma de la pila.

**Resultados Obtenidos**

Los resultados obtenidos de la socavación local para las 11 pilas para el perfil 6, es decir el caudal máximo instantáneo, se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2: Resultados de la socavación

Tipo	Pilas MI	Y	Perfil 6	
			a*	d <sub>s</sub>
II	1	-1,49	1,51	3,26
II	2	-1,47	1,51	3,26
II	3	-1,97	1,51	3,26
II	4	-2,04	1,51	3,26
I	5	-2,30	1,23	2,65
I	6	-2,05	1,23	2,65
III	7	-1,00	2,63	5,67
I	8	-1,74	1,23	2,65
I	9	-2,08	1,23	2,65
I	10	-1,14	1,23	2,65
II	11	0,06	1,65	3,56

En la misma se observa el valor más desfavorable, que es el descenso del lecho frente a la pila 7 (Tipo III) de 5,67 m, a partir de la configuración inicial del lecho frente a la misma y en segundo termino la de 3,56 que se produce en la pila 11 (tipo II) que varia con respecto las otras del mismo tipo en función de la configuración inicial del lecho, observándose la importante variación de la profundidad d<sub>s</sub> de una pila a otra, en lo que a su tipología se refiere.

El diámetro equivalente de las pilas Tipo I se mantiene constante. Esto se debe a que la combinación de la configuración expuesta al flujo y lecho inicial de las mismas fue semejante. En el caso de las pilas Tipo II, la pila 11 muestra un diámetro superior, esto se debe a que al estar el lecho 6 cm por encima de la viga cabezal, el diámetro equivalente es la dimensión normal al flujo de la pila. Igual ocurre con la pila 7, con la diferencia que la dimensión de la viga cabezal normal al flujo es casi el doble que las otras dos tipologías.

**Conclusiones**

En virtud del objetivo planteado y los resultados obtenidos en la aplicación del procedimiento propuesto para el estudio de la socavación producida por las pilas complejas del puente San Francisco Solano para el caudal máximo instantáneo se puede concluir:

- El caudal máximo instantáneo se puede asociar directamente al análisis de frecuencia de caudales máximos medios diarios para el caso de estudio de un puente sobre un río de llanura aguas abajo de una presa de regulación de gran volumen.
- La socavación producida por el caudal máximo instantáneo para un período de retorno de 100 años es semejante a la producida por el caudal de 50 años de recurrencia.
- El conocimiento inicial de la configuración de la pila en relación al lecho permitió realizar una evaluación confiable del diámetro equivalente.
- La variación de la socavación con la configuración del lecho adimensionalizada con los respectivos diámetros equivalentes se comporta en forma semejante a una pila simple
- La variación de la socavación local con la profundidad del flujo inmediatamente aguas arriba de las pilas Tipo I y II adimensionalizada con sus diámetros equivalentes, presenta una forma semejante a las pilas simples.
- La combinación de las metodologías de Melville y Coleman es apropiada para el caso en estudio.
- La variación de la profundidad de socavación de una pila a otra marca la importancia del análisis de los diferentes escenarios al momento de realizar el cálculo de la fundación de la estructura.

**Referencias Bibliográficas**

**Coleman, S.E.** (2005): “Clearwater Local Scour at Complex Piers”, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 131, No. 4, pp 330-334.

**IMT.** (2000). “Normativa PRY-CAR-1-006-04”, *Sec. de Comunicaciones y Transporte de México*.

**IRHi-UNSE.** (2007) “Estudios Hidráulicos y Fluviales del Río Dulce para Determinación de Línea de Ribera e Impactos de Obras” *Consejo Federal de Inversiones. Contrato N°7808001*. Provincia de Santiago del Estero.

**Melville, B. W., Coleman, S.E.** (2000): *Bridge Scour. Water Resources Publications, LLC, Colorado, U.S.A*

**Olmos, L., Borsellino, M., Mattar, M.** (2006) “Estudio de las Lluvias Máximas Diarias de la Pcia. de Jujuy”. *XXII Congreso Latinoamericano de Hidráulica*. Ciudad Guayana, Venezuela.

**Pilán, M.T., Olmos, L.A., Trejo Chazarreta, J.S.** (2007): “Socavación Local Producida por Pilas Complejas: bases para un estudio experimental”. *XXIº Congreso Nacional del Agua 2007*, Tucumán, 15 al 19 de Mayo de 2007