

# **ANÁLISIS DE EROSIONES Y ESTABILIDAD DE TALUDES PARA EL DISEÑO DE PROTECCIONES MARGINALES**

**Marcela Reynares, Felipe Franco, Luis Zanardi, Norberto Morbidoni,  
Carlos Romano y Mario Schreider**

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas - Universidad Nacional del Litoral (UNL) - Santa Fe - Argentina -  
E-mail: [reynares@fich1.unl.edu.ar](mailto:reynares@fich1.unl.edu.ar) - [f franco@fich1.unl.edu.ar](mailto:f franco@fich1.unl.edu.ar) - [schreide@fich1.unl.edu.ar](mailto:schreide@fich1.unl.edu.ar)

## **RESUMEN**

La extensión de una protección de margen en su desarrollo transversal a la corriente, resulta siempre un compromiso a asumir entre la necesaria estabilidad que la obra debe tener a lo largo de su vida útil y las limitantes económicas. Algunas evidencias de laboratorio y de campo demuestran que una inadecuada extensión de la protección puede ser contraproducente para la estabilidad del talud.

Franco et al. (2002) demostró en base a experimentación en laboratorio que la presencia de la cubierta si bien impide las erosiones en el sector de la margen protegida, promueve mayores erosiones en el pie de la misma respecto de las que se observaron para igual condición hidráulica cuando la margen no fue recubierta.

Como evidencias de campo se mencionan los casos de erosión sobre la margen derecha del río Salado en las inmediaciones del INALI y sobre el río San Javier frente a las Ruinas de Cayastá. En ambos casos, el cálculo de la estabilidad arrojó coeficientes de seguridad con valores inferiores a la unidad, si se consideraba la margen erosionada, dando lugar al deslizamiento del talud, tal como efectivamente sucedió. Por lo que se concluye que el análisis de estabilidad y el cálculo de erosiones son dos herramientas de análisis que deben ser trabajadas en forma interrelacionada.

## **ABSTRACT**

The dimensions of the bank revetments are the result of the balance between the stability of the work and the economical restrictions. Some evidences from laboratory and field have shown that an inappropriate extension of the protection could promote an instability process at the bank.

Franco et al (2002) showed, based on laboratory experiments, that the presence of the revetment, moves away the scour from the bank, but increases the maximum scour depth at the toe of the protection work, with respect to the observed one when the bank is not protected.

As field evidence, the cases of the observed scour on the right bank of the Salado river at the INALI, and the countermeasures works built on the right bank of the San Javier river at the Cayasta ruins are studied. In both cases, the stability compute gave safe coefficients lower than 1, when the general scour at the section was considered. In those cases the bank could slide, as it really happened in both situations. Based on these arguments, it is possible to conclude that the stability analysis and the scour compute are two tools that have to be used together with the aim to improve the design of the countermeasure works.

## **INTRODUCCIÓN**

La extensión de una protección de margen en su desarrollo transversal a la corriente, resulta siempre un compromiso a asumir entre la necesaria estabilidad que la obra debe tener a lo largo de su vida útil y las limitantes económicas que toda obra de ingeniería posee.

Dos factores resultan fundamentales a la hora de definir la extensión a dar a la protección: la erosión esperable al pie de la misma luego de colocada y la estabilidad del conjunto estructura - suelo una vez ocurridas las erosiones del lecho y deformada la protección. Como contrapartida

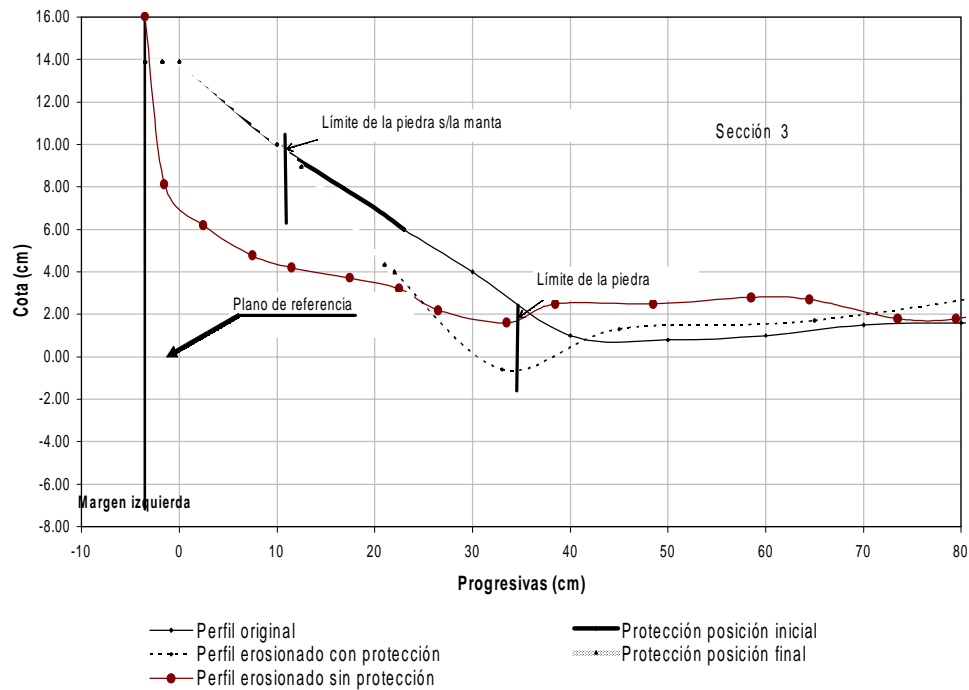
de estas definiciones, la realidad de la práctica ingenieril indica que en muchos casos las erosiones son calculadas sin tener en cuenta la presencia de la protección y más aún, las longitudes de éstas, no son evaluadas a partir de un análisis de estabilidad que involucre una adecuada descripción del proceso de deformación de la cubierta.

El presente trabajo, tiene por objeto presentar algunas evidencias de laboratorio y de campo que ponen de manifiesto la no adecuada consideración de los procesos erosivos en las proximidades de la margen y de que modo una adecuada valoración de la estabilidad del talud puede poner en evidencia el peligro de destrucción del mismo, al tiempo de guiar un diseño apropiado del desarrollo de la protección.

## **EVIDENCIAS DE LABORATORIO**

Estudios antecedentes (Franco et al, 2002, Zanardi et al, 2002), han demostrado, en base a experimentación de laboratorio, la incidencia que la protección tiene sobre el desarrollo de erosiones al pie de la misma. La Figura 1, tomada de Franco et al, 2002 pone en evidencia como la presencia de la cubierta si bien impide las erosiones en el sector de la margen protegida, promueve mayores erosiones en el pie de la misma respecto de las que se observaron para igual condición hidráulica cuando la margen no fue recubierta. Ello se tradujo en una deformación de la protección distinta de la estimada a partir de las erosiones teóricas (calculadas sin la presencia de la protección). Como resultado de ello los factores de estabilidad del conjunto estructura suelo, calculados en base a las erosiones reales en presencia de la protección fueron entre un 15% y un 20% menores que los obtenidos para la protección deformada acorde a una erosión calculada que no tuvo en cuenta la presencia de la cubierta.

Estas evidencias constituyen un primer alerta respecto de la necesidad de reproducir de la manera más fiel posible las erosiones al pie de la protección, teniendo en cuenta la incidencia que ella misma produce. Asimismo, se pudo vislumbrar cómo el análisis de estabilidad del conjunto se constituyó en una herramienta válida para identificar adecuadamente estos efectos.



**Figura 1.-** Configuración final de la sección de erosión con y sin protección

## EVIDENCIAS DE CAMPO

Se presentan, con un carácter introductorio, dos situaciones de campo donde se reflejan las consideraciones efectuadas acerca del análisis conjunto de erosiones y estabilidad de taludes.

### Caso I: Río Salado, Sector INALI.

Un estudio antecedente (FICH, 2002) evaluó las erosiones esperables en un sector de la margen derecha del río Salado frente a las instalaciones del Instituto Nacional de Limnología (CONICET - UNL) a los efectos del diseño de una obra de protección de márgenes. El análisis de estabilidad (Morbidoni, 2002) correspondiente a las situaciones con y sin erosión, demostraron que un sector del predio del INALI que para la situación sin erosión resultaba estable,  $FS > 1$ , se volvía inestable si se consideraba la margen erosionada (Figura 2).

El análisis de estabilidad se llevó a cabo mediante el empleo del modelo computacional PCSTBL5 (Siegel, 1978), el cual se basa en los métodos de Bishop y Janbú Modificado, y determina los coeficientes de seguridad al deslizamiento (F) y los círculos críticos por tanteos sucesivos.





**Figura 3.-** Sector del INALI afectado por el deslizamiento.

#### Caso II: Río San Javier, Sector Ruinas de Cayastá.

Las sucesivas crecidas del río San Javier han provocado severos daños en la obra de protección marginal de las ruinas de Santa Fe La Vieja. La misma está conformada por un muro de contención compuesto por rieles y tablones de madera seguido de una combinación de piedra suelta, gaviones y colchonetas.

Loa mayores daños se encuentran en la parte inferior de la sección, por debajo del tablestacado, tal como se puede apreciar en la Figura 4, es por ello que se ha tomado parcialmente la sección para el análisis de estabilidad.



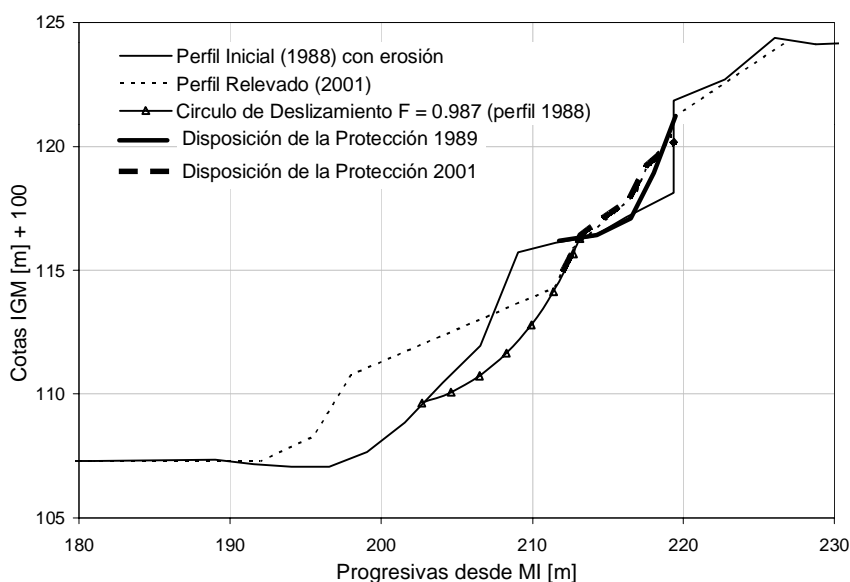
**Figura 4.-** Sección típica de la obra de protección destruida (1988)

El cálculo de estabilidad se llevó a cabo con la misma metodología que en el Caso I correspondiente al Río Salado en las inmediaciones del INALI.

Como situación inicial fue tomada un relevamiento realizado en el año 1988 por la Dirección Provincial de Obras Hidráulicas de la provincia de Santa Fe (Figura 4), en el mismo la protección sólo contaba con el tablestacado prácticamente destruido. En el año 1989 fue construida la nueva obra de defensa, por lo que se consideró correcto tomar el relevamiento del año 1988 como base para la colocación de la protección en 1989.

En la Figura 5 se han representado en forma superpuesta la sección correspondiente a 1988, previa a la construcción de la cubierta, y la sección relevada en el año 2001. Asimismo se indican la extensión de la protección, en la condición inicial correspondiente a la obra construida en 1989 (línea llena gruesa en Figura 5) y en la situación actual (línea de trazos en Figura 5).

El cálculo de la estabilidad del conjunto estructura suelo en la condición inicial de la obra de protección arrojó un  $F_s$ : 0.987, demostrando que el diseño de la protección, el cual no incluyó la reconstitución del talud, puede haber sido inadecuado, ello puede demostrarse al producirse la posterior destrucción de la margen. Es importante remarcar que se restringió el sector de salida de los círculos de deslizamiento de manera que no involucren el tablestacado.



**Figura 5.-** Río San Javier, Cayastá, Perfil tipo relevado en 1988 y 2001, con sus respectivas longitudes de protecciones.

Si se analiza ahora la condición de funcionamiento de la protección en el estado actual, parcialmente destruida (Figura 5) se concluye que la misma no sólo no contribuye a la estabilidad de la sección sino que resulta contraproducente. Ello se comprueba al calcular los círculos de deslizamiento para las situaciones con y sin protección. Se observa que en este último caso el factor de seguridad es mayor:  $F_s$  (sin protección): 1.961 vs.  $F_s$  (con protección): 1.690, demostrando que la sobrecarga que representa la cubierta en la parte superior del talud, resulta inconveniente para la estabilidad de la margen.

Si ahora es tomada la sección completa para realizar el análisis de estabilidad (incluyendo el muro de contención y su anclaje), se puede observar que los coeficientes disminuyen

sustancialmente. Esto estaría demostrando que si bien la sección ha buscado su posición más estable mediante el deslizamiento del talud en su parte inferior, el conjunto estructura suelo se ha vuelto más inestable, con coeficientes de seguridad  $F_s$ : 1.231 sin protección y  $F_s$ : 1.226 con protección.

Debe señalarse que el hecho de que los coeficientes de estabilidad hayan resultado superiores a 1 para la situación de la protección parcialmente destruida obedece, al depósito de material que se produce al pie del talud luego del deterioro de la margen (línea punteada gruesa en Figura 5). Sin embargo ese material será arrastrado por la corriente en función de su capacidad de transporte provocando una nueva inestabilidad en el talud y el progresivo deterioro de la margen y de las instalaciones ubicadas en su entorno.



**Figura 6.-** Protección colapsada de la defensa de Cayastá relevada en el año 2001

## **CONCLUSIONES PRELIMINARES**

El análisis de estabilidad y el cálculo de erosiones son dos herramientas de análisis que, trabajando en forma interrelacionada, brindan elementos de juicio, tanto para estimar la estabilidad de una margen y las obras implantadas en su entorno, como para precisar el diseño de la extensión de una protección.

El inadecuado diseño de una protección puede resultar un elemento que contribuya a la inestabilidad del talud en lugar de su defensa.

Una protección parcialmente destruida, puede convertirse en factor de inestabilidad para la margen.

*Agradecimiento.* A la Universidad Nacional del Litoral quien financió, por medio de los Cursos de Acción para la Investigación (CAID+D), el Proyecto de Investigación en el marco del cual se desarrolló este trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas** (2002), "Estudio de erosiones en un tramo del río Salado frente al Instituto Nacional de Limnología (INALI)". Convenio: Instituto Nacional de Limnología (CONICET) - Universidad Nacional del Litoral (UNL), Santa Fe.

**Franco, F., Romano, C., Morbidoni, N. y Schreider, M.** (2002), "Erosión y estabilidad de taludes en márgenes protegidas", *Revista Ingeniería del Agua*, Vol. 9, Número 2, pp 135-142.

**Morbidoni, N.** (2002), "Análisis de estabilidad general de un tramo del río Salado frente al INALI en su situación actual y con obras". *Comunicación Personal*, 2002.

**Siegel, R. A.** (1978), "Stable User Manual". Joint Highway Research Project, Project N° C-36-36k, File N° 6-14-11. Purdue University - Indiana State Highway Commission.

**Zanardi, L., Franco, F., Scacchi, G., Romano, C., y Schreider, M.,** (2002) "Erosión al pie de una protección marginal", *Anales del XIX Congreso Nacional del Agua*. Villa Carlos Paz.