



SOLUCIONES FLEXIBLES DE PROTECCIÓN CONTRA FLUJOS DE DETRITOS EN COMPARACIÓN CON LOS MÉTODOS TRADICIONALES

Autores:

Roberto J. Luis Fonseca
Doctor Ingeniero Civil
Geobrugg

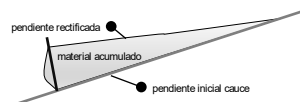
Rolando Romero Rojas
Ingeniero Politécnico
Geobrugg

Gabriel von Rickenbach
Ingeniero Mecánico
Geobrugg

Las soluciones rígidas y semirrígidas presentan una serie de inconvenientes de carácter técnico, que repercuten además en el proceso de selección y que se han de considerar en función de las condiciones existentes en el emplazamiento

Combinadas, la erosión hídrica y eólica son responsables de aproximadamente el 84% de la extensión global de tierras degradadas, lo que hace que la erosión excesiva sea uno de los problemas ambientales más importantes en todo el mundo. Cada año, alrededor de 75 mil millones de toneladas de suelo se erosionan de la tierra. La presencia de agua como parte de estos fenómenos, provoca que se desencadenen corrientes de arrastre de materiales y sedimentos que en ocasiones provocan pérdidas en vidas humanas e infraestructuras. El flujo de detritos (huaico en el Perú) es una combinación de fenómenos naturales que se dan como consecuencia de inundaciones u ocurrencia de fenómenos meteorológicos generalmente con períodos de retorno altos, suelen ser fenómenos excepcionales, aunque en algunos lugares se dan con relativa frecuencia. Consiste básicamente en el arrastre por un torrente de agua de materiales sueltos, granulares y tierra o lodo, restos de vegetación y en ocasiones troncos de árboles, a través de los cauces naturales del terreno. Al igual que los desprendimientos de rocas el flujo de detritos actúa de forma dinámica, pero a diferencia del primero el impacto no es puntual.

Habitualmente los desprendimientos de rocas suelen ser sucesos aislados, mientras que el flujo de detritos ocurre en varias oleadas. Para dar respuesta a estos fenómenos de erosión, retención de sólidos (materiales en suspensión y en movimiento) y frenar las crecidas violentas, la ingeniería forestal, desde principios del siglo pasado, ha venido diseñando y realizando obras transversales (diques), construyéndose de forma consecutiva a lo largo del eje del torrente o quebrada. Esta técnica posibilita la creación de una cuña de sedimentos, que permite la acumulación de los materiales arrastrados y cambia la pendiente del cauce, disminuyendo o incluso evitando que continúe su erosión.



En los últimos años las obras rígidas y semirrígidas han sido reemplazadas por novedosos diques o barreras dinámicas compuestas por redes de anillos, con un enfoque sostenible y con una respuesta tenso-deformacional a las solicitaciones mucho más eficiente, respetuosa con el medio ambiente. Esta comunicación pretende realizar un breve análisis comparativo entre tres tipos de solución presuntamente equivalentes: la semirrígida (muro de gaviones), la rígida (muro de hormigón), y la flexible (barrera dinámica de anillos de acero de alta resistencia).



Para realizar la comparación, parece pertinente hacer una evaluación de la combinación de cargas a las cuales estará sometido un dique transversal de ejemplo, sea cual fuere su tipo, para tener una idea desde el punto de vista técnico de cual es el problema al que pretender dar solución.



Datos iniciales

Ancho superior:	30 m
Ancho inferior:	14 m
Altura:	6 m
Densidad del flujo:	21 kN/m ³
Sustrato:	coluvial (suelo)
Tipo de flujo:	granular
Pendiente aguas arriba:	30°
Clasificación de flujo:	de canal

**Barrera Geobrugg
UX-180 [180kN/m²]
Quebrada de Carosio.
Chosica. Perú**



Para la evaluación del caudal máximo del flujo de detritos, Q_P [m³/s] se emplea la expresión empírica de Mitzuyama [$Q_P = 0,135 v^{0,78}$], que arroja un resultado de 35,5 m³/s, siendo la velocidad 5,7 m/s evaluada según Rickenman [$v = 2,1 Q_P^{0,33} S_D^{0,33}$]. La presión estimada en el trasdós de la barrera es la suma de una componente dinámica que produce el impacto del frente (ola), a la cual hay que añadir la carga estática de la acumulación del material, esto se puede determinar según Wendeler [$F = \frac{1}{2} \gamma g H^2 + C_W \gamma v^2 H$]. Luego la presión cuasi-estática sobre el trasdós del dique será de 136,6 kN/m².

Dique semirrígido de gaviones

Se trata de una estructura conformada por varias hiladas de gaviones, de acuerdo con la altura. Para este tipo de estructura, resulta muy importante controlar el correcto empotramiento del dique de contención.



Tanto en los taludes de la quebrada, como en el lecho de esta, además hay que procurar la formación de un vertedero, capaz de conducir el caudal máximo de diseño, previamente calculado. El diseño del dique de gaviones tiene por objeto conocer el dimensionamiento más adecuado de las cajas que forman el cuerpo de la obra y la estabilidad de estos. Para las condiciones iniciales, los factores de seguridad al deslizamiento $FS_D=1,56$ (>1,5) y al vuelco $FS_V=2,65$ (>2,0) son correctos, mientras el volumen de retención de esta estructura será aproximadamente de 990m³.

Dique rígido de hormigón armado

Al igual que los diques de gaviones esta estructura trabaja a peso propio. Para poder efectuar el diseño de un dique de hormigón armado se requiere de un conocimiento previo de las condiciones del sitio en relación con la topografía, geología, hidrología y mecánica de suelos, y a partir de estas condiciones iniciales se calculan las solicitaciones de diseño. Se debe cumplir la condición de que la resultante de todas las fuerzas, sobre un plano de corte horizontal cualquiera, debe cortar a dicho plano dentro del tercio medio. Para la evaluación de la estabilidad del dique se tienen que calcular las fuerzas y los momentos resistentes, producidos por el peso propio de los elementos.

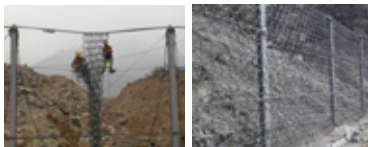
En este caso, los factores de seguridad al deslizamiento $FS_D=1,64$ (>1,5) y al vuelco $FS_V=2,76$ (>2,0) son también adecuados, siendo el volumen de retención 1120 m³.



Dique flexible de anillos de acero

Estos sistemas, inicialmente basados en las barreras contra desprendimientos de Geobrugg, son permeables y resistentes a la solicitación combinada de cargas del fluido (en este caso granular), que impacta y como consecuencia produce la retención de sólidos de mayor tamaño y decantación de materiales finos, así como la salida del agua. Cuentan con marcado CE y están certificados según el EAD-340020-00-0106 "Flexible kits for retaining debris flows and shallow landslides" de junio de 2016.

Como se trata de sistemas dinámicos, la efectividad de estos se basa en la elongación controlada, disponen de disipadores en forma de tubos anulares que permiten la elongación segura de los cables durante el proceso de intercepción del fluido. La red de anillos Rocco® ASM 4:1 tiene, además de la facultad probada para absorber impactos puntuales, la capacidad ideal para detener impactos de carga distribuidas y en oleadas, como las que genera un flujo de detritos. Siendo el $FS=1,7$ (>1,50) y el volumen de retención de unos 1260 m³.



Análisis comparativo

Es en cualquier caso sumamente importante para decidir cuál de las alternativas es la más eficiente seguir criterios técnico-económicos, no siempre la solución más económica es la más efectiva desde el punto de vista técnico. En este ejemplo se observa que el dique flexible es la solución más económica, los gaviones son un 20% más costosos y el dique de hormigón cuesta el doble.

Dique tipo	Vol. [m ³]	Ejecución [días]	Costo [USD]
Semirrígido gaviones	990	46	412.701
Rígido de hormigón	1120	60	237.258
Flexible UX-180H6	1260	30	199.500

Tanto la solución de gaviones como la de hormigón, requieren imprescindiblemente la ejecución de caminos de acceso (no considerados en la comparativa), que además de ser muy costosos desde el punto de vista económico, en general tienen un elevado costo ambiental pocas veces considerado. En relación con la duración de los trabajos (ejecución material), es evidente que las soluciones flexibles son muy rápidas de ejecutar, en relación con un dique de hormigón los valores rondan la mitad de tiempo y los gaviones demoran alrededor de 50% más.



Consideraciones de interés técnico

Las alternativas rígidas y semirrígidas básicamente trabajan a peso propio por gravedad y presentan inconvenientes técnicos que repercuten en el proceso de selección.

- Posible pérdida de estabilidad debido a asentamientos diferenciales.
- Rotura debido al impacto de bloques, mala respuesta ante solicitaciones dinámicas.
- Incremento en las tensiones cuasi-estáticas en el trasdós del muro debidas a la dificultad del drenaje.
- Socavación trasera, lateral y anterior con amplia afectación a las cimentaciones.
- Pérdidas de capacidad por abrasión en soluciones escalonadas, por ejemplo, de hormigón (el acero queda al descubierto) extremadamente crítico en muros de gaviones de acero normal.
- Presuponen que para la ejecución de la cimentación se produzca la excavación de material que de alguna forma permanece inestable en el terreno.