



ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA INTERACCION ENTRE FLUJOS DETRITICOS Y BARRERAS TRANSVERSALES EN EL CAUCE

SANTIAGO MONTSERRAT, ALDO TAMBURRINO Y YARKO NIÑO

División Recursos Hídricos y Medio Ambiente, Departamento de Ingeniería Civil
Universidad de Chile.

Av. Blanco Encalada 2002, Casilla 228-3, Santiago, Chile.

Teléfono: (56-2) 696 8448; Fax: (56-2) 689 4171

e-mail: smontser@ing.uchile.cl, atamburr@ing.uchile.cl, ynino@ing.uchile.cl

RESUMEN

En este artículo se presentan resultados experimentales sobre la interacción de flujos detríticos (formados por una mezcla de agua, bentonita arena y gravilla) y barreras transversales impermeables ubicadas en serie a lo largo de un canal. Se estudio la eficiencia de retención de distintas configuraciones de barreras, pendiente de los depósitos y segregación del material para distintas condiciones de flujo y de composición de la mezcla. Se encontró que la presencia de finos juega un importante papel en las características de los depósitos generados en las barreras y que el espaciamiento óptimo entre barreras depende de la socavación producto de la caída del flujo de la barrera de aguas arriba.

ABSTRACT

Experimental results regarding the interaction between debris flows and check dams are presented in this paper. A mixture of water with bentonite, sand and pebbles was used in each experiment. For different check dam configurations, retention efficiency, deposit slope, and sediment segregation were studied for several debris flow conditions. It was found that the deposit characteristics strongly depend on the fine concentration, and that optimum spacing between barriers should consider the scour produced by the impinging flow passing over the upstream barrier.



ESTUDIO EXPERIMENTAL DE OBRAS DE PROTECCIÓN CONTRA ALUVIONES

1. Introducción y Objetivo

Los flujos detríticos o aluviones pueden tener efectos desastrosos si no son controlados por lo que a lo largo de la historia, obras de distintos tipos y envergadura se han construido para tener protección de estos fenómenos. La primera ley que hace mención a la protección y construcción de obras de defensa aluvional se remonta a 1897, y corresponde a la "Sabo Law" en Japón (Seminara y Tubino, 1993).

Usualmente las estructuras de protección contra flujos detríticos son clasificadas como activas, construidas para reducir la erosión y disponibilidad de detritos, y pasivas, las que son insertadas dentro del cauce con el fin de controlar el flujo. Estas últimas corresponden a presas, canales de conducción, diques desviadores o conductores, entre otras estructuras. Las estructuras ubicadas en el cauce, muchas veces construidas en serie, son utilizadas para retardar el flujo y estabilizar pendientes. Estas pueden ser barreras que bloquean el ancho completo del cauce o barreras abiertas o permeables, estas últimas más utilizadas en la actualidad. La función de las obras del tipo permeables es la de retener en forma temporal los detritos más grandes arrastrados por el flujo y permitir el libre paso del agua y material fino. Algunos de los efectos que presentan obras del tipo permeables sobre el flujo, su eficiencia para retener sedimentos, y algunos criterios de diseño son presentados por: Jonson y McCuen (1989), Mizuyama (1993), VanDine (1996), Lin et al. (1997), Capítulo 3 de Armanini y Michieu (1997), Armanini y Larcher (2001), etc.

Sin embargo, los criterios de diseño para obras de control aluvional son escasos (Armanini, 1997), lo que conlleva una incertidumbre respecto al funcionamiento frente a las solicitaciones a que se vea expuesta. Esta situación se agrava al considerar que, en la mayoría de los casos, las condiciones en que estas obras operan también son inciertas.

Entre los estudios existentes respecto al comportamiento de presas para el control aluvional puede citarse a Armanini y Scotton (1993) y Daido (1993) entre otros, quienes estudiaron las fuerzas de impacto que deben soportar este tipo de estructuras producto del choque del flujo. Descripciones cualitativas del comportamiento hidráulico han sido presentadas por algunos autores, por ejemplo Hungr et al. (1984), VanDine (1996), Jaeggi y Pellandini (1997) y, aparentemente, no existe suficiente información disponible en la literatura técnica que pueda ser utilizada como criterio general para el diseño de presas de control aluvional.

En este artículo se presenta algunos resultados obtenidos de un estudio experimental, el cual aún se encuentra en desarrollo, sobre la interacción del flujo detrítico con barreras impermeables. El objetivo central del estudio es investigar la interacción de una corriente de detritos con una serie de barreras impermeables colocadas en serie a lo largo de un canal. Para ello, una mezcla heterogénea de agua y sedimentos se hacía escurrir a lo largo de un canal en cuyo interior se ubicaban las barreras en serie. El estudio se enfoca principalmente en la eficiencia de retención de las barreras y también en la segregación de los sedimentos y el ángulo de depositación de los sedimentos aguas arriba de las barreras.



2 Instalación experimental y metodología utilizada

Los experimentos se llevaron a cabo en un canal rectangular de pendiente variable, de 6 m de largo por 20 cm de ancho (Fig.1). Una de las paredes del canal es de acrílico transparente de 12 mm de espesor. El fondo del canal es fijo y fue recubierto por la misma arena utilizada para la mezcla sólido-líquida o por una capa de gravilla de 4 mm de tamaño medio, dependiendo del experimento. Los experimentos se realizaron para dos pendientes, 15 y 32%. En cada experimento, una mezcla de arena, bentonita y agua se deja escurrir por el canal desde un estanque ubicado aguas arriba, debido a la apertura repentina de una compuerta de ancho igual al del canal. La apertura de la compuerta fue de 1 o 2 cm. El volumen total de la mezcla se mantuvo constante para todos los experimentos, siendo de 130 litros. La gravilla se incorporó al flujo inmediatamente después de la salida de la mezcla del estanque. No se agregó en el estanque de carga debido a su tendencia a sedimentar y bloquear la salida del flujo desde el interior del estanque. Las presas se materializaron como barreras verticales impermeables con una altura de 8 cm, la última de ellas ubicada entre 50 cm y 100 cm aguas arriba del fin del canal, dependiendo del número de barreras estudiadas.

La fracción sólida de la mezcla consistió en una mezcla de arena, gravilla y bentonita en distintas proporciones. La arena tiene un diámetro d_{50} igual a 0,48 mm. La gravilla agregada a la mezcla se encontraban en el rango de 6 a 12 mm, con un diámetro d_{50} de 9 mm. La cantidad de gravilla en la mezcla siempre se mantuvo constante, con un valor del 10% del total del peso de los sólidos. La cantidad de bentonita varió entre 0% y 5% del total del peso de los sólidos según el experimento. Los experimentos se realizaron para valores de la concentración volumétrica de los sólidos en la mezcla: 25%, 30% y 35%

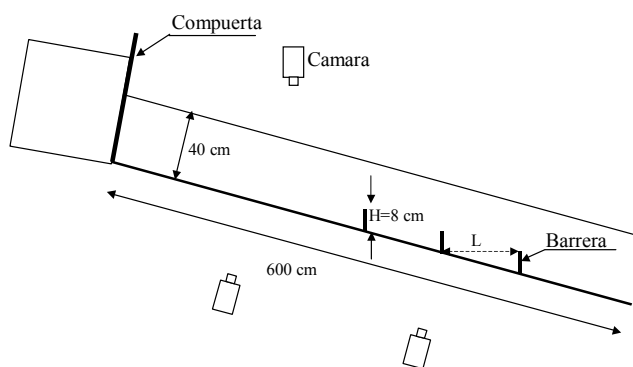


Fig 1. Esquema de la instalación experimental

Tres cámaras de video fueron utilizadas para registrar los experimentos (Fig.1) dos de ellas ubicadas frente a la pared de acrílico, las cuales capturaban vistas laterales del flujo, y la tercera ubicada en dirección normal a la superficie libre, la cual capturaba vistas planas de la superficie del flujo. Una de las cámaras laterales capturaba el flujo en la zona donde se ubicaban las barreras, mientras que las otras dos capturaban el flujo suficientemente aguas arriba de ellas, con el fin de medir las características del flujo sin influencia de las barreras. Pequeños trozos de papel fueron usados como trazadores para determinar el movimiento de la superficie libre, los que eran registrados por la cámara ubicada en forma normal a la superficie libre. Mediante el análisis de las imágenes obtenidas por las tres cámaras de video se determinó la altura del escurrimiento, velocidad de la superficie libre y características del flujo de aproximación a las barreras, así como la interacción del flujo con las barreras. Una vez



terminado cada experimento, se realizaba un muestreo detallado de los depósitos ocurridos en las barreras. Este muestreo incluía un análisis granulométrico del material depositado y estimación del volumen retenido.

3 Resultados experimentales

3.1 Características del Flujo

La caracterización del régimen de un flujo detrítico requiere evaluar los números de Bagnolds (Ba), Savage (Sa) y de Fricción (Nf), los que dependen de la viscosidad de la matriz del flujo, formada por la mezcla del agua con el material más fino de los sedimentos. La presencia de finos en el comportamiento de la mezcla es muy importante ya que, dependiendo de la concentración, la mezcla puede cambiar su comportamiento reológico. En otro artículo presentado en este Congreso, se detalla la metodología usada para determinar la viscosidad de la mezcla agua – finos, para distintas concentraciones de bentonita. Las mediciones mostraron que para una concentración en volumen del 2%, la viscosidad de la mezcla es un orden de magnitud mayor que la del agua. Para concentraciones mayores al 2%, la mezcla presenta un esfuerzo de fluencia, comportándose como un plástico de Bingham

En la Tabla 1 se resume las condiciones experimentales y los parámetros que caracterizan al flujo. En dicha Tabla, ν_f corresponde a la viscosidad cinemática de la mezcla agua – bentonita. En la razón K/ρ_f , K es el coeficiente de viscosidad de la mezcla cuando ella se comporta como plástico de Bingham y ρ_f es la densidad de la mezcla agua - bentonita. S_0 es la pendiente del canal, c_v es la concentración en volumen de sólidos, en la mezcla agua – sólidos, c_b es la concentración en peso de la bentonita respecto al total de sólidos en la mezcla. U es la velocidad media de la superficie libre y h es la altura del escurrimiento antes de llegar a las barreras y a es la abertura de la compuerta. Los distintos números adimensionales están definidos de la siguiente manera: $Nf = c_v \tan \phi (\rho_s - \rho_f) gh / ((1 - c_v) \gamma \mu_f)$, $Fr = U / \sqrt{gh}$, $Re = Uh / \nu_f$, $Ba = \rho_s \gamma d^2 \lambda^{1/2} / \mu_f$, $Sa = \rho_s d^2 \gamma^2 / ((\rho_s - \rho_f) gh)$. En las expresiones anteriores, ρ_s es la densidad de los sólidos, μ_f es la viscosidad dinámica del fluido intersticial, g es la aceleración de gravedad, $\gamma = U/h$ y es una medida de la tasa de deformación angular, ϕ es el ángulo de fricción del material, el que frecuentemente se reemplaza por el ángulo de reposo, tomándose el valor $\phi = 35^\circ$. λ es la concentración lineal, dada por $\lambda = 1 / ((c_{vmax} / c_v)^3 - 1)$, $c_{vmax} = 65\%$ es la concentración máxima.

Comparando el tipo de régimen definido por los números adimensionales, y con lo observado en cada experimento, se concluyó que el diámetro que condiciona las características hidráulicas de los escurrimientos está asociado con los tamaños mayores del sedimento. De este modo, se consideró como valor representativo el tamaño medio de la gravilla, $d=9$ mm.

De acuerdo a los valores presentados en la Tabla 1, los escurrimientos ensayados son turbulentos y supercríticos. El flujo detrítico está en el rango inercial ($Ba > 450$), indicando que domina la interacción entre partículas sobre la viscosidad del fluido intersticial. El número de Savage permite discriminar el efecto relativo entre la interacción de partículas (choque de partículas) y los efectos gravitacionales (fricción



entre partículas). Valores $Sa < 0,1$ corresponden a flujos dominados por la fricción entre partículas, por lo que en los flujos experimentados ($Sa > 0,1$) se tiene que el exceso de presión de poros elimina los efectos de la gravedad. El número de fricción, N_f , muestra la importancia relativa entre los esfuerzos de fricción (gravitacionales) y los esfuerzos viscosos. Según Iverson (1997), si $N_f > 2000$, los esfuerzos friccionales entre partículas dominan por sobre los esfuerzos viscosos, lo que sucede sólo en dos experimentos (AAC1 y AAC2).

Tabla 1. Condiciones y resultados experimentales

Exp	So (%)	a (cm)	C_v (%)	C_b (%)	Nº Barreras	U (m/s)	h (cm)	$v_f, K/\rho_f$ (m ² /s)	Fr	Re	Ba	Sa	Nf
AAA1	15	1	25	0	3	1.8	2.0	1.00E-06	4.1	36076	32538	5.4	815
AAA2	15	1	25	0.5	3	1.8	2.5	1.31E-06	3.5	34094	19089	2.5	1035
AAA3	15	1	25	5	3	1.8	1.8	1.11E-05	4.3	2849	3296	7.7	58
AAB1(+)	15	1	30	0.5	3								
AAB2(+)	15	1	30	0.5	2								
AAC1	15	1	35	0	3	1.3	3.7	1.00E-06	2.2	48045	17070	0.5	6010
AAC2	15	1	35	0.5	3	1.4	3.8	1.54E-06	2.4	35195	11875	0.5	3748
AAC3	15	1	35	5	3	1.6	1.6	2.07E-05	4.1	1253	2306	8.5	46
ABB1	15	2	30	0.5	2	2.0	2.3	1.41E-06	4.3	33316	26075	4.6	864
ABB2	15	2	30	0.5	2	2.3	2.0	1.41E-06	5.2	33028	33626	8.8	588
BAA1	32	1	25	0	2	2.0	1.5	1.00E-06	5.1	29549	46872	14.9	427
BAA2(+)	32	1	25	0	2								
BAA3	32	1	25	0.5	7	2.3	2.1	1.31E-06	5.0	35935	29951	7.5	541
BAA4 (*)	32	1	25	0.5	3	2.4	1.6	1.31E-06	5.9	28924	40590	17.9	307
BAA5	32	1	25	1	5	2.2	1.7	1.70E-06	5.5	21753	28351	14.4	268
BAA6	32	1	25	5	2	1.9	1.6	1.11E-05	4.8	2808	3831	11.3	46
BAA7 (*)	32	1	25	5	3	2.3	1.4	1.11E-05	6.3	2852	5554	28.5	26
BAC1	32	1	35	0.5	7	2.1	1.8	1.54E-06	5.1	24752	37282	11.0	565
BAC2 (*)	32	1	35	0.5	3	2.0	1.6	1.54E-06	5.0	21466	37735	12.2	517
BAC3	32	1	35	1	5	2.1	1.7	2.36E-06	5.0	15131	24147	11.2	359
BAC4 (*)	32	1	35	5	3	1.8	1.7	2.07E-05	4.5	1501	2509	9.6	44

(+): Experiencias en las cuales no fue posible determinar U o h. Sin embargo existe información respecto a la depositación.

(*): Barreras espaciadas $2L=2H/S_o$.

3.2 Interacción del Flujo con las Barreras

Al impactar el flujo la primera barrera, éste salta sobre ella, creando un chorro que golpea el lecho del canal a cierta distancia más abajo de la barrera. Una vez pasado el efecto del impacto inicial, gradualmente el flujo se asemeja al típico comportamiento del paso de un flujo sobre un vertedero de pared delgada. Mientras tanto, las siguientes barreras se van llenando con la mezcla sólido - líquida, sin embargo el impacto del flujo con estas barreras es menos importante que en el caso de la primera, ya que la energía del flujo es disipada mientras éste pasa por sobre las barreras.



Aguas abajo de cada barrera, el chorro que cae socava los depósitos generados por la barrera de aguas abajo, disminuyendo la capacidad de retención de éstas si no es encuentran suficientemente espaciadas entre sí.

Tres características de los depósitos generados por las barreras fueron investigados: i) el volumen retenido, expresado como un porcentaje de una capacidad de retención nominal, V_n , esta última definida como el volumen contenido entre la barrera, el lecho y la línea horizontal entre la cresta de la barrera y el lecho; ii) la pendiente de los depósitos; y iii) la distribución granulométrica de los sólidos retenidos por las barreras.

Los resultados sobre la retención de sedimentos en las barreras se presentan en los gráficos de la Fig. 2. En la Fig. 2.1 se observa que la mayor retención se produce en la barrera de aguas arriba, acusando el efecto que tiene la socavación al pie de las barreras en la capacidad de retención en las barreras siguientes. Lo mismo se observa en los experimentos mostrados en la Fig. 2.3, presentándose los mayores niveles de retención en la primera barrera, sin embargo, y debido a la mayor pendiente del canal ($S_o=32\%$), los niveles de retención se ven disminuidos respecto de los presentados en la Fig. 2.1 ($S_o=15\%$), mostrando el efecto que la pendiente del canal tiene en la capacidad de retención de este tipo de estructuras.

Tanto en la Fig. 2.1 como Fig. 2.2 se aprecia que en la barrera de aguas arriba la retención es mayor para los flujos de mayor concentración de sólidos (c_v), sin embargo esta dependencia de la retención con c_v se pierde en las barreras siguientes, mostrando que la retención producida en éstas está más condicionada por los efectos de la socavación que por las características propias del escurrimiento o la mezcla. Una manera de evitar la socavación de los depósitos al pie de las barreras, y así aumentar el porcentaje de retención en estas, es colocar las barreras espaciadas una distancia mayor.

En la Fig. 2.4, donde las barreras se encuentran espaciadas una distancia $2L$, ($L = H/S_o$) se observa que para valores pequeños de c_b la retención en las barreras se mantiene prácticamente constante, sin mayores diferencias entre la retención de la primera barrera y las sucesivas. De este modo, separando las barreras a una distancia igual a $2L$, el efecto de la socavación de la barrera precedente fue prácticamente eliminado para esta serie de experimentos. Sin embargo, para los experimentos que presentan una mayor concentración de finos los efectos de la socavación siguen presentes, es decir una mayor cantidad de finos en la mezcla obliga a un mayor espaciamiento entre barreras con el fin de evitar menores retenciones producto de la socavación en los depósitos. Una menor retención para las mezclas de mayor c_b también puede ser observado en las Figs. 2.1 y 2.3, demostrando que una mayor concentración de finos en la mezcla disminuye los niveles de depositación y aumenta la socavación al pie de las barreras. Esto se debe a que altos niveles de bentonita aumentan la viscosidad de la mezcla, disminuyendo en forma considerable la velocidad de sedimentación de las partículas dificultando así la depositación de los sólidos, lo que se traduce en una menor retención.

En la Fig. 2.2, se muestran resultados obtenidos con una abertura de la compuerta igual a 2 cm. En este caso, al contrario de lo observado en los experimentos con una abertura de 1 cm, se observa que la menor retención es registrada en la barrera de aguas arriba. Esto se debe a que una mayor apertura de la compuerta genera flujos de mayor caudal y por lo tanto mayor velocidad y altura, lo que finalmente



se traduce en que estos flujos poseen un mayor nivel de energía, capaz de arrastrar el eventual material que tienda a depositar aguas arriba de la primera barrera. Sin embargo se puede apreciar que el exceso de energía es rápidamente disipado por la primera barrera, obteniendo en la segunda barrera valores de retención similares a los registrados en la Fig. 2.1.

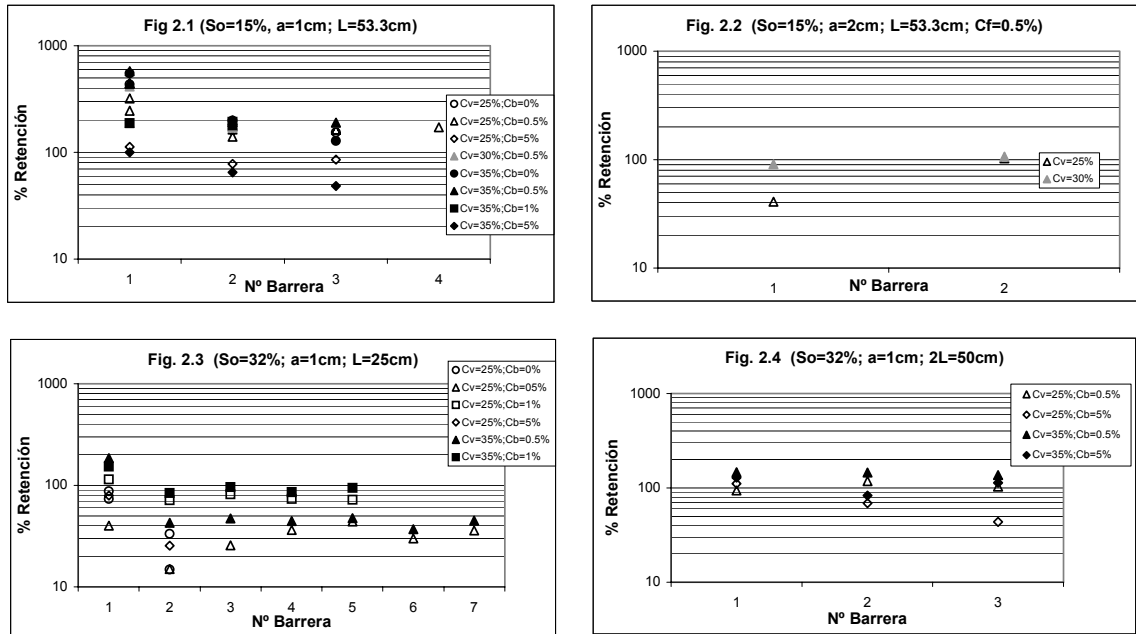


Fig. 2. porcentajes de retención en barreras

Además de disminuir los niveles de retención en las barreras, altos valores de finos (bentonita) en la mezcla producen una segregación importante en los depósitos. Al aumentar en forma considerable la viscosidad de la mezcla sólido – líquido, disminuye la velocidad de sedimentación de las partículas y los depósitos quedan constituidos en su mayoría por gravilla, ya que la arena y partículas más finas son arrastradas por el flujo, debido a que no alcanzan a depositarse mientras pasan por las barreras. Esto queda claramente demostrado en la Fig. 3, donde se aprecia que el diámetro d_{50} registrado en los depósitos para las experiencias de mayor concentración de finos es del orden del tamaño de la gravilla, mientras que para experimentos con menor valor de c_b , el d_{50} se mantienen en el rango de tamaños de la arena,. O sea, para altas concentraciones de finos, los depósitos son constituidos en su mayoría por gravilla, mientras que para menores concentraciones de c_b , la granulometría del sedimento se mantiene similar a la granulometría original.

Respecto a la pendiente del depósito (S_d), en la Fig. 4 se observa que, en general, la pendiente de los depósitos generados en las barreras supera el valor de la horizontal (0), salvo en los experimentos registrados en la Fig. 4.3, donde la mayoría se encuentra por debajo de este valor. Estos resultados concuerdan con los presentados en la Fig. 3. Valores de S_d mayores que la horizontal corresponden a retenciones mayores o cercanas al 100%, mientras que valores de S_d menores que la horizontal corresponden a retenciones menores que el 100%.

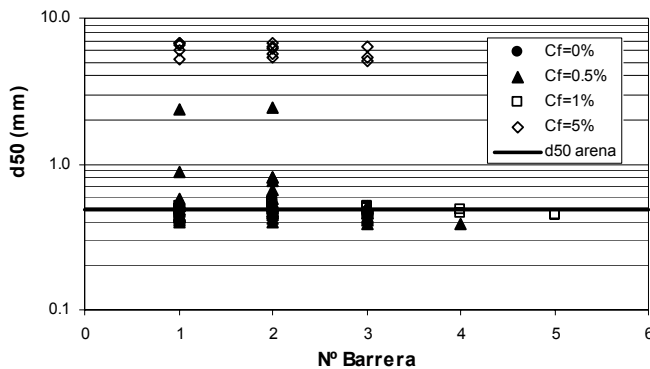


Fig. 3. Diámetro medio de los sedimentos (d_{50}) encontrados en los depósitos

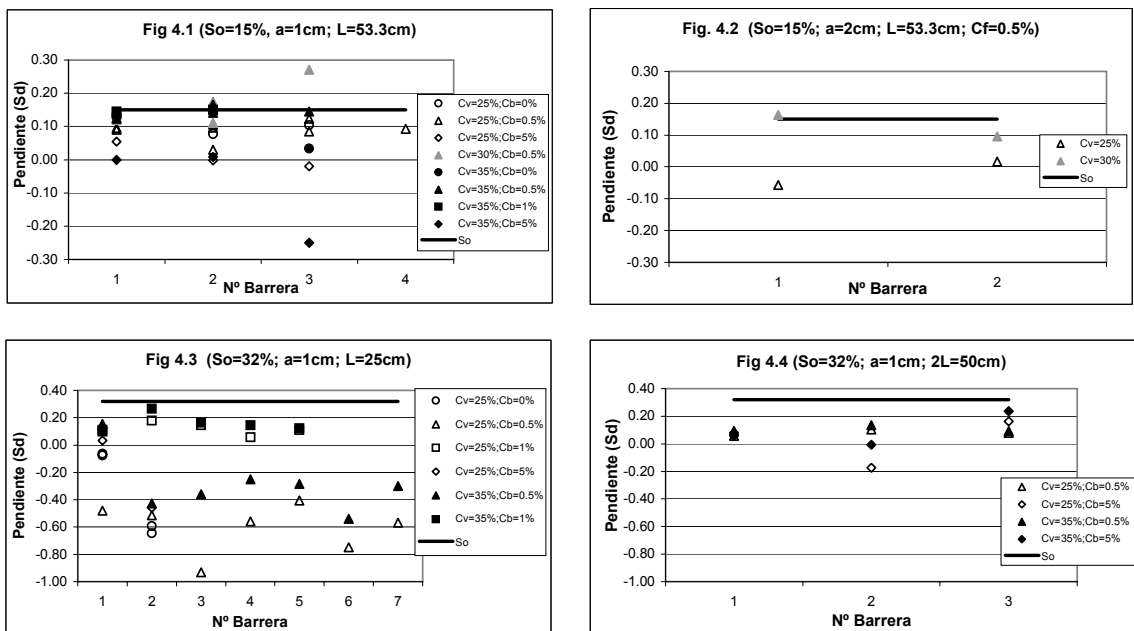


Fig. 4. Pendientes de los depósitos generados en las barreras, S_d

En el caso de existir retenciones mayores al 100%, se observa que la pendiente en los depósitos se ubica entre el valor de la horizontal y la pendiente del canal, S_0 . Es decir, es posible que el cauce retome su pendiente original luego del paso de un aluvión, elevando su lecho por sobre el nivel de las barreras. Este efecto es utilizado en la práctica con el fin de estabilizar las laderas adenañas al cauce y así prevenir la erosión o deslizamientos, evitando la llegada de detritos al cauce principal. Estos trabajos de estabilización de pendientes se realizan regularmente en las partes altas de las cuencas, lugar donde se encuentra la mayor cantidad de material propenso de ser removido en un evento aluvional (Okubo et al, 1997; Fiebiger 1997).

En la Fig 4.3 se observa una gran variabilidad en los valores de S_d , menores que la horizontal. Este hecho se atribuye a que los depósitos aquí generados están



fuertemente condicionados por la socavación y estructura del flujo al pasar por las barreras. Por esto, pequeñas variaciones en las condiciones experimentales, propias de la experimentación, se traducen en una gran dispersión de los valores de S_d registrados.

4 Conclusiones

Resultados sobre la interacción de flujos detríticos en el rango inercial con barreras transversales impermeables han sido presentados en este trabajo. Los resultados muestran una serie de parámetros y condiciones relevantes para el diseño de este tipo de estructuras de control aluvional. En primer lugar se debe tener en cuenta las propiedades de la mezcla sólido – líquido. La presencia de finos y la granulometría de los sólidos presentes en la mezcla pueden ser determinantes en la reología y comportamiento del escurrimiento. Presencia de material fino puede provocar cambios dramáticos en la viscosidad de la mezcla, mientras que la fracción mayor del sedimento puede ser el responsable del comportamiento hidráulico del flujo. En particular para la serie de experimentos aquí presentados, la gravilla es la responsable de dar características de régimen inercial a los flujos generados. Por otro lado, el aumento de la viscosidad del fluido intersticial, formado por la mezcla agua – finos (bentonita), puede disminuir la velocidad de sedimentación del resto de los sólidos de manera que parte de ellos se mantiene en suspensión durante el paso por las barreras, no pudiendo depositarse, con la consiguiente disminución de la capacidad de retención de las barreras.

El efecto de la socavación al pie de las barreras y la influencia que éste tiene sobre los depósitos también se observó en los resultados experimentales. Con el objeto de maximizar la retención en las barreras, a través de una disminución de la erosión de los depósitos, se debe ubicar las barreras espaciadas una distancia adecuada. Este espaciamiento depende de la pendiente del cauce (S_o) y de la concentración de finos o reología de la mezcla. Además, la presencia de finos determina los niveles de segregación de los sólidos depositados en las barreras.

Es de interés mencionar algo respecto a la escalabilidad de los resultados obtenidos en estudios de laboratorio a situaciones que ocurren en la naturaleza, en particular cuando se aborda el problema de estudiar en modelos físicos estructuras que se usarán para controlar fenómenos que ocurren a escala natural. Un adecuado escalamiento requiere preservar todos los parámetros adimensionales relevantes en el fenómeno. Esto significa que en general, tanto en modelo como en prototipo deben ser iguales, por los menos Re , Fr , Ba , Sa , Nf , etc., lo que en la práctica es imposible de conseguir. De este modo, es probable que para una obra en particular sea necesario realizar varios estudios diferentes, preservando distintos adimensionales en cada uno de ellos, dependiendo del fenómeno en particular que se desee estudiar, por ejemplo, erosión al pie de la obra, volumen del depósito, interacción entre obras, características del flujo sobre la obra, efecto de la obra en el comportamiento hidráulico del flujo, etc. El problema de la escalabilidad por sí sólo es de gran importancia y altamente complejo, el que aún no está resuelto, y es una de las razones por la cual aún no existen criterios universales para el diseño de obras de control aluvional.

Por último, debe tenerse presente una situación práctica que es evidente para todos aquellos profesionales que se han involucrado en el diseño de obras de control



aluvional y que es mencionada por muchos investigadores que trabajan en este tema: las condiciones para las que operan estas obras son inciertas. En particular, esto se refiere a la incapacidad de predecir la concentración de sólidos y fracción de finos de la mezcla, los que son determinantes para definir la eficiencia y comportamiento de las obras.

5 Agradecimientos

Se agradece el financiamiento parcial dado por el Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y El Caribe, CAZALAC, a través de una beca otorgada al primer autor de este artículo.

6 Referencias

- ARMANINI, A. Control Measures for Debris Flows, En: Recent Developments on Debris Flows. Armanini and Michieu (Eds.), Springer-Verlag, Berlin. 1997.
- ARMANINI, A. and LARCHER, M. Rational Criterion for Designing Opening of Slit-Check Dam. *Journal of Hydraulic Engineering* 127(2): 94-104. February 2001
- ARMANINI, A. and MICHIEU, M. (Eds.). Recent Developments on Debris Flows, Springer-Verlag, Berlin. 1997
- ARMANINI, A. and SCOTTON, P. On the Dynamic Impact of a Debris Flow on Structures. Proceedings XXV Congress I.A.H.R, Vol. III ,1993. pp 203-210.
- DAIDO, A. Impact Force of Mud-Debris Flows on Structures. Proceedings XXV Congress I.A.H.R, Vol. III ,1993. pp 211-217
- FIEBIGER, G. Structures of Debris Flow Countermeasures, En: Debris –Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction and Assesment, First International Conference, August 7-9, San Francisco, California. 1997. pp 596-605
- JAEGGI, M. and PELLANDINI, S. Torrent Check Dams as a Control Measure for Debris Flow, En: Recent Developments on Debris Flows. Armanini and Michieu (Eds.), Springer-Verlag, Berlin. 1997. pp 186-207
- JOHNSON, P and McCUEN. Slit Dam Design for Debris Floe Mitigation, *Journal of Hydraulic Engineering* 115(9): 1293-1296.
- LIN, P-S. CHANG, W-J. and LIU, K-S. Retaining Function of Open-Type Sabo Dams, En: Debris –Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction and Assesment, First International Conference, August 7-9, San Francisco, California. 1997. pp 636-645
- MIZUYAMA, T. Structural and Non-Structural Debris-Flow Countermeasures. En: Proceedings of the Hydraulic Engineering '93 Conference, Vol. 2. July 25-30, San Francisco, California ASCE. 1993. pp 1914-1919.
- OKUBO, S. IKEYA, H., ISHIKAWA, Y. and YAMADA T. Development of New Methods for Countermeasures against Debris Flows, En: Recent Developments on Debris Flows. Armanini and Michieu (Eds.), Springer-Verlag, Berlin. 1997. pp 166-185
- SEMINARA, G. and TUBINO, M. Debris Flows: Meccanica, Contollo e Previsione. Monografia delle Unità Operativa del Guppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, Istituto di Idraulica, Universidad de Genova. Giugno 1993
- VANDINE, D. Debris Flow Control Structures for Forest Engineering. British Columbia. 1996.