

MODELO FÍSICO DE OBRAS DE DESVÍO ALUVIONAL. QUEBRADA DE MACUL, REGIÓN METROPOLITANA, CHILE.

Jaime Cotroneo O.¹, Gonzalo Montserrat M.¹, Santiago Montserrat M.², Yarko Niño C.³
y Aldo Tamburrino T.³

¹Instituto Nacional de Hidráulica, Chile.

²Investigador asociado AMTC, Universidad de Chile, Chile.

³Profesor Titular y Asociado, Departamento de Ingeniería Civil, AMTC, Universidad de Chile, Chile.

E-mail: jaimecotroneo@inh.cl, gonzalomontserrat@inh.cl, santiago.montserrat@amtcl.cl,
ynino@ing.uchile.cl, atamburr@ing.uchile.cl

Introducción

Chile es un país altamente vulnerable a los flujos de detritos dada su configuración geográfica y a la cercanía de los asentamientos humanos en zonas cordilleranas y precordilleranas. Cuando estos flujos alcanzan pueblos y ciudades, provocan enormes pérdidas humanas y económicas en el país. Según el Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile (2015), entre los años 1980 y 2015 han ocurrido 70 desastres de origen geológico de los cuales 45 corresponden a flujos aluvionales. Dentro de ellos, los 5 aluviones de mayor magnitud han reportado 189 muertos, 91 desaparecidos, miles de damnificados y un costo económico de 1.600 millones de dólares americanos.

La ingeniería ha permitido el diseño y construcción de obras de protección aluvional, disminuyendo así el riesgo de las ciudades susceptibles a este tipo de fenómeno natural. En esta línea, tras el aluvión de 1993 ocurrido en la ciudad de Santiago en la Quebrada de Macul y de Ramón, el gobierno de Chile construyó en 1995 7 barreras o "Check Dams" con una capacidad de almacenamiento de sedimentos, estimado en 70.000 m³, destinados a mitigar los efectos de los flujos aluvionales en la zona.

Diversos autores (Ayala, 1996; Naranjo y Varela, 1996) estimaron en 840.000 m³ el volumen de depósitos registrados en la crecida y aluvión del Mayo de 1993 en la quebrada de Macul, es decir, un volumen superior al volumen actual de retención de las barreras decantadoras. En este sentido, la Dirección de Obras Hidráulicas se encuentra en proceso de excavación de un decantador de mayor magnitud denominado "Hondonada" localizado en el lado sur del cauce principal de la quebrada entre las barreras decantadoras N°1 y N°5 (ver Figura 1). Para un correcto uso de esta hondonada se pretende desviar un porcentaje importante (~ 60 - 80%) del volumen de sedimentos transportado por el aluvión de 1993.

Para lograr el objetivo anterior, se ha construido un modelo físico a escala reducida 1:80 que permite probar y diseñar distintas alternativas de obras hidráulicas que permitan desviar el flujo. Finalmente, la alternativa que ha dado mejores resultados es una presa de apertura vertical curva junto a un vertedero lateral que desvían el flujo desde el decantador n°1 hacia la Hondonada.

La escasez de estudios presentes en la literatura sobre obras que permitan desviar este tipo de flujos de gran inercia capaz de transportar grandes clastos sumado a la dificultad de modelar físicamente flujos detríticos debido a diversos efectos de escala, dan relevancia al presente estudio.

Objetivos principales

Estudiar una obra de desvío capaz de:

- desviar en un flujo aluvional las partículas más grandes y destructivas hacia la hondonada.
- desviar alrededor de un 60 a 80% del material

transportado por el flujo aluvional hacia la hondonada y dejar el restante fluir a través de las piscinas de retención. Considerando el volumen de sedimentos transportados por el aluvión de 1993.



Figura 1.- Zona de estudio. La numeración indica las barreras decantadoras y las flechas la dirección del flujo. La flecha segmentada indica el desvío de parte del flujo hacia la hondonada.

Características del flujo detrítico en la Quebrada de Macul

Según los antecedentes y registros de aluviones anteriores ocurridos en la quebrada de Macul y a partir de la clasificación dinámica y mecánica de Takahashi (2014), se encuentra que estos son del tipo inercial dominado por las colisiones entre las partículas por sobre los esfuerzos friccionales y viscosos. Por lo tanto, el modelo físico (Figura 2) debe ser capaz de generar flujos detríticos con números de Bagnold $Ba > 450$, Savage $Sa > 0.1$ y altura relativa $H/dp < 10$, según lo establecido por Takahashi, (2014), donde H es la altura del flujo y dp un diámetro representativo de los sedimentos.

Instalación experimental y mezcla detrítica

La instalación experimental (Figura 2), corresponde a un canal de madera de 8 m de longitud y pendiente de 30° donde se genera el aluvión. En el fondo del canal se han adosado gravas correspondientes al d90 de la curva granulométrica (Figura 3), con el fin de aumentar su rugosidad y lograr la velocidad deseada a la entrada del decantador. En la parte superior del canal, se ubica el estanque de mezcla de 0.8 m³ de capacidad donde se prepara la mezcla sólidos - líquido. Una vez homogenizada la mezcla, esta es liberada al canal mediante la apertura de una compuerta.

A la salida del canal de generación del aluvión, se ubica una representación a escala reducida 1:80 de la zona de estudio correspondiente a los decantadores n°1, n°2, Hondonada y obra de desvío a ensayar (ver Figura 2).

Dado que los aluviones son una mezcla sólidos-líquido hiperconcentrada, la fase sólida está compuesta por la curva granulométrica de los sedimentos encontrados en la Quebrada de Macul a escala 1:80 (Figura 3). Sin embargo, debido al escalamiento, la fracción más fina de la curva granulométrica se

incorpora al fluido y la mezcla se modela como un fluido equivalente. Por tal motivo, la fase líquida equivalente está compuesta por agua y bentonita cuyo comportamiento reológico es el de un fluido no-newtoniano tipo Bingham (Takahashi, 2014; Iverson et al, 2010; Montserrat, 2005).

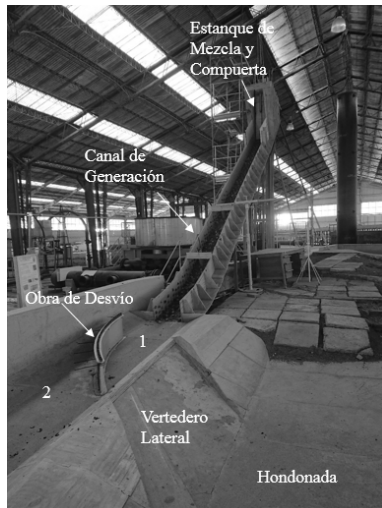


Figura 2.- Modelo físico a escala reducida 1:80. Se observa el estanque de mezcla, la compuerta de apertura rápida, el canal de generación, la obra de desvío, el vertedero lateral y la hondonada.

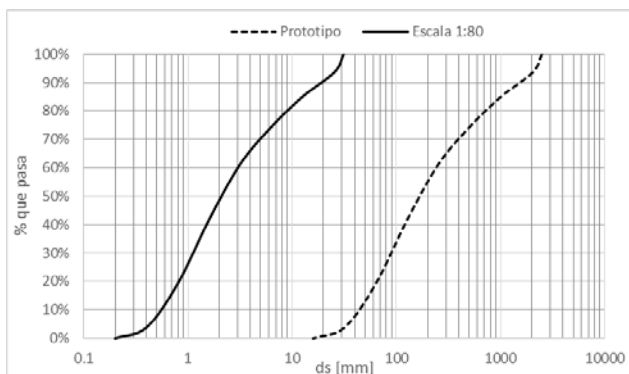


Figura 3.- Curva granulométrica en prototipo y a escala 1:80.

Alternativas y ensayos realizados

Se ensayaron 4 tipos de obras de desvío indicadas en la Figura 4 para una concentración de sólidos del 38% en volumen y distintos fluidos equivalentes a distintas concentraciones de bentonita que resultan en viscosidades de Bingham entre 5 a 18 veces la viscosidad del agua. Para cada ensayo se mide la capacidad de desvío y bloqueo de la obra junto a las curvas granulométricas del material desviado, retenido y que sobrepasa la obra. La Figura 5, muestra el funcionamiento de la Alternativa 2 como obra de desvío.

Resultados

Para cada alternativa de obra de desvío ensayada, no se aprecia un efecto considerable en su capacidad de desvío para distintas viscosidades. Sin embargo, sí existen grandes diferencias en la eficiencia de la obra, medida como el porcentaje del flujo desviado hacia la hondonada, para las distintas geometrías. Si bien, las alternativas ensayadas se basan en obras tipos encontradas en la literatura usadas para retener los sedimentos (VanDine, 1996, Montserrat, 2005), éstas pierden su capacidad de retención al ser utilizadas como obras de desvío aluvional.

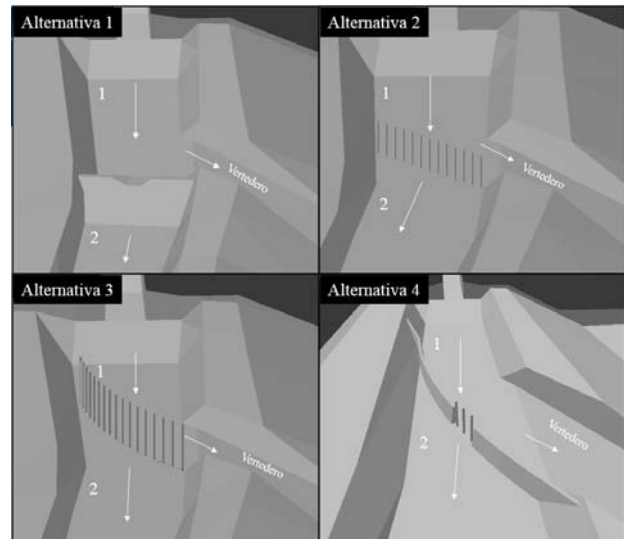


Figura 4.- Alternativa 1: Vertedero lateral manteniendo la presa retenedora presente actualmente. Alternativa 2: Presa de apertura vertical en 45° respecto al eje central con vertedero lateral. Alternativa 3: Presa de apertura vertical curva tangente a los muros laterales con vertedero lateral. Alternativa 4: Dique curvo tangente a los muros laterales con una presa de apertura vertical en su zona central sumado a un vertedero lateral.

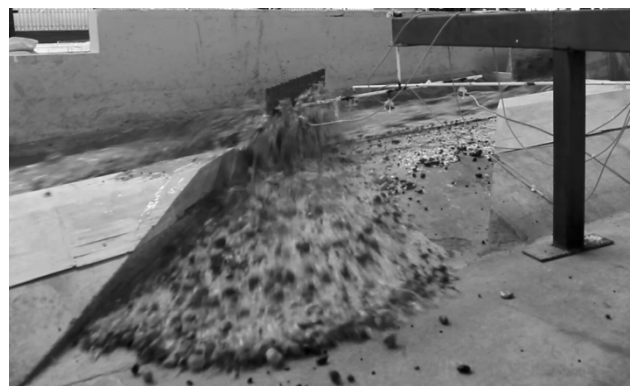


Figura 5.- Ensayo Alternativa 2. Se observa el desvío del flujo hacia la hondonada.

Referencias

- Ayala, L.** (1996). *Hidráulica de los fenómenos de remoción en masa: corrientes de detritos y flujos de barro*. Curso pre-XVII congreso latinoamericano de hidráulica, Guayaquil, Ecuador.
- Iverson, R. M., Logan, M., LaHusen, R. G., and Berti, M.** (2010). *The perfect debris flow? Aggregated results from 28 large-scale experiments*. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 115(F3).
- Montserrat, S.** (2005). *Estudio experimental de obras de protección contra aluviones*. Tesis para optar al grado de Magister en ciencias de la ingeniería, Universidad de Chile.
- Naranjo, J.A. and Varela, J.** (1996). *Flujos de detritos y barro que afectaron el sector oriente de Santiago el 3 de mayo de 1993*. Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín No.47.
- Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile.** (2015). *Registro de los Principales Desastres de origen geológico en Chile y efectos sobre la población y bienes públicos y privados entre 1980 y 2015*. Sernageomin N°14860-A
- Takahashi, T.** (2014). *Debris flow: mechanics, prediction and countermeasures*. CRC press.
- VanDine, D. F.** (1996). *Debris flow control structures for forest engineering*. Res. Br., BC Min. For., Victoria, BC, Work. Pap. 8.