



APÉNDICE D

INFORME DE ANÁLISIS Y ESTIMACIÓN DE EFECTOS AMBIENTALES

CARGOS N°4, 5 y N° 16 RES. EX. N°1 / ROL D-018-2019

MINUTA TÉCNICA CÁLCULO DE FLUJO DE LAMAS A TRAVÉS DE RANURA POSTERIOR DE COMPUERTA IPA2



Versión 1

MARZO 2019

INTRODUCCIÓN

El día 20 de marzo de 2018 ocurre un derrame de lamas producto de la rotura de un lamaducto en la mina Caserones. Las lamas fueron interceptadas por una bocatoma de montaña denominada IP-A2, la cual funciona para tanto para captar aguas lluvias como para contener los posibles derrames que se originen en la quebrada. Para ello cuenta con dos compuertas, cuya función es desviar el flujo a distintos lugares dependiendo de si se trata de lamas o aguas lluvias (Figura 1).

De acuerdo a los antecedentes entregados, el día de la rotura se abrió la Compuerta 2 y se cerró la Compuerta 1, para así desviar el flujo de lamas y separarlo del canal de aguas lluvias. El problema se originó cuando la cámara separadora de flujos rebalsó y las lamas comenzaron a escurrir por la superficie (Figura 2). Esta situación generó que una parte del flujo de lamas entrara al canal de aguas lluvias por medio de una abertura sobre la Compuerta 1 (Figura 3).

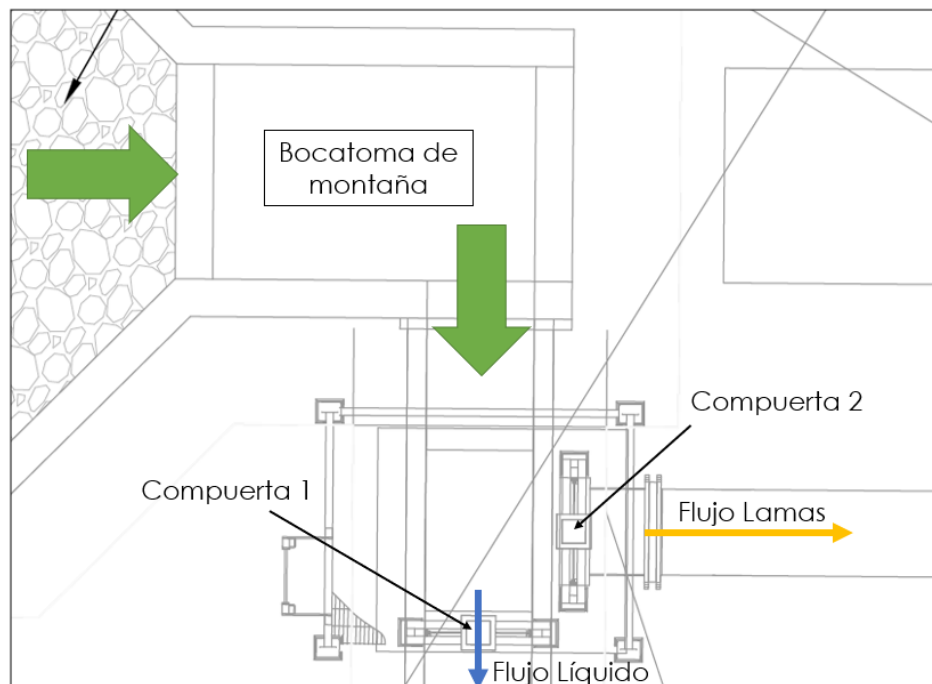


Figura 1: Vista en planta del interceptor IP-A2. El flujo proveniente de la quebrada es captado por una bocatoma de montaña y dirigido hacia la cámara desviadora (flechas verdes). En el caso de aguas lluvias, el flujo se desvía por la Compuerta 1 (flecha azul); en el caso de derrame de lamas se desvía por la Compuerta 2 (flecha amarilla).



Figura 2: Fotografía del interceptor IP-A2 mirando hacia aguas arriba. Se observan remanentes de lamas en el canal y alrededor de la compuerta producto del rebalse. La Compuerta 2 está en posición abierta.



Figura 3: Fotografía del derrame de lamas hacia el canal de aguas lluvias. El rebalse de la cámara desviadora entró por una abertura de la Compuerta 1.

El objetivo de esta minuta es calcular, en base a los antecedentes disponibles, cual es el caudal que pudo escurrir por la abertura sobre la Compuerta 1.

METODOLOGÍA

Dado que no existen antecedentes suficientes para hacer un cálculo preciso sobre el caudal que se derramó al canal de aguas lluvias, la metodología empleada consistió en aproximar y definir rangos o límites máximos de caudal que pudieron haber entrado por la Compuerta 1. Esto se hizo en base a formulaciones teóricas basadas en la geometría del problema y las características del flujo, y en base a las observaciones.

Flujo a través de una abertura

El flujo capaz de evacuar por una abertura como la que se encuentra atrás de la Compuerta 1, se puede calcular utilizando las fórmulas de sumideros laterales de aguas lluvias. El MINVU (2005) propone la siguiente relación para estimar el caudal máximo de un sumidero lateral (para el caso de agua líquida):

$$Q = 1,27Lh^{1,5} \quad [\text{Eq.1}]$$

Donde Q es el caudal máximo en $[\text{m}^3/\text{s}]$, L es el largo del vertedero en $[\text{m}]$, y h es la altura en $[\text{m}]$ (Figura 4).

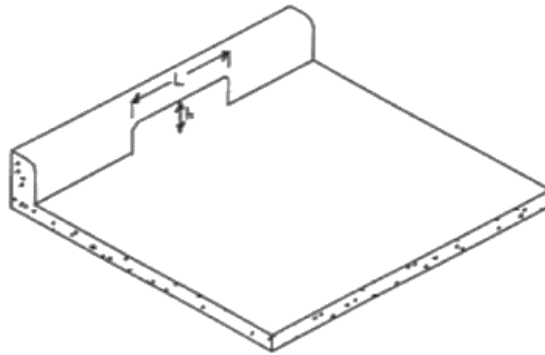


Figura 4: Esquema de vertedero lateral. Fuente: MINVU (2005).

Una fórmula más general, utilizada para el caso de vertederos rectangulares, considera un coeficiente de descarga (C_d), el cual depende de la viscosidad y la tensión superficial del flujo:

$$Q = 2,95C_dLh^{1,5} \quad [\text{Eq.2}]$$

Varios autores han propuesto formulaciones para el coeficiente de descarga C_d en función de la densidad, la viscosidad y la tensión superficial, la mayoría de manera experimental, pero siempre utilizando fluidos con comportamiento similar al agua.

RESULTADOS

Las dimensiones de la abertura se obtuvieron de los planos (Figura 1) y de lo observado en la Figura 3. La compuerta tiene un ancho de 1 [m]. La altura de la abertura puede estimarse en 5 [cm]. El ancho efectivo por donde escurrieron las lamas se estima en 5 [cm], ya que como se ve en la Figura 6, los remanentes muestran que la abertura se encontraba parcialmente obstruida (asumiendo que esa fue la condición inicial).

Con estos datos y utilizando la [Eq. 1], es decir, suponiendo agua líquida, se llega a un caudal máximo posible de 0,0016 [m³/s].

Las lamas derramadas tienen una viscosidad dinámica que va entre 0,02 y 0,2 [Pa*s] (Figura 5), mientras que la viscosidad del agua a 20 [°C] es del orden de 0,001 [Pa*s]. Más allá de eso, el comportamiento de las lamas es diferente al agua debido a su reología, comportándose como fluido no newtoniano tipo Bingham para concentraciones mayores al 58% (ARCADIS, 2010). Dado estos antecedentes, es de esperar a que el caudal de lamas que ingresó por la Compuerta 1 sea bastante menor a si hubiese sido agua, por lo tanto, el cálculo derivado de la [Eq. 1], el cual asume un caudal líquido, actúa como un límite superior.

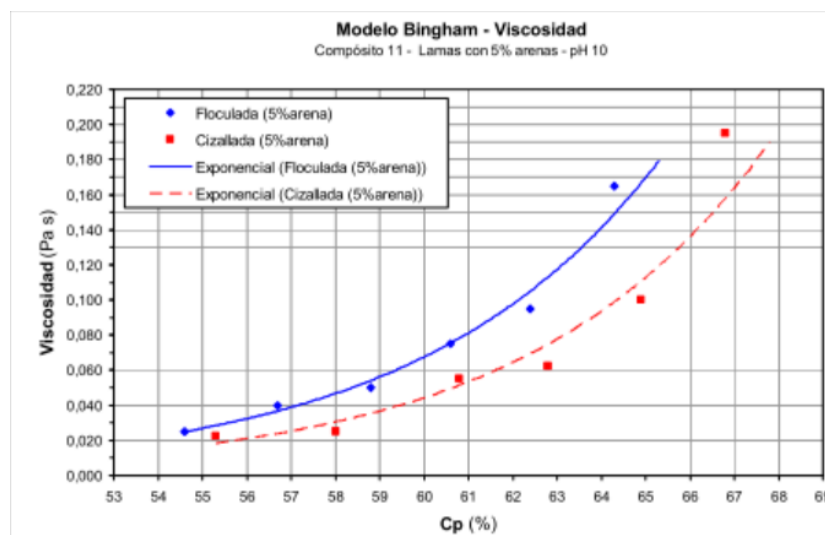


Figura 5: Viscosidad de las lamas obtenidas en ensayos de laboratorio realizados durante la ingeniería básica del proyecto (ARCADIS, 2010).



Figura 6: Las lamas remanentes después del rebalse muestran la naturaleza del fluido y cómo este no logra pasar entre pequeñas obstrucciones.



Figura 7: Lamas remanentes después del rebalse. Parte del derrame fluyó directamente por gravedad hacia aguas abajo.

Por otro lado, la Figura 6 muestra que, dada la viscosidad del fluido, el escurrimiento se bloquea fácilmente y no logra pasar por aberturas pequeñas. Esto, asumiendo que ese material no fue arrastrado por el flujo, cosa que no se observa que haya pasado en la Figura 7.

Al ver la Figura 7, los remanentes de lamas parecen indicar que la dirección de menor resistencia al flujo es hacia aguas abajo de la Compuerta 2. Es de esperar que un porcentaje mayor del derrame haya tomado esta dirección y un porcentaje menor se haya dirigido a la Compuerta 1, sobre todo si esta quedó parcialmente bloqueada. De la imagen, se estima un volumen del remanente en superficie menor a 1 [m³].

CONCLUSIONES

Los antecedentes disponibles y la naturaleza de flujo derramado no permiten hacer una buena estimación sobre el volumen de lamas que pudo haber escurrido a través de la apertura de la compuerta sin tener que recurrir a varios supuestos. Para mejorar la estimación, se necesitan datos experimentales sobre el comportamiento de este tipo de fluidos en las condiciones descritas.

A pesar de esto, se realizó una estimación conservadora en base a formulaciones empíricas suponiendo que el flujo derramado fuese agua líquida, y se llegó a un resultado de 0,0016 [m³/s].

Este caudal representa el máximo que podría fluir por la apertura en condiciones ideales si el derrame fuese agua líquida. Dadas las características de las lamas (mayor viscosidad y comportamiento no newtoniano), es de esperar a que el caudal real que entró a la compuerta sea significativamente menor, e incluso, que se bloquee parcialmente en la entrada al canal.

Como no se tienen antecedentes sobre la duración del evento o la secuencia en que ocurrió el derrame, no se puede estimar adecuadamente el volumen que ingresó por la compuerta. Como referencia, con el caudal calculado y asumiendo que el flujo fluyó libremente como agua durante 15 minutos, se llega a un volumen de 1,48 [m³].

Las imágenes del remanente del derrame hacen suponer que el volumen total rebalsado fue menor a 1,0 [m³], y que gran parte de este fluyó por superficie hacia aguas abajo de la Compuerta 2, siendo este el camino de menor resistencia al flujo. Bajo este supuesto, el flujo hacia el canal de aguas lluvias difícilmente pudo haber superado este valor.

REFERENCIAS

ARCADIS. 2010. "Estudio de factibilidad manejo y depositación de relaves proyecto Caserones. Informe Reológico".

MINVU. 2005. "Guía de diseño y especificaciones de elementos urbanos de infraestructura de aguas lluvias".