

ANÁLISIS DEL RIESGO DE ALUDES EN LA RUTA DE ACCESO A MINA VELADERO (DEPARTAMENTO DE SAN JUAN, ARGENTINA) Y ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE DEFENSA.

Pere Oller¹, Lukas Stoffel², Marc Janeras³, Georgina Arnó³, Hèctor de Buen³, Rodrigo Arancibia⁴

¹Institut Geològic de Catalunya

²WSL Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF Davos

³Geocat-Gestió de Projectes

⁴Asistencia Profesional en Materias de Montaña Ltda.

RESUMEN

Se presenta el estudio de riesgo de aludes realizado por el Institut Geològic de Catalunya y el Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung en la ruta de acceso a Mina Veladero, Andes Argentinos. El estudio analiza el terreno avalanchoso, identifica las zonas de mayor peligrosidad y se priorizan las zonas de actuación, con el planteo de las alternativas de defensa.

Es presenta l'estudi de risc d'allaus realitzat per l'Institut Geològic de Catalunya i l'Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung a la ruta d'accés a Mina Veladero, Andes Argentins. L'estudi analitza el terreny allavós, identifica les zones de major perillositat i es prioritzen les zones d'actuació, amb el planteig de les alternatives de defensa.

INTRODUCCIÓN

El Proyecto Veladero se ubica al noroeste de Argentina, en la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, limítrofe con Chile. La dirección del eje de la cordillera, de norte a sur, junto con el movimiento de las masas de aire húmedas, de oeste a este, hace que en esta zona, a sotavento del eje principal de la misma, el clima sea árido, con débiles precipitaciones níveas en invierno, disminuyendo cuanto mayor es la distancia hacia el este, respecto el eje de la cordillera. A sotavento se forma un viento seco y caliente, de tipo "foëhn" denominado "zonda", que es la causa de la aridez de las zonas subyacentes a la cordillera.

El camino de acceso a la mina recorre 155 km desde la última población habitada, Tudcum (2.000 m). Desde ese punto continúa ascendiendo hacia el noroeste atravesando la Cordillera del Colangüil por el Portezuelo de Conconta (4.980 m), elevación culminante de la ruta, para descender hasta el Valle del Cura, donde se encuentra el denominado campamento Sepultura (3.800 m). Pasado un segundo puerto (Portezuelo de Los Despoblados, 4.400 m) el camino desciende hasta llegar al río de Las Taguas, donde se ubica el Campamento Veladero (3.845 m).

En el trazado hay dos zonas de especial atención por lo que respecta al riesgo de aludes: el paso de Conconta y el cajón de las Taguas. Se trata de las dos principales zonas con terreno favorable al desencadenamiento de avalanchas. El paso de Conconta es la cota culminante de un valle de dirección oeste noroeste – este sureste, con laderas de fuertes desniveles (de hasta 1.500 m) de canchal fino, y de pendientes superiores a los 35°, en general. A pesar de ser un terreno muy favorable al desencadenamiento de avalanchas, la débil precipitación que se registra no es suficiente para que ello ocurra con frecuencia. Sí que ocurren con cierta frecuencia, justo en la cabecera del valle, el puerto de Conconta, dónde la orientación de la ladera,



Figura 1. Situación de la zona de estudio

existen laderas favorables al desencadenamiento de avalanchas, con pendientes favorables entre los 28° y los 45°. El desnivel de dichas laderas avalanchosas alcanza los 500 m.

DATOS NIVOMETEOROLÓGICOS

Hay que destacar la escasez de datos existentes en la zona. La toma de datos continuada se reduce a los últimos 4 años, tiempo que se lleva explotando la mina. Anteriormente sólo había permanencia en verano, durante las campañas de exploración. Ello es un factor limitante e importante a la hora de caracterizar los escenarios avalanchosos. Concretamente, existen datos de ocho estaciones meteorológicas automáticas en el trazado de la ruta y en la mina, y una de manual en el campamento. En las proximidades existen estaciones con series más longevas (Pascua, el Indio) pero los datos son anuales (a lo más mensuales), y son menos representativas puesto que están situadas en la ladera Chilena de los Andes, a barlovento de las masas de aire húmedas del Pacífico.

A partir del análisis de los datos y de las apreciaciones del personal de la mina, se establece que:

- Precipitación: La cantidad total de nieve reciente en un invierno normal es de 100-200 cm, y de 1000 cm en un invierno extremo. En ocasiones ocurren tormentas con altos ratios de precipitación (se han observado tasas de hasta 6 cm/h). Durante éstas, es también habitual la precipitación de nieve granulada. Todo ello favorece la formación de capas débiles. Los espesores máximos registrados, son de 91 cm en 24 h, y de 152,2 cm en 72 h, en el campamento Veladero. Según las conversaciones con el personal de la mina, en 1997, año de precipitación excepcional, se apreciaron espesores acumulados de 3 m en 72 h.
- Temperaturas: En general en invierno apenas se superan los 0°C. Sólo en ocasiones las temperaturas máximas alcanzan los 5°C. Las mínimas se encuentran habitualmente entre los -10°C y los -15°C, pero es normal alcanzar los -25°C. En ocasiones se han superado los -40°C. Durante los episodios de nevada las temperaturas acostumbran a oscilar entre los 0 y los -10°C.
- Viento: Es habitual y constante (casi diario). En cotas altas se registran velocidades máximas que con frecuencia superan los 100 km/h, y que en

- ocasiones superan los 250 km/h. La dirección es prácticamente siempre del N, NO y O. En los valles los valores máximos no superan los 150 km/h.
- Manto: La distribución acostumbra a ser irregular por el efecto del viento. Es frecuente la existencia de un fuerte gradiente de temperatura con la formación de una capa débil en la base. Se produce una fuerte radiación en general, lo cual genera asentamiento del manto y sublimación.
 - Aludes: las condiciones nivometeorológicas descritas generan avalanchas, principalmente de placa dura y friable, de nieve fría y seca, que pueden desarrollar un aerosol, si el recorrido y la masa desplazada lo permiten.

CARTOGRAFÍA DE SENDAS DE AVALANCHAS

Se realizó una cartografía de sendas de avalancha en las dos zonas de estudio. Para la caracterización de las zonas de inicio se analizaron los parámetros inclinación, exposición, topografía, dimensiones, altitud y rugosidad del terreno. En esta fase se hizo una primera estimación de la peligrosidad en base a las características del terreno y a la información obtenida a partir de entrevistas con el personal de la mina.

En el Conconta el estudio se centró en la zona más activa, la cabecera del puerto, a pesar de que el valle de acceso se encuentra amenazado por más de un centenar de sendas. En este sector se inventariaron 21 zonas de inicio de avalancha, y se consideró que el sector más activo era el situado entre los km 51.2 al 53.2 (15 zonas de inicio).

En el paso de las Taguas se inventariaron 122 zonas de inicio de avalanchas. Para seleccionar las zonas de inicio más peligrosas, se definió el potencial avalanchoso en base a la orientación, configuración favorable a la acumulación y pendiente. La clasificación resultante destacó 10 sendas como las más peligrosas, seguidas de 19 en orden de peligrosidad menor.

MODELIZACIÓN DE AVALANCHAS

Para determinar las avalanchas que pueden afectar el trazado, y para poder dimensionar las obras de defensa, se procedió al cálculo de las avalanchas en distintos escenarios. Para ello se utilizó el programa AVAL-1D (Christen et al., 2001), desarrollado por el SLF de Davos. En el Conconta las avalanchas simuladas con el programa AVAL-1D fueron verificadas con el programa 2D, RAMMS (prototipo de Julio de 2007, SLF).

Un aspecto crítico fue la definición de los parámetros de entrada del modelo, especialmente los de fricción, espesor y volumen de partida. Éstos, con larga experiencia en su utilización en la zona alpina europea, han sido escasamente utilizados en la cordillera de los Andes. Para ello, primero se establecieron los períodos de retorno de trabajo T1, T5 y T10, teniendo en cuenta que el período de explotación de la mina es de aproximadamente 40 años. T1 corresponde al período de retorno de 1 año, con probabilidad de caída de una avalancha muy pequeña, esperable en condiciones de escasa precipitación, con espesor de partida usada para el cálculo de 0.35 m. T5 corresponde a un período de retorno de 5 años, con probabilidad de caída de una avalancha pequeña que puede llegar a la carretera, con espesor de partida usada para el cálculo de 0.50 m. T10 corresponde a un período de retorno de 10 años, con probabilidad de avalanchas medianas que tienen clara incidencia en la carretera, con espesor de partida usada para el cálculo de 0.80 a 1.50 m. Se consideró que la baja probabilidad de que se produzca un escenario mayor que T10, no justifica un sobredimensionamiento de las obras. Se combinaron los no muy altos valores de espesor de partida con parámetros de fricción μ y ξ conservativos (por

ejemplo, para T10 fueron utilizados los valores europeos para avalanchas medianas de T30, $\mu 0,2 / \xi 1800$).

En general, en ambos sectores de estudio, el resultado refleja la posibilidad de alcance de las avalanchas en algún tramo de la carretera para T1, mientras que en T5 y, especialmente en T10, éstas sobrepasan el camino de forma más extensa.

ESTRATEGIA DE DEFENSA

La concepción del dispositivo de protección que se planteó para la carretera se fundamentó en el siguiente objetivo: conservar la vialidad invernal de la carretera con seguridad frente a las situaciones normales durante un periodo de tiempo de unos 40 años. En el planteo de las alternativas se consideraron limitaciones particulares de la zona, como las dificultades en el uso del helicóptero a causa de la altura y el constante viento, dificultades en la cimentaciones a causa del suelo incohesivo y por la existencia de permafrost, y la imposibilidad de utilizar dispositivos lanza proyectiles explosivos a causa de la legislación argentina. Después de debatir las distintas alternativas propuestas en reuniones con la dirección de la mina, se consensuó la estrategia de defensa para ambas zonas de estudio.

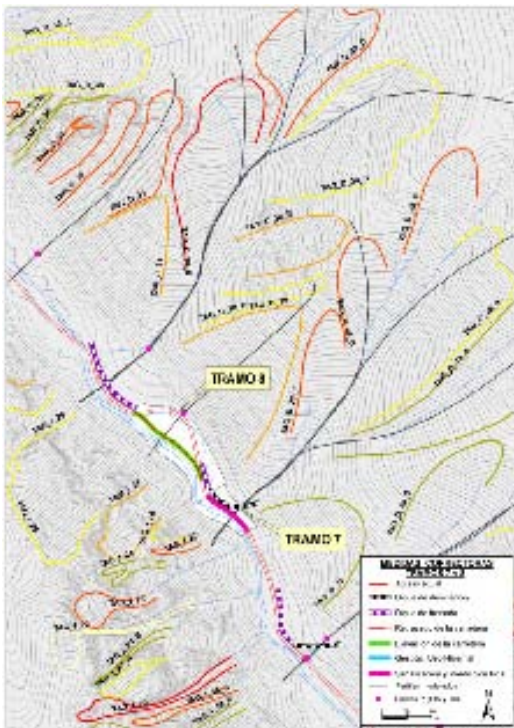


Figura 2. Estrategia de defensa planteada en los tramos 7 y 8 del Paso de las Taguas

En el paso de Conconta se optó por una defensa activa-pasiva, con desencadenamiento artificial fijo en la zona de salida y diques para proteger los tramos bajos de carretera, junto con el retrasado de algún tramo. En situaciones menos habituales, se realizaría también tiro manual en otras zonas donde no existiera el dispositivo fijo de desencadenamiento.

En el paso de las Taguas resultaron sólo aplicables medidas pasivas de conducción y detención de los aludes que se pudieran producir hasta una cierta magnitud. De forma complementaria e íntimamente ligada al punto anterior, se planteó un retrasado de la carretera en algunos tramos para reducir su exposición a las avalanchas.

Las protecciones que se plantearon buscan una defensa frente a los aludes frecuentes, que pueden tener una alta o media recurrencia en unos 40 años de explotación. En caso de una situación menos frecuente de mayor magnitud, las protecciones planteadas podrían verse rebasadas. En este sentido, de forma complementaria a las protecciones estructurales fijas, se planteó una defensa general basada en la gestión de la carretera acorde con la observación y seguimiento invernal para la detección de situaciones en que pueda agravarse el riesgo en el tránsito de la carretera.

REFERENCIAS

Christen, M.; Bartelt, P.; Gruber, U.; Issler, D. (2001): *AVAL-1D – Numerical calculations of dense flow and powder snow avalanches*. Swiss Federal Institute for Snow and Avalanche Research, Davos, Suiza. 109 pp.