VIII Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables
Palma de Mallorca, Junio 2013
E.Alonso, J. Corominas y M. Hürlimann (Eds.)
CIMNE, Barcelona, 2013

EXPERIENCIAS DE ESTUDIO DEL RIESGO DE ALUDES DE NIEVE EN EXPLOTACIONES MINERAS DE LOS ANDES CENTRALES DE CHILE Y ARGENTINA

Marc JANERAS[1]*, Pere OLLER[2], Rodrigo ARANCIBIA[3], Judit PONS[1], Olga COSTA[2], Carles GARCÍA[2]

[1] GEOCAT Gestió de Projectes SA

[2] Institut Geològic de Catalunya (IGC)

[3] Asistencia Profesional en Materias de Montaña (APM Ltda.)

RESUMEN

A raíz de las experiencias de asistencia técnica en riesgo de aludes a distintas explotaciones mineras de los Andes centrales de Chile y Argentina en de los últimos 7 años, se presentan algunas consideraciones que trascienden la particularidad de los casos y proyectos analizados. Las condiciones nivológicas y de aludes en los Andes precisan de un largo camino de ahondamiento en su conocimiento, mientras que la fuerte actividad minera en plena cordillera exige soluciones efectivas de mitigación del riesgo.

1. INTRODUCCIÓN

En los Andes chilenos y argentinos la actividad turística de montaña resulta relativamente limitada, sobretodo desde una perspectiva europea (de los Pirineos o los Alpes), con unas pocas estaciones de esquí y cierta práctica de andinismo de baja densidad. Por el contrario, resalta una importante actividad industrial, principalmente minera, que penetra en plena cordillera hasta lugares recónditos y altas cotas. Esa actividad implica unas infraestructuras viarias, unas instalaciones complejas y extensas, y una presencia de personal muy destacable en pleno medio de alta montaña. Las inversiones de las explotaciones mineras son muy elevadas, como es su peso económico en la economía de Chile y progresivamente también en Argentina.

En este contexto se deriva un riesgo claro en relación a las avalanchas de nieve, que se ha manifestado a lo largo de los años con distintas desgracias personales. Sirva a modo ilustrativo la recopilación de casos realizada por René León (2003), que solo en la VI región chilena contabilizaba 211 muertes por alud a lo largo del siglo XX. En la Tabla 1 se muestran los casos correspondientes al entorno de la mina El Teniente, que del total de la región ya suman 193 víctimas mortales asociadas a las avalanchas de nieve, pudiéndose así valorar el peso de la industria minera en lo que representa la exposición humana a la avalanchas en esta región. Es de destacar el mapa fenomenológico de avalanchas que ya en 1910 se levanta en la mina El Teniente, como muestra de la preocupación que provocaban los aludes.

Año	*Víctimas mortales*	*Descripción de los efectos de las avalanchas singulares*
1906	0	Destrucción de postes de andarivel de Sewell
1906	6	Cuadrilla de apoyo en bocatoma de canal de Coya
1906	0	Destrucción de torres de tranvía del mineral por avalanchas con el terremoto de Valparaíso
1907	5	Destrucción de edificios en Pueblo Hundido, con 10 sepultados
1912	8	Casas de habitaciones en Sewell
1912	9	Hundimiento de techo en casa de habitaciones de Sewell
1912	1	Doble avalancha de fusión en Fortuna-3, cerca de Sewell
1913	20	Edificios de molino y habitaciones en Pueblo Hundido
1914	3	Cuadrilla de despeje de caminos y techos en Pueblo Hundido
1914	1	Cuadrilla de despeje de canal de agua de la fundición
1914	20	Cuadrilla de despeje de caminos y de rescate en Teniente
1921	1	Área de Teniente C
1921	4	Edificio en construcción a más de 3000 m, afecta 10 personas
1926	0	Daños al teatro La Junta, molino, puente rebolledo, canoa de relaves y ferrocarril en Sewell. Año de enorme precipitación
1930	2	Avalancha de aerosol sobre camarotes de edificio 2006 en Sewell
1941	3	Puente Rebolledo, canoa de relaves y chalets 153 y 164 en Sewell
1944	102	Puente Rebolledo, ferrocarril, chalets 160, 161 y 162, edificios 112, 205, 206, 240 e imprenta en Sewell
1963	1	Tranvía de Caletones
1965	0	Boca de túnel de ferrocarril, canoa de relaves en Sewell
1966	3	Boca de túnel de mina en Junta
1982	0	Canoa relaves y cobertizos entre Colón y Sewell
1982	1	Bocatoma de Teniente
1985	3	Campamento de sondajes de Cortaderal a 50km de Coya
1987	1	Sector Junta de Teniente

Tabla 1. Resumen dela principales avalanchas catastróficas (por daños o víctimas) en la mina El Teniente, en base a la recopilación histórica de León, 2003 y Barros, 1996.

El ámbito en el que se centra la presente comunicación corresponde al tramo que podemos denominar Andes Centrales chilenos y argentinos, entendiendo una franja comprendida entre las latitudes 29ºS y 35ºS, aproximadamente (Figura 1). Del lado chileno correspondería a las regiones IV a VI, y del lado argentino a las provincias de San Juan y Mendoza. En este tramo central, la Cordillera de los Andes presenta una gran elevación, incluyendo el pico de máxima altitud del continente, el Aconcagua, junto con múltiples cerros de 6.000 m de altitud.

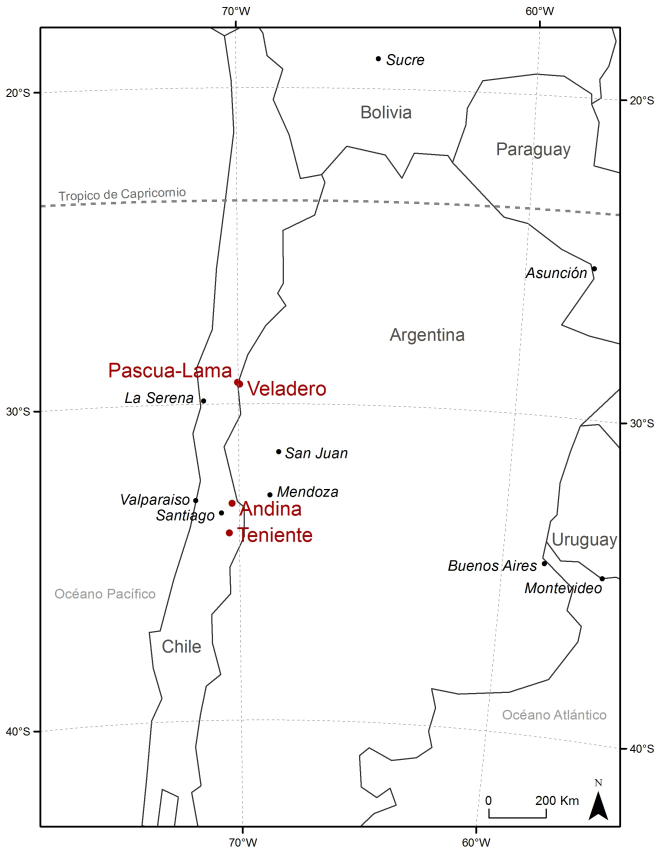


Figura 1. Mapa de situación de las minas.

El objeto de la comunicación es la recopilación de las principales consideraciones y resultados derivados de distintas experiencias recientes en estudios de la peligrosidad de aludes y proyectos de mitigación de su riesgo para explotaciones mineras de los Andes Centrales. Se analizan los aspectos más relevantes de estos estudios llevados a cabo en los últimos 5 años para distintas minas y que se presentan a continuación. Estos trabajos son fruto de la colaboración entre la empresa chilena Asistencia Profesional en Materias de Montaña (APM Ltda.), el Institut Geològic de Catalunya (IGC) y la empresa de ingeniería del terreno GEOCAT Gestió de Projectes S.A. Las cuatro minas sobre las que se particularizan las consideraciones se presentan en la Tabla 2.

Nombre	*Titular*	*Coordenadas geográficas*	*Altitud (m)*	*Minería*	*Año de inicio*	*Producción*
Teniente	Codelco	34° 5'6"S 70°23'1"O	1.500 – 3.100	Subterránea + Exterior	1904	Cobre 400.000 tn
Andina	Codelco	33°8'58"S 70°15'39"O	2.700 – 4.200	Exterior + Subterránea	1970	Cobre 190.000 tn
Veladero	Barrick	29°22'46"S 69°56'39"O	3.800 – 4.800	Exterior	2005	Oro 800.000 ozt
Pascua-Lama	Barrick	29°19'11"S 70°0'48"O	3.800 – 5.200	Exterior	En construcción	Oro y plata

Tabla 2. Resumen de presentación de las explotaciones mineras comentadas.

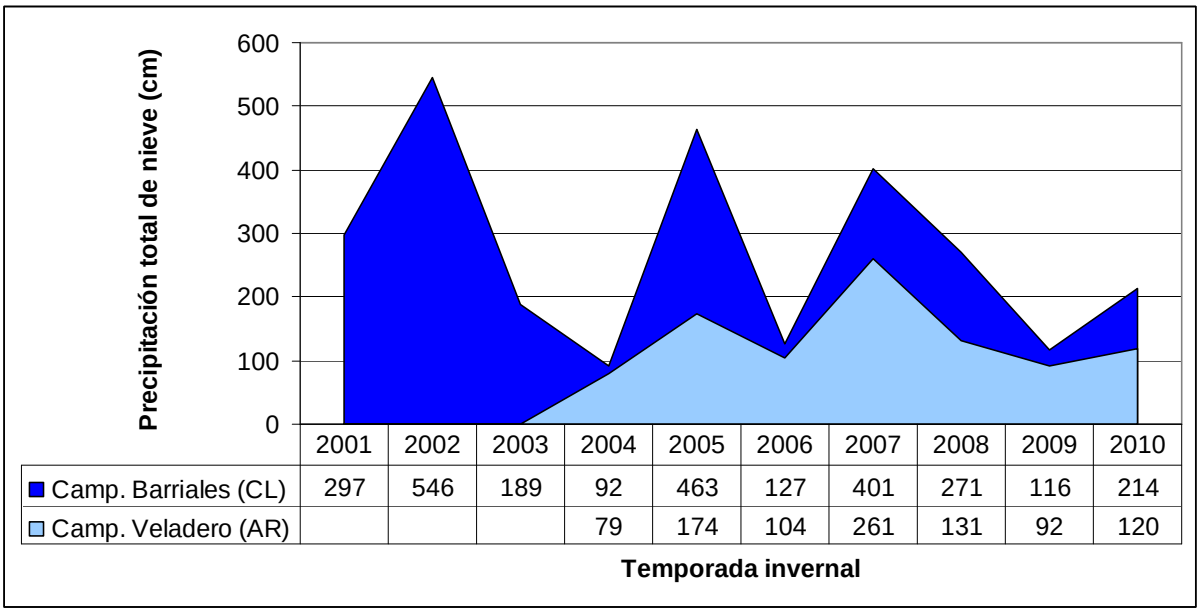
2. CLIMATOLOGÍA Y CONDICIONES NIVOLÓGICAS

El clima a lo largo de la cordillera andina varía de forma amplísima. En toda la extensión chilena, la precipitación tiene una fuerte tendencia general de incremento con la latitud, resultando para el tramo central unos valores medianos, pero altamente irregulares e influenciados por el fenómeno del Niño (ENSO). La precipitación se concentra en invierno, lo que lleva a formar un manto de nieve estacional dentro del rango de cotas 1.500 – 5.500 m de forma general aproximada. Las mayores precipitaciones son de origen frontal con dominancia de advecciones de NW. En estas condiciones resulta determinante el efecto orográfico de la propia cordillera. Se observan grandes diferencias en la cantidad de precipitación entre el lado chileno y argentino por el efecto de bloqueo orográfico de las precipitaciones de las perturbaciones procedentes del Pacífico. Además, se dan unas condiciones de viento muy rigurosas para las altas cotas y altiplanos del lado oriental.

Además de estas características generales, es de destacar una gran variedad de climas dentro del ámbito que se presenta, y en muchos casos, los efectos por condiciones locales pueden ser muy influyentes y no son todavía suficientemente conocidos. En concreto, para los casos que se presentan en este texto, hay que destacar una abundante innivación para las minas de Andina y Teniente en el lado chileno, en contraste con la reducida innivación en Veladero, del lado argentino. La mina de Pascua-Lama, por ser un proyecto transfronterizo con instalaciones en ambas vertientes experimenta directamente este gradiente climático tan brusco.

Algunos estudios climáticos e hidrográficos (Escobar & Aceituno, 1998) han puesto de manifiesto la influencia del fenómeno del Niño / Niña (El Niño Oscilación del Sur, ENSO) en la innivación. Así mismo lo muestran los datos nivometeorológicos registrados en las minas, con un fuerte contraste entre las abundantes precipitaciones de nieve en

años de Niño respecto al resto de situaciones. Sirva de ejemplo ilustrativo, los datos de precipitación de nieve anual de 10 años que se muestran en la Figura 2 para el campamento Barriales (del lado chileno del proyecto Pascua-Lama, situado a 29º16’14’’S, 70º4’2’’W, 3.700 m) y el campamento Veladero del lado Argentino (situado a 29°24'37"S, 69°53'34"W, 3.800 m). A pesar de estar a 23 km de distancia en línea recta, justo a cada lado de la divisoria de aguas, hay diferencias notables en la precipitación de nieve. Se observa la variabilidad interanual del lado chileno, mientras que del lado argentino, en los años nevadores (con o sin efecto de ENSO) se diferencian mucho los registros a ambos lados, y en los años secos se igualan bastante los registros.



	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Camp. Barriales (CL)	297	546	189	92	463	127	401	271	116	214
Camp. Veladero (AR)				79	174	104	261	131	92	120

Figura 2. Precipitación anual de nieve registrada en los campamentos Barriales (CL) y Veladero (AR), según datos nivometeorológicos de APM y BEASA.

3. EL CRITERIO DE ALTURA DE NIEVE INESTABLE

La división Andina de Codelco es una mina de primer orden cercana a Santiago de Chile, situada a elevada cota (buena parte de las instalaciones y actividad entre 3.000 y 4.000 m) con un largo recorrido por el fondo de un valle de relieve muy alpino, para el cual han tenido que aplicar sistemas de defensa contra aludes. Similarmente, en Teniente destacan unos registros de precipitación de nieve reciente muy elevados en comparación al arco alpino. Como se ha expuesto anteriormente, por estar estas minas a una situación más sureña respecto a las de la Figura 2, la precipitación se incrementa sensiblemente. En el registro nivometeorológico centenario de la población de Sewell en la mina El Teniente,

la precipitación media de nieve anual es de 614 cm, con una gran desviación estándar de 282 cm, y un valor máximo de hasta 1500 cm. El mismo patrón de comportamiento se observa en los datos de precipitación de nieve en la estación de Lagunitas de la mina Andina, incluso con valores superiores en media y extremos. En base a un registro continuo de precipitación de nieve diaria de 17 temporadas (años 1980 a 2004) con un valor máximo de 398 cm en 72 h, se ajustó una distribución de Gumbel para los valores extremos de la que se obtienen los valores de la Tabla 3.

Periodo de retorno T (años)	*Precipitación de nieve reciente en Sewell*	
	En 24 h (cm)	*En 72 h (cm)*
10	161	315
30	201	409
100	244	510

Tabla 3. Valores de altura de nieve reciente en Sewell, según ajuste estadístico de extremos.

Desde Burkard & Salm, 1992 es el criterio habitual para definir escenarios representativos de alud, tomar los valores de precipitación de nieve reciente en 72 h como espesor de nieve movilizable. A pesar que la génesis de la inestabilidad del manto no tiene porqué ser únicamente por nieve reciente, ya que este es solo un tipo de alud, sí que los aludes excepcionales van fuertemente ligados a situaciones meteorológicas también de cierta excepcionalidad, de modo que este criterio es de práctica harmonizada en el entorno alpino y pirenaico para el cálculo de aludes, por permitir un contraste entre zonas con variedad climática y una correspondencia con periodos de retorno, lo que permite estimar una relación frecuencia – magnitud bastante acorde a las observaciones de situaciones reales.

Los valores de altura de nieve reciente en 72 horas obtenidos para Teniente (Tabla 3), son inaplicables en un cálculo de avalanchas, ya sea para zonificación de la peligrosidad o diseño de protecciones. No son concebibles aludes de tanto espesor en toda su extensión de zona de salida, lo que nos lleva a reinterpretar el criterio de precipitación de 3 días como estándar de la generación de inestabilidad en el manto. Para esta cantidad de precipitación, debe considerarse que una de dos: o se produce una consolidación de la nieve reciente en el manto por el peso propio y sus metamorfismos más estables, o se desencadenan los aludes antes de totalizar este nivel de acumulación de nieve. Realmente, distintos textos históricos que hacen referencia a avalanchas catastróficas en situaciones de muy abundante precipitación, relatan el acontecimiento de sucesivos aludes en el mismo corredor a lo largo de la tormenta. Así es que en las crónicas se encuentran varios casos de cuadrillas de rescate sorprendidas por nuevos aludes al ir a socorrer un alud previo.

Se observa que los valores extremos de nieve reciente en 72 h son del orden del doble de los correspondientes a 24 h, que es una proporción muy superior a la observada en los Alpes (Burkard & Salm, 1992). En consecuencia, en estas condiciones nivo-climáticas de valores extremos de precipitación muy acusados, no se cree adecuado aplicar la definición de la altura de nieve inestable a partir de los datos de 72 h, sino que es preciso revisarlo a la baja, teniendo a la vez presente la alta probabilidad de aludes sucesivos en lo que las protecciones puede concernir. Este punto debe de ser contrastado con otras experiencias, ya que pueden influir otros factores inherentes en los propios datos, por procedimiento o efectos locales de las estaciones de medición.

4. CÁLCULO DE LA DINÁMICA DE ALUDES

En la división El Teniente de Codelco, destaca el caso muy especial de Sewell, que ya se ha nombrado. Se trata de un poblado minero histórico dónde llegaron a vivir unas 15.000 personas a unos 2.100 m de altitud y que hoy es patrimonio industrial de la humanidad por la UNESCO. Su larga historia a lo largo del siglo XX está marcada también por distintas avalanchas que causaron grandes catástrofes. En la Tabla 1 se han resumido las principales situaciones de avalancha que han causado graves daños materiales a las instalaciones de la explotación minera o víctimas mortales. De estas se seleccionaron 4 episodios avalanchosos singulares ocurridos en un periodo de 30 años, de los cuales disponemos de datos observacionales de la avalancha, ya sean fotografías o descripción de daños localizados. La información histórica permitió realizar un retro-análisis de las avalanchas, con un cálculo dinámico mediante el modelo Aval-1D (SLF, 2005). En la Tabla 4 se resumen las avalanchas de referencia y el volumen interpretado y ajustado en el cálculo.

Año del evento	**1914**	**1926**	**1941**	**1944**
Tipo alud	Flujo denso de nieve húmeda		Flujo de nieve seca con aerosol	
Volumen (m^3)	55.000	72.000	66.000	120.000

Tabla 4. Resumen de las avalanchas de Sewell – Rebolledo.

La singularidad de esta zona de alud deriva de su afectación a las edificaciones e instalaciones de Sewell, y en particular al puente de Rebolledo, por donde discurre la canoa de relaves del proceso minero. El alud de 1914 ocurrió antes de la construcción del puente y no alcanza su posición, mientras que los aludes de 1926 y 1941 sí que lo alcanzan y destruyen su versión original de estructura de celosía (Figura 4). En 1944 el puente había sido sustituido por un puente metálico de gran arco para ofrecer una gran luz

al paso de avalanchas y aluviones, pero el potente aerosol que remontó la ladera de Sewell, afectó al estribo SE derribando el puente. Posteriormente se construyeron diques de protección de este estribo y perímetro de Sewell para estas avalanchas.

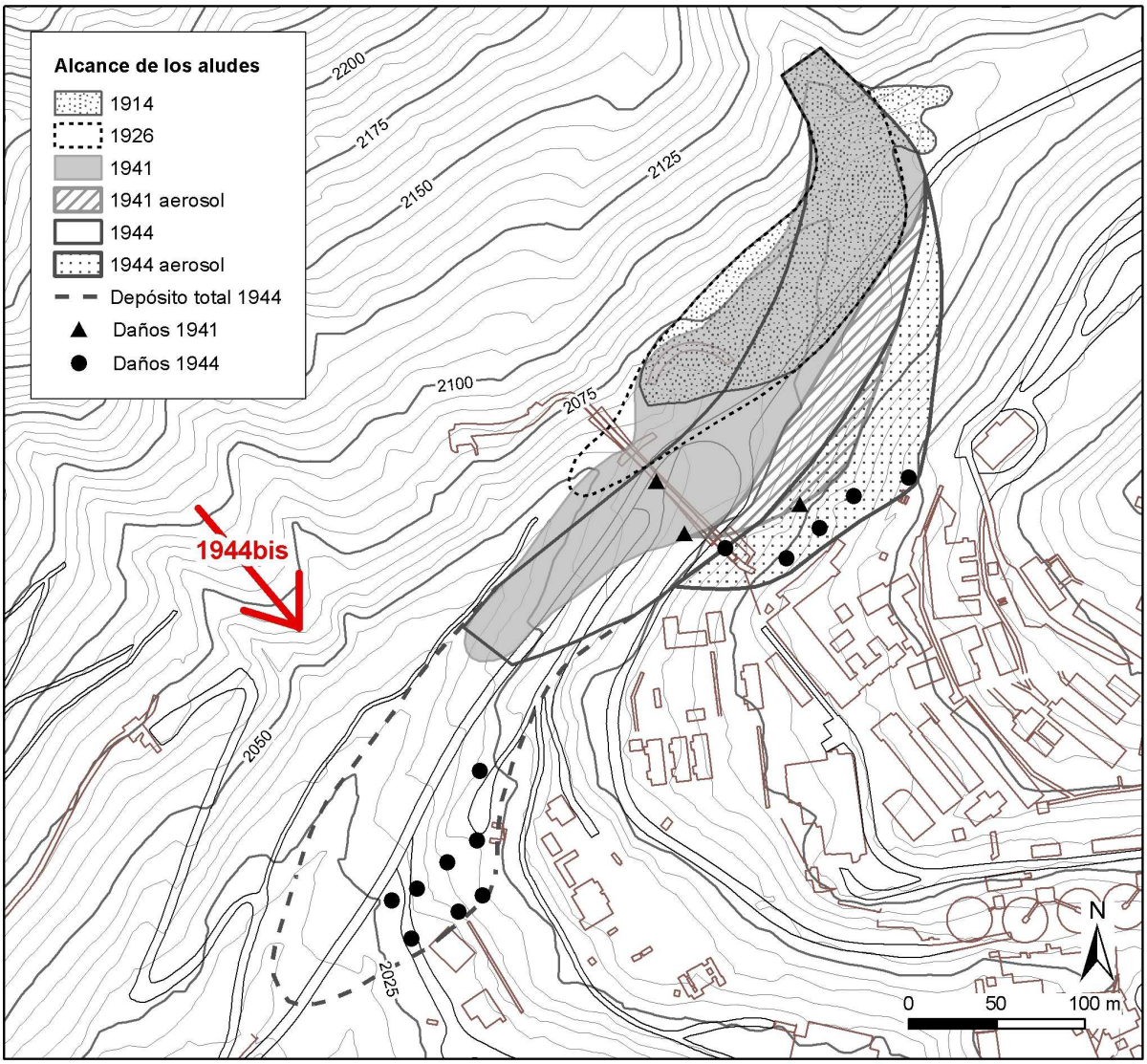


Figura 3. Cartografía interpretativa del alcance y depósito de los aludes de Sewell – Rebolledo.

El periodo de retorno de la avalancha menor (1914) se estima del orden de 10 años, para alcanzar la posición del puente se estima un periodo de retorno necesario de unos 30 años y la extensión e intensidad de daños de 1944 se asocia a un alud centenario. Vergara & Baros, 2002 concluyen que la precipitación de nieve en agosto de 1944 corresponde a un periodo de retorno de 180 años.

Los daños de 1944 situados aguas abajo del puente Rebolledo no parecen compatibles con la misma avalancha, sino que son ocasionados por un alud de la ladera frontal (quebrada Chica) que ocurre con pocas horas de diferencia, interpretación coherente con las crónicas que describen dos avalanchas, aunque sin localizar el origen.

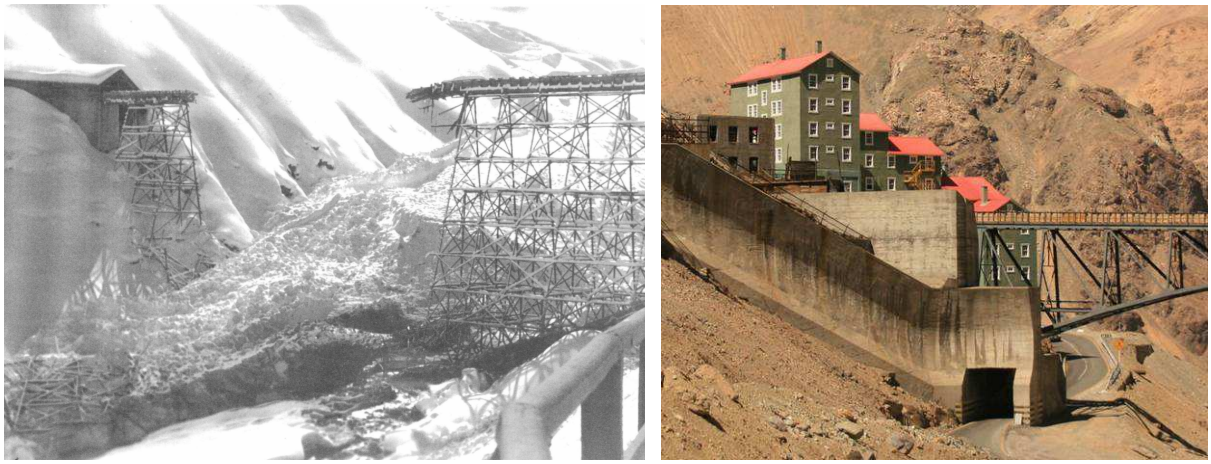


Figura 4. Destrucción del antiguo puente de Rebolledo por el alud de 1926 (izquierda) y estribo SE del puente actual protegido por diques, junto a edificios de Sewell.

De este modo se ha podido calibrar la modelización de aludes en este entorno andino, revisando los parámetros del modelo Voellmy-Salm. La conclusión fue que los parámetros de referencia tabulados por el SLF podían adoptarse en los mismos términos respecto a la magnitud y periodo de retorno de los aludes, así como a las características del terreno, pero debía de modificarse su variación altitudinal. Del retro-análisis de los 4 aludes de Sewell-Rebolledo se concluyó una propuesta de modificación de los límites altitudinales de referencia con una traslación de 900 m de incremento, pasando el límite de 1.500 m a 2.400 m. Este planteamiento se observó válido para en la zona de estudio y a efectos del proyecto que se efectuaba, pero para su validez regional deberá de contrastarse con diferencias climáticas entre cordilleras. De modo similar, el estudio antecedente de comprobación de aplicabilidad de los parámetros del SLF para el modelo Voelmmy-Salm en los Pirineos (Oller, et al., 2009) observó que su posible ajuste en la transposición a otras cordilleras sería en primera instancia vía los límites altitudinales. En los Pirineos, por ser menores las diferencias climáticas respecto a los Alpes (simplificando, los derivados de 3º de diferencia de latitud) este ajuste altitudinal de los parámetros sería mucho menor y no se concretó, porque incluso puede ser despreciable respecto a la incertidumbre que pueda haber en otras variables fundamentales en la dinámica de avalanchas.

5. MITIGACIÓN DEL RIESGO DE ALUD

Son características comunes de las explotaciones mineras andinas, su gran extensión, instalaciones complejas dispersas, una vida útil de las estructuras relativamente corta, según el plan de explotación. Estas condiciones encaminan frecuentemente la estrategia de mitigación del riesgo de aludes hacia planteamientos pasivos/activos temporales, por lo menos como base principal, que significa un sistema de predicción local y desencadenamiento artificial. Aun con muchas diferencias, se dan ciertos paralelismos con las estaciones de esquí andinas, casos que han llevado también a la necesidad de calibración de la modelización de la dinámica de avalanchas (Naaim et al., 2002). Por ejemplo, del lado argentino, la mina Veladero de Barrick se sitúa a alta cota con un largo acceso de 150 km de carretera de montaña a través del paso Conconta a 5.000 m, con sistemas de desencadenamiento artificial para la gestión de la seguridad viaria (Oller et al., 2008). De este lado de la cordillera fronteriza la precipitación de nieve se reduce drásticamente, pero se magnifica el efecto del viento, con la formación de ventisca, neveros y placas de viento en lo que afecta tanto a la viabilidad invernal en carreteras como a la formación de avalanchas. Considerando la complejidad de operación industrial de la mina, el movimiento de tanta maquinaria y personal en un medio de enorme rigurosidad invernal, resulta de vital importancia el operativo invernal de seguimiento, predicción local y gestión de emergencias (Arancibia, 2006 y Vásquez, 2011).

A parte de esta base de operativo invernal que debe dar la coherencia a la mitigación del riesgo de aludes, evidentemente, la multitud de particularidades en que se encuentran las instalaciones dispersas, obliga a un completo análisis de alternativas de protección entre las variantes activas, pasiva, temporales y permanentes (Janeras, 2012) y su forma de combinación óptima. Aunque todos los costes se perciben contrarios a la rentabilidad de la actividad industrial, hay que poner en valor las inversiones en seguridad sobretodo cuando hay pretensiones de explotar de forma prácticamente continua y frente a las fuertes inversiones en infraestructuras y operativos. Aún así, si ya nunca existe el riesgo cero, en este entorno y condiciones aún resulta más difícil minimizarlo. De nuevo se pone de manifiesto la función básica del operativo invernal si la situación recomienda parar la actividad y evacuar o confinar. Herramientas de valoración del riesgo (Janeras, 2004) pueden ayudar a objetivar la gestión de estos conflictos.

Una particularidad de proyectos mineros andinos es el generar una nueva actividad de gran vulnerabilidad en un entorno de peligrosidad desconocida. Frecuentemente, la zona es inhabitada, con una falta absoluta de datos históricos (documentales o vitales). Además, no existe vegetación que pueda ofrecer unos indicios de la actividad de aludes, como sí pasa más al sur (Casteller et al., 2008). Los datos observacionales en las temporadas de prospección y planeamiento del proyecto son fundamentales y, en caso de reportarse episodios avalanchosos de cierta entidad puede ser de gran ayuda para un

retroanálisis que fundamente los modelos. En estas circunstancias toma un papel determinante los modelos de cálculo de dinámica de alud, por lo que es muy interesante su calibración y contraste con las condiciones locales.

Por ejemplo, el proyecto Pascua-Lama en construcción será una mina transfronteriza situada a alta cota donde se visualiza claramente el efecto de bloqueo orográfico de las nevadas y su distribución desigual entre lado oeste y este. El conocimiento del entorno deriva casi únicamente de la experiencia previa en los cortos años de explotación de la cercana mina Veladero. En el entorno de la planta de procesos de Lama se ha aplicado un cálculo sistemático mediante el nuevo software de cálculo 2D de aludes RAMMS (SLF, 2011), y se ha constatado que resulta una herramienta potente especialmente para zonas extensas, con varias sendas de avalancha y escenarios a modelar. En este caso se modelaron más de 100 aludes en condiciones variables, gracias a un manejo integrado SIG para la preparación y análisis posterior del cálculo.

12. CONCLUSIONES

En resumen, en estas minas andinas se detecta un factor de riesgo singular, ya que el peligro puede ser muy elevado por las condiciones extremas del medio, y además puede incurrirse en una alta vulnerabilidad por una gran ocupación de espacio por parte de las instalaciones, una exigencia de presencia y actividad permanente y un posible factor humano de desconocimiento del medio por parte del personal operador. Se trata de una situación crítica dónde sería posible un fallo múltiple que conllevara una catástrofe, y por consiguiente la labor de mitigación de riesgos toma una importancia primordial. Particularmente, se destacan las dos conclusiones de lo expuesto:

- Se identifica una necesidad de revisar en ciertas circunstancias de precipitación extrema el criterio de nieve reciente en 72 h como variable definitoria de las condiciones de salida de las avalanchas de referencia en relación a su periodo de retorno.
- Se propone una adaptación de los límites altitudinales de los parámetros en la formulación de Voellmy-Salm en su trasposición entre cordilleras.

REFERENCIAS

Arancibia, R., 2006. Problemática de aludes en los Andes; accidentes v/s daños por avalanchas de nieve; construcción de defensas, sistemas de control artificial y evolución del tema en Chile. Conferencia invitada, Institut Geològic de Catalunya.

Baros, M.C., 1996. *El Teniente – Los hombres del Mineral 1905-1945*. Instituto de Ingenieros de Minas de Chile, 500pp.

Burkard, A. & Salm, B., 1992. *Die bestimmung der mittleren Anrissmächtigkeit d0 zur Berechnung von Fliesslawinen*. Informe del SLF nº 668, 16 pp.

Casteller, A., Christen, M., Villalba, R., Martínez, H., Stöckli, V., Leiva, J.C. & Bartelt, P., 2008. Validating numerical simulations of snow avalanches using dendrochronology: the Cerro Ventana event in Northern Patagonia, Argentina. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8: 433-443.

Escobar, F. & Aceituno, P., 1998. Influencia del fenómeno ENSO sobre la precipitación nival en el sector andino de Chile Central durante el invierno. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 27 (3): 753-759.

Janeras, M., 2012. Alternatives de protecció contra allaus per a les infraestructures del territori. *Neu i Allaus*, 4: 10-18.

Janeras, M., 2004. Análisis del Riesgo de Aludes en Carreteras. In: ATC (editores), *VIII Jornadas de Vialidad Invernal*, Pamplona.

León, R., 2003. *Nieve y avalanchas – Una blanca historia de riesgos en montaña*. Ediciones de Santa Rosa de Los Andes, 307 pp.

Naaim, M., Furdada, G. & Martínez, H., 2002. Calibration and application of the MN2D dynamics model to the avalanches of Las Leñas (Argentina). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2: 221-226.

Oller, P., Stoffel, L., Janeras, M., Arnó, G., de Buén, H. & Arancibia, R., 2008. Análisis del riesgo de aludes en la ruta de acceso a mina Veladero (Departamento de San Juan, Argentina) y estudio de alternativas de defensa. In: IGC, CGA & SMC (editores), *3a Jornada Tècnica de Neu i Allaus*, Betren – Val d'Aran.

Oller, P., Janeras, M., de Buén, H., Arnó, G., García, C., Christen, M. & Martínez, M., 2009. Validación del programa de modelización numérica Aval-1D para el cálculo de aludes en los Pirineos Orientales. In: E. Alonso, J. Corominas, M. Hürlimann (editores), *VII Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*, Barcelona.

SLF, 2005. *AVAL-1D Numerische Berechnung von Fliess- und Staublawinen*. WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF, 89 pp.

SLF, 2011. *RAMMS user manual v1.4 – avalanche. A modeling system for snow avalanche in research and practice*. WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF, 91 pp.

Vásquez, D., 2011. Realidad chilena y argentina en la gestión de los riesgos invernales. In: IGC, CGA & SMC (editores), *4es Jornades Tècniques de Neu i Allaus*, Vielha e Mijaran – Val d'Aran.

Vergara, J. & Baros, M.C., 2002. The avalanche catastrophe of el Teniente – Chile: August 8 of 1944.