

NOTICIAS Y COMENTARIOS

EL ALUD DE PEÑA GABARDA (BALNEARIO DE PANTICOSA, HUESCA) DEL DOS DE MARZO DE 2001

Luis Cancer Pomar

Departamento de Territorio y Patrimonio Histórico
Área de Geografía Física
Universidad de Jaén

RESUMEN

El alud producido en la vertiente ESE de Peña Gabarda, cerca del Balneario de Panticosa (Pirineo central, provincia de Huesca, España) en la mañana del dos de marzo de 2001, se deslizó sobre una canal donde la frecuencia de aludes es muy alta y en la que se han construido varias obras de defensa antialudes. Se trata de una alud de fusión favorecido por las altas temperaturas y lluvias precedentes, que inestabilizaron un manto nival a su vez depositado sobre otro preexistente de características físicas diferentes. Este alud afecta a una carretera bastante transitada, por lo que su grado de riesgo es elevado.

Palabras clave: alud, Pirineo, riesgos naturales, obras de defensa, marco climático y geomorfológico.

ABSTRACT

The avalanche taken place in the slope ESE of Peña Gabarda, near the Spa of Panticosa (Central Pyrenees, Huesca, Spain) in the morning of 2-March-2001, slipped on a channel where the frequency of avalanches is very high and several works of defense of avalanches have been built. It is a favored coalition avalanche for the high temperatures and precedent rains taked stability the mantel nival in turn deposited on another anterior of different physical characteristics. This avalanche affects to a highway enough trafficked, for what its degree of risk is very high.

Key words: avalanche, Pyrenees, natural risks, defense works, climatic and geomorphological mark.

1. Introducción y objetivos

En un invierno de suaves temperaturas y de elevadas precipitaciones, como el acaecido en España en 2000-2001, es normal que se produzcan numerosos aludes de nieve en las montañas. Varios episodios saltaron a los medios de comunicación, principalmente por las pérdidas humanas ocasionadas (finales del otoño, en el Pirineo oscense; principios del invierno, en el Pirineo gerundense). En este artículo nos centraremos en un alud ocurrido en las inmediaciones del Balneario de Panticosa, en el Pirineo aragonés, el dos de marzo de 2001, sobre las 10:15 horas, que afortunadamente no causó víctimas ni daños materiales pero que mantuvo incomunicado a dicho enclave al afectar a la carretera A-2606 entre sus puntos kilométricos 8 y 9, vía por la que se accede a Panticosa pueblo (figura 1).

Conviene indicar que hacia principios de marzo de 2001 se vivió un episodio de numerosos aludes en la cordillera pirenaica, debidos a la fuerte innivación existente y a las anormalmente altas temperaturas registradas. La mayor parte de ellos, supuestamente, no han



FIGURA 1. Situación de la zona de estudio.

sido detectados, al no afectar a bienes humanos y al situarse a altas cotas, en parajes escasamente transitados durante la época invernal. Por otra parte, el hecho de que en la zona que nos ocupa —cuenca del río Caldarés, en el Alto Gállego— no haya estaciones permanentes de control de aludes (por ejemplo, de registros sísmicos provocados por las ondas expansivas derivadas del alud) explica que muchos de ellos —posiblemente una gran mayoría— no queden registrados. El que se analiza en este artículo no fue de muy grandes dimensiones y, casi con total seguridad, puede afirmarse que en otros parajes pirenaicos, tanto de la cuenca del Caldarés como de otras cuencas hidrográficas, se habrán producido en las fechas citadas aludes de más entidad. Pero el estudiado en estas páginas, al afectar a una carretera bastante transitada durante todo el año (también en invierno, pues en el Balneario de Panticosa existe una pista de esquí de fondo, además de abundantes establecimientos hosteleros y de otro tipo) entra de lleno en la categoría de riesgo natural, incluso de potencial siniestro o catástrofe si llegase a provocar daños materiales o pérdida de vidas humanas, como ha ocurrido en el mismo punto en ocasiones anteriores.

En este artículo se pretende explicar y caracterizar este alud según los diferentes factores intervinientes: morfología de la canal y parámetros climáticos de los días precedentes. También se describen las obras de defensa antialudes existentes y sus efectos en el del día dos de marzo de 2001.



FOTO 1. Vista general de las obras de protección existentes en la canal del alud de Peña Gabarda: tres viseras de derivación escalonadas, bajo las cuales pasa la carretera A2606, y dos muros huecos, en la parte superior de la foto. La trayectoria del alud está marcada por la disposición de estas estructuras. Se ven también varias lazadas de la carretera, que se encuentra sometida a un riesgo evidente.

2. Marco físico del alud

El alud de Gabarda discurrió por la vertiente ESE de la peña homónima, por una canal de fuertes pendientes muy proclive a este tipo de eventos. Una imagen aérea de la canal y su entorno puede observarse en la figura 2. En conjunto, la canal presenta disposición escalonada, con mucha mayor amplitud los saltos que los rellanos. Geológicamente pertenece al ámbito del batolito granítico de Panticosa, en pleno Pirineo axial. Tanto en la propia canal como en su entorno afloran granodioritas grises, duras y compactas. Pero en bastantes pun-

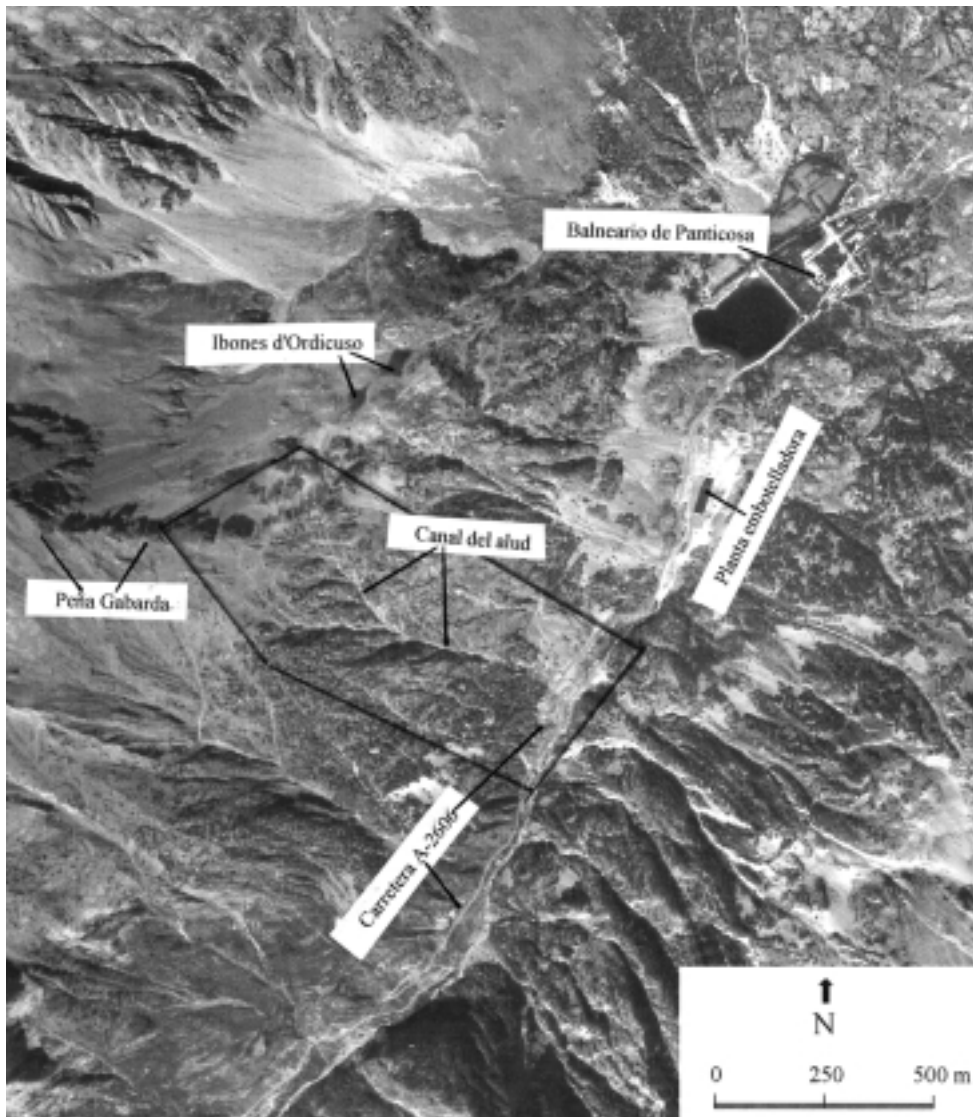


FIGURA 2. Imagen aérea de la canal de Gabarda y su entorno.

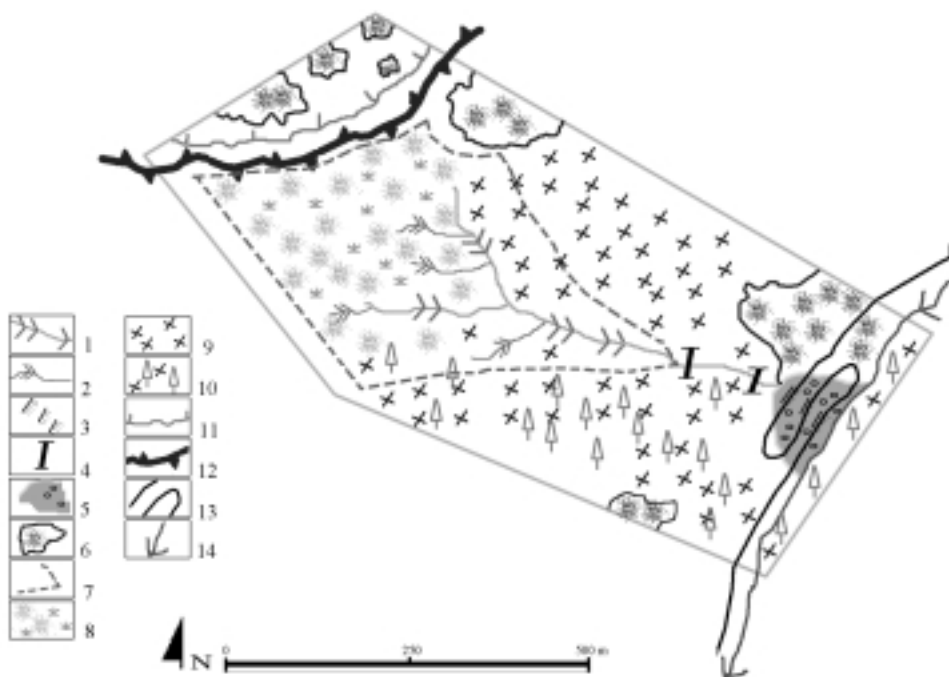
tos el sustrato está fosilizado por materiales coluviales (pedrizas de ladera) formados por bolos y arenas procedentes de la meteorización del granito, fenómeno de acusada entidad en esta zona debido a la altitud y a la consiguiente acción del hielo-deshielo (M.O.P., 1972; I.T.G.E., 1990). Además, al pie de dicha canal aparece un extenso cono de deyección muy activo constituido por materiales heterométricos dispuestos caóticamente.

El alud se halla muy condicionado, como es lógico, por la morfología de la canal por donde discurre. En su parte superior o de salida está subdividida en dos pequeños barrancos, ambos instalados en la vertiente SE de Peña Gabarda; además, cada uno de ellos está ali-



FOTO 2. Detalle de los dos muros huecos de frenado del alud. Obsérvese en el inferior que se halla colmatado por la nieve caída, por lo que posteriores aludes no encontrarían ningún freno. En el momento de tomar la foto, caía un nuevo alud de pequeño volumen, que en ese momento salvaba el salto casi vertical existente entre los dos muros. Véase la caída de nieve a la izquierda de la cascada de agua.

mentado por estrechas canales rectilíneas instaladas en el granito. El tramo intermedio o de trayecto resulta estrecho y recto en su trayectoria, de clara disposición WNW-ESE. Finalmente, en el sector de llegada la canal se abre mediante el citado cono de deyección, el cual se encuentra parcialmente tapizado por grandes bloques arrastrados por los aludes que frecuentemente barren el sector. Además, un pequeño torrente de montaña, activo durante la mayor parte del año, recorre la canal y también contribuye, aunque en menor medida, a la movilización de materiales. Se trata de un evidente cono nivo-torrencial. La frecuencia de los aludes queda certificada por la casi total ausencia de vegetación en las partes más expuestas a los periódicos barridos nivales de este amplio cono: eje central y sectores laterales más próximos a la teórica línea bisectriz, apareciendo únicamente algunos pinos silvestres y negros en los márgenes más alejados. Como excepción cabe citar unos pocos ejemplares de especies de tronco flexible (abedules, sauces) en zonas más expuestas. Por encima del cono, en los sectores rectilíneos y encajados de la canal, la ausencia de vegetación arbórea es total, tanto por la propia litología del sector y las poco favorables condiciones topográficas (granitos no alterados sobre muy fuertes pendientes y considerable altitud), como, claro está, por los frecuentes barridos provocados por los aludes. En la figura 3 pueden apreciarse las características geomorfológicas y vegetales de la canal y de su entorno inmediato.



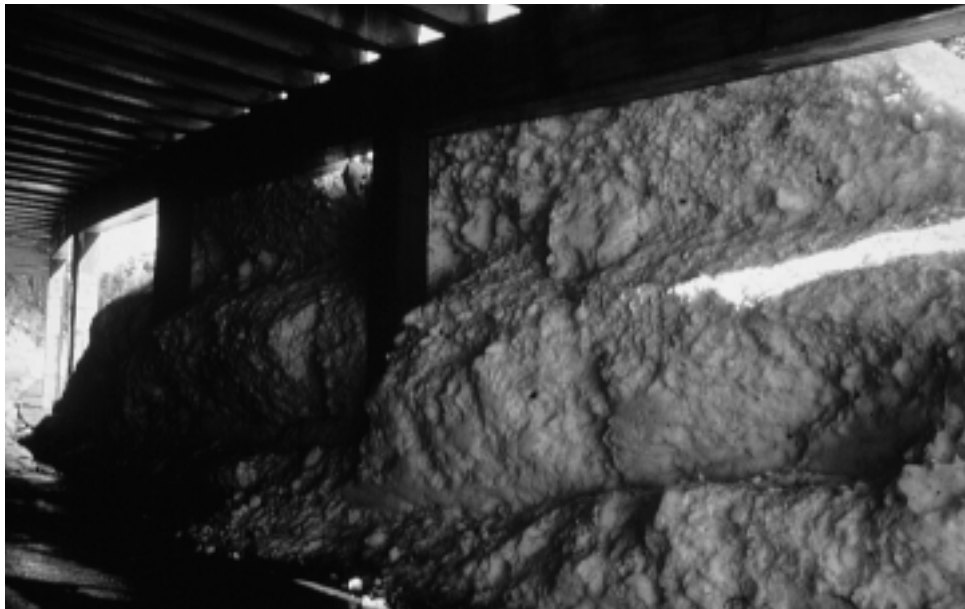
1) Corredores de aludes principales; 2) Corredores de aludes secundarios; 3) Viseras de desviación antialudes; 4) Diques huecos antialudes; 5) Cono de deyección nivo-torrencial; 6) Pedrizas de ladera; 7) Contorno de la cuenca de alimentación del alud de Gabarda; 8) zonas mixtas de pedrizas y pastizal; 9) Granitos aflorantes con débil presencia de pinos, Ps + Pu; 10) Granitos aflorantes con presencia notable de pinos, Ps + Pu; 11) circo glaciar; 12) Cresta divisoria (Sierra Gabarda); 13) Carretera A-2606; 14) Río Caldarés.

FIGURA 3. Canal del alud de Gabarda y su entorno. Mapa geomorfológico y de vegetación.

El marco climático también contribuye a explicar la elevada frecuencia de aludes en la zona. En la muy cercana estación meteorológica del Balneario de Panticosa, a 1.650 m de altitud, situada a sólo 1.350 m aproximadamente en línea recta de la zona de llegada del alud de Gabarda y a similar cota, se registra un total pluviométrico anual de 1.668 mm. Mientras, en la zona de salida del alud, situada a algo más de 2.000 m de altitud, la precipitación anual estimada oscila según distintos cálculos entre los casi 1.900 mm (Del Valle, 1996) y los 2.000 mm (Creus, 1983 y 1988; Marín, 1987). Pero el dato realmente relevante cara a la producción de aludes es el porcentaje de precipitación de nieve, siendo éste muy elevado en nuestra zona de estudio. Así, en la estación del Balneario de Panticosa se sobrepasa el 50% de precipitación nivosa entre noviembre y abril, ambos inclusive, llegando al 80% entre diciembre y febrero (Marín, 1987). Estos valores, lógicamente, aumentan con la altitud, en función del importante descenso térmico consecuencia del fuerte gradiente altitudinal de la zona (Cuadrat, 1984), de manera que en el sector de salida del alud tenemos una muy elevada precipitación en forma de nieve e innivación. No en vano entre diciembre y marzo la isoterma de los 0°C se sitúa por debajo de los 1.900 m (Cancer, 1995; De la Riva, 2000).

Esta proclividad hacia los aludes queda recogida en la cartografía geomorfológica general y específica de riesgo de aludes existente. Así, en el primer caso, García Ruiz (1989) o Serrano (1998) identifican la zona que nos ocupa como canal de aludes. En el segundo, Sáez (1995) la considera como susceptible al desencadenamiento de aludes según el criterio derivado de la fotointerpretación más el trabajo de campo.

En las cartografías referidas a la localización probable de aludes suelen manejarse dos criterios complementarios (Furdada, 1996; I.C.C., 1997): por un lado, el antedicho de la



Foro 3. Detalle del interior de una de las viseras antialudes. Su sector externo aparece totalmente tapado por el alud, que aquí alcanza un grosor de unos 6 m.

interpretación geomorfológica y de otras variables del medio físico, en particular la vegetación, según fotointerpretación y trabajo de campo. Por otro, la encuesta a la población conocedora de las zonas de aludes (habitantes de los núcleos cercanos, montañeros, pastores...) En el alud de Gabarda este último criterio también permite caracterizar la canal como de alta peligrosidad, ya que en su base se han producido varios accidentes mortales y existen obras protectoras de la carretera, lo cual indica a las claras la consciencia social del riesgo de aludes existente en este punto.

3. Obras de protección antialudes

El entorno del Balneario de Panticosa es muy proclive a la producción de aludes de nieve, tanto por razones topográficas como climáticas, como ya hemos visto. Los registros históricos de aludes catastróficos son muy abundantes, y algunos incluso han derribado grandes edificios del complejo hostelero del Balneario, en los años 1915 y 1917 (tal como describen Sáez y Ríos, 1995). En fechas posteriores (por ejemplo, en 1996) otros aludes han causado desperfectos de importancia en varios inmuebles. Además, en la carretera de acceso, A-2606, han muerto tres trabajadores sorprendidos por aludes cuando realizaban tareas de limpieza de la nieve (dos en 1960 y uno en 1970), precisamente en el mismo tramo afectado por el alud del dos de marzo de 2001. Han sido, finalmente, muchas las ocasiones en que los aludes han dejado incomunicado al Balneario. Todos estos eventos, y otros que no se citan en la anterior relación, justificaron en su día la construcción de abundantes obras de defensa antialudes así como la reforestación de las vertientes —una de las medidas protectoras más eficaces—, en buena parte de las laderas enmarcantes de la cubeta glaciaria en que se levanta el Balneario de Panticosa, así como en el valle del Caldarés, por donde discurre la carretera de acceso a este enclave. La mayoría de las actuaciones se acometieron a partir del otoño de 1955, aunque con anterioridad ya se habían construido algunas obras protectoras (Sáez y Ríos, 1995). Puede afirmarse que unas y otras defensas han disminuido el grado de riesgo, pero éste no se ha eliminado por completo. Buena prueba de ello es que a pesar de las numerosas estructuras antialudes existentes, en las últimas décadas han seguido produciéndose eventos más o menos catastróficos.

Las defensas antialudes suelen clasificarse en dos categorías, atendiendo a su forma de actuar sobre el problema (Ancy, 1998; López Cadenas del Llano, 1998): defensas activas y defensas pasivas. Las primeras intentan evitar el alud; las segundas, minimizar sus efectos cuando éste ya se ha producido. Entre las defensas activas más frecuentes cabe citar las repoblaciones forestales de cabecera (en la zona de acumulación nival o de salida del alud), aterrazamientos para rebajar la pendiente de las laderas, instalación de barreras para aminorar las sobreacumulaciones de nieve debidas al viento, etc. Por su parte, las defensas pasivas intentan disminuir el volumen, potencia y velocidad de los aludes ya desencadenados, o variar su trayectoria, o pararlos.

El alud de Peña Gabarda del dos de marzo de 2001 se produjo en un paraje muy favorable a este fenómeno, hasta el punto de que a lo largo de su trayectoria, en la canal ESE de dicha Peña, existen cinco obras de defensa. Pero el alud, además de frecuente, resulta especialmente peligroso, al afectar de lleno a la carretera A-2606, que precisamente en el sector de llegada de la avalancha discurre ganando altura mediante tres lazadas unidas entre sí por curvas de 180°. Son tres, por lo tanto, los tramos de la vía que pueden quedar afectados por los periódicos aludes que barren el sector. Esto es lo que explica la elevada

densidad de obras antialudes en la canal. Por encima de la carretera hay dos estructuras de protección que, cuando la movilización de nieve no es de gran entidad, pueden cumplir su cometido de evitar que llegue hasta la vía. Ya en ésta, se levantan tres viseras de desviación o galerías abiertas (construidas en los primeros años de la década de los 80) que la protegen.

Los dos diques de protección situados por encima de la carretera pertenecen al grupo de defensas permanentes pasivas, concretamente a los denominados diques vacíos, por presentar vanos que permiten el paso de la nieve o de cualquier otro cuerpo descendente (agua, piedras...). Su función no es tanto la de retener toda la masa de nieve desprendida (para este fin se utilizan los diques de frenado, totalmente macizos) como la de aminorar su velocidad, de manera que en cotas inferiores, al alcanzar sectores de menor pendiente, pueda llegar a pararse por sí misma. Este efecto de frenado de la energía de los aludes depende lógicamente de su magnitud, así como del tipo de nieve que se movilice en cada caso. Así, los aludes de nieve polvo, con su característico efecto aerosol, tan apenas son retenidos por estas estructuras, que resultan mucho más efectivas para los de nieve desplazada a ras de suelo.

La importante magnitud del alud de Peña Gabarda en muchos casos, su frecuente afección a la carretera del Balneario de Panticosa y el hecho de que en este punto se hayan registrado varios accidentes mortales debidos al mismo, aconsejaron la construcción de las obras de desviación de la avalancha que protegen las tres lazadas de esta vía, antes mencionadas. Se trata de estructuras consistentes en unos tejados que cubren su traza en los tramos considerados críticos, concretamente en los tres segmentos en que la carretera atraviesa el cono



FOTO 4. Aspecto del alud por encima de una de las viseras antialudes, cuya galería puede apreciarse en la parte centro-izquierda de la foto. La carretera A-2606 pasa por debajo.

nivo-torrencial de parada del alud. De esta forma, el alud se desplaza por encima de estos tejados, dejando libre la calzada. De ahí que estas estructuras pertenezcan a la categoría de obras de desviación, dentro del grupo de las defensas permanentes pasivas.

4. Caracterización del alud

El punto de partida del alud se situó próximo a la cresta somital de Peña Gabarda, en su extremo NE, a unos 2.100 m de altitud. La llegada, que casi afectó al talweg del valle del Caldarés, alcanzó la cota 1.560 m. El recorrido resultante, de unos 540 m de desnivel, se caracteriza por sus fuertes pendientes. La distancia horizontal planimétrica entre ambos puntos es de sólo 625 m, por lo que el recorrido real del alud puede estimarse en unos 830 m, con una pendiente media resultante del 86%, cifra encuadrada en el rango de valores de pendiente más propicios para los aludes, entre el 50% y el 100% (Mears, 1992) (figura 4). Pero este valor no es homogéneo a lo largo del recorrido del alud, siendo mucho más alto en sus tramos superior y medio (donde sobrepasa ampliamente el 100%, con varios saltos casi verticales) que en el inferior (donde no se alcanza el 50%).

En el alud del dos de marzo de 2001, la anchura del frente de nieve en su sector de llegada alcanzó los 175 m, con un grosor máximo de 6 m (mediciones según inspección *in situ*). Los dos diques huecos de protección antialudes ubicados por encima de la carretera no pudieron retener todo el volumen de nieve movilizado, por lo que ésta llegó hasta las tres lazadas (curvas de 180°) de aquella y casi hasta el mismo fondo del valle (río Caldarés). Ambos diques resultaron totalmente colmatados por la primera masa de nieve movilizada, de manera que a partir de ese inicial momento la restante nieve desprendida no encontró ningún obstáculo para continuar su trayectoria descendente.

Las tres viseras de protección de la carretera cumplieron su función, pero al ser el alud en su punto de llegada más ancho que éstas, los tramos de la vía que discurren en cada una de las lazadas a ambos lados de dichas estructuras de desviación, resultaron sepultados. Esto

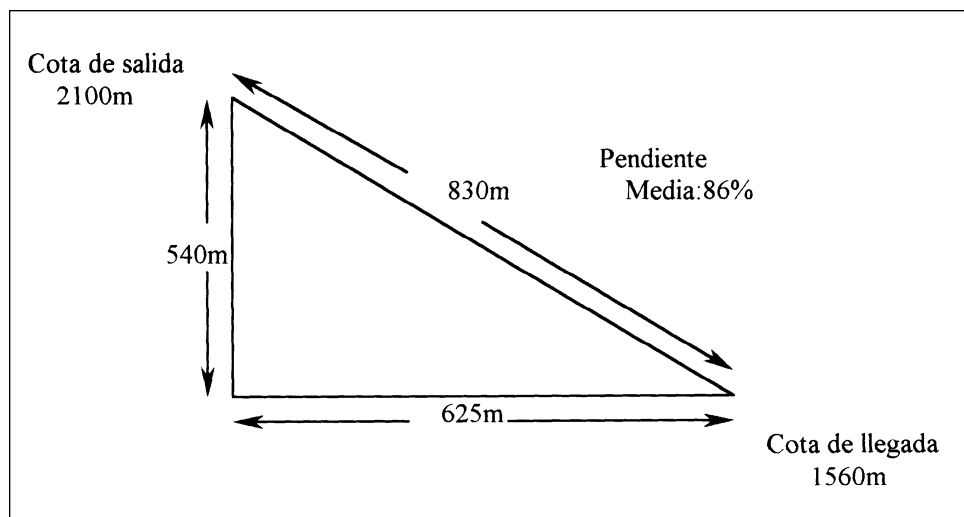


FIGURA 4. Descomposición geométrica simplificada del recorrido del alud.

explica que durante varios días los accesos al Balneario de Panticosa estuviesen cerrados al tráfico rodado. Primero por la imposibilidad de paso. Luego, cuando la nieve ya había sido retirada de la calzada, por el elevado riesgo de nuevos aludes en este y otros puntos de la ruta.

Respecto a la modalidad del alud, pertenece a la tipología de fusión o nieve mojada (*Wet Snow Avalanche*), que moviliza nieve húmeda, con presencia de agua líquida entre los cristales de hielo, fenómeno que disminuye la cohesión entre ellos y, por lo tanto, favorece la producción del alud (Armstrong y Williams, 1992; Furdada, 1996). Esta caracterización se apoya en diferentes observaciones.



FOTO 5. Cono de deyección nivo-torrencial del alud y torrente de Peña Gabarda. La zona de su ápice, que se inicia justo debajo del muro hueco, está tapizada por la nieve reciente del alud. El aspecto granudo de ésta, con presencia de grandes bolos, en la zona de llegada de la avalancha, es el propio de los aludes de fusión o de nieve húmeda.

- La primera y más determinante es la densidad de la nieve, medida en el punto de llegada del alud, según muestra tomada en su superficie. El valor resultante, de 0,63, es propio de las nieves pesadas sometidas a procesos de hielo-deshielo (Place y Sivar-dière, 1999).
- La propia morfología de la nieve movilizada, depositada en bolos de muy diferente tamaño, apoya la tipología de alud de nieve húmeda, así como la estructura física de aquélla, en granos redondeados de tamaño grande, los característicos del metamorfismo de fusión.
- Por otra parte, los aludes de fusión son propios de las canales. La nieve húmeda y pesada tiende a descender encajada por canales favorables, de manera que en bastantes lugares la repetición frecuente de aludes por un mismo corredor permite denominarlos mediante un topónimo. Esto es lo que ocurre con el de Peña Gabarda, uno de los más frecuentes del entorno del Balneario de Panticosa. En la base de las canales, o zona de llegada, se mezclan bloques de nieve heterogéneos junto a los materiales arrastrados. En éste había troncos, piedras..., aunque no en gran número, debido a los barridos de numerosos aludes previos que ya han arrastrado la mayor parte de los materiales sueltos, además de por la poca vegetación existente en el eje de la canal.
- Y, finalmente, los valores climáticos de los días precedentes (ver tabla 1), con importantes nevadas seguidas de lluvia y aumento térmico, son propicios para desencadenar este tipo de aludes.

Tras varios días de importantes nevadas y temperaturas bajas, con máximas por debajo de los 0°C, el día anterior al alud los valores térmicos aumentaron considerablemente. Así (según datos de la muy cercana estación meteorológica del Balneario de Panticosa) el uno de marzo la mínima, medida a las 8 h, fue de -4,1°C, pero la máxima subió hasta los 5°C. El día del alud, dos de marzo, no heló, registrándose una mínima de 1° C. En los cuatro días previos al alud, las precipitaciones fueron bastante copiosas, con un total de 75,6 l/m². En su mayor parte se trató de nieve, representando una altura equivalente de 93 cm. El efecto respecto a la innivación fue notable: entre las 8 h del 26 de febrero y las 8 h del 2 de marzo, la columna de nieve en el suelo pasó de 30 cm a 100 cm. Un hecho importante es la precipitación caída los días 1 y 2 de marzo. El día 1 se registraron 30 l/m², mixtos de lluvia y nieve. A primeras horas la precipitación fue de nieve, pero a partir de media mañana pasó a lluvia. Al día siguiente volvieron a caer otros 48,5 l/m², todos de lluvia.

Se produjo, por lo tanto, un importante aporte de agua líquida al manto nival preexistente, reciente, como acabamos de ver, caído y mantenido con bajas temperaturas entre los días 26 y 28 de febrero, y a su vez bastante inestable. En efecto, la nieve caída y mantenida con bajas temperaturas representa un notable factor de inestabilidad, al encontrarse nieve fresca en el suelo sin experimentar procesos de metamorfismo que aumenten la cohesión de los cristales de hielo (Tomico, 1996; Ancey, 1998; Damiliano y Gardien, 1999). En definitiva, sobre un manto reciente de unos 70 cm de espesor, mal cohesionado, que por sí mismo supuso una importante sobrecarga nival —uno de los factores más determinantes para la producción de aludes—, se depositó una importante cantidad de agua que todavía inestabilizó más la columna de nieve, todo lo cual provocó el desencadenamiento del alud.

Un factor añadido pudo ser la superficie de discontinuidad entre los estratos de nieve. Los días anteriores al 23 de febrero las temperaturas fueron muy altas (máximas de 12-13°C), lo cual provocaría fuertes procesos de metamorfismo de fusión en la nieve, apare-

ciendo nieve húmeda. Desde el 23 hasta el 25 de febrero las temperaturas fueron bajas, con importantes heladas, pero no hubo precipitaciones. La nieve húmeda de los días precedentes se recongelaría, pasando a nieve helada. Sobre ésta, desde el 26 de febrero se instaló la nieve recién caída, fresca, polvo, propia de las nevadas con bajas temperaturas. Esta superposición de estratos nivales de diferentes características físicas (densidad, temperatura, humedad...) facilitaría el deslizamiento del estrato superior sobre la base helada. Es decir, aunque el alud del 2 de marzo de 2001 presenta las características morfométricas y físicas propias de los aludes de fusión, pudo estar también favorecido en su origen por el efecto alud de placa, de manera que la génesis del alud de Gabarda puede considerarse como mixta. En este sentido, cabe recordar que es muy frecuente la existencia de aludes en los que confluyen circunstancias muy variadas, por lo que no pueden caracterizarse atendiendo a una única tipología (Salm y Gubler, 1987; Bozhinskiy y Losev, 1999).

Todos estos factores explican que el día del alud y el precedente (uno y dos de marzo de 2001) el riesgo de aludes en la zona del Balneario de Panticosa fuese elevado, con valor 4 (ver tabla 1) según la «Escala Europea Normalizada del Riesgo de Aludes», la cual establece cinco niveles de riesgo: desde el 1, débil, hasta el 5, muy fuerte (I.N.M., 1994; A.N.E.N.A., 1995). El nivel 4, fuerte, nos indica que el manto de nieve está débilmente esta-

Tabla 1
VALORES CLIMÁTICOS EXPLICATIVOS DEL ALUD DE PEÑA GABARDA

Fecha	T ^a máx. (1)	T ^a mín. (1)	T ^a nieve (2)	Pp (l/m ²) (3)	Tipo de Pp	Pp. alt. nieve (cm) (3)	Espesor innivación (cm) (4)	Riesgo aludes (5)
Feb. 20	12	-3,4	-1,7	0			60	3
Feb. 21	12	0,2	-0,6	0			55	2
Feb. 22	13,8	-1,6	-0,1	0			30	2
Feb. 23	2	-5	-0,5	0			30	2
Feb. 24	-3,8	-6,5	-2,1	0			30	3
Feb. 25	1,6	-8,2	-2,3	0			30	3
Feb. 26	-3,2	-6,5	-3,9	5,9	nieve	16	30	3
Feb. 27	-5	-7,2	-1,1	23,5	nieve	30	45	3
Feb. 28	1	-7	-1,9	16,2	nieve	20	71	3
Mar. 1	5	-4,1	-2,6	30	lluvia y nieve	27	88	4
Mar. 2	3,8	1	-0,9	48,5	lluvia		100	4
Mar. 3	3,4	1	-0,1	35	lluvia		60	5
Mar. 4		-0,2	0,2	35	lluvia		40	5

Fuente: INM, Estación Meteorológica del refugio «Casa de Piedra», Balneario de Panticosa, 1.650 m.s.n.m. Datos proporcionados el 5 de marzo de 2001.

- (1) Valores de temperatura del aire. Medidos entre las 8 h del día de referencia y las 8 h del día siguiente.
- (2) En superficie.
- (3) Medidos entre las 8 h del día de referencia y las 8 h del día siguiente.
- (4) A las 8 h.
- (5) Según estimación de los guardas del refugio «Casa de Piedra». Valores referidos a la «Escala Normalizada Europea del Riesgo de Aludes».

bilizado, pudiendo desencadenarse aludes en la mayoría de las pendientes propicias a los mismos.

Un dato interesante respecto a la caracterización física del alud es que, según las mediciones de campo llevadas a cabo, no parece existir diferencia notable de densidad entre la nieve del alud que nos ocupa y la de otro más reciente. Los trabajos de campo tuvieron lugar el cinco de marzo de 2001, tres días más tarde de que el alud se produjese. Durante las aproximadamente 75 horas de diferencia precipitaron en la zona 118,5 l/m² de lluvia (en la estación del Balneario de Panticosa) que provocarían, en la nieve del alud ya depositada, procesos de metamorfismo nival en su modalidad de metamorfismo de fusión (Sergent, 1993; Damiliano y Gardien, 1999), consistente en un aumento de la fracción de la nieve compuesta por agua y el consiguiente incremento de densidad. El mismo día cinco de marzo de 2001 cayó en la zona otro alud, de menores dimensiones (40 m de ancho en su zona de llegada y 1,5 m de grosor máximo) que afectó también a la carretera A-2606 en su punto kilométrico 9,900, enfrente de la planta embotelladora de aguas situada a la entrada del Balneario de Panticosa. Se trata de dos aludes muy cercanos y producidos en laderas de la misma orientación. En este pequeño alud la muestra de nieve tomada, en su punto de llegada y en capa de superficie (en idénticas condiciones a la tomada en el del dos de marzo) y tan sólo dos horas después de haberse producido, arroja un valor de densidad de 0,65, prácticamente igual al de Peña Gabarda. La nieve del pequeño alud también recibió la lluvia caída en la zona, por lo que sufriría los mismos procesos de metamorfismo ya explicados, aunque antes de producirse la avalancha. La conclusión que puede extraerse de estos datos es que, en los dos casos analizados, los valores de densidad de la nieve no se han visto afectados por el tiempo transcurrido desde la producción del alud, al menos en el estrato superficial y dentro de las aproximadamente 73 horas de diferencia entre ambos.

5. Conclusiones

El alud del dos de marzo de 2001 ocurrido en la vertiente ESE de Peña Gabarda, en el valle del río Caldarés, muy cerca del Balneario de Panticosa, afectó de lleno a la carretera A-2606, vía por la que se accede a dicho enclave, pero no ocasionó daños materiales ni personales. Se trata de uno de los numerosos aludes que en esas fechas se produjeron en el Pirineo, como consecuencia de condiciones climáticas favorables para tales eventos.

La canal por la que se deslizó este alud registra elevada frecuencia de estos fenómenos, hasta el punto de que dispone de cinco estructuras de defensa permanentes. Se trata, por lo tanto, de un punto de alta peligrosidad, en el que en ocasiones precedentes, y también debido a la caída de aludes de nieve, se ha alcanzado la categoría de catástrofe, al producirse la pérdida de varias vidas humanas. Esta proclividad se explica por sus características físicas: elevadas pendientes, ausencia de vegetación en el eje de la canal que dificulte la producción del alud y elevada innivación. Esas cinco estructuras pertenecen a la tipología de defensas permanentes pasivas, puesto que su función es la de minimizar los efectos del alud una vez éste ya se ha producido. Su finalidad es la protección de la carretera A-2606. Consisten en dos diques huecos, por encima de la vía, y tres viseras de derivación, bajo las cuales discurre la calzada en los tramos más críticos respecto al barrido nival.

El recorrido del alud partió de Peña Gabarda, a unos 2.100 m de altitud, mientras que la llegada alcanzó la cota 1.560 m, en el fondo del valle del río Caldarés. La pendiente media resultante es del 86%, cifra encuadrada en el rango de valores de pendiente más propicios para la producción de avalanchas. Se trata de un alud de dimensiones medias, con anchura

del frente de nieve en su sector de llegada de 175 m y grosor máximo de 6 m. A pesar de la relativa modestia de los datos, los dos diques huecos de protección antialudes ubicados por encima de la carretera no pudieron retener todo el volumen de nieve movilizado, por lo que ésta alcanzó plenamente los tramos de la vía que discurren por el cono de deyección o zona del llegada del alud.

Se trata de un alud de fusión o nieve mojada, caracterización que se apoya en diferentes observaciones: la elevada densidad de la nieve en la zona de llegada, de 0,63, propia de las nieves pesadas sometidas a procesos de hielo-deshielo; la morfología en bolos heterométricos.



FOTO 6. Uno de los numerosos aludes producidos a finales de febrero-principios de marzo de 2001 en el valle del río Caldarés, por el que se accede al Balneario de Panticosa. En este caso se trata del alud del Barranco de Piniecho, en la margen izquierda del valle, con su correspondiente cono nivo-torrencial.

cos del depósito del alud, así como la estructura física en granos de nieve redondeados de tamaño grande; que el alud discurra encajado por una canal; y los valores climáticos de los días precedentes, con importantes nevadas seguidas de lluvia y aumento térmico, muy propicios para desencadenar este tipo de aludes: sobre un manto nival reciente de unos 70 cm de espesor, mal cohesionado, se depositó una importante cantidad de agua que todavía inestabilizó más la columna de nieve, todo lo cual provocó el desencadenamiento del alud. Este fenómeno resultó concordante con la previsión del riesgo de aludes existente en esta zona del Pirineo: el índice de peligro estimado el día del alud y el precedente era elevado, con valor 4 según la «Escala Europea Normalizada del Riesgo de Aludes».

Un factor añadido para la producción del alud pudo ser la superficie de discontinuidad entre los estratos de nieve, deducida a partir de las variaciones térmicas y de las precipitaciones existentes los días previos al alud. Sobre una base nival sometida a metamorfismo de fusión y posteriormente recongelada se instaló la nieve recién caída, del tipo nieve polvo, propia de las nevadas con bajas temperaturas. Esta superposición de estratos de diferentes características físicas facilitaría el deslizamiento de la capa superior sobre la base helada. Por lo tanto, aunque el alud del 2 de marzo de 2001 de Peña Gabarda presenta las características morfológicas y físicas propias de los aludes de fusión, pudo estar también favorecido en su origen por el efecto alud de placa, de manera que su génesis puede considerarse como mixta.

Según comparación del valor de densidad nival entre este alud, medido tres días después de producirse, y otro de pequeño tamaño producido el cinco de marzo de 2001 y muy cercano al anterior, medido sólo dos horas después de deslizarse, se llega a la conclusión de que, en los dos casos analizados, los valores de densidad de la nieve no se han visto afectados por el tiempo transcurrido desde la deposición del alud, al menos en el estrato superficial y dentro de las aproximadamente 73 horas de diferencia entre ambos.

6. Referencias bibliográficas

- ANCEY, C. (1998) (Coord.): *Guide Neige et Avalanches*. Edisud, Aix en Provence, 335 pp.
- A.N.E.N.A. (1995): *La Neige*. Association Nationale pour l'Etude la Neige et des Avalanches), Grenoble 41 pp.
- ARMSTRONG, B.; WILLIAMS, K. (1992): *The avalanche book*. Colorado Geological Survey, Denver, Colorado, 231 pp.
- BOZHINSKIY, A.N.; LOSEV, K.S. (1999): *The fundamental of avalanche Science*. Mitteilung. uEidg. Institutes für Schenee-und Lawinenforschung, Davos, Suisse.
- CANCER POMAR, L. (1995): *Ecogeografía de los paisajes del Alto Gállego*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, Zaragoza, 320 pp.
- CREUS NOVAU, J. (1983): *El clima del Alto Aragón occidental*. Instituto Pirenaico de Ecología, Jaca, 233 pp.
- CREUS NOVAU, J. (1988): «Características climáticas más relevantes». En *Introducción a la ecología del Pirineo Aragonés*, pp. 9-12. Instituto Pirenaico de Ecología (C.S.I.C.), Jaca. (Inédito).
- CUADRAT PRATS, J. M^a (1984): «El descenso de la temperatura con la altitud en el Pirineo Central Español». En *Avances sobre la investigación en Bioclimatología*. Centro de Edafología y Biología Aplicadas (C.S.I.C.) y Universidad de Salamanca.
- DAMILIANO, F.; GARDIEN, C. (1999): «La nieve» y «Los aludes». En *Guía completa de montañismo*, pp. 32-25. Blume, Barcelona.

- DE LA RIVA FERNÁNDEZ, J. (2000): «Caracterización climática del alto valle de Tena». En *Boletín Glaciológico Aragonés*, 1: 81-109. Universidad de Zaragoza.
- DEL VALLE, J. (1996): *Estudio climático del P.O.R.N. de los Monumentos Naturales de los Glaciares Pirenaicos*. Diputación General de Aragón, Zaragoza. (Inédito).
- FURDADA, G. (1996): *Estudi de les allaus al Prineu Occidental de Catalunya: predicció espacial i aplicacions de la cartografia*. Geoforma Ediciones, Logroño, 315 pp.
- GARCÍA RUIZ, J. M^a (1989): *Mapa geomorfológico. Hoja 145, Sallent, E. 1: 50.000*. Geoforma Ediciones, Logroño.
- I.C.C. (1997): *Mapa de Zones d'Allaus de Catalunya 1:25.000*. (Varias hojas publicadas). Institut Cartogràfic de Catalunya, Barcelona.
- I.N.M. (1994): *Escala Europea del Riesgo de Aludes y Guía para su Interpretación*. Instituto Nacional de Meteorología, Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, Madrid, 16 pp.
- I.T.G.E. (1990): *Mapa geológico de España, escala 1: 50.000. Hoja 145 (Sallent)*. Instituto Tecnológico y Geominero de España, Madrid.
- LÓPEZ CADENAS DEL LLANO, F. (Dir.) (1998): «Prevención y defensa contra aludes». En *Restauración hidrológico-forestal de cuencas y control de la erosión. Ingeniería medioambiental*, Unidad Temática XV. Coedición de Tragsa, Tragsatec, Ministerio de Medio Ambiente y Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, pp. 803-852.
- M.O.P. (1972): *Mapa geológico 1: 25.000. Hoja 145-1*. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Carreteras, Sección de Geotecnia y Prospecciones. Madrid. (Inédito).
- MARÍN JAIME, J. M^e (1987): *Estructura hidrológica y utilización de las aguas en la cuenca alta y media del río Gállego*. 4 vol. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza (Tesis Doctoral inédita).
- MEARS, A.I. (1992): *Snow Avalanche Hazard Analysis for Land-Use Planning and Engineering*. Colorado Geological Survey. Denver, Colorado, 55 pp.
- PLACE, V.; SIVARDIÈRE, F. (1999). (Coords.): *Les avalanches*. ANENA-Publications de l'École Moderne Française. Mouans-Sartoux, 49 pp.
- SÁEZ ALAGÓN, M^a T. (1995): «Mapa de peligrosidad por aludes. Hoja nº 145-2 (Sallent), E. 1: 25.000», en ITGE: *Estudio del medio natural y de sus riesgos naturales en un sector del Pirineo Central*. Instituto Tecnológico Geominero de España y Gobierno de Aragón, Zaragoza. (Inédito).
- SÁEZ ALAGÓN, M^a T.; RÍOS ARAGÜÉS, S. (1995): «Peligrosidad de aludes», en ITGE: *Estudio del medio natural y de sus riesgos naturales en un sector del Pirineo Central*, tomo 7. Instituto Tecnológico Geominero de España y Gobierno de Aragón, Zaragoza. 93 pp. más anexo cartográfico. (Inédito).
- SALM, B.; GUBLER, H. (Eds.) (1987): *Avalanche formation, movements and effects*. IAHS Press, Public. nº 162, Oxford, U.K.
- SERGENT, C. (1993): «La neige, formation et evolution». En AA.VV.: *Elements de Nivologie*, pp. 1-16. ANENA, Grenoble.
- SERRANO CAÑADAS, E. (1998): *Geomorfología del Alto Gállego (Pirineo Aragonés)*. Institución Fernando el Católico, Zaragoza, 501 pp.
- TOMICO ALIQUÉ, A. (1995): *La nieve y los aludes*. Prames-Gobierno de Aragón-Federación Aragonesa de Montañismo-Protección Civil. Zaragoza, 48 p.