

# Aludes: sus tipos y causas

Samuel Buisán, Francisco Espejo, Jesús Revuelto, Gerardo Sanz,  
Francisco Javier Rodríguez y Amadeo Uriel. AEMET, Zaragoza

LOS procesos termodinámicos y de balance energético que sufre la nieve debido a factores meteorológicos y radiativos provocan su evolución y metamorfosis hacia distintos tipos de granos.

Al realizar un corte vertical en el manto nivoso se pueden distinguir distintos tipos de estratos. La interpretación en términos de resistencia a la penetración de una sonda, dureza, densidad y humedad característicos del tipo de grano de cada una de estas capas ayuda a definir el tipo de perfil y si este es característico de un tipo de alud o no. Si a lo anterior se unen elementos tales como exposición, ciclo diurno, tipo de terreno e inclinación de la pendiente (entre 30° y 45° son las más propicias) se puede entonces describir más apropiadamente el peligro de desencadenamiento de un tipo de alud u otro

## Tipos de granos

La nieve, tanto al caer, como sobre todo una vez que se deposita en la superficie dista de ser un material inerte, ya que experimenta una serie de transformaciones que serán determinantes a la hora de otorgar características al manto nivoso como pueden ser la resistencia al desplazamiento o a la rotura, que son factores esenciales para el desencadenamiento de los aludes y la caracterización de sus tipos.

En la atmósfera, los cristales de nieve tienen una simetría hexagonal y su forma más común es la conocida estrella con seis dendritas. Sin embargo, dependiendo de la temperatura del aire en el momento de producirse el crecimiento de los copos, también pueden presentar forma de columnas o agujas, o bien de plaquetas. Existe otro caso, en el que los copos caen a través de una capa de aire en presencia de agua subfundida, produciendo la inmediata congelación de las gotículas sobre la estrella y generando una especie de capa envolvente de hielo. El resultado es la **cellisca** o **nieve granulada**. Este tipo de grano está caracterizado por su nula cohesión entre los granos.

Los granos de nieve que quedan en la superficie tal como caen se denominan **nieve reciente**, tienen un diá-

metro de unos 2 mm, su densidad típica oscila entre 50 y 100 Kg/m<sup>3</sup> y su resistencia es prácticamente nula. La nieve reciente presenta una cohesión entre los granos denominada de trabazón, por entrelazamiento entre las dendritas que las forman, lo que le otorga gran plasticidad y capacidad de mantenerse en superficies casi verticales, así como sobre árboles, señales de tráfico, etc.

La nieve reciente normalmente dura poco, a no ser que la nevada se produzca en condiciones de mucho frío y ausencia de viento y que estas condiciones se mantengan después de la misma. El efecto del viento, ya sea durante la nevada o sobre una capa depositada en la superficie de nieve reciente, es la de romper mecánicamente los copos y producir otro tipo de grano, más pequeño, formado esencialmente por las dendritas de la nieve reciente, que aún se pueden observar, por lo que el nombre de estos granos es **partículas reconocibles**. Este tipo de grano mantiene la cohesión por trabazón, y el efecto es el de ir ganando densidad progresivamente, que se refleja en un apelmazamiento del manto de nieve y un aumento de su resistencia.

Otro factor esencial para la evolución de la nieve en el manto nivoso es la temperatura del aire, que modula el gradiente térmico existente entre el suelo y la base del manto nivoso -que dadas las propiedades aislantes de la nieve estarán casi siempre a 0° una vez que el manto tenga un espesor del orden de medio metro- y la superficie.

Este gradiente entre la parte más cálida, la base, y la más fría, la superficie de la nieve, es responsable de un proceso de transferencia de vapor de agua entre los granos de abajo y los de arriba reflejado en sublimaciones y condensaciones sólidas que va a modificar la forma de los granos y las propiedades del manto. Dependerá de la intensidad de ese gradiente (débil, inferior a 5°/m; fuerte, superior a 20°/m; o medio, si adopta valores intermedios), que los granos evolucionen hacia formas pequeñas y redondeadas o más grandes y angulosas.

Bien por el efecto del viento, bien por el gradiente de temperatura, o bien -lo más frecuente- por una combinación de ambos, las partículas reconocibles se van haciendo



Distintos tipos de granos: nieve reciente, granos finos, caras planas, cubiletos y granos redondos.  
Fotos al microscopio de *Centre d'études de la Neige* de Grenoble, Francia



Trabajos de limpieza de alud de nieve reciente. Pirineo Aragonés. Febrero de 2009. Foto: Samuel Buisán

progresivamente más pequeñas y redondeadas, formando los llamados **granos finos**. Entre estos granos, más pequeños, de unas pocas décimas de mm, se establecen, por los mismos procesos de condensación sólida en sus concavidades, puentes de hielo que otorgan a las capas de granos finos una muy buena cohesión, llamada de sinterización, que ofrece una resistencia apreciable. Su densidad oscila entre 250 y 400 Kg/m<sup>3</sup>.

Si el gradiente de temperaturas es medio o fuerte, los procesos de transferencia de

vapor de abajo arriba en el manto de nieve son cada vez más intensos, lo que genera granos de nieve cada vez más grandes y angulosos, que implica que no existe cohesión entre ellos, sino que están sueltos. Los granos generados en estos casos son las **caras planas** y los **cubiletos**. Las caras planas tienen tamaños del orden de 1-2 mm y densidades entre 150 a 300 Kg/m<sup>3</sup>. Los cubiletos, que se parecen a granos de sal gruesa, tienen diámetros de unos 3 mm y densidades entre 250 a 400 Kg/m<sup>3</sup>. Este tipo de granos se caracterizan por su nula cohesión y su baja resistencia.

Hasta este punto hemos estado siempre hablando de nieve seca, es decir, aquella formada por zonas del manto que están por debajo de 0° C, donde va a haber presencia exclusivamente de agua en estado sólido y gaseoso, así como de aire. Cuando el manto o zonas del manto están a 0° C, se habla de nieve húmeda, porque va a haber presencia de agua en estado sólido, líquido y gaseoso. El tipo de grano característico de la nieve húmeda es grande –de 2 a 4 mm de diámetro– y redondeado, denominado **grano redondo**. Su densidad oscila entre 300 y 500 Kg/m<sup>3</sup>. Todos los tipos de nieve terminan siendo este tipo de grano, y una vez que han alcanzado este estado la transformación es irreversible. En la nieve húmeda, el factor esencial para la cohesión del manto es el contenido de agua líquida. Si éste no es muy alto, la cohesión entre los granos es relativamente buena, llamada de capilaridad, ofreciendo una cierta resistencia. Con ellos es fácil hacer una bola con la mano con un guante puesto. Si el guante no queda mojado se califica de nieve húmeda, si queda mojado, se califica de nieve muy húmeda, pudiendo verse el agua escurrir.

Con frío, el agua líquida que aparece envolviendo los granos redondos puede congelarse y formar un bloque en el manto, con cohesión de rehielo, que es la más resistente que hay y que forma las **costras**.

Otro tipo de grano es la **escarcha de superficie**, estructuras plumosas que se forman cuando, al igual que

sobre otras superficies, se forma escarcha sobre la parte superior del manto de nieve, y que pueden quedar sepultadas por nevadas posteriores. Este tipo de grano está caracterizado por su nula cohesión.

## Tipos de aludes

Existen diversas clasificaciones de aludes, según su tamaño, tipo de rotura, etc. A continuación se propondrá una clasificación simplificada de los distintos tipos de aludes **atendiendo a su desencadenamiento** bien sea de origen natural ó accidental y a los subtipos que nos podemos encontrar. De cada uno de ellos, además, describiremos sus características principales.

**Desencadenamiento natural:** Serán aquellos aludes en los cuales no existe intervención externa y la causa de su desencadenamiento es la propia estructura del manto nivoso. Distinguiremos cuatro tipos:

**1. De nieve reciente:** Este tipo de aludes se suelen dar principalmente durante y tras la finalización de las nevadas. Se producen como consecuencia de la acumulación de nieve reciente y del desequilibrio del balance de fuerzas entre el peso de la nieve y su oposición al movimiento. Los principales factores que influyen en su desencadenamiento, y por tanto en su tamaño y número, son la intensidad y cantidad de la precipitación. Nieve con muy poca densidad es propia de temperaturas muy frías y ausencia de viento durante la nevada. Con este tipo de nieve, los aludes se caracterizan por el aerosol asociado y la onda de choque producido en su desplazamiento. Este tipo de aludes se les conoce también como de polvo.

Aunque no todos los aludes de nieve reciente comparten este patrón, si que comparten ciertas características similares. Su salida es puntual, alcanzan elevadas velocidades durante su recorrido, más de 100 Km/h, y son capaces de rodear obstáculos y alcanzar vías de comunicación ó construcciones si se desencadenan cerca de ellas. Si llue-



Aludes nieve reciente humidificada tras la acción solar. Pirineo Aragonés. Febrero de 2010. Foto: Refugio de Estós

ve inmediatamente después de una copiosa nevada es habitual que el número de aludes observados sea elevado. También es normal que si tras una nevada aumenta la temperatura considerablemente, observemos coladas de nieve por humidificación.

**2. De fusión:** Normalmente se observan al final de la temporada, por eso se les conoce también como aludes de primavera. Las condiciones habituales para su desencadenamiento se producen cuando el manto nivoso se encuentra a 0° C y completamente humidificado, es decir con un contenido en agua líquida (del orden del 10-12%) que impide la cohesión entre los granos redondos que lo forman. Esta humidificación tiene su origen en la percolación de arriba a abajo debida a la fusión de la nieve superficial. El desplazamiento se produce respecto de una capa menos permeable, bien el suelo o incluso un estrato dentro del manto nivoso. Cuando todo el espesor se moviliza se les conoce también como de fondo. Su salida suele ser puntual y se tienden a canalizar por canales y barranqueras y por eso suelen tener trayectorias conocidas, siendo además un gran agente erosivo. Las velocidades son menores que en el caso de nieve reciente, entre 20 y 60 Km/h. Se detienen en las llamadas zonas de depósito y podemos observar como esa nieve adopta forma de bolas de nieve unidas unas con otras debido a su alto grado de humedad.



Alud de fusión: zona de llegada; el alud ha llegado al fondo del valle canalizado por una barranquera. Pirineo Aragonés Abril de 2008. Foto: M. Suárez, Grupo Militar de Alta Montaña

Este tipo de aludes se ven muy influenciados por factores como el tipo de exposición de la pendiente, la ausencia de rehuelos nocturnos y la lluvia. También pueden desencadenarse en épocas de altas temperaturas, con o sin lluvia, durante el invierno y su tamaño puede variar desde coladas hasta aludes de dimensiones considerables.

**3. De placa de fondo:** Se caracterizan por un manto nivoso poco resistente sobre todo su espesor y a menudo

fisurado. El manto se puede encontrar seco pero cercano a 0°C o bien parcialmente humidificado con una gran variedad posible de granos, pero con granos finos. Esto le permite un cierto deslizamiento como un todo sobre terrenos lisos tales como estructuras pizarrosas o pendientes herbosas. El manto nivoso tiende a fracturarse de manera lineal y habitualmente se desencadenan en pendientes superiores a 40° y exposiciones soleadas, siendo más típicos en primavera.



Alud de placa friable desencadenado por el paso de un esquiador. Febrero 2010 Pirineo Aragonés. Foto: Jesús Revuelto.

**4. De placa friable:** Se remite en este apartado al siguiente “accidental – placa” donde se explica la estructura de placa típica y el proceso de desencadenamiento. Suelen producirse tras acumulación de precipitación y/o acción del viento. Bruscos cambios de temperatura pueden provocar también su desencadenamiento.

**Desencadenamiento accidental:**

Serán aquellos aludes en los cuales existe intervención externa al manto nivoso y consideraremos tan solo los casos en los que el origen es una sobrecarga sobre una estructura de placa. Como agente externo podemos considerar causas no humanas (caída de cornisa, un animal) ó humanas (esquiador, moto de nieve, etc.). Este tipo de aludes son los que desgraciadamente provocan la mayoría de las víctimas mortales. Se pueden dividir en dos tipos:

Placa
Capa debil cohesión
Capas más estables

Estructura de capas típica del manto nivoso en situaciones favorables al desencadenamiento de aludes del tipo accidental de capa dura



Alud de placa dura. Pirineo Aragonés. Marzo de 1999. Foto: Guardia Civil José A. Torrijos García del E.R.E.I.M. de Panticosa. Guía de Perros de Avalancha.

**1. De placa dura:** Son aquellos en los que está presente una estructura de placa como la de la figura. Se compone de dos partes diferenciadas. La capa superior o placa se compone de granos finos. Esta capa reposa sobre una capa con débil cohesión entre los granos que la componen, habitualmente caras planas ó cubiletos. Aunque también pueden ser nieve reciente, escarcha de superficie, nieve granulada o incluso partículas reconocibles.

Una sobrecarga sobre la capa superior o placa provoca la fractura de la capa con débil cohesión, transmitiéndose esta en todas las direcciones. Como consecuencia, la placa se rompe, habitualmente por su zona de menos espesor que suele encontrarse ladera arriba. Finalmente, existe una propagación lineal de esta rotura a lo largo de la placa que provoca su desprendimiento.

El proceso más típico de formación de este tipo de estructura es un periodo de intenso frío tras un episodio de nevadas que forma el tipo de granos característicos de la capa con débil cohesión y un posterior episodio de precipitaciones con viento moderado ó fuerte. Este viento es capaz de transportar la nieve y formar la placa de viento formada por el grano fino. Es por esta razón, que las cornisas que se observan en collados y crestas suelen ser un indicador de la dirección del viento y de las zonas de acumulación donde es más fácil encontrar las placas, las laderas a sotavento del viento predominante.

Este tipo de estructuras permanecen temporalmente a menos que se rompan, queden enterradas, sean de un espesor considerable y por tanto difíciles de romper o que la propia evolución del manto nivoso las haga desaparecer. En general, una vez formadas, es en laderas norte donde suelen permanecer más tiempo. Un factor agravante es nieve reciente sobre este tipo de estructuras, pues en caso de desencadenarse el alud, la cantidad de nieve movilizable es mayor.

**2. De placa friable:** Este tipo de estructura es similar al caso anterior con la diferencia que la capa superior ha



Bloques de grandes dimensiones con origen en una alud de placa dura. Pirineo Aragonés. Enero de 2010. Foto: Cabo 1º de la Guardia Civil Manuel Rodríguez González del E.R.E.I.M. de Panticosa



Cornisa y placa. Pirineo Aragonés, Marzo 2010.  
Foto: Samuel Buisán

alcanzado una cierta cohesión pero mucho menor que en el caso anterior y por tanto muestra una menor resistencia a la penetración de una sonda. La forma de ruptura y desencadenamiento es similar al caso anterior, pero en este caso, el manto no se desprende en bloques, sino que lo hace de manera desmenuzable, como nieve suelta.

Esta clase de alud suele ser muy peligroso pues suele pasar inadvertido ya que al no ofrecer una clara resistencia el estrato superficial, es más difícil identificar las capas que componen la estructura de placa. Su formación es similar al caso anterior, salvo que no es necesario, en el caso más habitual, la acción de un viento moderado o fuerte.

En el presente artículo hemos presentado de manera simplificada aspectos generales respecto de la tipología de aludes y estructura del manto nivoso. Esta clasificación es heredada de países de latitudes más altas y con más tradición y estudios en el campo de la nivología. Las distintas cadenas montañosas de la Península Ibérica tienen características propias y distintivas tales como altitud, latitud, orientación, cercanía al mar y climatología de nevadas. Esto les confiere personalidad propia desde el punto de vista nivológico, diferente entre ellas y respecto a otras cadenas montañosas en otros países, lo que les confiere un interés y campo de estudio presente y futuro.

### Agradecimientos

Todos aquellos que participan y colaboran en el mantenimiento de la Red Nivológica en el Pirineo Aragonés tanto en la Delegación de AEMET en Aragón como en los refugios y estaciones de esquí. Centro de Estudios de la Nieve de Méteo France, Grenoble, Francia. Grupo militar y Guardia Civil de Montaña. También a David Momblona por sus comentarios.