

## EL MANTO NIVOSO

P O R

JAVIER FERRAZ CAMPO

Jefe del Negociado de Observatorios  
y Estaciones del C. M. Z. E. del I. N. M.

### LA NIEVE EN EL SUELO : ESTRATIFICACIÓN

A lo largo del invierno, la alternancia de períodos con y sin precipitaciones hace que la nieve se deposite en el suelo en capas más o menos paralelas.

El manto nivoso, en un instante dado, está pues constituido por una superposición de capas o estratos. Cada uno de ellos posee sus propias características variables según el tipo de cristal en el momento de la caída y las condiciones meteorológicas durante y después de la nevada.

Esta estratificación conduce así a la formación de un material heterogéneo.

La nieve depositada es asimilable a un cuerpo poroso, mezcla de aire y agua, en el cual el agua se encuentra bajo dos o tres fases.

Si los cristales de hielo y vapor de agua coexisten solos: la nieve se llama "fría" o "seca".

Si a las dos fases sólida y gaseosa viene eventualmente a añadirse la fase líquida: la nieve se llama "húmeda" o "mojada".

El agua en su fase líquida puede estar "ligada" es decir, una delgada película de agua rodea los granos de nieve.

O puede estar "libre" si se desplaza entre los granos de nieve por capilaridad o por gravedad.

### EVOLUCIÓN DE LA NIEVE EN EL SUELO : LAS METAMORFOSIS

La nieve en el suelo no es un material inerte en el tiempo. Desde el instante de su depósito —e incluso en el momento de su precipitación— la nieve está sometida a los efectos conjugados de varios factores de los cuales los más determinantes son las condiciones meteorológicas. Todo ello implica una evolución que lleva los cristales de nieve de su forma original (nieve reciente) a formas granulares (nieve evolucionada o nieve vieja).

Esta sucesión de transformaciones continuas o *metamorfosis* prosigue hasta la desaparición de la nieve en el momento de la fusión de primavera o de su neveificación en alta montaña (esta última fase no se aborda aquí).

Entre los factores de evolución de la nieve es preciso citar:

- la naturaleza de la nieve en el momento de la precipitación:
  - forma de los cristales, densidad, porosidad,
- las condiciones meteorológicas:
  - importancia de las precipitaciones,
  - viento,
  - temperatura del aire,
  - balance de la radiación en su superficie.

Dando por supuesto que la influencia de estas condiciones meteorológicas está modulada por el espesor del manto nivoso, la exposición y pendiente de las laderas, la altitud, etc.

Precisemos los efectos de algunos de estos parámetros:

*La naturaleza de la nieve* en el momento de la caída interviene como un factor de disposición de los cristales cuando se depositan en el suelo, formando así un material cuya densidad, porosidad y permeabilidad varían sensiblemente. Por ejemplo en el caso de la densidad de:

- 40- 90 Kgr/m<sup>3</sup> para nieve seca < - 5°C
- 90-180 Kgr/m<sup>3</sup> para nieve húmeda > pero  $\simeq 0^\circ$
- 140-290 Kgr/m<sup>3</sup> para la nieve venteada.

Como vemos la densidad más baja se da con tiempo frío, sin viento, cuando los cristales de tipo dendrítico (estrellas, partículas irregulares) caen aisladamente o forman un enmarañamiento de algunas unidades. Una vez en el suelo, las dendritas se enganchan bien entre ellas y dan a este tipo de nieve una cohesión llamada de "enfurtido".

Cuando en el curso de la precipitación la temperatura está próxima a 0°, las estrellas y demás cristales de hielo sufren un principio de fusión, aglomerándose en copos más o menos húmedos.

Las plaquetas y columnas caen en cristales aislados a bajas temperaturas, depositándose en forma de nieve muy ligera y sin cohesión: es la nieve "loca".

Las agujas dan lugar a nevadas poco importantes y se han observado con tiempo de niebla o cielo cubierto de estratocúmulos.

Las precipitaciones bajo forma de hielo granulado blanco (nieve granulada) tienen lugar generalmente bajo forma de chubascos.

#### *Apelmazamiento mecánico*

La nieve reciente es un material compresible, para una nevada de poca importancia la cohesión de enfurtido, por ejemplo, permite a las capas inferiores soportar sin daño el peso de las capas superiores. Si la nevada es más intensa, la presión llega a ser demasiado fuerte y se produce una ruptura de las

dentritas, su imbricación se hace más íntima, la nieve se apelmaza y se hace más densa.

### *Viento*

La influencia del viento sobre la nieve se traduce por un efecto de dislocación de los sistemas dendríticos, que en el curso de su transporte pueden chocar y romperse reduciéndose a partículas más finas.

Inicialmente pulverulenta la nieve venteada se vuelve rápidamente compacta, formándose en su superficie, placas más o menos duras y quebradizas. Por esta acción mecánica el viento provoca un aumento de la densidad de la nieve.

### *Radiación y temperatura del aire*

Difícilmente dissociables estos dos parámetros, de los cuales depende el perfil vertical de temperatura de la nieve, determinando, en la mayor parte de los casos el tipo de metamorfosis que seguirá.

Prácticamente se puede considerar una capa de nieve como un buen aislante térmico limitado por dos superficies cuyas temperaturas son frecuentemente diferentes.

La superficie en contacto con el suelo ve su temperatura ajustarse a la del suelo, que depende del flujo geotérmico) y que cuando el manto de nieve alcanza más de 50 cms. queda próximo a  $0^{\circ}$ .

Por el contrario las oscilaciones de temperatura en la superficie superior del manto son muy importantes (de  $0^{\circ}$  a  $-25^{\circ}$ ,  $-30^{\circ}$ C).

El balance radiativo con cielo cubierto o nieblas se aproxima a  $0^{\circ}$  y la temperatura superficial se acomoda a la temperatura del aire.

Con cielo despejado :

Por la noche el BR es negativo.  $TS < TA$ .

Durante el día el BR puede llegar a ser positivo.  $TS > TA$  (límite de  $TS \simeq 0^{\circ}$ C).

La conductibilidad térmica de la nieve es muy débil, por lo que cortas variaciones de temperatura, tales como las diurnas, sólo penetran en las capas superficiales (30 cms. más o menos).

Las capas más profundas son afectadas por un enfriamiento (o un calentamiento) si las variaciones de temperatura del aire tienen a la vez una gran amplitud y una duración bastante larga (varios días).

El enfriamiento de la nieve se caracteriza por :

- una velocidad de propagación muy débil,
- un amortiguamiento rápido de la oscilación de superficie.

Veamos un ejemplo :

Una capa de 200 cms. de espesor prácticamente isoterma a  $0^{\circ}$ C, sometida

a un enfriamiento que lleva la temperatura media del aire de  $-1,0^{\circ}$  a  $-16^{\circ}\text{C}$  en 9 días, quedó afectada del siguiente modo :

20 cm.	$8,0^{\circ}$ de enfriamiento en 48 horas
50 cm.	$4,0^{\circ}$ de enfriamiento en 80 horas
100 cm.	$1,5^{\circ}$ de enfriamiento en 6 días
150 cm.	$1,0^{\circ}$ de enfriamiento en 10 días

Estas diferencias de temperatura entre las capas superficiales y las capas profundas van a crear un gradiente de temperatura negativo, más o menos importante en el seno de la nieve.

Así pues, desde el punto de vista de la temperatura, una capa de nieve se caracteriza por un fuerte gradiente de temperatura o por una isoterma (débil gradiente).

En estos dos casos, excepción hecha de los efectos mecánicos y en ausencia de agua líquida, la transformación de la nieve se hace por difusión de vapor.

Esta difusión, bien en presencia de fuerte gradiente (metamorfosis de gradiente) o bien a temperatura constante (metamorfosis de isoterma o débil gradiente), conduce a la formación de granos de nieves evolucionada que presentan grandes diferencias morfológicas. Esta terminología fue propuesta por SOMMERFELD y LA CHAPELLE y tiene la ventaja de poner en evidencia el efecto preponderante de la temperatura en la transformación de la nieve.

La clasificación clásica se apoyaba en la forma de los granos y en la consecuencia de los procesos anteriores (metamorfosis destructiva y constructiva).

Un tercer tipo de metamorfosis de la nieve está provocado por la presencia de agua líquida, lo que es un factor muy activo de transformación de granos (metamorfosis de fusión).

Esta clasificación es como todas una simplificación. En virtud de la variabilidad de los parámetros meteorológicos y especialmente de la temperatura, la evolución de una capa de nieve puede comenzar con una metamorfosis de isoterma, después continuar con una metamorfosis de gradiente y recíprocamente.

### *Metamorfosis de gradiente*

El fuerte gradiente de temperatura activa la transferencia de vapor por difusión o por convección; en su ascendencia el vapor al contactar con los granos más fríos sufre una condensación sólida (sublimación inversa).

Este depósito provoca un engrosamiento de los granos cuyas talla puede alcanzar varios mm, formándose cristales de caras planas, estriadas, o pirámides huecas de base exagonal, bastoncillos alargados, etc., pero siempre con una estratigrafía en gradas y una falta de cohesión entre ellos. Es la nieve en cubiletes.

Se corresponde con la metamorfosis constructiva.

### *Metamorfosis de isoterma o débil gradiente*

Este proceso se explica por las variaciones de energía libre superficial, considerando el manto como un sistema en el cual las transformaciones son isotermas.

A temperatura constante la transferencia de vapor de agua por difusión se hace de tal manera que la energía libre superficial del sistema disminuye para alcanzar un estado de equilibrio. Ciertas partes del cristal juegan el papel de fuentes y desaparecen, otras juegan el papel de pozos y crecen.

Así se van formando pequeños granos más o menos redondeados que alcanzan aproximadamente 1 mm.

La metamorfosis de isoterma se corresponde aproximadamente con la metamorfosis destructiva.

### *Metamorfosis de fusión*

Es debida a la presencia de agua líquida en la nieve. Se traduce por un redondeo de los granos (minimización de la curvatura por efecto de la tensión superficial del agua líquida).

Esta fase líquida puede tener varios orígenes:

- 1) Fusión superficial o lluvia.
- 2) Fusión de la base de la capa de nieve producida por el flujo geotérmico. Este proceso es frecuente en altitudes medias.

Los ascensos de agua en estado líquido pueden producirse eventualmente por capilaridad.

- 3) Por último la fase líquida en una capa supuesta en las proximidades de 0°C puede tener por origen una fusión parcial de granos debido a una transferencia de calor por difusión térmica.

Esta fusión parcial se traduce en la formación de una película de agua líquida alrededor de los granos sin que haya saturación de nieve y por tanto sin infiltración. Cuando el agua rebasa (aproximadamente 20 a 30 % de su peso) un umbral, parte de esta agua escurre y puede alcanzar el suelo.

El conjunto está ligado por cohesión capilar y puede producirse la placa dura por la mañana y nieve podrida (sal gruesa) por la tarde.

### *Estabilidad del manto nivoso*

Las fuerzas internas que fijan la nieve a una pendiente son sus anclajes al suelo, a otra capa, a las rocas o a los árboles, resistencia al cizallamiento dada la cohesión que une a los cristales entre sí y su fuerza de rozamiento debida a la forma irregular de los granos.

Las fuerzas que se oponen son: el espesor del manto nivoso, la sobrecarga y el ángulo de pendiente.

Mientras hay igualdad entre estas fuerzas opuestas el manto nivoso es estable.

Parámetros naturales que condicionan la estabilidad :

Perfil de la pendiente

Naturaleza del terreno y vegetación

Exposición de las pendientes

Estados de superficie de las diferentes subcapas que pueden resumirse en los siguientes :

*Estabilidad*

*Inestabilidad*

nieve costra

macro relieves debido al viento

superficie acolchada (lluvia)

micro penitentes

nieve reciente no apelmazada

escarcha

costra de radiación

superficie helada

La relación entre los parámetros meteorológicos y el tipo de alud que son susceptibles de engendrar puede concretarse en tres puntos :

Aludes de nieve reciente o nieve polvo

Aludes de placas

Aludes de fusión o primavera

ligados respectivamente a :

la intensidad de la precipitación

la calidad de la nieve y el viento

el efecto de la temperatura

## OBSERVACIONES

Para conocer y vigilar el manto nival se pueden efectuar diversas investigaciones, las más corrientes son :

- *El sondeo por penetración* que informa de manera cuantitativa sobre la resistencia a la compresión de las diferentes capas de nieve, permitiendo estimar el grado de estabilidad del manto nivoso.
- *El perfil estratigráfico* que tiene por objeto una apreciación cualitativa de la textura de los diferentes estratos, forma de los cristales, temperatura, contenido en agua líquida, pudiendo completarse con medidas de densidad y de resistencia al cizallamiento.

Entre las observaciones diarias en el manto nivoso, las más importantes son las referidas al parte nivológico de la clave NIMET, cuya primera parte es meteorológica

IiGG

Nddff

VVwwW

8N<sub>s</sub>Ch<sub>s</sub>h<sub>s</sub>

0T<sub>a</sub>T<sub>a</sub>UU

7RRT<sub>e</sub>T<sub>e</sub>

y la segunda es nivológica

$H_s H_s H_s T_s T_s$	<p>Espesor total de la nieve sobre la estación en centímetros.          Temperatura de la nieve.</p>
$H_p H_p S_n P_s P_s$	<p>Altura en centímetros enteros de la nieve caída en las últimas 24 horas.          Estado de la superficie de la capa de nieve.          Penetración en centímetros del primer tubo de sonda de golpeo, apoyado sobre la superficie de la nieve.</p>
$6L_1 L_2 L_3 L_5$	<p><math>L_1</math> Tipos de aludes observados en los alrededores de la estación en las últimas 24 horas.  <math>L_2</math> Tipos de pendiente en que se han producido.  <math>L_3</math> Altitud a la que se han producido.  <math>L_5</math> Información subjetiva de riesgo de aludes.</p>

Para la mejor descripción de  $L_1$  deberá atenderse a los siguientes criterios y características:

<i>Criterios</i>	<i>Características</i>	
forma de ruptura	salida puntual (nieve sin cohesión)	salida lineal (lámina de nieve)
posición de la superficie de deslizamiento	alud de superficie	alud de fondo
humedad de la nieve	alud de nieve seca	alud de nieve húmeda
forma del recorrido	alud por vertiente	alud por corredor
forma del movimiento	flujo aéreo	flujo de fondo