

CURVATURA VERSUS GRADIENTE TERMICO EN EL MANTO NIVOSO EN PICOS DE EUROPA.

Odón Hernández Holgado

Delegación Territorial de AEMET en Cantabria

C/ Ricardo Lorenzo s/n, Santander ohernandezh@aemet.es

I.-Introducción

Desde el año 2009 en que se comenzaron las gestiones encaminadas a la puesta en marcha de un boletín de peligro de aludes para la zona del Parque Nacional de Picos de Europa, se ha andado un largo camino. Nos parecía que este fin merecía un esfuerzo y que las actividades profesionales realizadas en esa área por los servicios de Protección Civil enfocados al rescate, especialmente la Guardia Civil de Montaña, de las actividades recreativas de los esquiadores, escaladores, senderistas, de los servicios de carreteras, electricidad, telefonía, y en general de la población de montaña, requerían la información del peligro de aludes al que podían estar expuestos.

Pero, para la elaboración de un boletín lo principal era crear una red de colaboradores, que nos informaran de la meteorología, la cota de nieve, el espesor de la nieve caída, el tipo de nieve, y un largo etc., y de vital importancia era encontrar personal colaborador para la realización de los sondeos del manto nivoso. Personal que debía estar especializado o al que debíamos formar.

Con la colaboración del personal de AEMET de Zaragoza se realizaron dos cursos de formación en el año 2010, uno teórico-práctico de nivología y otro de predicción del peligro de aludes, enfocados a la preparación del personal tanto externo como interno a AEMET y que iba a realizar las tareas de observación nivológica, y la elaboración del boletín de peligro de aludes (BPA).

Se realizaron numerosas reuniones con los colaboradores y la Dirección del Parque Nacional de Picos de Europa en Cangas de Onís y se fue estableciendo un sistema de observación y envío de datos a la Delegación de Cantabria. Se fijaron los lugares de observación el tipo de datos que requeríamos y se realizaron

reuniones anuales donde se revisaron el resultado de las campañas, tratando de mejorar el resultado, asumiendo incluso esta Delegación, con ese fin, la

labor de realización de los sondeos del manto nivoso durante la campaña de 2012-2013.

En un futuro próximo será el Centro Nacional de Montaña de Zaragoza tome el relevo y elabore un BPA diario al igual que se realiza para el Pirineo. Por nuestra parte mantendremos las bases de datos actualizadas diariamente de modo que esos datos, en forma de gráfica, faciliten la información suficiente a los predictores de Zaragoza, para la elaboración del BPA. Además de seguir colaborando en la realización de los sondeos del manto nivoso durante las próximas campañas y tratando de, en colaboración con otros estamentos científicos, profundizar en el tema de la nivología y predicción del peligro de aludes para la zona de Picos de Europa.

II.- La red de observación

Para el seguimiento del cambio climático en el Parque Nacional de Picos de Europa, el organismo de PPNN instaló en el año 2007 ocho estaciones meteorológicas automáticas:

Macizo Occidental: Vega de Ario (1649 m, vertiente norte), Pico Cotorra (1505 m, vertiente sur) y Cordiñanes (672 m, sur entre macizos).

Macizo Central: Vega de Urriellu (1907 m, vertiente norte), Cabaña Verónica (2239 m, centro) y Mirador del Cable (1919 m, vertiente sur).

Macizo Oriental: Sotres (1257 m, vertiente norte).

Al sur de los tres macizos: Corisco (1751m)

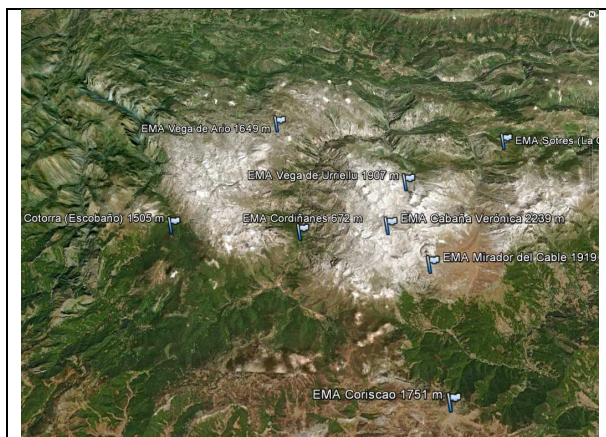


Fig. 1 EMAS del PN de Picos de Europa. Imagen Google Earth.

La guardería del PN de Picos de Europa diariamente durante la campaña de nieve, que normalmente abarca el periodo entre finales de diciembre y mayo, envía por correo electrónico a la Delegación de Cantabria los datos establecidos, desde 4 puntos prácticamente fijos:

Macizo Occidental: Lagos de Covadonga (1000 m, orientación norte), Collada Blanca (1756 m, orientación sur) o Puertos de Panderrueda (1460 m, orientación sur).

Macizo Central: Collado de Llesba (1676 m, orientación sur) y Jito de Escarandi (1260 m, orientación norte).

Macizo oriental: Jito de Escarandi (1260 m, orientación norte).

Una referencia clave son los datos de espesores de nieve registrados en el telenivómetro de Valdecebollas, perteneciente a la Confederación Hidrográfica del Ebro y situado en la Cordillera, próximo al Pico Tres Mares entre Cantabria, Palencia y Burgos y a una altura de 1910 m. También contamos con los datos de observación de espesores mediante WebCam y un poste medidor de espesor de nieve en el refugio de Collado Jermoso (2064 m, vertiente sur).

La red de EMAS de AEMET que está próxima al Parque Nacional de Picos de Europa la constituyen: Carreña de Cabrales (458 m) y Tresviso (900 m) en la vertiente norte, Fuente Dé (1000 m) al sur y Amieva (180 m) en la zona asturiana.

Para la realización de los sondeos del manto nivoso se nombraron colaboradores de AEMET a personal especializado con formación AEMET y ACNA en nivología y aludes.

Se fijaron unos puntos de sondeo, de fácil accesibilidad y próximos a las estaciones meteorológicas automáticas.



Puntos de sondeo.
Fig. 2 Puntos de sondeo en "Fuente escondida" junto al Altaiz y en la Canal de San Luis, ambos próximos a las EMAS de Cabaña Verónica y El Cable

Se realizaron semanalmente 1 o 2 sondeos del manto nivoso durante cada campaña, además de los correspondientes test de estabilidad.

III.- Elaboración del boletín de peligro de aludes (BPA). Los datos de observación.

Los datos de observación citados en el capítulo anterior se presentan en forma de gráficas para facilitar el trabajo al predictor que elabora el BPA:

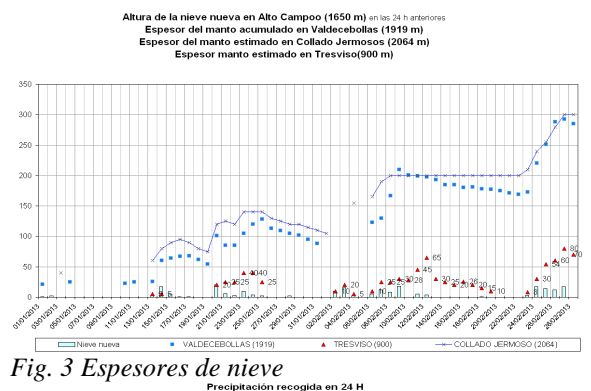


Fig. 3 Espesores de nieve

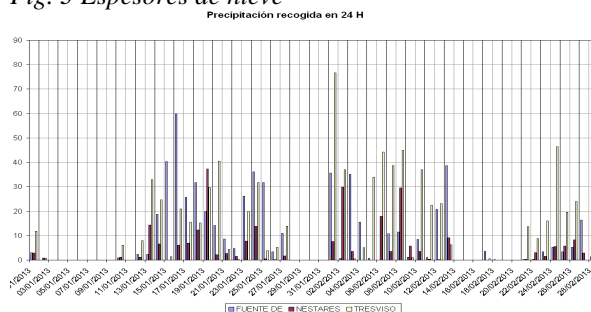


Fig. 4 precipitación en 24 horas en Fuente Dé y Tresviso

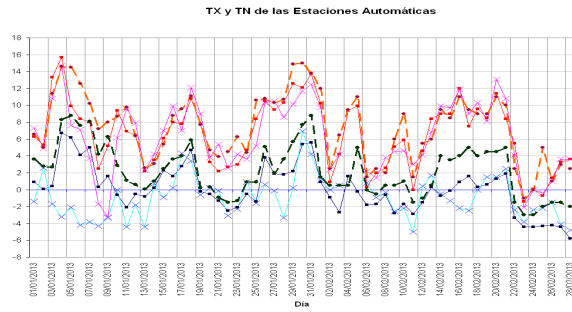


Fig. 5 Temperaturas extremas en Fuente Dé y Tresviso

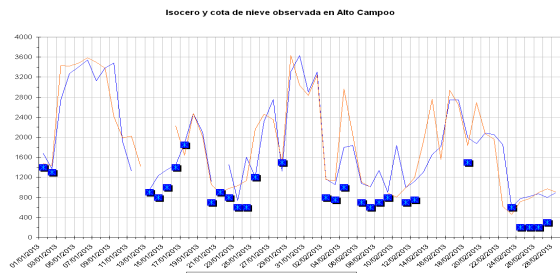


Fig. 6 Isocero extraída del sondeo de Santander a 00 y 12 UTC y cota de nieve observada en Alto Campoo

Los datos del sondeo del manto nivoso, los resultados de los test de estabilidad y los documentos gráficos como fotografías y videos completan la información recibida.

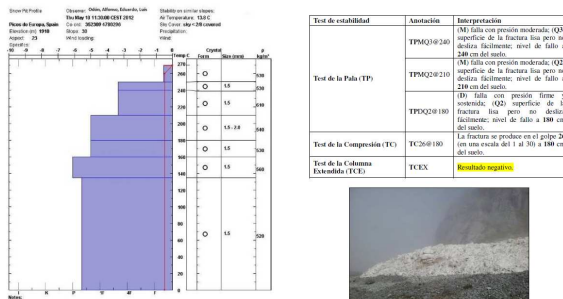


Figura 15: Depósito del alud de 5/3/2012 al pie del conito, en la Canal de Astón Fuente: Vehículo de Colada Arremon

Fig. 7 Gráfica del sondeo del manto nivoso el 10 de mayo de 2012 en la Canal de San Luis a 1910 m. Test de estabilidad y depósito de un alud de fondo dos días antes.

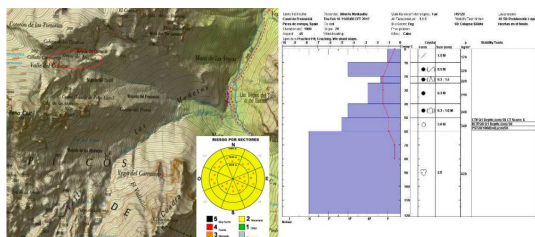


Fig. 8 Sondeo realizado en la Canal de Fresnedal el 16 de febrero de 2012. Riesgo estimado por el colaborador por sectores



Fig. 9 Diferencia entre terreno simple y complejo. Alud el día 12/02/2012 en la Canal de las Arredondas (48 % de pendiente media). A la derecha Valle de las Moñetas (28% de pendiente media). Imagen Google Earth.Fotografía: Fernando Calvo.

Durante las campañas de predicción de aludes de los últimos tres años se elaboró un BPA semanal, realizado el jueves y valido para el viernes, sábado y domingo, extendiéndose a un periodo mayor si coincidía con un número mayor de días festivos. El nivel de peligro previsto en el boletín se verificaba con el peligro estimado por los colaboradores.

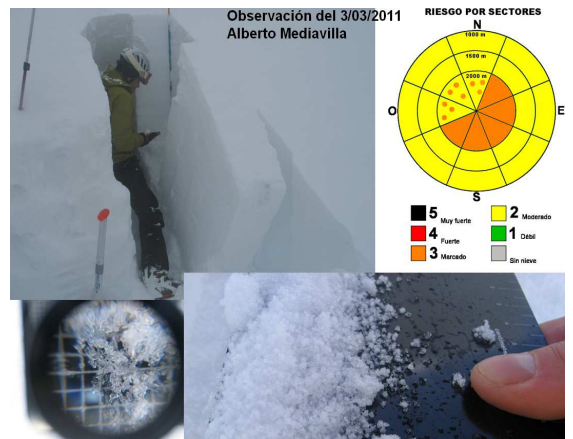


Fig. 10 Observación del 3 de marzo de 2011. Peligro estimado por sectores y presencia de nieve granulada. Fotografías: Alberto Mediavilla.

IV.- Elaboración del boletín de peligro de aludes (BPA). Método.

El formato del boletín contenía tres bloques. Un primer bloque con el peligro previsto para mañana (viernes). Un segundo bloque con el estado del manto nivoso y su evolución probable a la vista de las previsiones de temperatura, nubosidad, precipitaciones líquidas o sólidas, tipo y cantidad de dichas precipitaciones, previsión de cielos despejados

o no durante las noches y por tanto heladas o irradiación nocturna de la superficie de la nieve, formación de costras, formación de placas de viento, etc., que daba paso a un **tercer bloque** de previsión del peligro de aludes para el fin de semana.

Toda la información, tanto de observación como de predicción se integra para dar una predicción de peligro de desencadenamiento de aludes mediante el uso de diversas herramientas de uso habitual y que están contenidas en la Guía Nivometeorológica de AEMET.

PROBABILIDAD DE DESENCADENAMIENTO DE ALUDES	PROBABILIDAD DE DESENCADENAMIENTO EN FUNCIÓN DE LA SOBRECARGA O DEL TAMAÑO DE LOS ALUDES										
	EN GENERAL CON SOBRECARGAS FUERTES	PRINCIPALMENTE CON SOBRECARGAS FUERTES TAMBIÉN POSIBLES CON SOBRECARGAS DÉBILES	YA POSIBLES CON SOBRECARGAS FUERTES	POSIBLES CON SOBRECARGAS DÉBILES	SALIDAS ESPONTÁNEAS DE ALUDES EN CASOS DE SOBRECARGAS FUERTES	DE SALIDAS ESPONTÁNEAS DE ALUDES EN CASOS DE SOBRECARGAS FUERTES	DE SALIDAS ESPONTÁNEAS DE ALUDES EN CASOS DE SOBRECARGAS FUERTES	DE SALIDAS ESPONTÁNEAS DE ALUDES EN CASOS DE SOBRECARGAS FUERTES	DE SALIDAS ESPONTÁNEAS DE ALUDES EN CASOS DE SOBRECARGAS FUERTES	DE SALIDAS ESPONTÁNEAS DE ALUDES EN CASOS DE SOBRECARGAS FUERTES	DE SALIDAS ESPONTÁNEAS DE ALUDES EN CASOS DE SOBRECARGAS FUERTES
ALGUNAS LADERAS CON ALUDES ESPECIFICABLES EN EL BOLETÍN (*)	1	2	2	2	1	2					
ALGUNAS EN ALGUNAS LADERAS ESPECIFICABLES EN EL BOLETÍN (*)	2	2	3	3	2	3	3				
ALGUNAS EN MUCHAS LADERAS ESPECIFICABLES EN EL BOLETÍN (*)	2	2	3	4	2	3	4	4			
ALGUNAS EN MUCHAS LADERAS CON FRENTERAS EMPINADAS (**)	2	3	4	4	3	4	4	5			
ALGUNAS TAMBIÉN EN LADERAS CON FRENTERAS EMPINADAS (**)				5	4	5	5	5			

* Laderas especificables en lo referente a altitud, exposición y/o relieve.
 ** Las laderas con aludes son demasiado numerosas o están distribuidas de forma demasiado difusa como para ser especificables en función de su altitud, exposición y/o relieve.

Fig. 11 Matriz para la estimación del nivel de peligro de aludes (fuente: EAWS)

Indicador	INDICADORES PREVIOS DEL PELIGRO POTENCIAL DE ALUDES		
	Mayor peligro de aludes	Peligro indeterminado	Menor peligro de aludes
Estado del cielo	Despejado	Despejado con neblina o estratocumulus	Nublado
Temperatura	Superior a 10°C	Entre 0°C y 10°C	Inferior a 0°C
Velocidad del viento	Superior a 10 km/h	Entre 5 y 10 km/h	Inferior a 5 km/h
Humedad	Superior a 80%	Entre 60% y 80%	Inferior a 60%
Estado de la nieve	Despejada	Con nieve reciente o poco compactada	Con nieve compactada o con costra
Estado de la vegetación	Despejada	Con nieve reciente o poco compactada	Con nieve compactada o con costra
Estado del terreno	Despejado	Con nieve reciente o poco compactada	Con nieve compactada o con costra
Estado de la nieve	Despejada	Con nieve reciente o poco compactada	Con nieve compactada o con costra

Fig. 12 Guía para la estimación del nivel de peligro local de aludes a partir de las observaciones nivometeorológicas. (CUADRO ADAPTADO DE PROGRAMA COMET Traducción AEMET D.T. en Aragón)

Significado/Estabilidad	Puntuación numérica	Puntuación (letra)	Abreviatura	Rutachblock (RB)	Compresión (CT)	Columna extendida (ECT)	Pala (ST)
Inestable (aludes variables pueden desencadenarse)	1	ROJO	Colapsa (C)	El bloque cede sin que se ayude la columna o se apoye la pala	Fracturas manetas se ayuda la columna o se apoye la pala	Fracturas manetas se ayuda la columna o se apoye la pala	El bloque sale manetas se cota
Inestable	2	ROJO	Muy Fácil (VF)	El bloque cede cuando el resguardar se pone sobre el	1-6 golpes (sentada desde la maneta)	1-6 golpes (sentada desde la maneta)	Corte limpio al avanzar la boca de la pala
Inestable	3	ROJO	Fácil (F)	El bloque cede con la flexión rápida de cordillo	7-12 golpes (maneta + codo)	7-12 golpes (maneta + codo)	Fractura al ejercer una tracción moderada
Moderadamente Inestable (energéticamente estable)	4	AMARILLO	Moderado (M)	El bloque cede en el primer salto (granado)	13-18 golpes (codo)	13-18 golpes (codo)	Fractura al ejercer una tracción moderada
Moderadamente Inestable	5	AMARILLO	Moderado a Difícil (MH)	El bloque cede en el segundo salto (granado)	19-24 golpes (codo + brazo)	19-24 golpes (codo + brazo)	Fractura de forma irregular al ejercer una tracción moderada
Moderadamente Estable	6	VERDE	Difícil (H)	El bloque cede con tres vientos salios grandes	25-30 golpes (brazo)	25-30 golpes (brazo)	Fractura tras ejercer una tracción fuerte y sostenida
Estable	7	VERDE	No cede (N)	El bloque no cede	El bloque no cede	El bloque no cede	El bloque no cede

Fig. 13 Comparación aproximada de las puntuaciones de los principales Test de Estabilidad del manto nivoso (adaptada de Moore, 2006 y AINEVA)

La estimación del peligro de desencadenamiento de aludes se basa en la Escala Europea de Peligro de Aludes, establecida en 5 niveles. La estimación tendrá validez en el entorno de la observación (una zona más o menos cuadrada de 10x10 km).

Nivel de peligro	Icono	Estabilidad del manto nivoso	Probabilidad de desencadenamiento de aludes
5. MUY FUERTE		El manto nivoso es en general muy inestable.	Son esperables numerosos aludes grandes, a menudo muy grandes, desencadenados espontáneamente, incluso en laderas sólo moderadamente inclinadas.
4. FUERTE		En la mayoría de laderas empinadas el manto está débilmente estabilizado.	Es probable el desencadenamiento de aludes incluso mediante sobrecargas débiles (*), en muchas laderas empinadas. En algunos casos, son posibles aludes de tamaño mediano y, frecuentemente grande, desencadenados espontáneamente.
3. NOTABLE		En muchas laderas empinadas (*) el manto nivoso está sólo moderadamente estabilizado.	Es posible el desencadenamiento de aludes, incluso por sobrecargas débiles (*), especialmente en laderas empinadas propicias (*). En algunos casos, son posibles aludes de tamaño mediano y, en casos aislados, de tamaño grande, desencadenados espontáneamente.
2. LIMITADO		En algunas laderas empinadas (*) el manto nivoso está sólo moderadamente estabilizado; en el resto de laderas está en general bien estabilizado.	En algunas laderas empinadas (*) el manto nivoso está sólo moderadamente estabilizado; en el resto de laderas está en general bien estabilizado. Es muy poco probable que se desencadenen espontáneamente aludes grandes (**).
1. DÉBIL		El manto nivoso está en general bien estabilizado.	En general sólo es posible el desencadenamiento de aludes en laderas muy inclinadas o en terreno especialmente desfavorable (*) y a causa de sobrecargas fuertes (**). Espontáneamente sólo pueden desencadenarse coladas o aludes pequeños.

(*) Las áreas propicias a los aludes se describen con mayor detalle en los boletines de peligro de aludes (altitud, orientación, tipo de terreno, etc.)
 (**) Sobrecargas: Dabli un único esquiador o surfista, moviéndose con suavidad y sin caerse. Un grupo de personas que respeta la distancia de seguridad (mínimo de 10 m) Un raquetista.
 (***) Fuerte: dos o más esquiadores, surfistas etc. sin respetar la distancia de seguridad. Máquinas pisanieves u otros vehículos que circulan sobre la nieve, explosivos. Ocasionalmente, un único excursionista o escalador.

(*) Pendientes propicias a los aludes son aquellas que reúnen determinadas condiciones de inclinación, configuración del terreno, proximidad de la cresta.
 (***) Las características de estas pendientes, generalmente, están precisadas en el boletín: altitud, exposición, topografía.

Fig. 14 Escala Europea de Peligro de Aludes

Ejemplo de BPA elaborado el 24 de febrero de 2011 para los días 25 (viernes), 26 (sábado) y 27 (domingo) y peligro estimado por el colaborador.

RIESGO ESTIMADO por los observadores DIA 24/02/2011

POSICIÓN: Andrés Arón (Albuja y situación dentro de una zona): CUBO 1800m (Zona del Corisco)

FECHA Y HORA: 25/02/2011 14:30h

ESTIMACIÓN DEL RIESGO:
 1: débil en general.
 2: en laderas sur y en las horas centrales del día

FECHA Y HORA: 26/02/2011 16:30h
ESTIMACIÓN DEL RIESGO:
 1: débil en general.
 2: en laderas sur y en las horas centrales del día

FECHA Y HORA: 27/02/2011 16:30h
ESTIMACIÓN DEL RIESGO:
 2: limitado. El viento habrá vuelto a formar placas y costras a gran altura, pero la nieve húmeda de estos últimos días estará más dura y asentada por la bajada de las temperaturas

Fig. 15 Riesgo estimado y previsto durante los días 24, 25, 26 y 27 de febrero de 2011

V.- Verificación de la predicción de peligro de aludes contenida en el BPA.

Con los datos de peligro estimado de desencadenamiento de aludes proporcionados por los colaboradores y el riesgo previsto en los boletines elaborados cada semana durante los años 2011, 2012 y 2013 se obtiene una verificación subjetiva de la

predicción de peligro de aludes, según la escala europea de cinco niveles de peligro.

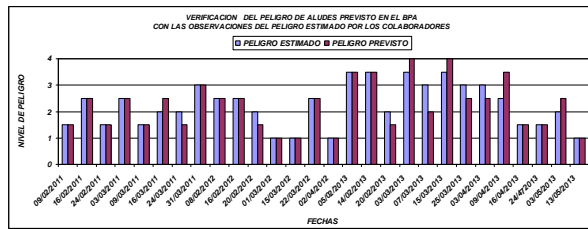


Fig. 16 Verificación peligro estimado versus peligro previsto en los BPAs.

El año 2013 ha sido el año con mayor número de episodios de nieve y mayores espesores de los tres años. Por esta razón, el peligro de desencadenamiento de aludes ha subido uno o dos niveles en la escala europea, respecto de los años anteriores.

El peligro previsto en los BPAs del periodo 2011, 2012 y 2013 se aproxima a una distribución de gauss, con los extremos en los niveles de peligro 1, 3 a 4 y 4, siendo mayoritarios los niveles 1 a 2 y 2 a 3, lo que parece aceptable, aunque hay una cierta sobreestimación del peligro de aludes en los BPA.

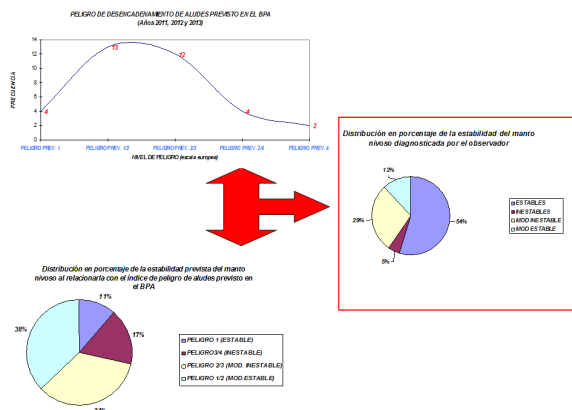


Fig. 17 Verificación del peligro previsto en el BPA (en términos de estabilidad) utilizando la estimación de peligro del observador.

VI.- Tipos de cristales y gradiente térmico en Picos de Europa

Tal como recoge la Guía de observación nivológica de AEMET, los granos o cristales del manto nivoso se identifican, con la ayuda de una lupa, por su aspecto y por su diámetro (medido en décimas de mm). Con este fin nos servimos de la **placa milimetrada o granulométrica** de nieve, en la que hay dibujos esquemáticos de los diferentes tipos de grano y rejillas de distintas dimensiones.

En cada capa puede haber más de un tipo de grano. Siempre anotarán los símbolos de los dos tipos predominantes, poniendo en primer lugar el más abundante. Si sólo hay un tipo de grano, se pondrá su símbolo por duplicado.

La clasificación de los cristales de nieve de la *International Association of Cryospheric Sciences* (IACS) es muy detallada, y a menudo los granos presentan características mixtas entre unos tipos y otros. En la práctica, tratamos de encuadrar las formas que encontramos en un conjunto reducido de tipos, asignándoles el tipo más parecido. Los principales tipos de grano y sus símbolos son:

Tipo de grano o cristal	Símbolo (IACS)	Código y color (IACS)
Nieve reciente	+	PP
Nieve granulada	⊗	PPgp
Partículas reconocibles	/	DF
Granos finos	•	RG
Granos de caras planas	□	FC
Cubletes	^	DH
Granos redondos	○	MF
Costra de rehielo	⊙	MFcr
Capa de hielo	■	IF
Escarcha	∨	SH

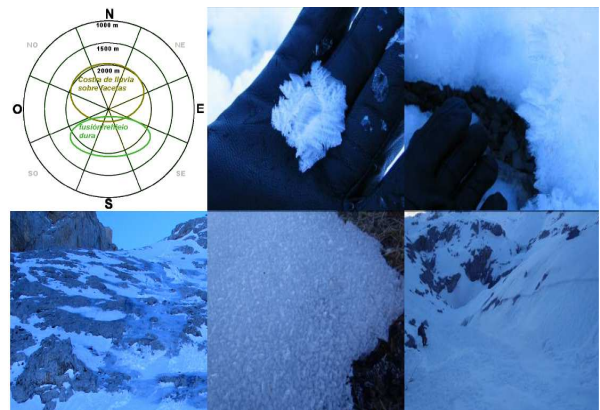


Fig. 18 Observación del 24 de enero de 2012 en el Macizo central de Picos de Europa. Fotografía Alberto Mediavilla

La observación que se realiza incluye fotografías del entorno, tipo de cristales significativos, un gráfico de la distribución por sectores y comentarios del observador, como el siguiente: “La fusión–rehielo se observaba en orientaciones sur. La costra de lluvia fue debida al rehielo de la lluvia caída los días previos 18 y 19 de enero, con la cota de nieve ascendiendo a 2300-2500 m. Las facetas se formaron en las noches despejadas en las que la superficie de la nieve se enfría tanto que el gradiente de temperatura dentro de los 20 cm de espesor es fuerte. También son buenas condiciones para la formación de escarcha de superficie. Los aludes de fusión en las direcciones, este, norte y oeste tuvieron su origen en la lluvia del día 18 de enero, como delatan los canales de lluvia sobre la superficie de la nieve que pueden verse en la imagen inferior izquierda. La

costra de lluvia, de unos 4 cm de espesor, rompía fácilmente, y debajo había facetas sin cohesión y más abajo hielo muy duro”.

La nieve es un buen aislante por su contenido de aire que tiene una baja conductividad. Este contenido alcanza casi el 90% en el caso de nieve reciente, de 100 kg/m³ de densidad, y es superior al 70% cuando se trata de nieve de grano fino compactado de 250 kg/m³. Y es esta capacidad aislante la que permite mantener gradientes de temperatura dentro del manto nivoso, entre la base del manto a 0° C y la superficie de la nieve a una temperatura inferior.

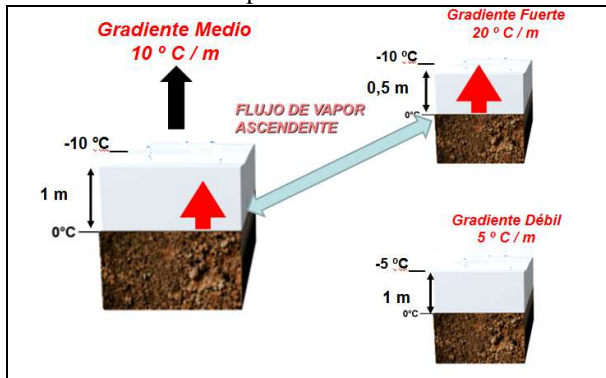


Fig. 19 Gradiente débil, medio y fuerte de temperaturas dentro del manto nivoso.

Dirección ascendente del flujo de vapor, forzado por el gradiente de temperaturas. Ilustración procedente de

Módulos COMET:
<http://www.meted.ucar.edu/afwa/snowpack/>

La temperatura de la superficie depende de la temperatura del aire o del calentamiento o enfriamiento radiativo diurno o nocturno. El vapor en forma de millones de moléculas asciende desde la zona de mayor temperatura a la de menor produciéndose una sublimación inversa, y la formación de caras planas en la base de los granos que constituyen el manto nivoso. Si el gradiente de temperatura dentro del manto nivoso es fuerte y persistente (>20° C/m) las caras planas se forman sucesivamente, formando columnas, denominadas cubiletes o escarcha de profundidad. Sin embargo, si el gradiente es débil, no existe una conducción forzada del vapor.

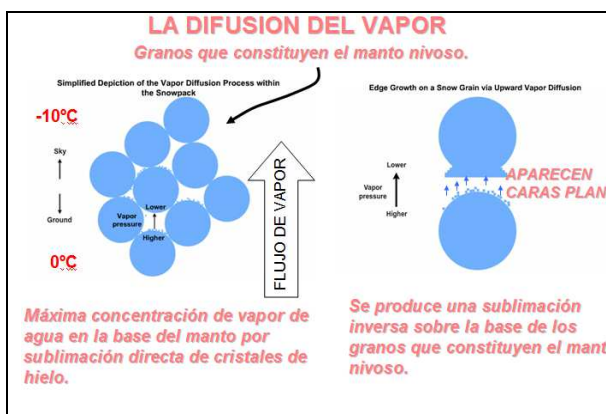


Fig. 20 Flujo de vapor ascendente debido al gradiente medio dentro del manto nivoso. Aparición de caras planas.

Ilustración procedente de Módulos COMET:
<http://www.meted.ucar.edu/afwa/snowpack/>

En los cuarenta sondeos realizados en Picos de Europa los cristales predominantes son en este orden: grano redondo, grano fino, nieve granulada y caras planas. Las caras planas son fundamentalmente formas mixtas.

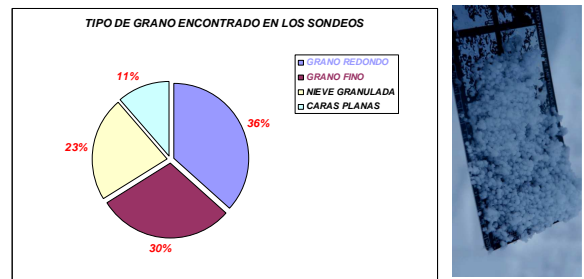


Fig. 21 Tipo predominante de cristal encontrado en los sondeos realizados en Picos de Europa. Nieve granulada.

La presencia de nieve granulada responde a la situación meteorológica típica de nevadas en el Cantábrico con descarga fría postfrontal, con predominio de nubosidad de tipo células abiertas en aire frío muy inestable, con un gran contenido de gotitas subfundidas, que congelan al contacto con cristales de hielo, dando lugar a las conocidas bolas de nieve granulada opaca. Esta nieve granulada evoluciona muy lentamente a grano fino y constituyen una de las capas frágiles más comunes en Picos de Europa.

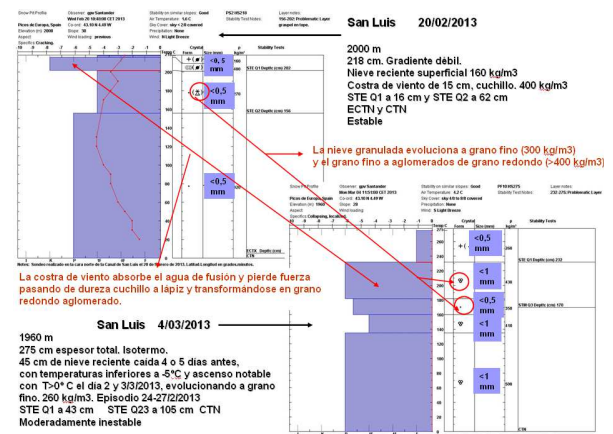


Fig. 22 Muestra la evolución de la capa de nieve granulada del sondeo del 20/02/2013 grano fino en el sondeo del 4/03/2013, catorce días después.

VII.- Metamorfosis de la nieve seca en Picos de Europa

En los sondeos realizados los gradientes encontrados están representados en la figura siguiente.

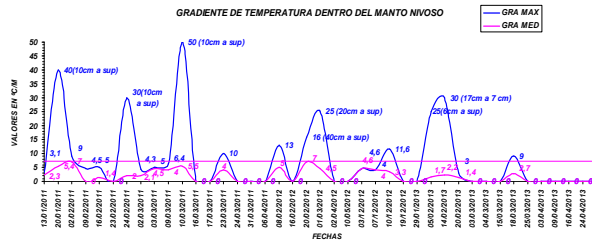


Fig. 23 Gradiante de temperaturas dentro del manto nivoso en los cuarenta y dos sondeos realizados durante los años 2011, 2012 y 2013

El gradiente medio no supera los $7\text{ }^{\circ}\text{C/m}$ que se corresponde con un gradiente moderado próximo a débil.

Los gradientes máximos en la inmensa mayoría de los casos se corresponden a un estrato superficial de poco espesor, normalmente de unos 10 o 20 cm, debido al enfriamiento de la superficie de la nieve durante la noche y por tanto se trata de gradientes fuertes no persistentes.

Predomina la metamorfosis de gradiente débil ($0\text{ }^{\circ}\text{C/m} < G < 5,0\text{ }^{\circ}\text{C}$) y en algunas ocasiones, pocas, se encuentra un gradiente medio ($5,0\text{ }^{\circ}\text{C} < G < 20\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Hay por tanto una tendencia marcada al redondeo de los granos, La transformación de nieve reciente en grano fino es rápida en general, dos o tres días, apelmazándose, cohesionándose y aumentando su densidad.

En ninguno de los sondeos realizados se han observado cubiletes.

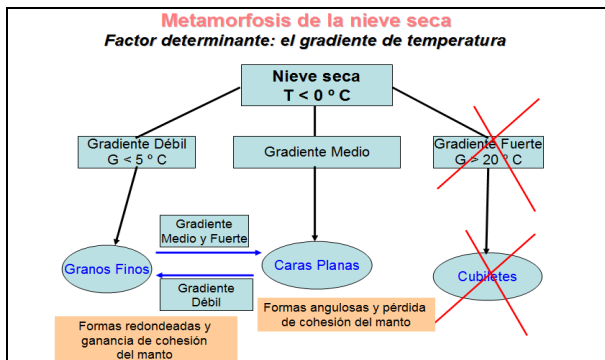


Fig. 24 Metamorfosis de la nieve seca en Picos de Europa, según las observaciones realizadas en los sondeos durante los años 2011, 2012 y 2013

De los dos procesos de metamorfosis de la nieve seca que son el de curvatura y el de gradiente térmico, en Picos de Europa, predomina el de curvatura.

El vapor, en un manto nivoso con gradiente débil, por sublimación inversa pasa a hielo, sobre las zonas cóncavas de los granos y ese calor latente de sublimación se invierte en sublimar las zonas convexas, vértices, zonas angulosas, de modo que el grano tiene una tendencia marcada al redondeo, que

implica una ganancia de cohesión del manto nivoso. Por el contrario, las formas angulosas y las caras planas se caracterizan por provocar una pérdida de cohesión del manto.

Al predominio de los gradientes débiles, colaboran también, los grandes espesores de nieve acumulados en Picos de Europa en invierno.

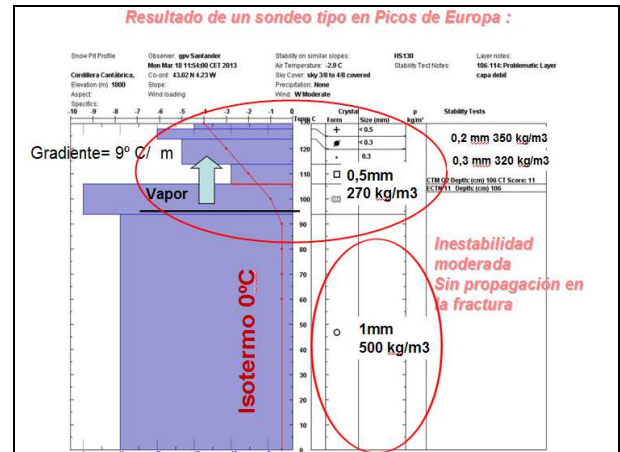


Fig. 25 Sondeo de 18/03/2013 a 1800 m en el macizo central de Picos de Europa

Es muy normal encontrar un manto nivoso que esté representado por el sondeo de la figura anterior, donde hay dos partes muy diferenciadas. Un metro de nieve vieja que ha sufrido ya reiterados procesos de fusión y rehielo, isothermo, formado por granos redondos de gran densidad (500 kg/m^3). Por encima del cual hay nieve reciente, caída varios días antes, con un gradiente de temperaturas medio y por tanto con un transporte de vapor ascendente que forma caras planas, de $0,5\text{ mm}$ de diámetro y que da lugar a una capa frágil de 10 cm de espesor (entre 105 y 115 cm desde la base del manto), a una profundidad de unos 20 o 30 cm de la superficie.

El test de compresión da un resultado CTM que es un valor medio, y el de la columna extendida resulta ECTN, esto es, sin propagación en la fractura. Estos resultados son también muy comunes en esta zona.

VIII.- La densidad de la nieve en el manto

La densidad de la nieve encontrada en los sondeos realizados, según el tipo de grano se refleja en el siguiente gráfico.

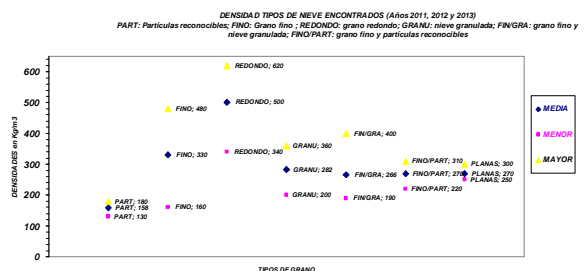


Fig. 26 Muestra la densidad en kg/m³ de la nieve, en función del tipo de grano (sondeos realizados durante los años 2011, 2012 y 2013). PART partículas reconocibles. FINO grano fino, REDONDO grano redondo, GRANU nieve granulada, FIN/GRA grano fino y nieve granulada, FINO/PART grano fino y partículas reconocibles, PLANAS granos con caras planas.

La densidad menor corresponde a una mezcla de nieve reciente y partículas reconocibles. La menor densidad encontrada es de 130 kg/m³ y la mayor de grano redondo 620 kg/m³, siendo la media de este último, 500 kg/m³.

El rango de densidad de las caras planas está entre 250 y 300 kg/m³, en una muestra muy pequeña, por su escasa presencia.

La nieve granulada registra densidades entre 200 y 360 kg/m³, inferiores al grano fino.

IX.- La estabilidad del manto nivoso. Condiciones de iniciación y propagación de las fracturas.

La estabilidad del manto nivoso depende de tres factores que se reflejan en la figura siguiente: la fuerza del manto nivoso, la calidad de las fracturas que refleja la energía elástica almacenada por la tensión a que está sometido una parte del manto nivoso y la estructura de capas de dicho manto.

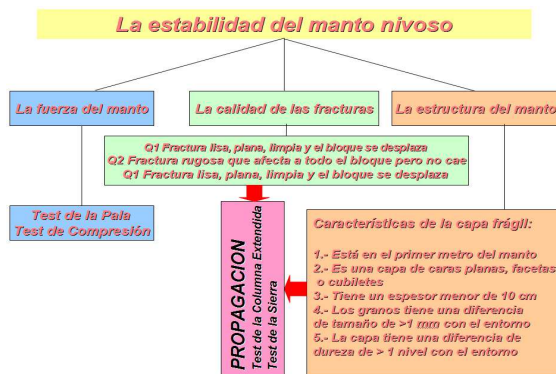


Fig. 27 Factores de los que depende la estabilidad del manto nivoso.

La iniciación de la fractura, que depende de la fortaleza del manto y de las características (cristales que la componen, calidad, profundidad, etc.) de la capa frágil donde se localiza la fractura, se detecta con los test de la Pala y de Compresión. Sin embargo, la propagación de la fractura, se diagnostica en base a la calidad de ésta y a la estructura del manto, utilizando los test de la Columna Extendida, de la Sierra, y mediante la realización de un sondeo detallado.

Siempre que se realiza un sondeo del manto nivoso se hacen los tests de estabilidad más frecuentes:

ST (Shovel shear Test), CT (Compression Test), ECT (Extended Column Test) y PST (Propagation Saw Test).

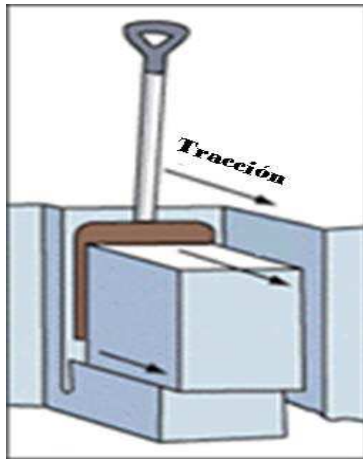
En la Guía para la observación Nivometeorológica de AEMET (Publicaciones en línea en la página web de AEMET) se describen estos test, tanto en cuanto al objetivo que persigue, como al procedimiento de realización y el análisis de los resultados.

El Test de la Pala- test Noruego o de Faarlund, es el más subjetivo. Busca la capa frágil mediante una tracción con la pala y en general sobreestima la inestabilidad.

Procedimiento:

Se aísla un bloque en forma de columna de 30x30 cm, con el frente mirando ladera abajo, cortando primero los laterales y después la parte trasera, hasta la profundidad a la que llegará la hoja de la pala, o hasta que haya una capa de nieve dura. Se inserta la hoja de la pala y se tira del mango con las dos manos, sin hacer palanca y en dirección paralela a la pendiente y hacia el observador, con el eje del mango lo más derecho posible. Si la columna rompe se marca la profundidad a la que lo hace, se retira esa parte y se repite el proceso anterior, tratando de localizar rupturas lisas y planas que salen fácilmente. Para cada capa débil encontrada, se anota la profundidad de la rotura, su calidad y el tipo de granos que la componen.





Debemos anotar también, el grado de esfuerzo necesitado para provocar la fractura:

Puntuación	#	Término	Descripción
STV	V	Very easy - Muy Fácil	Fractura (cae, se desmorona) al aislar el bloque o meter la pala
STE	E	Easy - Fácil	Fractura al tirar con poca fuerza
STM	M	Moderate - Mediana	Fractura al tirar con una fuerza mediana
STH	H	Hard - Difícil	Cae al tirar con un esfuerzo sostenido y considerable
STN	N	No shear - Imposible	No hay fractura

El Test de Compresión, que tiene como objetivo estimar la fuerza del manto y localizar sus capas débiles dentro de aproximadamente el primer metro de profundidad, viene descrito en la Guía para la observación Nivometeorológica de AEMET (Publicaciones en línea en la página web de AEMET) como sigue:

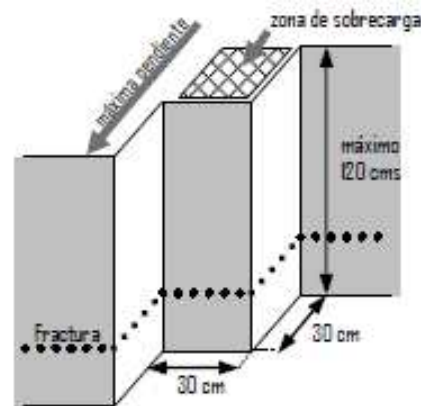
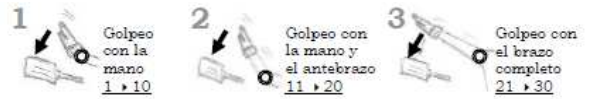
Procedimiento:

Se aísla un bloque de 30 x 30 cm, con el frente mirando ladera abajo, cortando los laterales y la parte trasera hasta una profundidad máxima de 120 cm, aunque habitualmente con 1 m es suficiente. Se despeja uno de los laterales para que el observador vea bien las fracturas. Se coloca la pala en plano sobre el bloque y se ejercen sucesivamente 3 series de 10 golpes sobre la pala. La 1ª serie de 10 golpes se da con la mano arqueada golpeando con las yemas de los dedos y articulando el movimiento con la muñeca. La 2ª serie el movimiento al golpear se articula a partir del codo y la 3ª serie de golpes con el puño y utilizando todo el brazo desde el hombro.

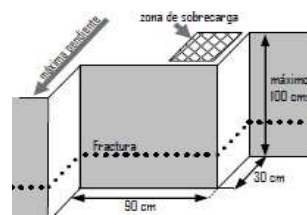
Hay que estar atentos a la aparición de la fractura y al número de golpe en que se produce, así como medir la profundidad, la calidad y el tipo de grano que aparecen en la fractura.

Debemos anotar también, el grado de esfuerzo necesitado para provocar la fractura:

Puntuación	#	Término	Descripción
CTV	V	Very easy - Muy Fácil	Fractura al aislar el bloque
CTE	E	Easy - Fácil	Fractura golpes desde la muñeca (CT1 a CT10)
CTM	M	Moderate - Mediana	Fractura golpes desde el codo (CT11 a CT20)
CTH	H	Hard - Difícil	Fractura golpes desde el hombro (CT21 a CT30)
CTN	N	No shear - Imposible	No hay rotura tras 30 golpes



El Test de la Columna extendida tiene como objetivo identificar fracturas capaces de propagarse a lo largo de una placa o bloque. Para provocar un alud de placa, no sólo es necesario que se produzca una fractura a consecuencia de un esfuerzo ejercido, también es necesario que esa fractura se propague a través del manto, poniendo en movimiento una cantidad grande de nieve. Su descripción en la Guía para la observación Nivometeorológica de AEMET (Publicaciones en línea en la página web de AEMET) es como sigue:





Procedimiento:

Se aísla un bloque de 90x30 cm (ancho x fondo), con el frente mirando ladera abajo, cortando los laterales y la parte trasera. Profundidad máxima de 120 cm y con uno de los laterales despejado para observar las fracturas.

Se coloca la pala en plano sobre **un extremo del bloque** y se ejercen sucesivamente 3 series de 10 golpes sobre la pala. La 1ª serie de 10 golpes se da con la mano arqueada golpeando con las yemas de los dedos y articulando el movimiento con la muñeca. La 2ª serie el movimiento al golpear se articula a partir del codo y la 3ª serie de golpes con el puño y utilizando todo el brazo desde el hombro.

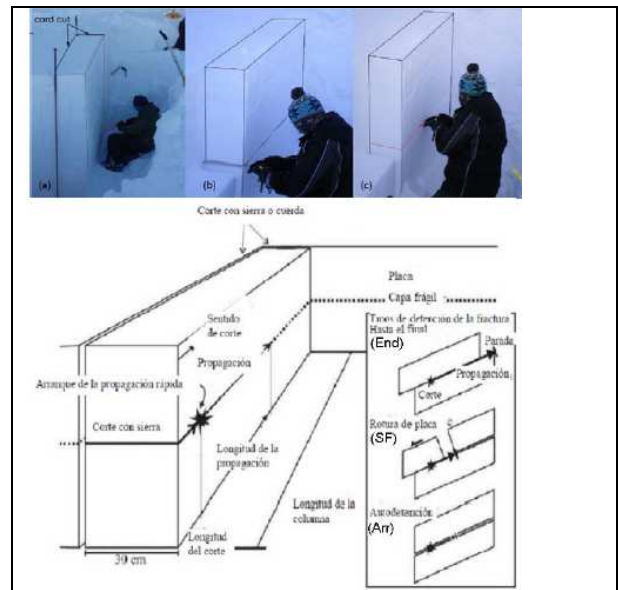
Hay que estar atentos a la aparición de la fractura y al número de golpe en que se produce, así como si se necesita más de un golpe adicional para que la fractura se propague completamente, hasta el extremo opuesto del bloque. Si no se propaga en el mismo golpe de la aparición de la fractura o en el siguiente se puede dar por finalizado el golpeo.

Como en todos los tests, se mide la profundidad de la capa de fractura, la calidad y el tipo de grano que aparecen en la fractura.

Puntuación	Término	Descripción
ECTPV	Propagation Very easy	La fractura se propaga a lo largo de toda la columna mientras se aísla el bloque.
ECTP##	Propagation ##	La fractura se inicia y se propaga a lo largo de toda la columna en el golpe ## ó ##+1
ECTN	No Propagation	La fractura no se propaga a lo largo de la totalidad de la columna hay 2 ó más golpes entre la iniciación y la propagación de la fractura
ECTNR	No Rupture	No se producen fracturas, no hay ruptura.

El Test de la propagación de la sierra (PST) sirve para valorar si una capa débil, previamente identificada -típicamente bajo una placa, formando una estructura de placa-, es propensa a propagar una

fractura ya iniciada, sin tener en cuenta la carga necesaria para iniciar la fractura.



Procedimiento:

Se despeja una pared vertical de la nieve y se identifica la capa débil a testar

Se separa completamente del resto del manto una columna de 30 cm (frente o ancho) por 100 cm (lateral ladera arriba o fondo), y profundo hasta la capa frágil o más, dejando un lateral despejado.

Se introduce la parte roma de la sierra en la capa débil por la parte frontal del bloque aislado y se va desplazando pendiente arriba, permaneciendo atentos al momento en que se propaga una fractura por delante de la sierra, a lo largo de la capa débil.

En el punto en que comience la propagación de la fractura por delante de la sierra, se detiene ésta y se mide.

Debemos anotar:

- La distancia recorrida con la sierra hasta el momento de producirse la propagación, que debe ser menor de 50 cm.
- La longitud de la columna (dimensión ladera arriba) que hemos aislado, en general 100 cm.
- La profundidad de la capa débil .

Resultado	Descripción
End	La fractura se propaga hasta el final de la columna (Fin)
SF (Slab Fracture)	La fractura se para por romperse la placa superior a la capa débil (RP, rompe la placa)
Arr (Arrest)	La fractura se detiene antes de llegar al final de la columna. (Par, parada)

La estimación de la estabilidad del manto nivoso realizada en base a los test de estabilidad y a los sondeos realizados en los tres años contemplados en el estudio, y utilizando como escala la expuesta en la figura 13, (*adaptada de Moore, 2006 y AINEVA*) dan los resultados de la figura siguiente:

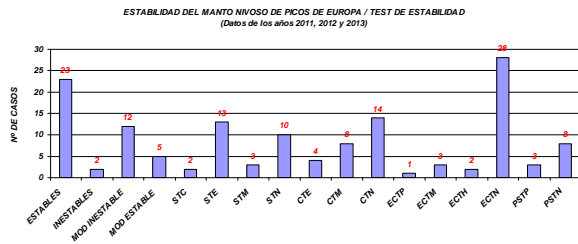


Fig. 28 Estimación de la estabilidad del manto nivoso según la tabla de la figura 13. Resultados de los test de estabilidad ST (Test de la pala), CT (Test de compresión), ECT (Test de la columna extendida), PST (Test de la sierra). Resultados de los test realizados durante los años 2011, 2012 y 2013.

*STC o STVE Muy fácil, STE Fácil, STM Moderado, STN Imposible. La misma nomenclatura para CT y ECT con excepción de ECTN que significa que no propaga la fractura. PSTP test positivo con propagación de la fractura hasta el final y PSTN que no propaga.

Tanto el Test de Compresión como el Test de la Columna Extendida dan una gran cantidad de resultados negativos. Es muy destacable, los datos del test de la Columna extendida que reflejan la mala propagación de la fractura inicial, tan frecuente en Picos de Europa.

También, la gráfica muestra, que predomina la estabilidad del manto nivoso en un elevado número de casos.

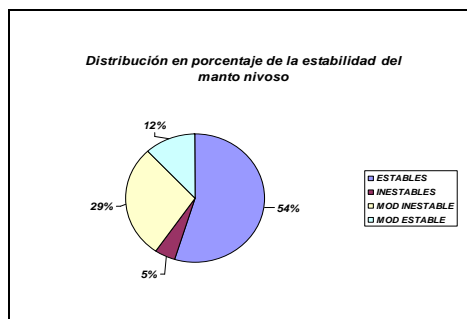


Fig. 29 Distribución en porcentaje de la estabilidad del manto nivoso durante los años 2011, 2012 y 2013.

Dentro de la estructura del manto nivoso, la existencia o no de capas frágiles y el tipo de capa frágil, así como las características que cumple dicha capa sirven para evaluar la inestabilidad del manto nivoso.

Dichas características o limones (Tremper, 2008), determinan la probabilidad de propagación de una fractura inicial y son:

- 1.- La capa frágil está en el primer metro del manto.
- 2.- Es una capa de caras planas, facetas o cubiletes.
- 3.- Tiene un espesor menor de 10 cm

4.- Los granos que la componen tienen una diferencia de tamaño con el entorno de más de 1mm

5.- La capa frágil tiene una diferencia de dureza con el entorno de más de 1 nivel

Cuanto más condiciones, de las expuestas, se cumplan mayor será la probabilidad de propagación.

En los sondeos realizados nunca se ha encontrado una capa frágil compuesta por cubiletes (escarcha de profundidad) y en pocas ocasiones, otros tipos de capas frágiles, como granizo y caras planas (facetas o formas mixtas).

Predomina, como capa frágil, de forma notable, la nieve granulada y las capas de distinta dureza y distinto tipo de grano.

En este último caso y en la mayoría de los casos, la capa frágil se sitúa entre un estrato de menor dureza sobre otro de mayor dureza con diferencias de uno o más niveles (1F sobre P, 4F sobre P incluso F sobre K). En bastante menor número de ocasiones, se da el caso contrario, un estrato de mayor dureza sobre otro de menor, aunque en este caso la diferencia es hasta de tres niveles (P sobre F). Siendo la escala de durezas reconocida internacionalmente:

	Dureza	Penetra	Código
1	Muy baja	Puño (Fist)	F
2	Baja	4 Dedos (4 Fingers) mano extendida, no puño	4F
3	Media	1 Dedo (1 Finger), no mano extendida	1F
4	Alta	Lápiz (Pencil), no dedo	P
5	Muy alta	Cuchillo (Knife), no lápiz	K
6	Hielo	Hielo (Ice), no cuchillo	I



Fig. 30. Escala manual de durezas. Fotografía Alberto Mediavilla.

En número, los tipos de capas frágiles encontradas se representan en la siguiente figura:

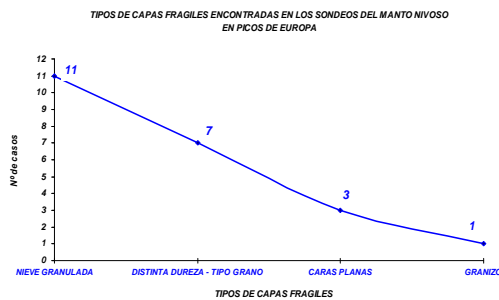


Fig. 31 Tipos de capas frágiles y número de veces registradas en los sondeos realizados en Picos de Europa

En la figura siguiente se muestra un ejemplo de capa frágil de un sondeo con nieve húmeda, de finales marzo de 2011. A pesar de tratarse de nieve húmeda, y siendo los test de estabilidad propios de nieve seca, el ECT es positivo en cuanto a propagación, en una capa a 40 cm de profundidad. Corroborándolo el test de la Sierra, que propaga hasta el final en la misma capa frágil.

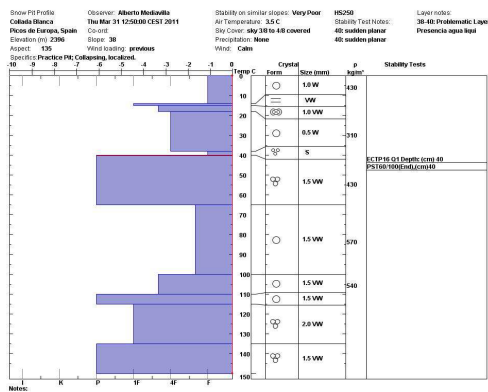


Fig. 32 Sondeo del manto nivoso del 31/3/2013. Capa frágil a 40 cm. Diferente dureza y humedad entre los aglomerados de grano redondo, arriba dureza puño, debajo dureza lápiz.

La calidad de las fracturas está relacionada con la liberación de la energía elástica almacenada en forma de tensión en la capa del manto susceptible de romper. Si la calidad es Q1, se libera sin dificultad, de forma repentina y el bloque se desplaza pendiente abajo (laderas inclinadas unos 30°) o se produce una fractura en escalón y se asienta de nuevo. Coincide en estos casos que la superficie sobre la que desliza es completamente plana y lisa, sin rugosidad alguna. Se sabe que la mayor parte de los aludes se producen con este tipo de calidad en la fractura. La calidad Q2 representa una situación en la que el bloque fractura pero no se desplaza. La energía se libera con mayor dificultad. La superficie de fractura puede presentar además alguna rugosidad. La calidad Q3 se caracteriza porque la superficie es claramente rugosa.

La observación de las fracturas encontradas, al realizar los test de estabilidad, da como resultado una calidad Q2 de forma mayoritaria y en mucha menor medida unas calidades Q1 y Q3.

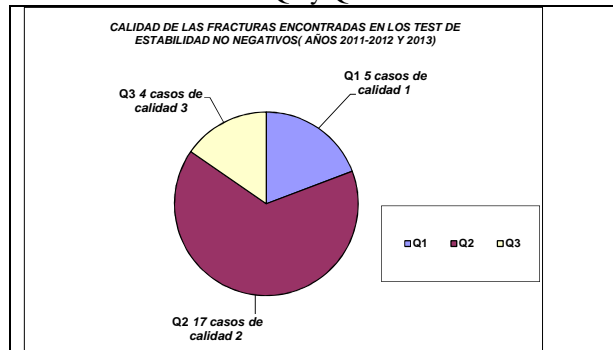


Fig. 33 Calidad de las fracturas encontradas en los tests de estabilidad realizados durante los años 2011, 2012 y 2013.

X.- Los diferentes tipos de aludes

Los tipos de aludes se presentan en tres grupos: Aludes de nieve reciente (incluidas las placas friables), aludes de placas duras y aludes de nieve húmeda (o de fusión).

En el Cantábrico la interacción entre la circulación atmosférica y la Cordillera dan lugar a cambios notables en las temperaturas, incluso en alturas iguales o superiores a 2000 m. Registrándose temperaturas positivas a esos niveles en pleno invierno.

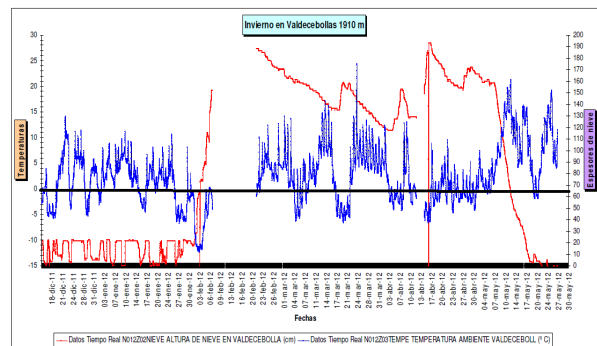


Fig. 34 En azul datos de temperaturas a 1910 m en el telenivómetro de Valdecebollas (Confederación Hidrográfica del Ebro) de 15 de diciembre de 2011 a 30 de mayo de 2012. En rojo espesores de nieve en cm.

Como puede verse, durante la campaña de invierno de 2012 se registraron nevadas con temperaturas inferiores a -10 °C a primeros de febrero en una sola ocasión, y el resto de episodios de nieve, se produjeron con temperaturas en torno a -5° C a esa altura.

Por el contrario se registraron frecuentes periodos de temperaturas positivas, algunos superiores a 5 °C a ese nivel.

Otra característica de la Cordillera Cantábrica es la gran cantidad de nieve que puede acumular en los sucesivos episodios de nieve, como en el caso de los primeros días de febrero de 2012, que incrementaron de forma notable el espesor del manto nivoso.

En Picos de Europa, la alternancia de ascensos y descensos de temperatura a un nivel de 2000 m es frecuente durante el invierno, con temperaturas positivas, a veces con lluvias, seguidas de descensos bruscos acompañados de nevadas, con lo que condiciones tan cambiantes, implican también grandes variaciones del peligro de aludes.



Fig 35 Canales de lluvia a 2200 m. Invierno de 2013 en el macizo Central de Picos de Europa

Estas dos características, la oscilación de temperaturas y las copiosas nevadas por encima de los 2000 m, condicionan el tipo de manto nivoso, su evolución y el tipo de aludes más frecuentes que se dan en Picos de Europa.

En la figura siguiente se recogen los espesores de nieve y las temperaturas en el telenivómetro de Valdecebollas a 1910 m y los registros, con fecha, de aludes informados por nuestros colaboradores.

Como puede observarse alternan los aludes de nieve reciente (puntual seca), con los de fusión (puntual húmeda), de forma completamente paralela a los episodios de nieve y de altas temperaturas.

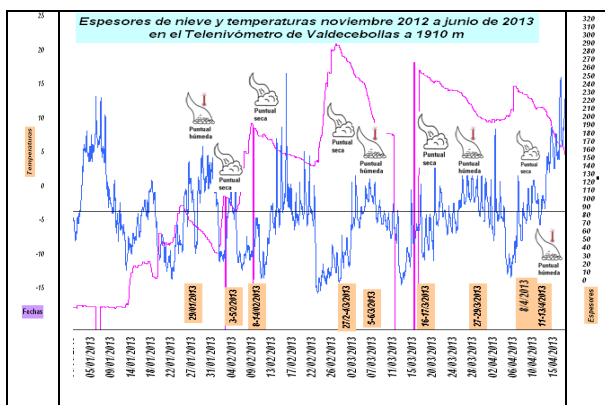


Fig. 36 Datos de espesores de nieve y temperaturas en el telenivómetro de Valdecebollas a 1910 m en el periodo comprendido entre el 5/1/2013 al 15/04/2013

con los símbolos del tipo de aludes y las fechas de registro

En cuanto a los aludes de placa, la formación de placas debidas a las nevadas con vientos moderados o fuertes debe producirse de forma habitual, si tenemos en cuenta la tabla de velocidad de sinterización en función de la temperatura y del tamaño de grano (Hobbs y Mason, 1964).

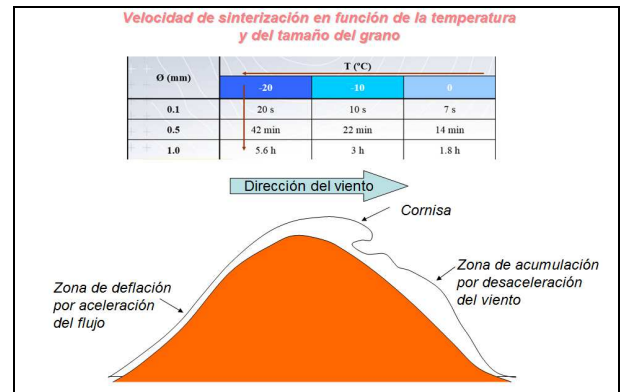


Fig. 37 Tabla de velocidad de sinterización (Hobbs y Mason 1964). Intervalos de temperatura: -20, -10 y 0 °C. Debajo, ilustración del transporte y acumulación de la nieve debida al viento.

Los fuertes vientos que acompañan a los episodios de nevadas en Picos de Europa dan como resultado un transporte de nieve y una velocidad de sinterización muy elevada tanto porque los granos finos debidos a la metamorfosis destructiva del viento tienen un tamaño muy pequeño, de 0,1 o 0,2 mm, como porque las temperaturas que acompañan a dichos episodios son en general a 2000 m de unos -5 o -6 °C. Por tanto, la formación de placas será muy rápida en general y esto es un factor que incrementa el peligro de aludes, debido a que la pérdida rápida de plasticidad de la nieve sinterizada implica anclajes deficientes sobre el terreno.

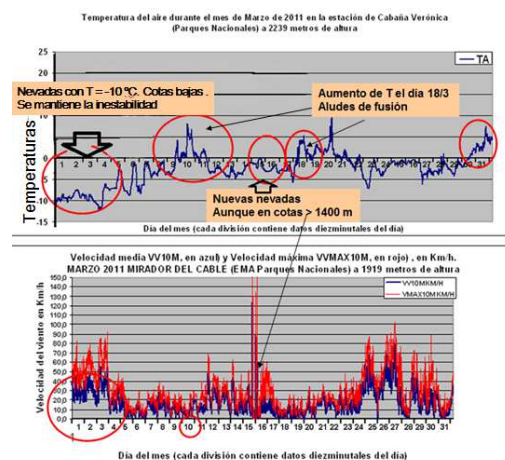
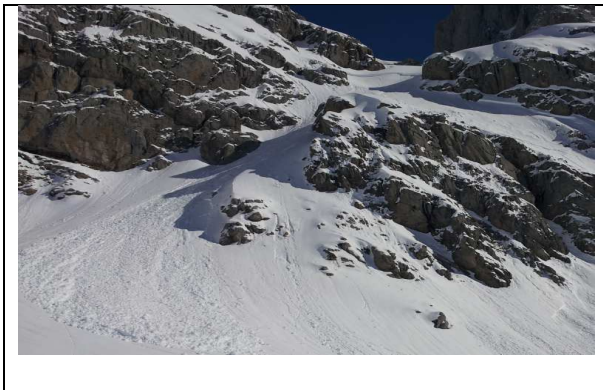


Fig. 39 Arriba, temperaturas en la Estación Meteorológica Automática de Cabaña Verónica y abajo el viento registrado en la EMA del Mirador del

Cable, ambas pertenecientes al Parque Nacional de Picos de Europa, durante el mes de marzo de 2011.

Si, como puede verse, hay fuertes vientos que acompañan a las nevadas y que potencialmente pueden formar placas, la distribución y orientaciones de éstas, no es fácil de determinar debido a la compleja orografía que tienen los tres Macizos de Picos de Europa, en los que los vientos se encauzan, muy forzados, y se registran aludes de placa en cualquier orientación, aunque en general de tamaño pequeño.



*Fig. 38 Placa de tamaño pequeño en la Canalona (Macizo Central), próximo a Cabaña Verónica. Día 6 de marzo de 2014. Orientación oeste. Formada durante una nevada con viento del Noroeste
Fotografía Carlos González Dorado*

Los aludes registrados por los colaboradores en estos tres años y el tipo al que pertenecían, vienen representados en la gráfica siguiente. La mayoría son de nieve reciente y de nieve húmeda, disminuyendo mucho el número de los observados del tipo placa seca o húmeda.

El número de registros es pequeño y se han filtrado las observaciones todo lo posible, ya que la mayoría estaban poco definidas.

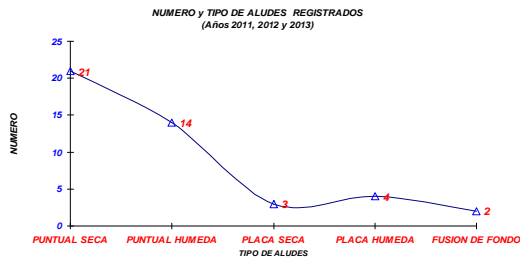


Fig. 40 Número y tipo de aludes observados durante los años 2011, 2012 y 2013

Las alturas de salida de los aludes de nieve reciente registrados, en ocasiones se aproximan a los 1000 m y afectan a vías de comunicación secundarias entre las poblaciones, dentro y próximas al Parque Nacional de Picos de Europa.

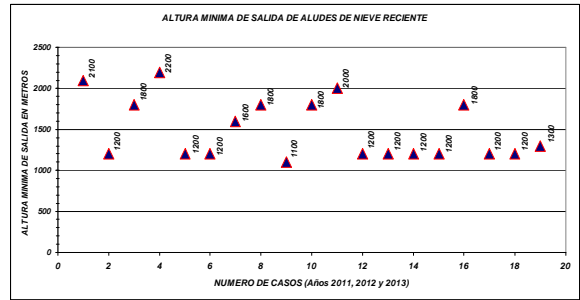


Fig. 41 Altura mínima de salida de aludes de nieve reciente en los episodios registrados durante los años 2011, 2012 y 2013.

Todos los años se repiten estas salidas, afectando a las mismas zonas, cuando la cota de nieve es inferior a unos 500 m (algunas veces con cotas superiores, hasta 800 m) y las nevadas acumulan un cierto espesor.



Fig. 42 Aludes de nieve reciente que se producen en los episodios de nieve en cotas bajas. Afectan a la CA-1 entre Poncebos y Sotres (Asturias). Imagen Gogle Earth.





Fig. 43 Aludes de nieve reciente que afectan a la carretera entre Sotres y Tresviso. Imagen Google Earth.

Si relacionamos la duración de un episodio de nevadas, que suele integrar varios días, con la cota de nieve y el número de días de aludes de nieve reciente que se producen posteriormente a las nevadas, se puede ver, incluso con el número discreto de datos que se dispone, que cuanto más baja es la cota mínima de nieve del episodio o mayor es el número de días de nevadas, y con mayor razón si se dan ambas condiciones, también es mayor el número de días con aludes de nieve reciente. Cuanto más baja es la cota de nieve, obviamente las salidas mínimas de aludes ocurren a menor altura.

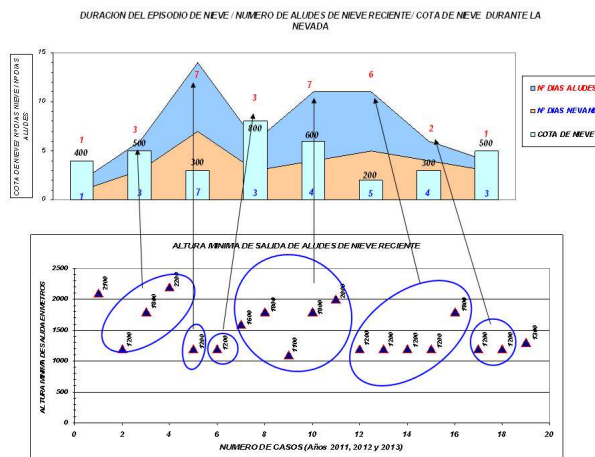


Fig. 44 Relación entre el número de días seguidos con nevadas, la cota de nieve, la altura mínima de salida de aludes de nieve reciente y el número de días posteriores a las nevadas que se producen

Si en lugar de considerar la cota de nieve se considera la temperatura mínima a 2000 m en el episodio de nevadas, se muestra que, en general, en nevadas producidas con temperaturas más frías, el peligro de aludes de nieve reciente se prolonga un mayor número de días, debido a la mayor persistencia de la

inestabilidad, al producirse un asentamiento mucho más lento a temperaturas bajas y mantener la nieve las condiciones iniciales.

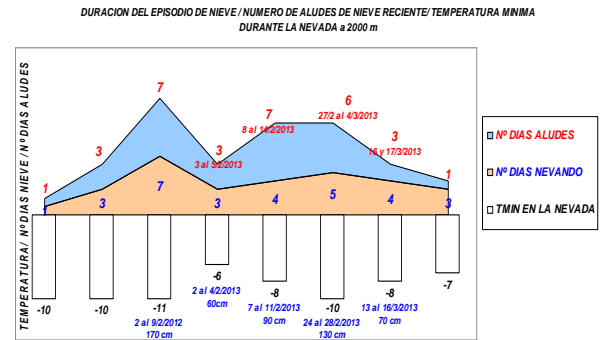


Fig. 45 Relación entre el número de días seguidos con nevadas, la temperatura mínima a 2000 m y el número de días posteriores a las nevadas que se producen

En cuanto a los aludes de fusión, su altura de salida, con los datos de que disponemos, es mayor que la de los aludes de nieve reciente, ya que se producen con temperaturas a partir de 0° C y donde haya un espesor mínimo para producirse. Por debajo de ese nivel la nieve ya se habrá fusionado.

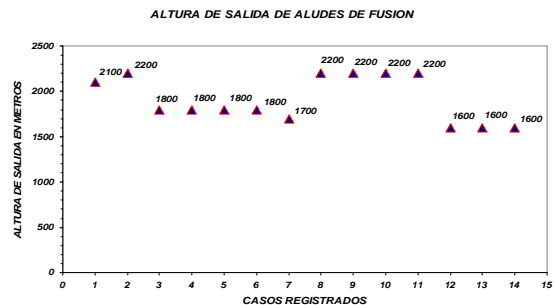


Fig. 46 Datos de altura de salida de aludes de fusión

Los aludes de fusión se inician cuando la temperatura se aproxima y supera los 0 °C, dando lugar a un aumento del contenido de agua líquida en el manto. Si durante la noche hay rehielo nocturno, los aludes se producirán con mayor probabilidad después del mediodía y en laderas orientadas al sur. Si, por el contrario, no hay condiciones de rehielo nocturno y las temperaturas se mantienen positivas todo el día, se pueden producir a cualquier hora del día.

En general los aludes de fusión se observan con más frecuencia en primavera, meses de marzo y abril. Pero por su especial meteorología, en Picos de Europa, la presencia de la Cordillera de dirección oeste-este y el efecto föehn que se produce con los vientos del sur, provoca que se puedan producir periodos de temperaturas positivas en invierno y a 2000 m de altura, a veces con lluvias que alcanzan zonas muy altas, por lo que este tipo de aludes puede producirse en cualquier mes del invierno.

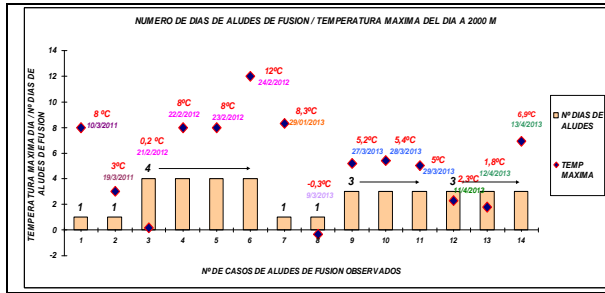


Fig. 47 Número de días de aludes de fusión y temperaturas máximas a 2000 m



Fig. 48 Aludes de fusión marzo de 2013 en el Macizo central de Picos de Europa.

En cuanto al tamaño de los aludes, en general, los colaboradores informan de aludes de tamaño pequeño o mediano.

Un caso extraordinario fue un gran alud de fondo que se desencadenó el 8/5/2012 y que alcanzó los llanos del Tornu, próximos al pueblo de Bulnes (VADA et. al. 2012).

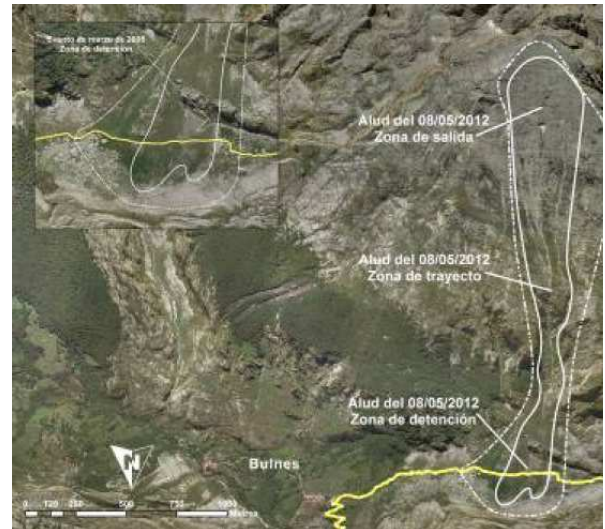


Fig. 49 A la izquierda esquema gráfico de la localización y recorrido del alud. A la derecha fotografía del evento. La figura y la foto están tomados de VADA et. al. (2013).

XI.- Resumen de características del manto nivoso, su estabilidad y el peligro de aludes en Picos de Europa

Características de la nieve en Picos de Europa :

- *En algunas zonas de los 3 Macizos y especialmente del Central, se acumulan espesores superiores a los 3 m y en las zonas de acumulación (Jous) pueden superar los 5 m.
- *En invierno se producen periodos de temperaturas positivas incluso por encima de los 2000 m.
- * Las nevadas con frecuencia, sobre los 2000 m, ocurren con temperaturas en torno a -5 o -6 ° C, sólo algunos episodios de nieve van acompañados de temperaturas inferiores a -8 ° C a ese nivel.
- *La nieve reciente tiene una mayor densidad que en otros sistemas montañosos.

*Las capas frágiles no son persistentes debido a la poca persistencia de los gradientes de temperatura dentro del manto nivoso, que en un alto porcentaje de ocasiones es isoterma.

*Se producen frecuentes episodios de descargas frías y tormentas, que pueden acumular capas de nieve granulada de cierto espesor.

*Las capas frágiles más comunes son, la nieve granulada, las discontinuidades entre capas activadas por la lluvia o por los ascensos bruscos de temperatura y en menor medida las facetas o formas mixtas con caras planas, en coherencia con los débiles gradientes de temperatura encontrados dentro del manto nivoso y la poca persistencia de los gradientes medios o fuertes.

* En los sondeos realizados no se han encontrado cubiletes.

*En la evaluación de la estabilidad se utiliza de forma muy determinante la influencia de la meteorología y la observación de la ocurrencia de aludes, incluso más que los test de estabilidad, que dan un resultado estable mayoritariamente, debido al mayor contenido de agua de esta nieve.

*Predominan los aludes de nieve reciente y fusión

*Los aludes de placa húmeda y de fusión se dan todo el invierno.

XII.- Apéndice de Bibliografía

- Fierz, C., Armstrong, R.L., Durand, Y., Etchevers, P., Greene, E., McClung, D.M. Nishimura, K., Satyawali, P.K. and Sokratov, S.A. 2009. *The International Classification for Seasonal Snow on the Ground*. IHP-VII Technical Documents in Hydrology N°83, IACS Contribution N°1, UNESCO-IHP, Paris.
- E. Pahaut y C. Sergent. *La neige: formation et évolution*. Traducción del CMT de Aragón, La Rioja y Navarra (INM). Francia. Météo-France. CNRM CEN. Edición de octubre de 1991. Publicación Météo-France.
- C. Sergent, C. Coléou y P. David. *Mesures nivométrorologiques*. Traducción del CMT de Aragón, La Rioja y Navarra (INM). Francia. Météo-France. CNRM CEN. Edición de 1991. Publicación Météo-France.
- Y Danielou y E. Pahaut. *Les mesures de la densité de la neige*. Traducción del CMT de Aragón, La Rioja y Navarra (INM). Francia. Météo-France. CNRM CEN. Edición de 1991. Publicación Météo-France.
- C. Sergent. *Propriétés physiques de la neige*. Traducción del CMT de Aragón, La Rioja y Navarra

(INM). Francia. Météo-France. CNRM CEN. 1997. Publicación Météo-France.

• G Guyomarch, y L Mérindol. *Transport de la neige pour le vent*. Traducción del CMT de Aragón, La Rioja y Navarra (INM). Francia. Météo-France. CNRM CEN. Edición de 1991. Publicación Météo-France.

• G Guyomarch. *Les avalanches*. Traducción del CMT de Aragón, La Rioja y Navarra (INM). Francia. Météo-France. CNRM CEN. 1996. Publicación Météo-France

• Equipo de formación del Centro de Estudios de la Nieve. *Normas para la realización de un sondeo por golpeo*. Traducción del CMT de Aragón, La Rioja y Navarra (INM). Francia. Météo-France. CNRM CEN. Edición de 1994. Publicación Météo-France.

• Gérald Giraud, Jean-Pierre Navarre, Cécile Coléou. *Stabilité-Instabilité du manteau neigeux. Approche statique*. Francia. Météo-France CNRM CEN. Publicación Météo-France.

• C Coléou. *Les Tests de Stabilité*. Francia. Météo-France CNRM CEN. Publicación Météo-France.

• Greene, E., D. Atkins, K. Birkeland, K. Elder, C. Landry, B. Lazar, I. McCammon, M. Moore, D. Sharaf, C. Sternenz, B. Tremper, and K. Williams, 2010. *Snow, Weather and Avalanches: Observation Guidelines for Avalanche Programs in the United States*. American Avalanche Association, Pagosa Springs, CO, Second Printing Fall 2010.

• COMET PROGRAM. *Snowpack and its assesment*. Disponible en Web: <http://www.meted.ucar.edu/afwa/snowpack>.

• Bruce Tremper. *Staying Alive in Avalanche Terrain*. 2ª edición. The mountaineers books. 2008. ISBN: 0898868343

• Tremper, B.: *Simple Snow Stability Tests*. Disponible en Web: <http://www.avalanche.org>

• D. McClung, P Schaerer. *Avalanchas*. Ediciones Desnivel. 1996. ISBN: 84-87746-87-X.

• Werner Munter. *3 X 3 Avalanchas: la gestión del riesgo en los deportes de invierno*. Ediciones Desnivel. 2003. ISBN: 978-84-9829-073-8.

• Schweizer, J. and Jamieson, J.B., 2004. *Snow stability measurements*. Proceedings of the International Seminar on Snow and Avalanche Test Sites, Grenoble, France, 2001. Cemagref editions, Antony (Hauts-de-Seine), France: pp. 317-331.

• Ron Simenhois y Karl W. Birkeland. *The Extended Column Test: a field test for fracture initiation and propagation*. Proceedings of the 2006 International Snow Science Workshop. Telluride. Colorado.

• Ron Simenhois y Karl Birkeland. *An update on the Extended Column Test: New recording standards and additional data analyses*. The Avalanche Review 26(2), 2007.

• Ron Simenhois y Karl W. Birkeland. *The Extended Column Test: Test effectiveness, spatial variability, and comparison with the Propagation Saw Test*. Cold Regions Science and Technology journal, 2009.

- Dave Gauthier y Bruce Jamieson *The Propagation Saw Test (PST)*. Enviado al Avalanche.ca Journal, Nov. 2007.
- Jürg Schweizer. *The Rutschblock Test - Procedure and Application in Switzerland*. The Avalanche Review, 2002.
- Mark Moore. *Rough Correlations of Common Snowpack Stability Tests*. Proceedings of the 2006 International Snow Science Workshop, Telluride, Colorado. 2006.
- Ron F. Johnson y Karl W. Birkeland. *Integrating shear quality into stability test results*. Proceedings of the 2002 International Snow Science Workshop. Penticton, B C., Canada. 2002.
- Vada, J.A.; Frochoso, M.; Rodríguez, J.J.; Hernández, O.; Mediavilla, A.; Sanz, P.; González, R.; Furdada, G. (2013) : *Análisis del alud del 8 de mayo de 2013 en Los Llanos del Tornu (Macizo Central de los Picos de Europa)* . *Neus y allaus*. **5**, Abril 2013.