UNA APROXIMACION A LA NIVOLOGIA EN PICOS DE EUROPA

AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGIA

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE
Agencia Estatal de Meteorología

Una aproximación a la nivología en Picos de Europa.

Autor: Odón Hernández Holgado
Colaboradores: Juan José Rodríguez Velasco, Pilar Sanz Moral, Margarita Garvía Polo y Aniceto Valle del Viejo.

Fecha: octubre 2013

Nota: este estudio inicial supone una introducción o aproximación a la nivología y al peligro de desencadenamiento de aludes en los tres macizos de Picos de Europa, que constituyen por su situación una zona montañosa de características muy singulares, donde se encuentran cumbres montañosas con alturas superiores a los 2500 m y el mar cantábrico separados por algo más de una decena de kilómetros.

Agradecimientos:

Un especial agradecimiento a la guardería del Parque Nacional de Picos de Europa por su colaboración en la observación diaria durante las tres campañas. También a los colaboradores de AEMET, guías de montaña que realizan los sondeos del manto nivoso y nos mantienen informados de los aludes registrados, las condiciones meteorológicas siempre cambiantes, registrando con sus fotos desde el tipo de grano hasta los aludes observados.
Sus nombres: Alberto Mediavilla, Fernando Calvo, Pablo Sedano, Alfonso Allende, Eduardo Martínez, Pedro Angel Fernández, Miguel Angel Bermejo, Pedro Martínez, Francisco Burón, Cristobal Chopitea, Marcelino Fernández, Susana Marquínez, Manuel Díaz y José Luis Mosquera.
Andrés Antón del Servicio de Montes de Cantabria.
A los Directores del Parque Nacional: Rodrigo Suárez Robledano y Agustín Sartori López.
A los Grupos de Rescate e Intervención en Montaña (GREIM) de la Guardia Civil de Potes y Cangas de Onís.
A la sociedad regional cántabra CANTUR, perteneciente al Gobierno de Cantabria, por facilitarnos el acceso al Macizo Central de Picos de Europa para la realización de los sondeos y cursos de formación.
También agradecer a los compañeros de AEMET de Zaragoza la formación nivológica prestada tanto en la observación como en la predicción del riesgo de aludes.

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.

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 el que tome el relevo y elabore un BPA diario al igual que se realiza para el Pirineo. Continuaremos y a ser posible, se incrementarán las observaciones y sondeos del manto nivoso, de modo que con las bases de datos recogidos y la colaboración con otros estamentos científicos, podamos seguir profundizando en el tema de la nivología y de la predicción del peligro de aludes en Picos de Europa, con el objetivo de extender el estudio a toda la Cordillera Cantábrica y a la Montaña palentina.

INDICE

Introducción.....3

La red de observación…….....5

Elaboración del boletín de peligro de aludes (BPA). Datos de observación.....6

Elaboración del boletín de peligro de aludes (BPA). Método……..10

Verificación de la predicción de peligro de aludes contenida en el BPA……12

Tipos de cristales y gradiente térmico en Picos de Europa ……..……13

Metamorfosis de la nieve seca en Picos de Europa ……..17

La densidad de la nieve en el manto……..19

La estabilidad del manto nivoso. Condiciones de iniciación y propagación de las fracturas. ……..20

Los diferentes tipos de aludes……28

Resumen de características del manto nivoso, su estabilidad y el peligro de aludes en Picos de Europa……...38

Referencias……39

1 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: Coriscao (1751m)

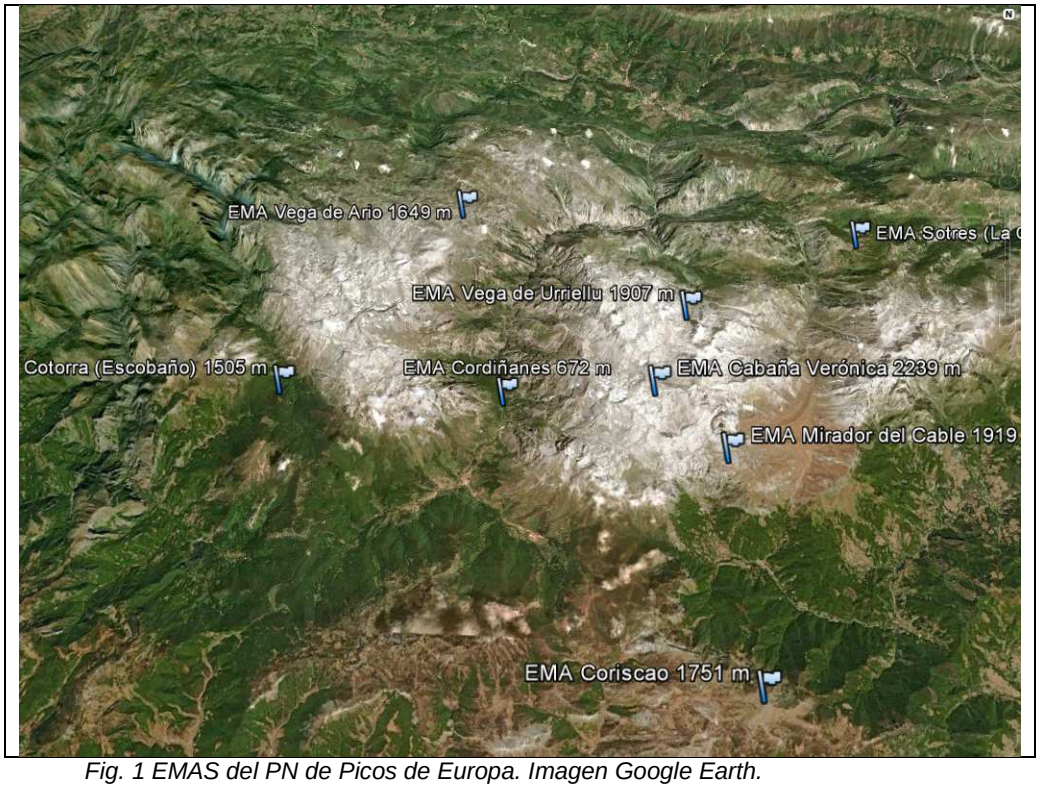


Fig. 1 EMAS del PN de Picos de Europa. Imagen Google Earth.

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 se cuenta 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), en Tresviso (900 m, orientación norte, frente al macizo oriental) y un dato diario de espesor y cota de nieve en Alto Campoo (http://www.meteocampoo.es/ creada por Alfonso Allende), además de la medidas que acompañan al sondeo semanal del manto nivoso.

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 (Asociación para el Conocimiento de la Nivología y Aludes) en nivología y aludes.
Se fijaron unos puntos de sondeo, de fácil accesibilidad y próximos a las estaciones meteorológicas automáticas.

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 (Macizo Central de Picos de Europa)

Se realizaron semanalmente 1 o 2 sondeos del manto nivoso durante cada campaña, además de los test de estabilidad usuales, que veremos más adelante.

2 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, tal como se muestra en los ejemplos siguientes:

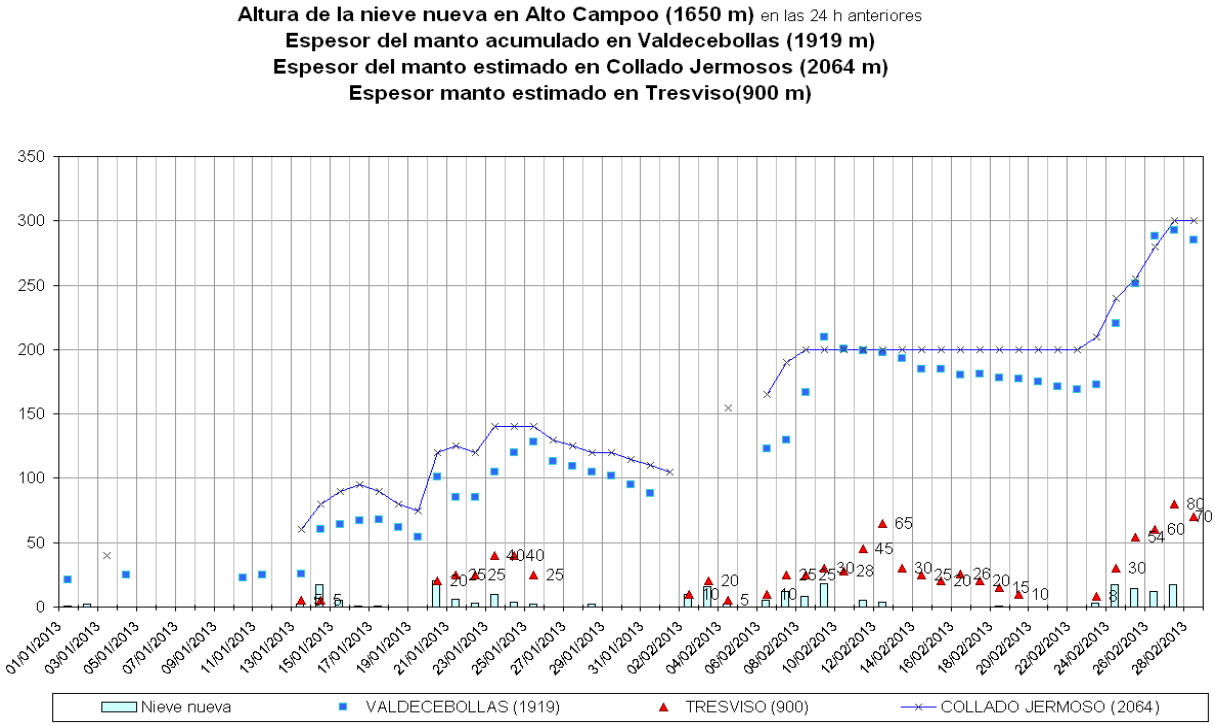


Fig. 3 Espesores de nieve

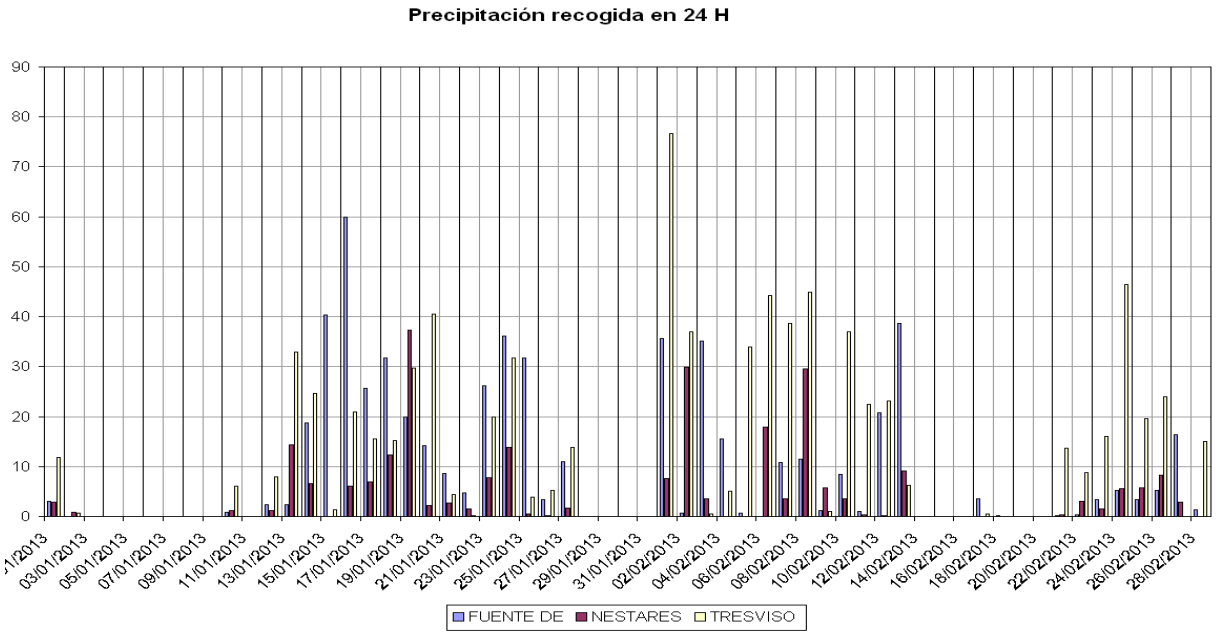


Fig. 4. Precipitación en 24 horas en Fuente Dé, Nestares y Tresviso

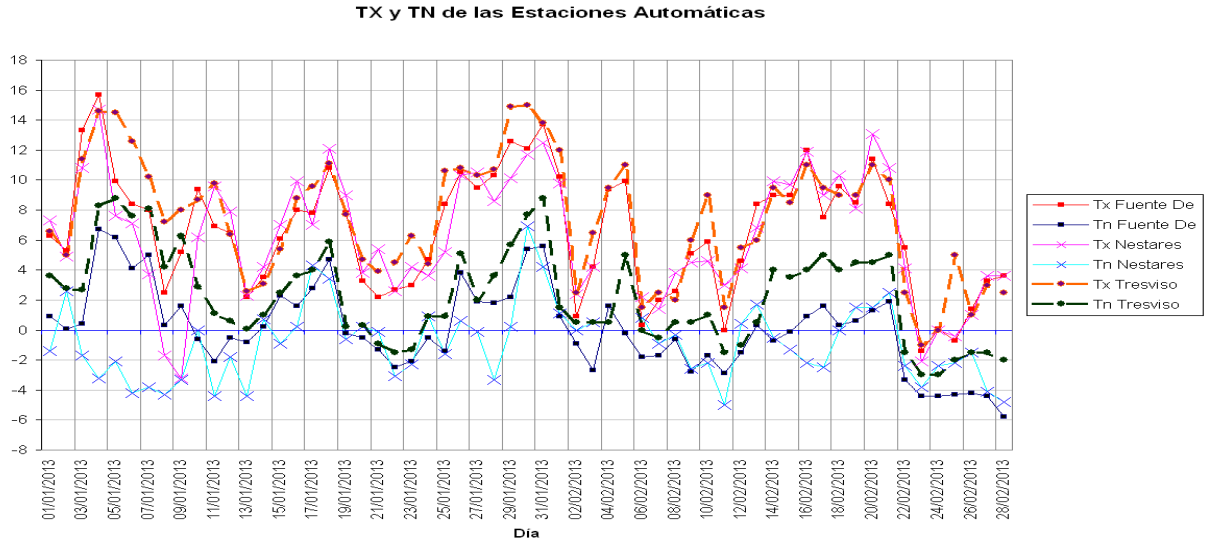


Fig. 5 Temperaturas extremas en Fuente Dé, Nestares y Tresviso

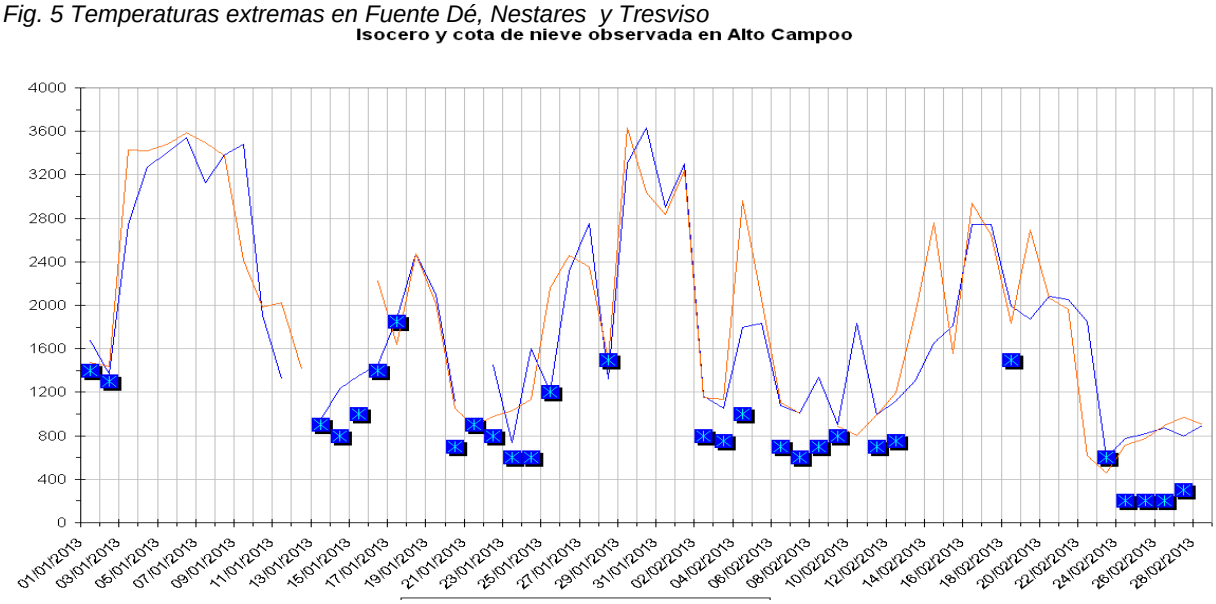
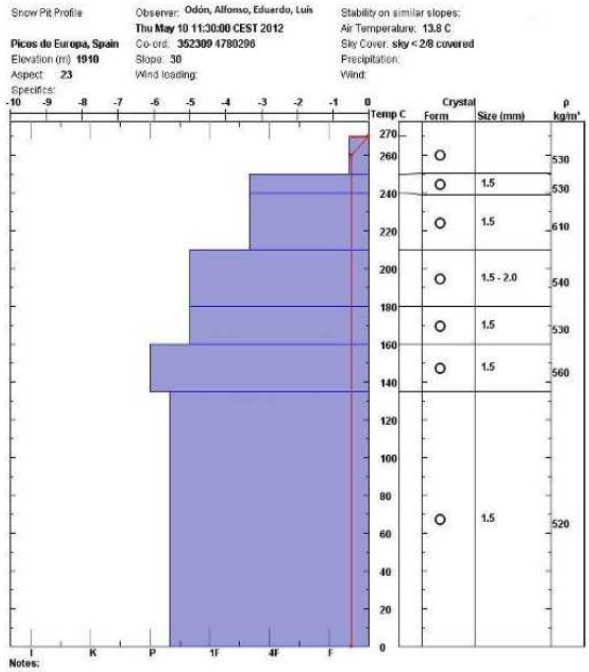


Fig. 6 Isocero extraída del sondeo de Santander a 00 y 12 UTC y cota de nieve observada en Alto Campoo

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.



Test de estabilidad	Anotación	Interpretación
Test de la Pala (TP)	TPMQ3@240	(**M**) falla con presión moderada; (**Q3**) superficie de la fractura lisa pero no desliza fácilmente; nivel de fallo a **240** cm del suelo.
	TPMQ2@210	(**M**) falla con presión moderada; (**Q2**) superficie de la fractura lisa pero no desliza fácilmente; nivel de fallo a **210** cm del suelo.
	TPDQ2@180	(**D**) falla con presión firme y sostenida; (**Q2**) superficie de la fractura lisa pero no desliza fácilmente; nivel de fallo a **180** cm del suelo.
Test de la Compresión (TC)	TC26@180	La fractura se produce en el golpe **26** (en una escala del 1 al 30) a **180** cm del suelo.
Test de la Columna Extendida (TCE)	TCEX	Resultado negativo.

Figura 13: Depósito del alud de 8/5/2012 al pie del congosto, en la Canal de Asotín
Fuente: Website de Collado Jermoso

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

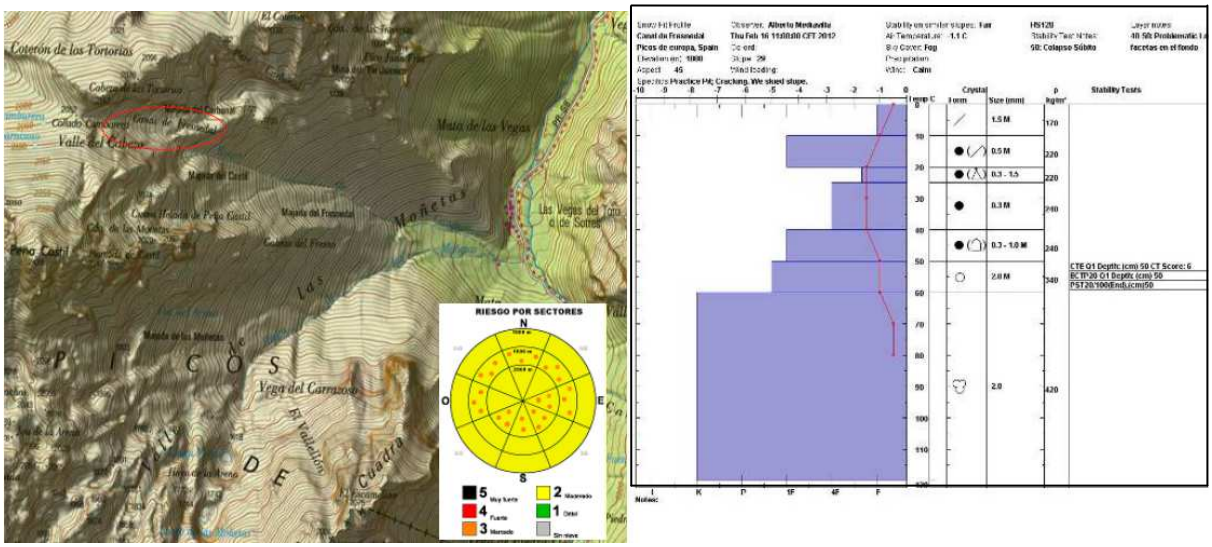


Fig. 8 Sondeo realizado en la Canal de Fresnedal el 16 de febrero de 2012. Riesgo estimado por el colaborador por sectores.

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 las observaciones y el peligro estimado por los colaboradores.

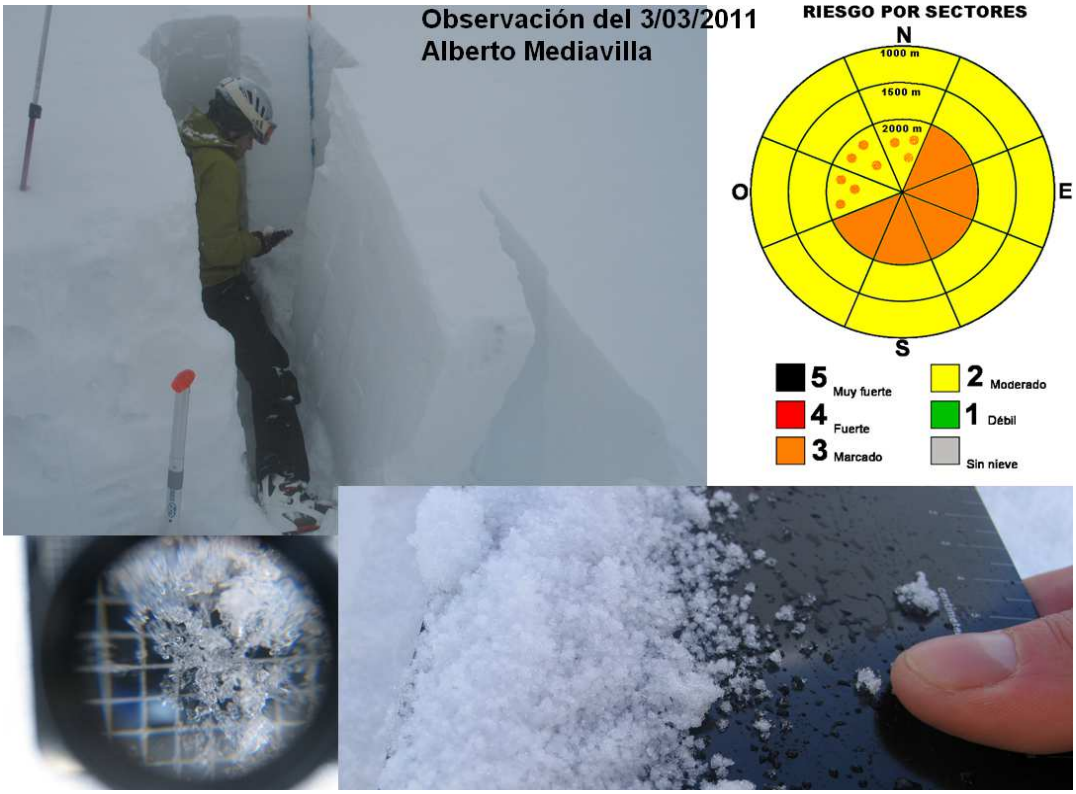


Fig. 10 Observación del 3 de marzo de 2011. Peligro estimado por sectores y presencia de facetas y nieve granulada. Fotografías: Alberto Mediavilla.

3 Elaboración del boletín de peligro de aludes (BPA). Método.

El boletín está compuesto por 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 da 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 Nivometeorólogica de AEMET.

	PROBABILIDAD DE DESENCADENAMIENTO DE ALUDES	PROBABILIDAD DE DESENCADENAMIENTO EN FUNCIÓN DE LA SOBRECARGA O DEL TAMAÑO DE LOS ALUDES								
		EN GENERAL SÓLO CON SOBRECARGAS FUERTES	PRINCIPALMENTE CON FUERTES SOBRECARGAS (PERO TAMBIÉN POSIBLES CON SOBRECARGAS DÉBILES)	YA POSIBLES CON SOBRECARGAS DÉBILES	PROBABLES CON SOBRECARGAS DÉBILES	Ó	SALIDAS ESPONTÁNEAS DE ALUDES DE TAMAÑO PEQUEÑO POSIBLES	SALIDAS ESPONTÁNEAS DE ALUDES DE TAMAÑO MEDIO Y, EN ALGUNOS CASOS DE TAMAÑO GRANDE POSIBLES	SALIDAS ESPONTÁNEAS DE NO POCOS ALUDES DE TAMAÑO MEDIO Y, EN ALGUNOS CASOS DE TAMAÑO GRANDE PROBABLES	SALIDAS ESPONTÁNEAS DE NO POCOS ALUDES DE TAMAÑO GRANDE PROBABLES
DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS LUGARES EN LOS QUE PUEDEN DARSE ALUDES	ESCASAS LADERAS CON ALUDES (ESPECIFICABLES EN EL BOLETÍN *)	1	2	2	2		1	2		
	ALUDES EN ALGUNAS LADERAS EMPINADAS (ESPECIFICABLES EN EL BOLETIN *)	2	2	3	3		2	3	3	
	ALUDES EN MUCHAS LADERAS EMPINADAS (ESPECIFICABLES EN EL BOLETIN DE ALUDES *)	2	2	3	4		2	3	4	4
	ALUDES EN MUCHAS LADERAS CON PENDIENTES EMPINADAS **	2	3	4	4		3	4	4	5
	ALUDES TAMBIÉN EN LADERAS CON PENDIENTES MODERADAMENTE EMPINADAS				5			4	5	5

Casillas en blanco indican niveles de peligro todavía en consideración. Versión EAWS 2011-09-01

** 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 peligro de aludes. Fuente: EAWS. (European Avalanche Warning Services)

INDICADORES PREVIOS DEL PELIGRO POTENCIAL DE ALUDES			
Indicador	Mayor peligro de aludes	Peligro indeterminado	Menor peligro de aludes
Clima	Continental	Intermedio de montaña (entre marítimo y continental)	Marítimo
Terreno avalanchoso del entorno del obs.	Pendientes entre 35º y 40º	Pendientes entre 25º y 30º o entre 40º y 60º	Pendientes menores que 25º o mayores que 60º
INDICADORES NIVOLÓGICOS DEL PELIGRO DE ALUDES			
Aludes recientes**	En las últimas 24 horas	Entre las últimas 24 y 48 horas	Hace más de 48 horas o sin aludes
Descripción del manto **	En general, poco profundo, poco denso y poco consolidado	No se conoce o es variable	En general, profundo, denso y consolidado
Estabilidad del manto **	Inestable	No se conoce o lo que se sabe es poco concluyente	Estable
Superficie de la nieve **	Dura, pulverulenta o fría	Se desconoce o no es uniforme	Blanda, consistente o con temperatura cercana a 0 ºC
Historial meteorológico	En general, frío y seco	No se conoce o la meteorología ha sido cambiante	En general, relativamente templado y húmedo

INDICADORES METEOROLÓGICOS DEL PELIGRO DE ALUDES			
	Aumento del peligro de aludes	Sin cambios en el peligro de aludes	Descenso del peligro de aludes
PRECIPITACIONES			
Cantidad de nieve reciente**	30 cm o más en 24 horas	Menos de 30 cm en 24 horas	Sin nieve reciente
Intensidad de la nevada**	2,5 cm/hora o más durante 6 o más horas	Menor que 2,5 cm/h	Sin nieve reciente
Equivalente en agua líquida de la nevada**	25 mm o más en 24 horas	Menos de 25 mm en 24 horas	Sin nieve reciente
Densidad de la nieve reciente**	Más de 15 cm de nieve con densidad igual o superior a 90 kg/m3	Menos de 30 cm de nieve con densidad igual o inferior a 60 kg/m3	Sin nieve reciente
Lluvia**	Presente en algún momento	Ausente	Ausente
Tendencia del episodio meteorológico	Empezó con carácter frío, evolucionando a cálida	Empezó con carácter cálido, evolucionando a fría	Temperaturas entre -3 ºC y -7 ºC, con poca nieve reciente
VIENTO			
Velocidad media del viento**	· De 9 a 27 m/s · Superior a 27 m/s con nieve de densidad mayor a 100 kg/m3 · Entre 7 y 9 m/s con nieve de densidad menor a 50 kg/m3	Menor que 9 m/s o mayor que 27 m/s	Viento menor de 7 m/s y variable
Dirección media del viento**	Sostenida	Variable	Variable
TEMPERATURAS			
Aumento de la temperatura**	Aumento superior a 8 ºC en 12 horas, próximas o superiores a 0 ºC	Suben menos de 8 ºC en 12 horas, siempre bien por debajo de 0 ºC	Aumento gradual en varios días, permaneciendo negativas
Descenso de la temperatura**		Se mantienen entre -4 ºC y -10 ºC	Tiempo más frío después de un calentamiento
Cota del límite lluvia/nieve**	Por encima de las cotas de desencadenamiento de aludes	Por debajo de las cotas de desencadenamiento de aludes	Las temperaturas son negativas en todas las cotas
Temperaturas cálidas**	Por encima de 0 ºC a las cotas de desencadenamiento durante más de 24 h	Por encima de 0º a las cotas de desencadenamiento durante 12 y 24 h	
Temperaturas frías**	· Muy bajas (< -10 ºC) durante mucho tiempo · Poco espesor de manto (< 1 m) y temperaturas muy bajas (< -10 ºC)	Entre -4 ºC y -10 ºC	
COBERTURA NUBOSA/RADIACIÓN SOLAR			
Cobertura nubosa nocturna**	Cielo despejado con temperatura menor que -10 ºC y vientos de 5 m/s o menos	· Nuboso o muy nuboso · Despejado con temperaturas relativamente suaves · Intervalos nubosos con viento mayor que 5 m/s	
Cobertura nubosa diurna**	Cielo despejado o nubes poco espesas con temperaturas relativamente suaves y altos ángulos de incidencia del sol, esp. sobre laderas de solana	Cubierto	

** Información obtenida de observaciones sobre el terreno y observatorios nivometeorológicos: tests de estabilidad, sondeos por golpeo y perfiles estratigráficos, observaciones meteorológicas.

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)	Tipo de Test			
		(Abreviatura)	Rutschblock (RB)	Compresión (CT)	Columna extendida (ECT)	Pala (ST)
Inestable (laderas similares pueden fracturar al esquiarlas)	1 Rojo	Colapsa (C) (Collapse)	El bloque cede mientras se aisla	Fractura mientras se aisla la columna o se apoya la pala	Fractura mientras se aisla la columna o se apoya la pala.	El bloque sale mientras se corta
			RB1	CTC (CT0)	ECTPV (ECT0)	STC
Inestable	2 Rojo	Muy Fácil (V) (Very Easy)	El bloque cede cuando el esquiador se pone sobre él	1-6 golpes (articulados desde la muñeca)	1-6 golpes (articulados desde la muñeca)	Corte limpio al introducir la hoja de la pala
			RB2	CTV (CT1 - CT6)	ECT1 - ECT6 (ECTV)	STV
Inestable	3 Rojo	Fácil (E) (Easy)	El bloque cede con la flexión rápida de rodillas	7-12 golpes (muñeca + codo)	7-12 golpes (muñeca + codo)	Fractura al ejercer una tracción mínima
			RB3	CTE (CT7 - CT12)	ECT7 - ECT12 (ECTE)	STE
Moderadamente Inestable (marginalmente estable)	4 Amarillo	Moderado (M) (Moderate)	El bloque cede en el primer salto (grande)	13-18 golpes (codo)	13-18 golpes (codo)	Fractura al ejercer una tracción moderada
			RB4	CTM (CT13 - CT18)	ECT3 - ECT18 (ECTM)	STM
Moderadamente Inestable	5 Amarillo	Moderado a Difícil (MH) (Moderate to Hard)	El bloque cede en el segundo salto (grande)	19-24 golpes (codo +brazo)	19-24 golpes (codo +brazo)	Fractura de forma irregular al ejercer una tracción moderada
			RB5	CTMH (CT19 - CT24)	ECT19 - ECT24 (ECTMH)	STMH
Moderadamente Estable (bajo potencial de desencadenamiento)	6 Verde	Difícil (H) (Hard)	El bloque cede tras varios saltos grandes	25-30 golpes (brazo)	25-30 golpes (brazo)	Fractura tras ejercer una tracción fuerte y sostenida
			RB6	CTH (CT25 - CT30)	ECT25 - ECT30 (ECTH)	STH
Estable	7 Verde	No cede (N) (No fracture)	El bloque no cede	El bloque no cede	El bloque no cede	El bloque no cede
			RB7	CTN	ECTN	STN

*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 km2).

ESCALA EUROPEA DE PELIGRO DE ALUDES

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 esperables numerosos aludes de tamaño mediano, y frecuentemente grande, desencadenados espontáneamente.
3. NOTABLE		En muchas laderas empinadas (*) el manto nivoso está entre moderada y débilmente 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.	Es posible el desencadenamiento de aludes sobre todo por sobrecargas fuertes (**), especialmente en laderas empinadas propicias (*). 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.).
- Terreno poco o moderadamente inclinado: laderas con una inclinación menor de 30º.
- Laderas empinadas: laderas con una inclinación mayor de 30º.
- Terreno muy inclinado o extremo: laderas de más de 40º de inclinación y terreno especialmente desfavorable debido a su perfil, la proximidad a las crestas o la escasa rugosidad de la superficie del suelo subyacente.

(**) Sobrecargas:
- Débil: un único esquiador o surfista, moviéndose con suavidad y sin caerse. Un grupo de personas que respetan 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 circulen 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) de febrero de 2011 y peligro estimado por el colaborador.

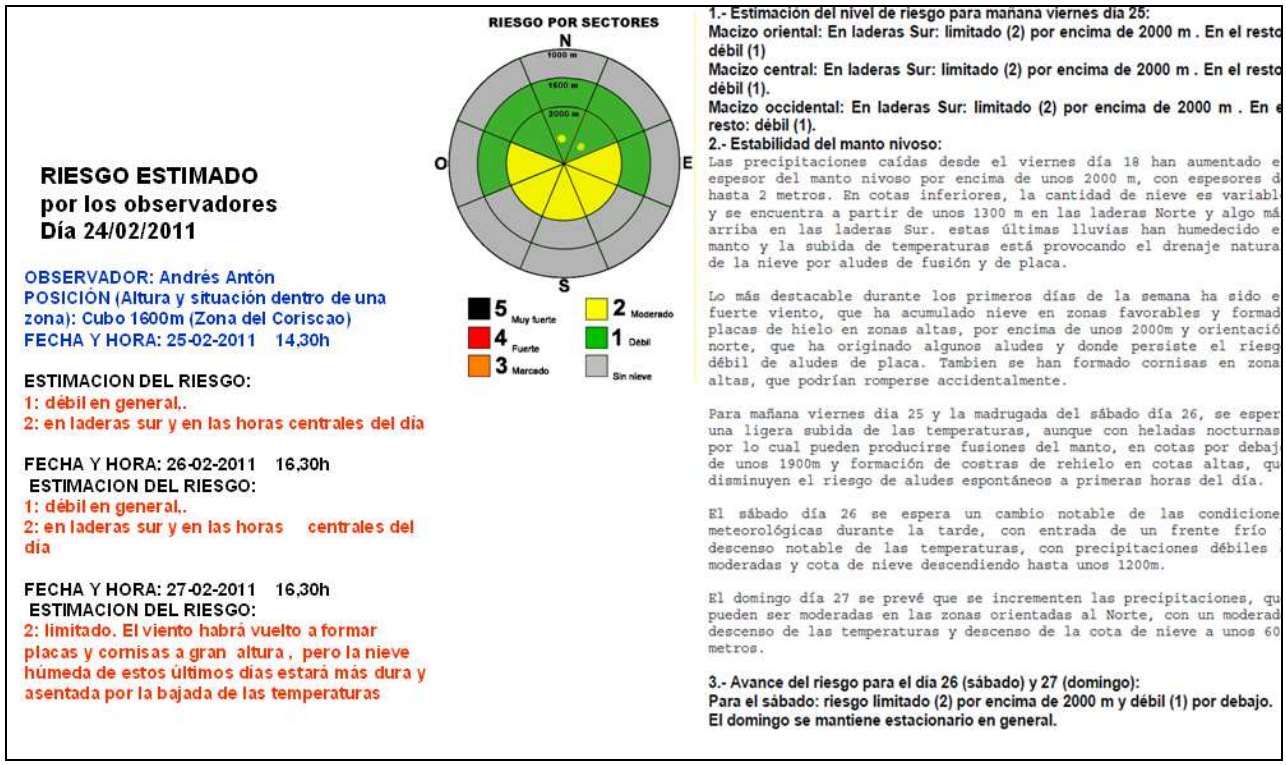


Fig. 15 Riesgo estimado y previsto durante los días 24, 25, 26 y 27 de febrero de 2011

4 Verificación de la predicción de peligro de aludes contenida en el BPA.

Con la observación del peligro de aludes remitida por los colaboradores, el número y tamaño de los aludes observados y el resultado de los test de estabilidad y los sondeos del manto, se obtiene un peligro estimado de caída de aludes que sirve para verificar subjetivamente el peligro previsto en los BPA elaborados semanalmente durante los años 2011, 2012 y 2013. Se obtiene así una verificación subjetiva de la predicción del peligro de desencadenamiento de aludes según la escala europea de cinco niveles de peligro.

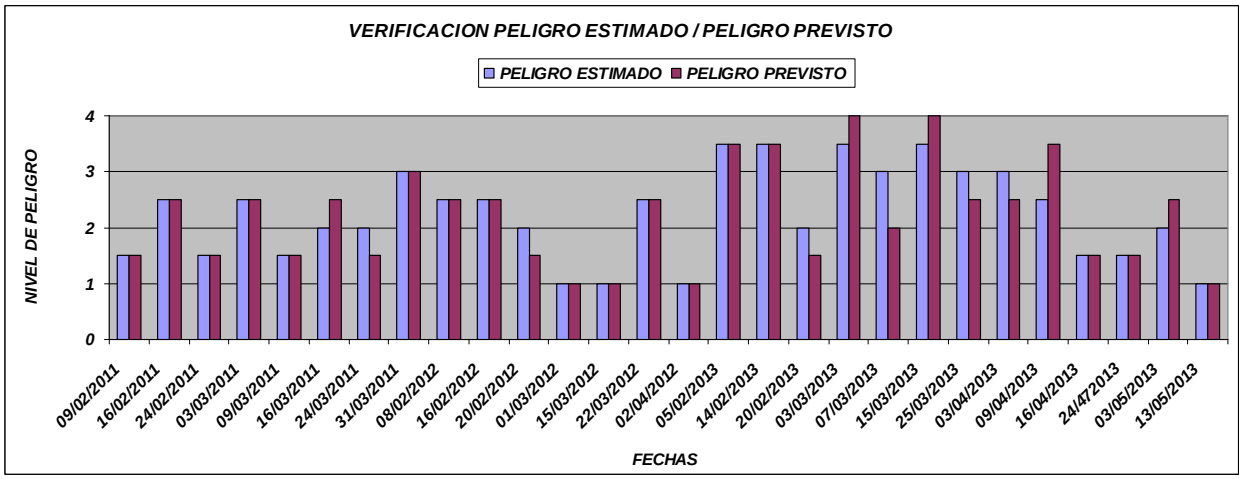


Fig. 16 Verificación peligro estimado versus peligro previsto en los BPAs.

El año 2013 ha sido el año con mayor número de episodios de nieve y mayores espesores de los tres años estudiados. 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, 3-4 y 4, siendo mayoritarios los niveles 1-2 y 2-3, lo que parece una distribución aceptable.
Este peligro se traduce en términos de estabilidad en la figura inferior: peligro 1, igual a estable, peligro 3-4 considerado inestable, peligro 2-3 moderadamente inestable y peligro 1-2 igual a moderadamente estable. Y esta distribución se verifica comparándola con la diagnosticada en base a los datos de observación.
El resultado final de la verificación da una cierta sobreestimación del peligro previsto de aludes.

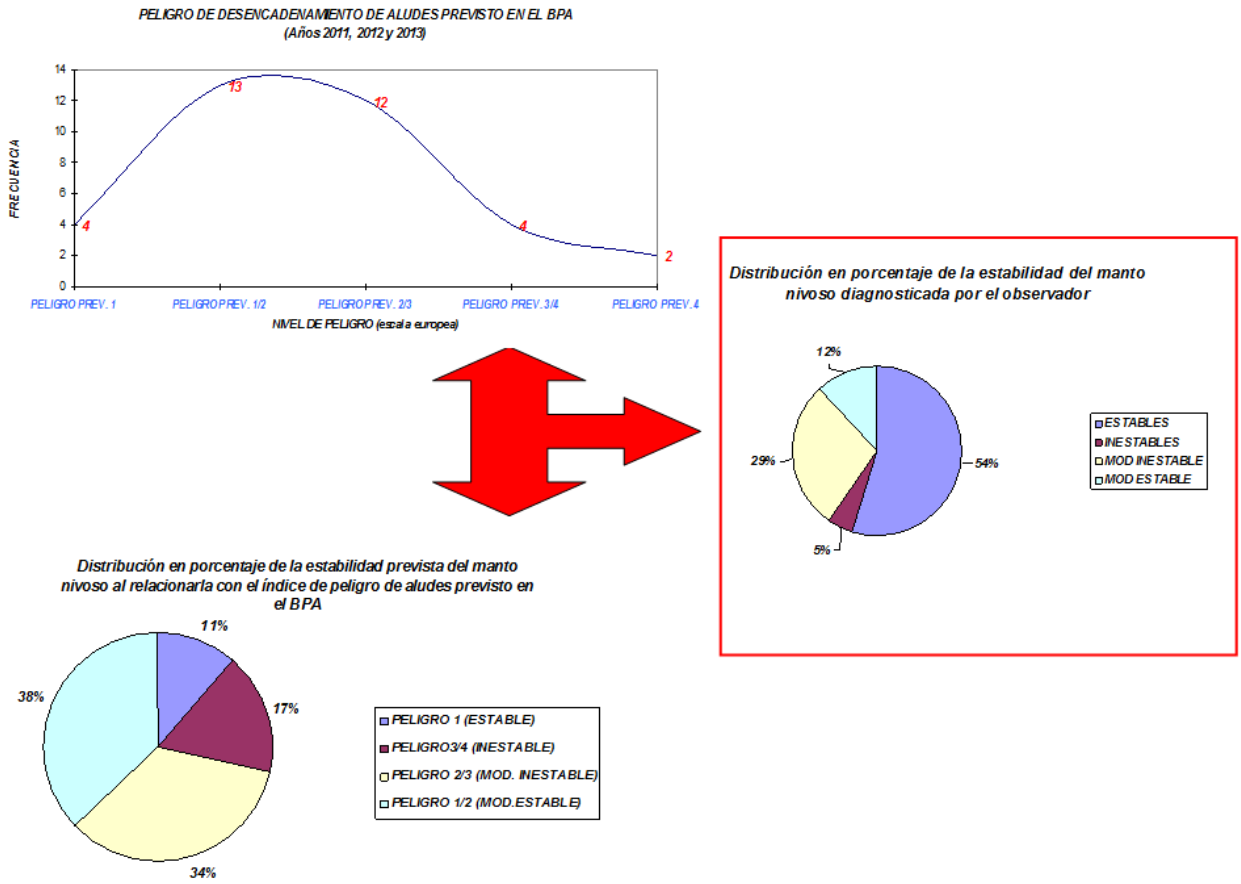


Fig. 17 Verificación del peligro previsto en el BPA (en términos de estabilidad) utilizando la estimación de peligro estimado.

5 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 se 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
Cubiletes	∧	DH
Granos redondos	○	MF
Costra de rehielo	◎	MFcr
Capa de hielo	▬	IF
Escarcha	∨	SH

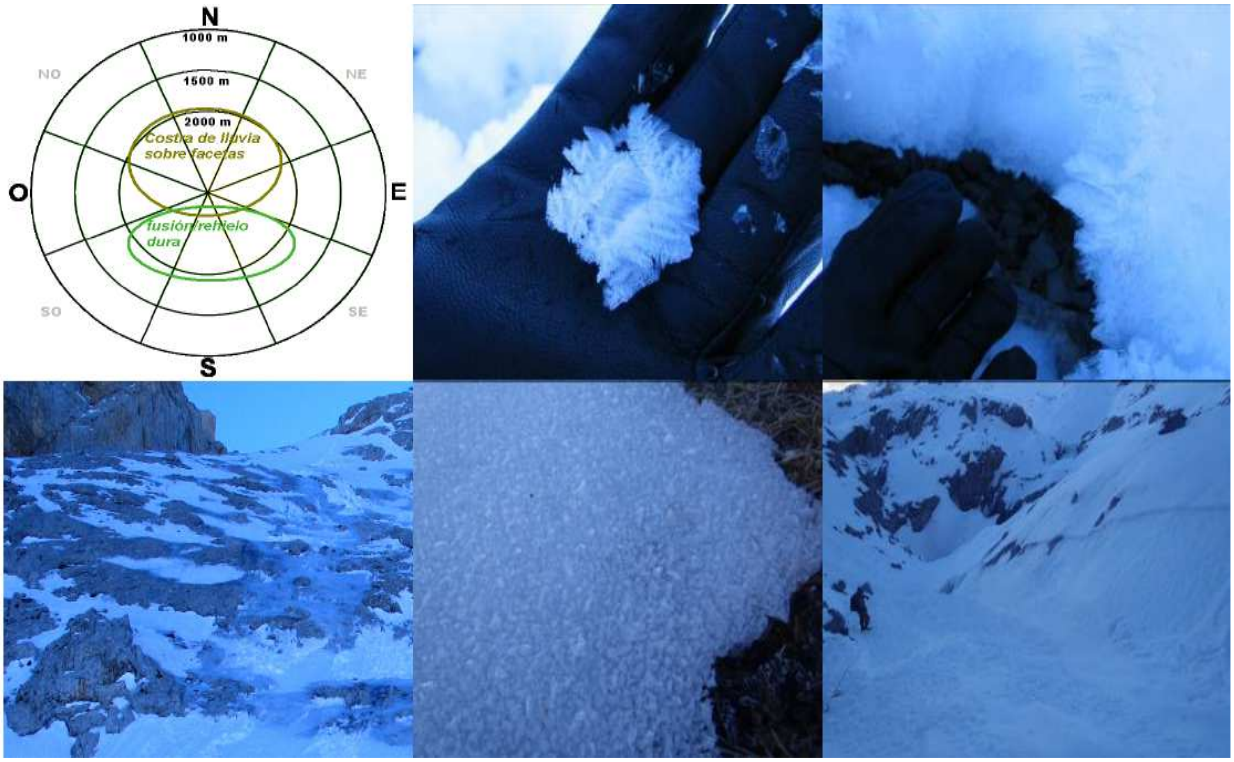


Fig. 18 Observación del 24 de enero de 2012 en el Macizo Central de Picos de Europa. Incluye gráfico de distribución por sectores, escarcha de superficie, hielo procedente de un proceso de rehielo y un alud e placa. Fotografías: Alberto Mediavilla.

Las observaciones que se realizan incluyen fotografías del entorno, tipo de cristales significativos, un gráfico de la distribución por sectores y comentarios del observador que ayudan a clarificar el estado de la nieve, como el ejemplo 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. 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 seca, formada por hielo y vapor de agua que constituye el manto nivoso, es un buen aislante, ya que encierra un alto contenido de aire, que tiene una baja conductividad térmica.

La cantidad de aire atrapado alcanza casi el 90% en el caso de nieve reciente, de unos 100 kg/m3 de densidad, **y es superior al 70% cuando se trata de nieve de grano fino compactado** de 250 kg/m3.

Es, esta capacidad aislante, la que permite mantener gradientes de temperatura dentro del manto nivoso, entre la base del manto a 0º C y la superficie de la nieve a una temperatura inferior.

La temperatura de la superficie del manto nivoso depende de la temperatura del aire o del calentamiento o enfriamiento radiativo diurno o nocturno, mientras que la temperatura de su base se mantiene siempre próxima a 0ºC.

Este gradiente de temperatura fuerza al vapor de agua a moverse verticalmente desde la base del manto a mayor temperatura hacia zonas menos profundas con temperaturas más bajas, tal como se esquematiza en la figura siguiente.

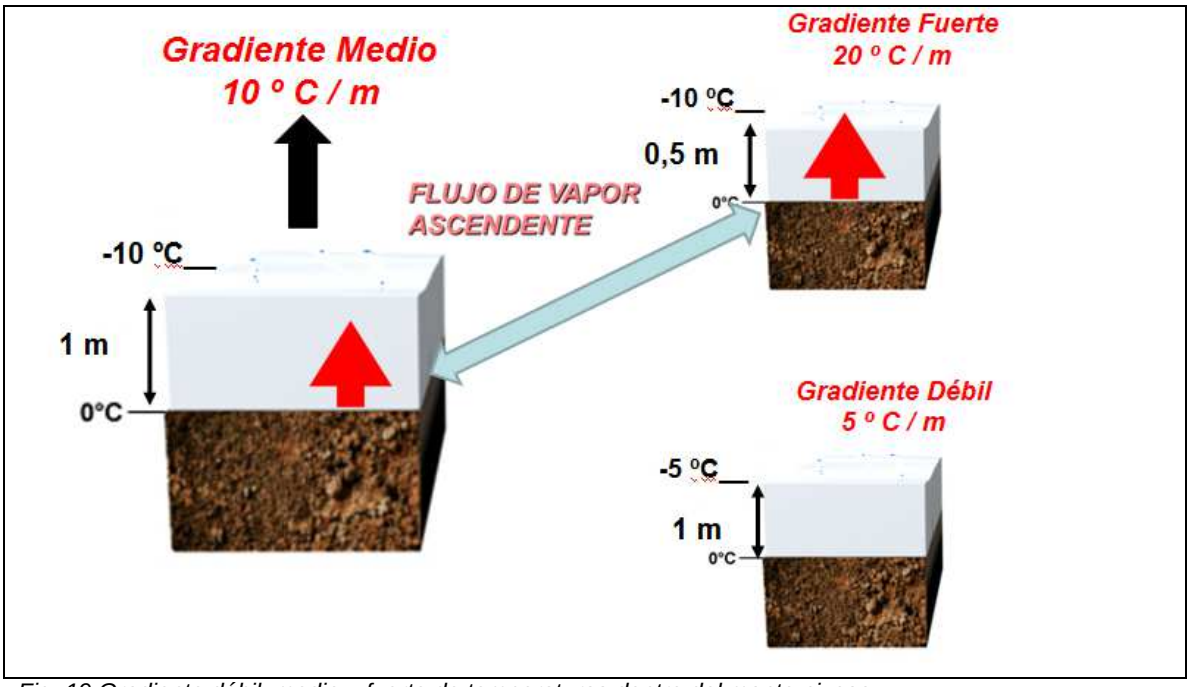


Fig. 19 Gradiente débil, medio y fuerte de temperaturas dentro del manto nivoso.
Dirección ascendente del flujo de vapor, forzado por el gradiente de temperaturas. Parte de la Ilustración procede de Módulos COMET: ***http://www.meted.ucar.edu/afwa/snowpack/***

El vapor de agua, en forma de millones de moléculas, asciende desde la zona de mayor temperatura a la de menor, produciéndose una sublimación inversa sobre los granos que se encuentran más arriba, y la consiguiente formación de caras planas en la base de dichos granos, que constituyen el manto nivoso.
Si el gradiente de temperatura dentro del manto nivoso es fuerte y persistente (>20ºC/m) las caras planas se forman sucesivamente, formando columnas, denominadas cubiletes o escarcha de profundidad.
Este mecanismo, por el cual se produce una sublimación directa del hielo de la base del manto, que además va acompañado por un enfriamiento debido al consumo de calor latente de sublimación, y que más arriba se produzca la sublimación inversa con generación de calor latente y calentamiento, constituye un proceso sorprendente de conducción del calor y por tanto de disminución del gradiente térmico. **Sin embargo, si el gradiente es débil, no existe una conducción forzada del vapor.**

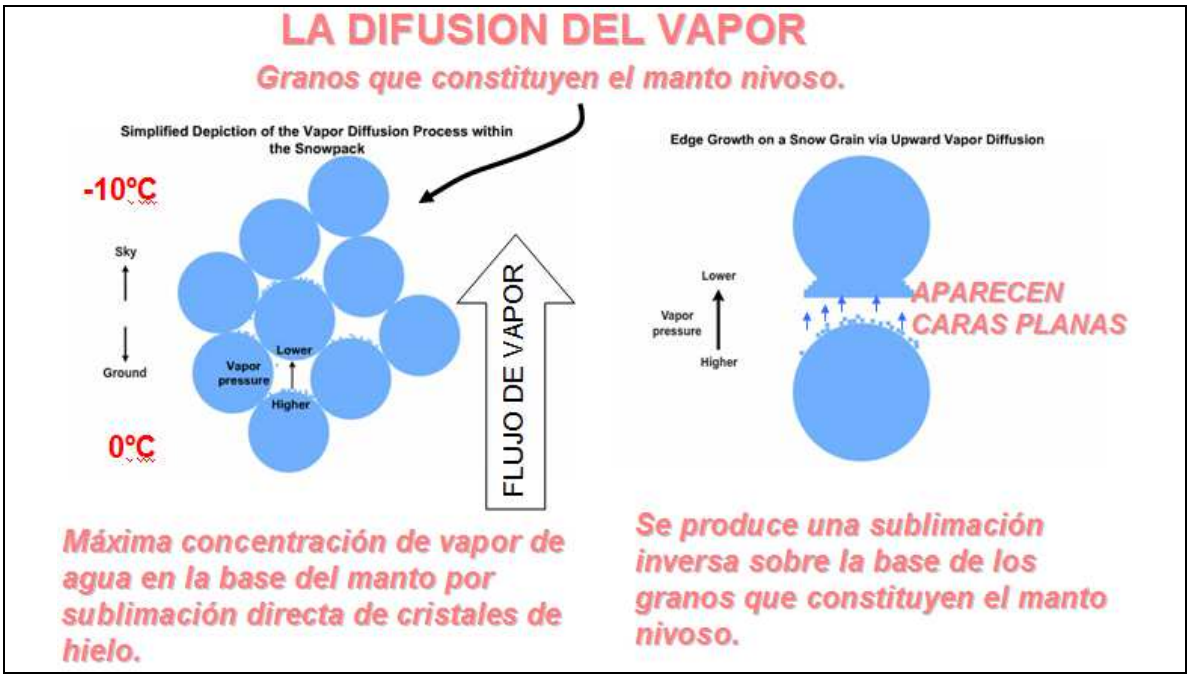


Fig. 20 Flujo de vapor ascendente debido al gradiente medio dentro del manto nivoso. Aparición de caras planas. Ilustración procedente de Módulos COMET: ***http://www.meted.ucar.edu/afwa/snowpack/***

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

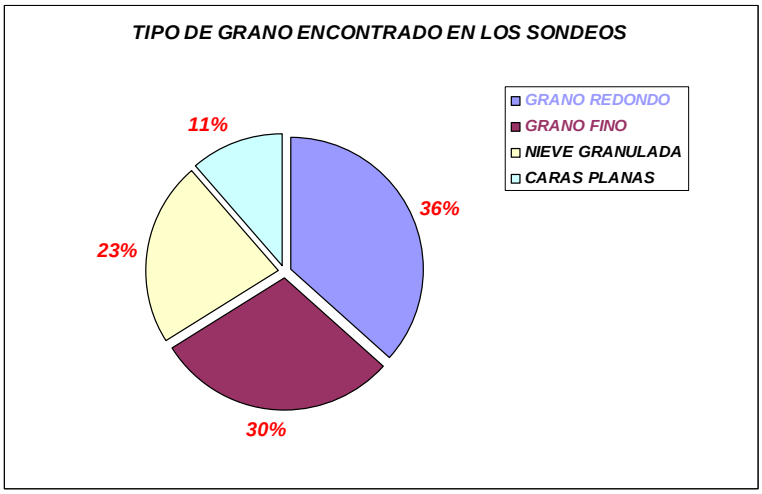


Fig. 21 Tipo predominante de cristal encontrado en los sondeos realizados en Picos de Europa. Nieve granulada.

La presencia de nieve granulada responde a una situación meteorológica típica de nevadas en el Cantábrico, con descarga fría postfrontal, constituida por nubosidad del tipo células abiertas en aire frío, que es muy inestable y con un gran contenido de gotitas superenfriadas que congelan al contacto con cristales de hielo (proceso de acreción "Riming" entre 0 y -10º C), dando lugar a las conocidas bolitas 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.

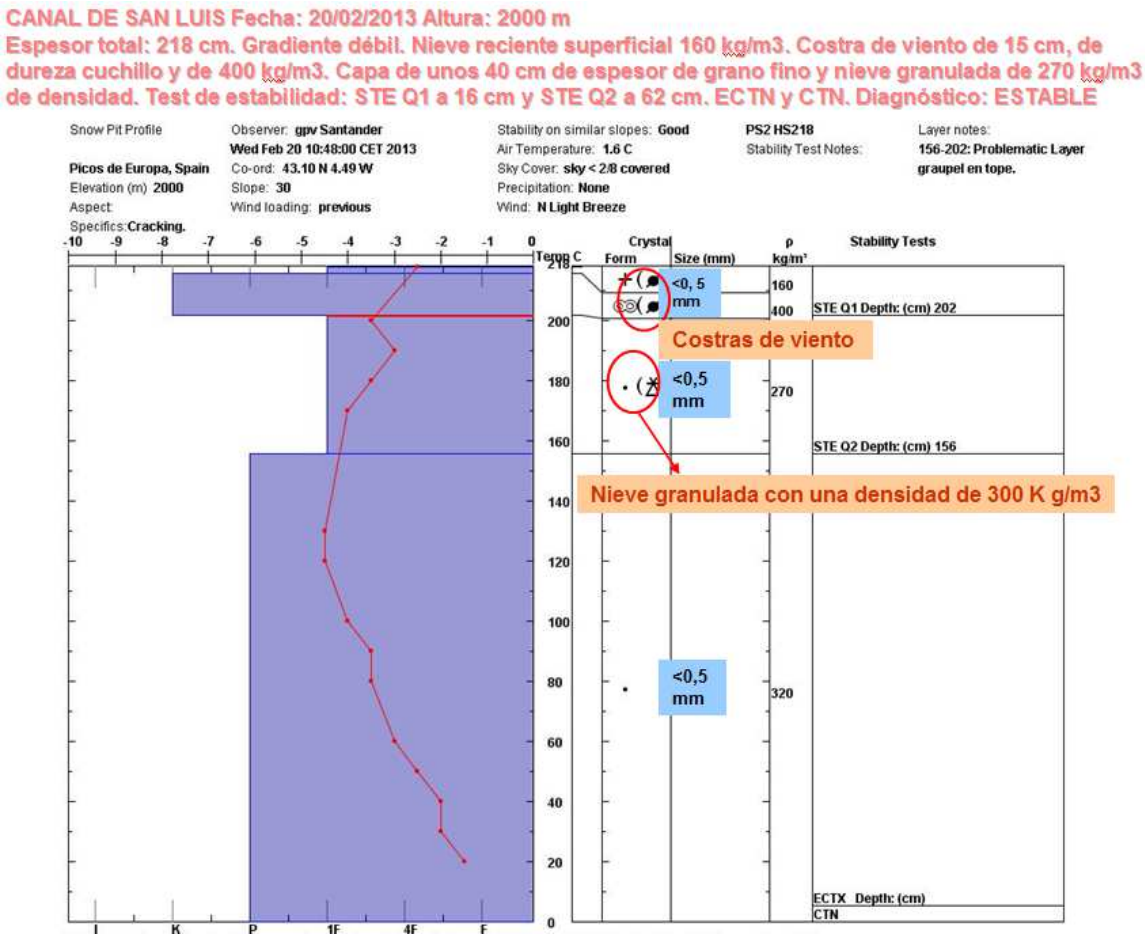


Fig. 22 El sondeo del 20 de febrero de 2013 muestra una capa de mezcla de grano fino y nieve granulada de unos 40 cm de espesor.

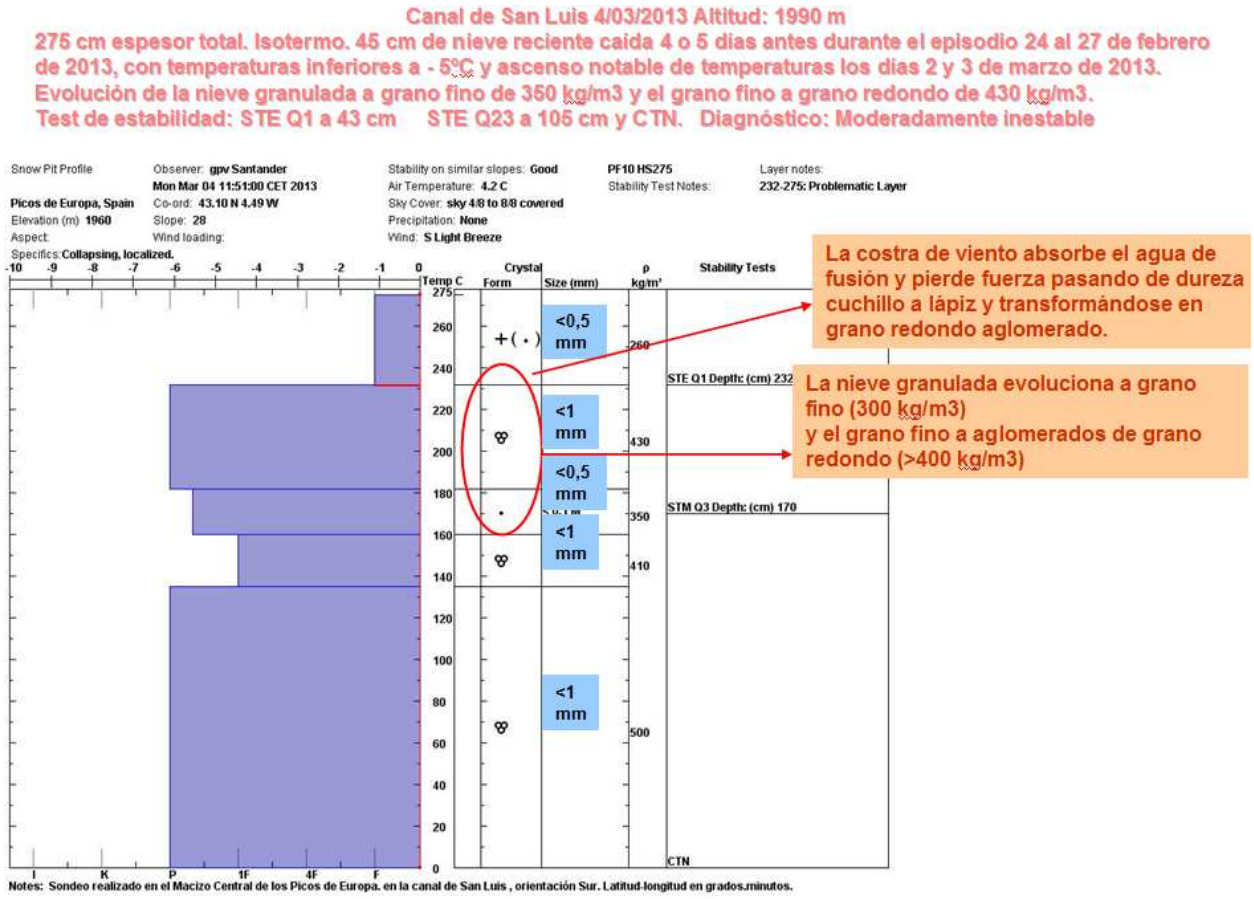


Fig. 23 El sondeo del 4 de marzo de 2013, realizado a 10 m del sondeo de la figura anterior y 14 días después, muestra la evolución de la capa de nieve granulada a grano fino.

6 Metamorfosis de la nieve seca en Picos de Europa

En los sondeos realizados, los gradientes de temperatura dentro del manto nivoso están representados en la figura siguiente, en la que se observa que **el gradiente medio no supera los 7 ºC/m que se corresponde con un gradiente moderado próximo a débil** y los gradientes máximos, en la inmensa mayoría de los casos, se registran en un estrato superficial de poco espesor, normalmente de unos 10 o 20 cm y debido al enfriamiento de la superficie de la nieve durante la noche, y por tanto, **se trata de gradientes fuertes no persistentes.**

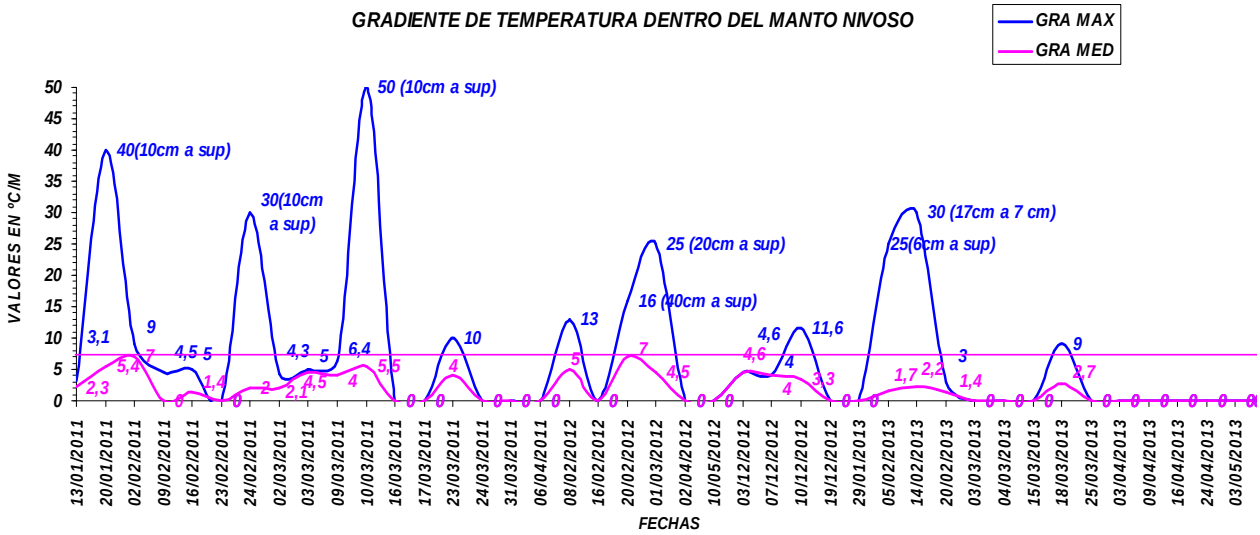


Fig. 24 Gradiente de temperaturas dentro del manto nivoso en los cuarenta y dos sondeos realizados durante los años 2011, 2012 y 2013

Según estos datos, **en Picos de Europa predomina la metamorfosis de gradiente débil (0ºC/m < G > 5ºC)** y en algunas ocasiones, pocas, se encuentra algún gradiente medio (5ºC < G < 20ºC).
Por tanto hay una marcada tendencia 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.

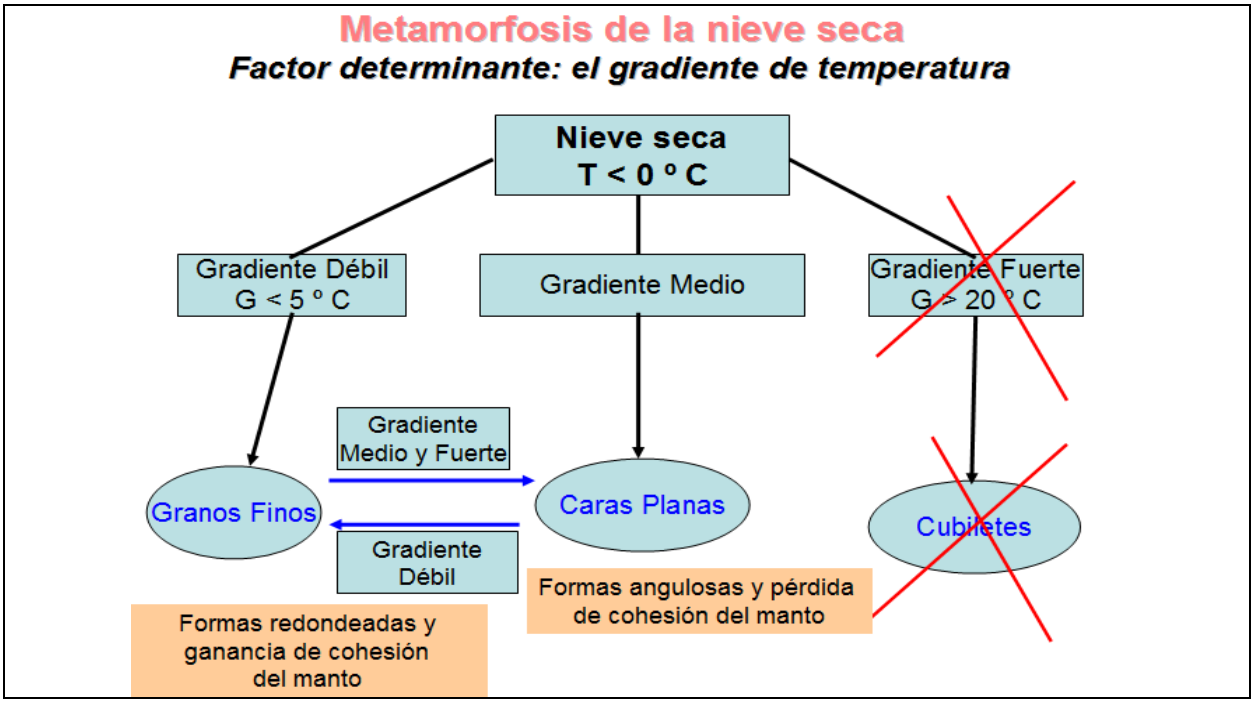


Fig. 25 Metamorfosis de la nieve seca en Picos de Europa, según las observaciones realizadas en los sondeos durante los años 2011, 2012 y 2013

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

Es muy normal encontrar un manto nivoso, que esté representado por el sondeo de la **figura siguiente**, donde hay dos partes muy diferenciadas. **Un metro (normalmente más) de nieve vieja que ha sufrido ya reiterados procesos de fusión y rehielo, isotermo, formado por granos redondos de gran densidad (500 kg /m3) y dureza cuchillo (K), por encima del cual, hay nieve más reciente, caída varios días antes, con un gradiente medio de temperaturas y por tanto con un transporte de vapor ascendente que forma caras planas (0,5 mm de diámetro) sobre los granos finos superiores y da lugar a una capa frágil de aproximadamente unos 10 cm de espesor y a una profundidad media entre 20 y 40 cm desde la superficie.**
En estos casos el test de compresión da un resultado CTM (valor medio), y el test de la columna extendida resulta ECTN, esto es, sin propagación en la fractura.
Este tipo de estructura del manto nivoso y de la estabilidad asociada es muy común en Picos de Europa.

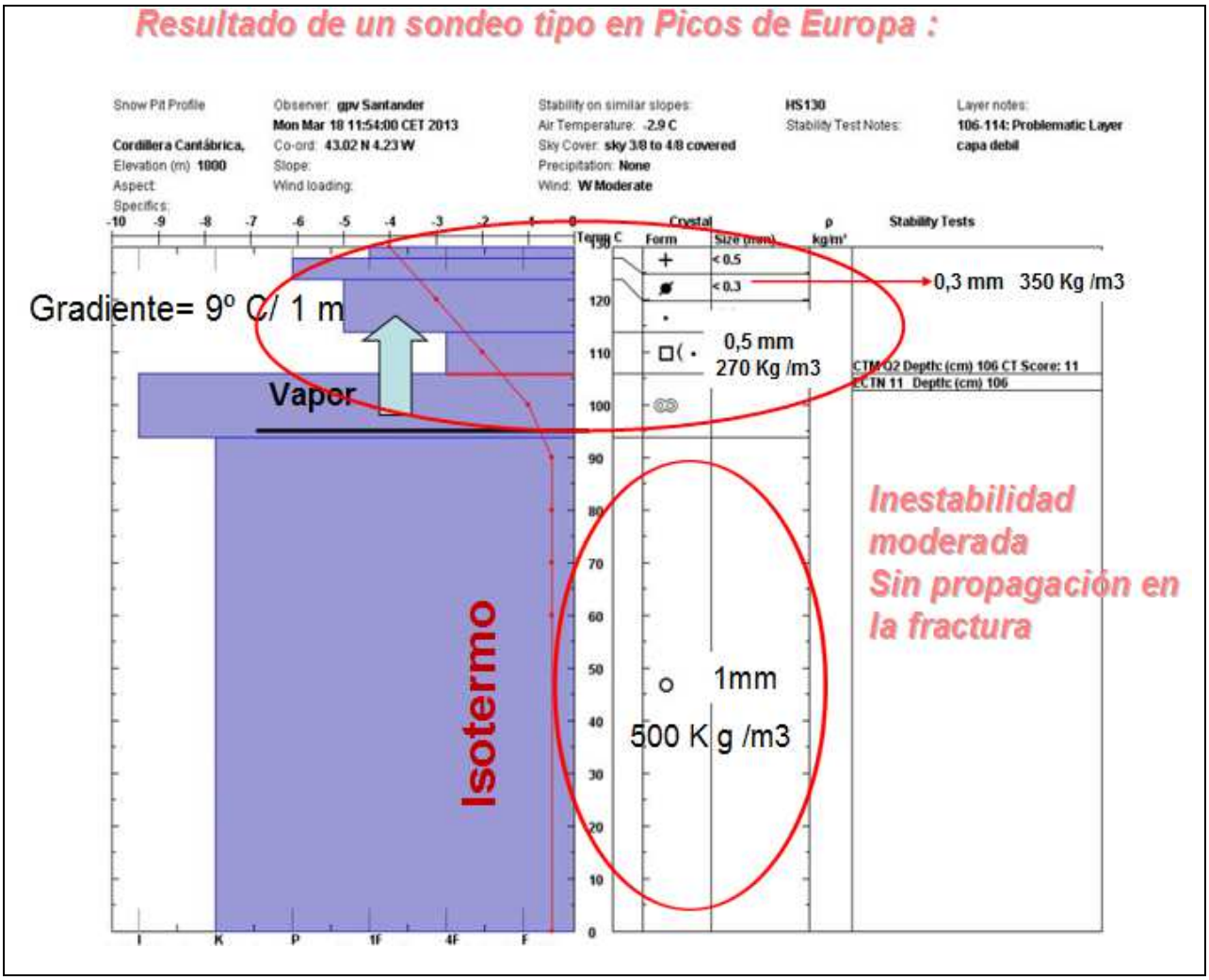


Fig. 26 Sondeo de 18/03/2013 a 1800 m en el macizo central de Picos de Europa

7 La densidad de la nieve en el manto

De las medidas de densidad realizadas resulta que la densidad menor encontrada corresponde a una mezcla de nieve reciente y partículas reconocibles de 130 kg/m3 y la mayor corresponde a grano redondo de 620 kg/m3. La densidad media del grano redondo es de 500 kg/m3.

El rango de densidad de las caras planas está entre 250 y 300 kg/m3, menor que el grano fino, aunque se dispone de una muestra muy pequeña, por su escasa presencia.

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

En la figura siguiente se representa la densidad de la nieve encontrada en los sondeos realizados en relación al tipo de grano.

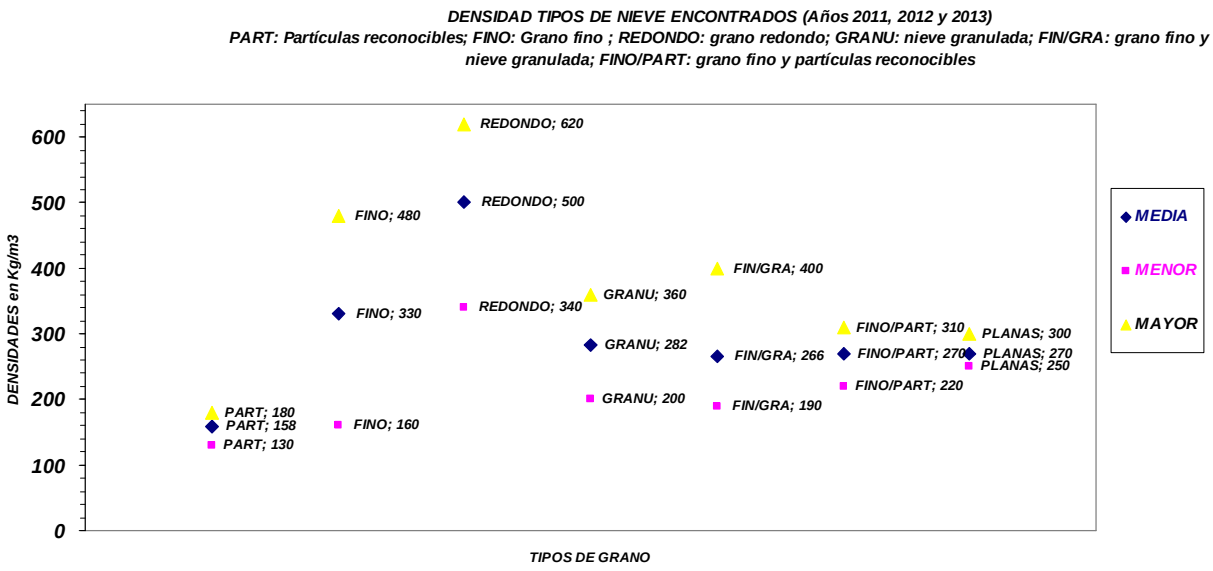


Fig. 27 Muestra la densidad en kg/m3 de la nieve, en función del tipo de grano (sondeos realizados durante los años 2011, 2012 y 2013). PART partículas reconocibles. FINO grano fino, REDONDO grano redondo, GRANU nieve granulada, FIN/GRA grano fino y nieve granulada, FINO/PART grano fino y partículas reconocibles, PLANAS granos con caras planas.

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

La estabilidad del manto nivoso depende de tres factores que se detallan en la figura siguiente: **la fuerza del manto nivoso**, **la calidad de las fracturas que está relacionada con la energía elástica** almacenada por la tensión a que está sometida una parte determinada del manto nivoso, y **la estructura de capas** de dicho manto.

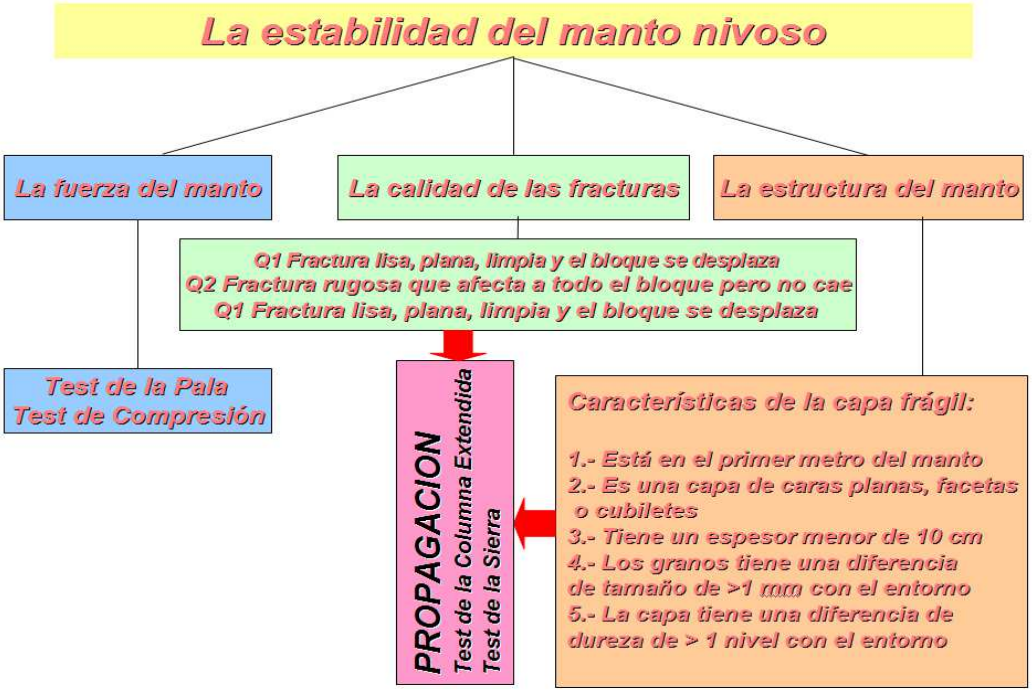


Fig. 28 Factores de los que depende la estabilidad del manto nivoso.

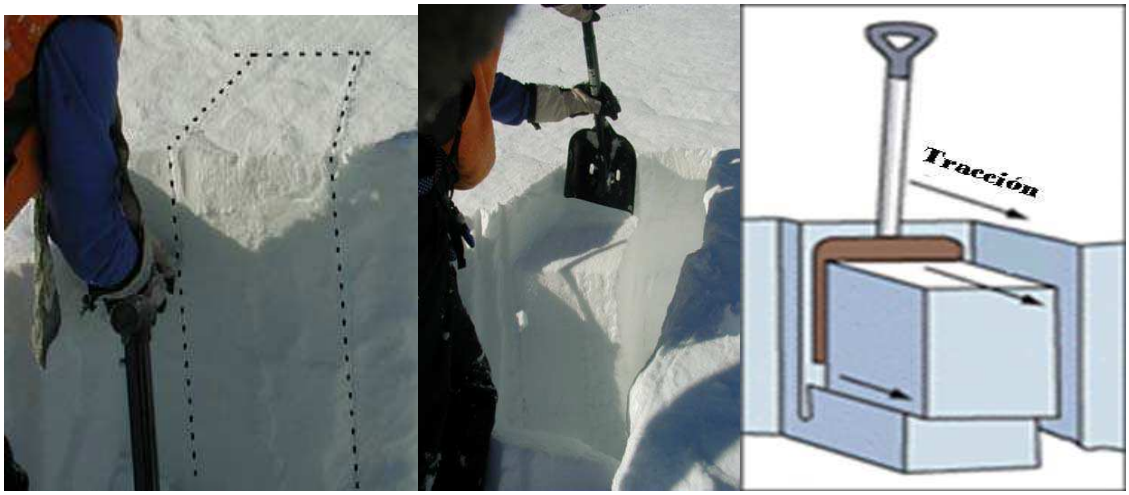
La iniciación de la fractura, que depende de la fortaleza del manto y de las características de la capa frágil (cristales que la componen, calidad, profundidad, etc.) donde se localiza la fractura, **se detecta con los test de la Pala y de Compresión**. Sin embargo, **la propagación de la fractura, se 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 es el test más subjetivo, pudiendo llevar a errores si se interpreta en términos de estabilidad del manto nivoso.



Procedimiento:

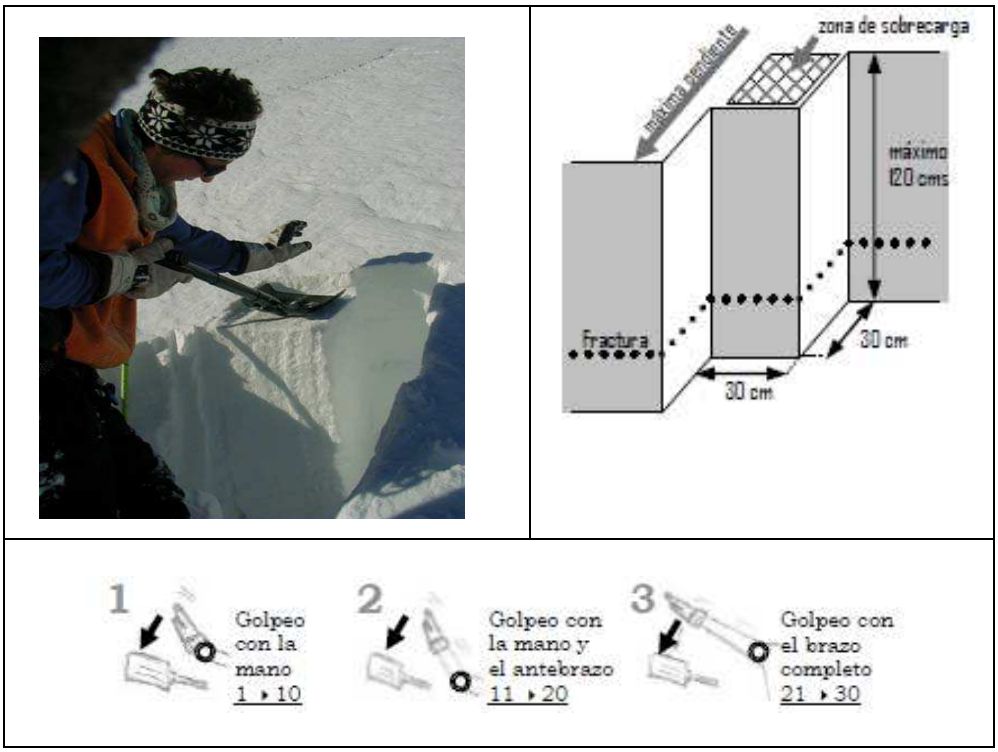
Se aísla un bloque en forma de columna de 30x30 cm, con el frente mirando ladera abajo, cortando primero los laterales y después la parte trasera, hasta la profundidad a la que llegará la hoja de la pala, o hasta que haya una capa de nieve dura. Se inserta la hoja de la pala y se tira del mango con las 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**	**V**ery easy-Muy Fácil	Fractura (cae, se desmorona) al aislar el bloque o meter la pala
STE	**E**	**E**asy - Fácil	Fractura al tirar con poca fuerza
STM	**M**	**M**oderate - Mediana	Fractura al tirar con una fuerza mediana
STH	**H**	**H**ard - Difícil	Cae al tirar con un esfuerzo sostenido y considerable
STN	**N**	**N**o 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:

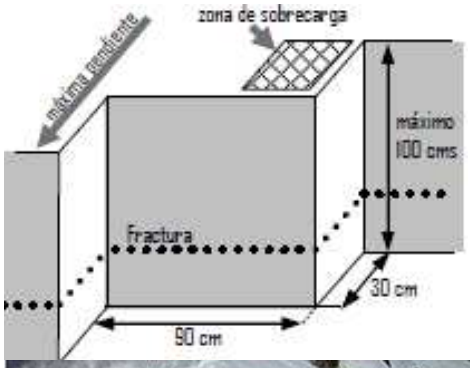


Procedimiento:
Se aísla un bloque de 30 x 30 cm, con el frente mirando ladera abajo, cortando los laterales y la parte trasera hasta una profundidad máxima de 120 cm, aunque habitualmente con 1 m es suficiente. Se despeja uno de los laterales para que el observador vea bien las fracturas. Se coloca la 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**	**V**ery easy - Muy Fácil	Fractura al aislar el bloque
CTE	**E**	**E**asy - Fácil	Fractura golpes desde la muñeca (CT1 a CT10)
CTM	**M**	**M**oderate - Mediana	Fractura golpes desde el codo (CT11 a CT20)
CTH	**H**	**H**ard - Difícil	Fractura golpes desde el hombro (CT21 a CT30)
CTN	**N**	**N**o 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.

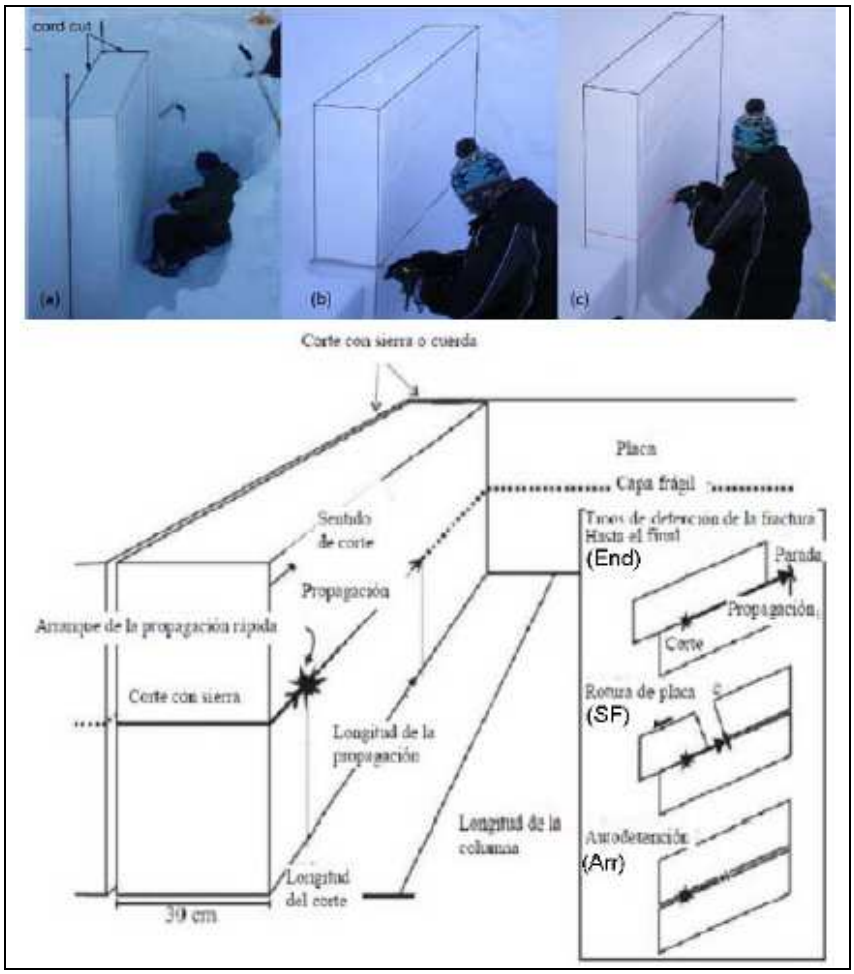
Se coloca la pala en plano sobre **un extremo del bloque** y se ejercen sucesivamente 3 series de 10 golpes sobre la pala. La 1ª serie de 10 golpes se da con la mano arqueada golpeando con las yemas de los dedos y articulando el movimiento con la muñeca. La 2ª serie el movimiento al golpear se articula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

La puntuación del test vendrá dado por:

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 o 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 con la observación del peligro de aludes remitida por los colaboradores, el número y tamaño de los aludes observados y el resultado de los sondeos y test de estabilidad *(escala adaptada de Moore, 2006 y AINEVA. de la figura 13)* realizados en los tres años contemplados en el estudio, dan los resultados que muestra la figura siguiente:

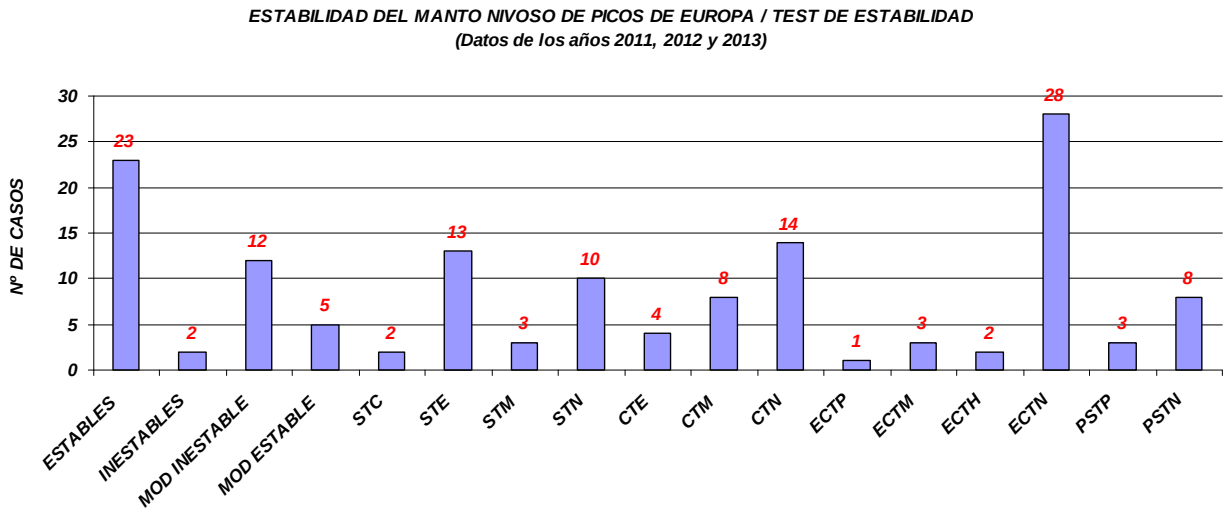


Fig. 29 Estimación de la estabilidad del manto nivoso según la tabla de la figura 13. Resultados de los test de estabilidad ST (Test de la pala), CT (Test de compresión), ECT (Test de la columna extendida), PST (Test de la sierra). Resultados de los test realizados durante los años 2011, 2012 y 2013.
**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. Además en el caso del test de la Columna extendida los resultados reflejan la mala propagación de la fractura inicial que es tan frecuente en Picos de Europa.
La gráfica muestra también el **predominio de la estabilidad del manto nivoso** en un elevado número de casos.

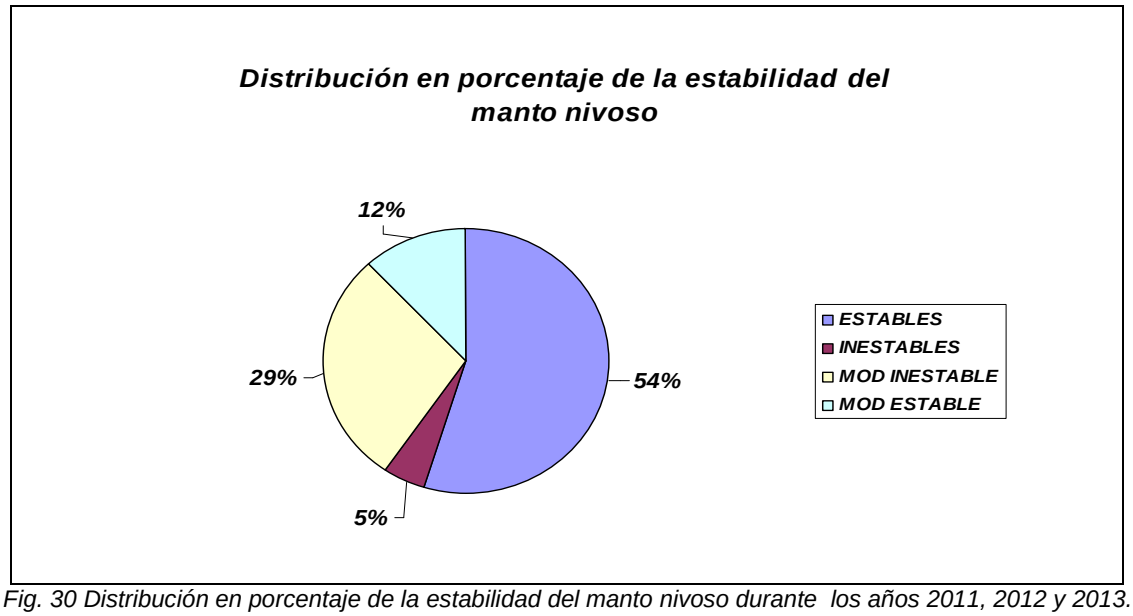


Fig. 30 Distribución en porcentaje de la estabilidad del manto nivoso durante los años 2011, 2012 y 2013.

Dentro de la estructura del manto nivoso, la existencia o no de capas frágiles, el tipo de capa frágil de que se trata, y las características de 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

Cuantas 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.

Siendo la escala de durezas reconocida internacionalmente:

	Dureza	Penetra	Código
1	Muy baja	**Puño (Fist)**	**F**
2	Baja	**4 Dedos (4 Fingers)**	**4F**
3	Media	**1 Dedo (1 Finger)**	**1F**
4	Alta	**Lápiz (Pencil)**	**P**
5	Muy alta	**Cuchillo (Knife)**	**K**
6	Hielo	**Hielo (Ice)**	**I**

Fig. 31. Medida de durezas de las capas. Fotografía Alberto Mediavilla.

En el caso de que exista una capa frágil, **por diferencia de dureza entre una capa y su entorno**, en la mayoría de los casos, la capa frágil se sitúa entre un estrato de menor dureza colocado sobre otro de mayor dureza con diferencias de uno o más niveles (1F sobre P, 4F sobre P incluso F sobre K). En muchas menos ocasiones se da el caso contrario, un estrato de mayor dureza sobre otro de menor, aunque en este caso la diferencia son de hasta de tres niveles (P sobre F).

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

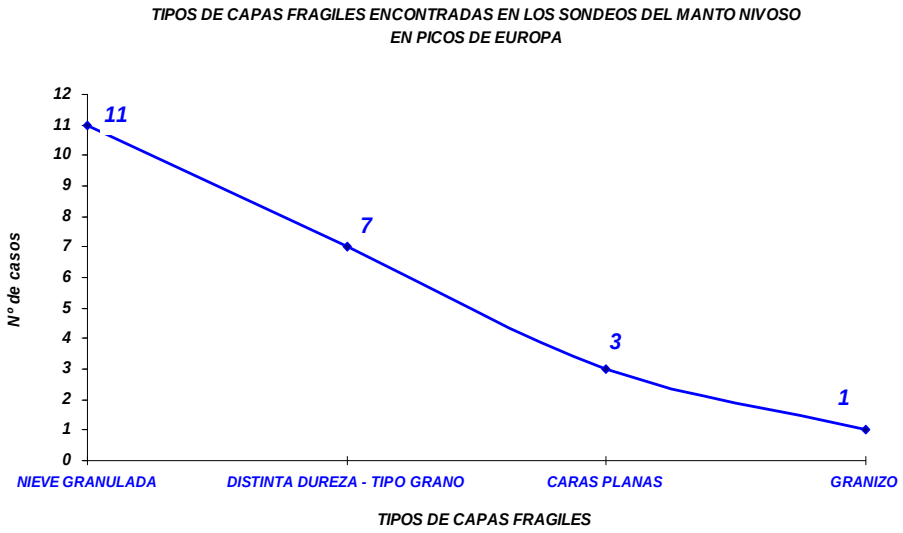


Fig. 32 Tipos de capas frágiles y número de veces registradas en los sondeos realizados en Picos de Europa

El la **figura siguiente** se muestra un ejemplo de capa frágil de un sondeo con nieve húmeda o muy húmeda (porcentaje de contenido de agua líquida entre el 3 y el 8%), de finales marzo de 2011. A pesar de tratarse de nieve húmeda, y siendo los test de estabilidad más propios de nieve seca, el ECT es positivo en cuanto a propagación, en una capa a 40 cm de profundidad. Corroborando este hecho, el test de la Sierra propaga hasta el final de la columna en la misma capa frágil.

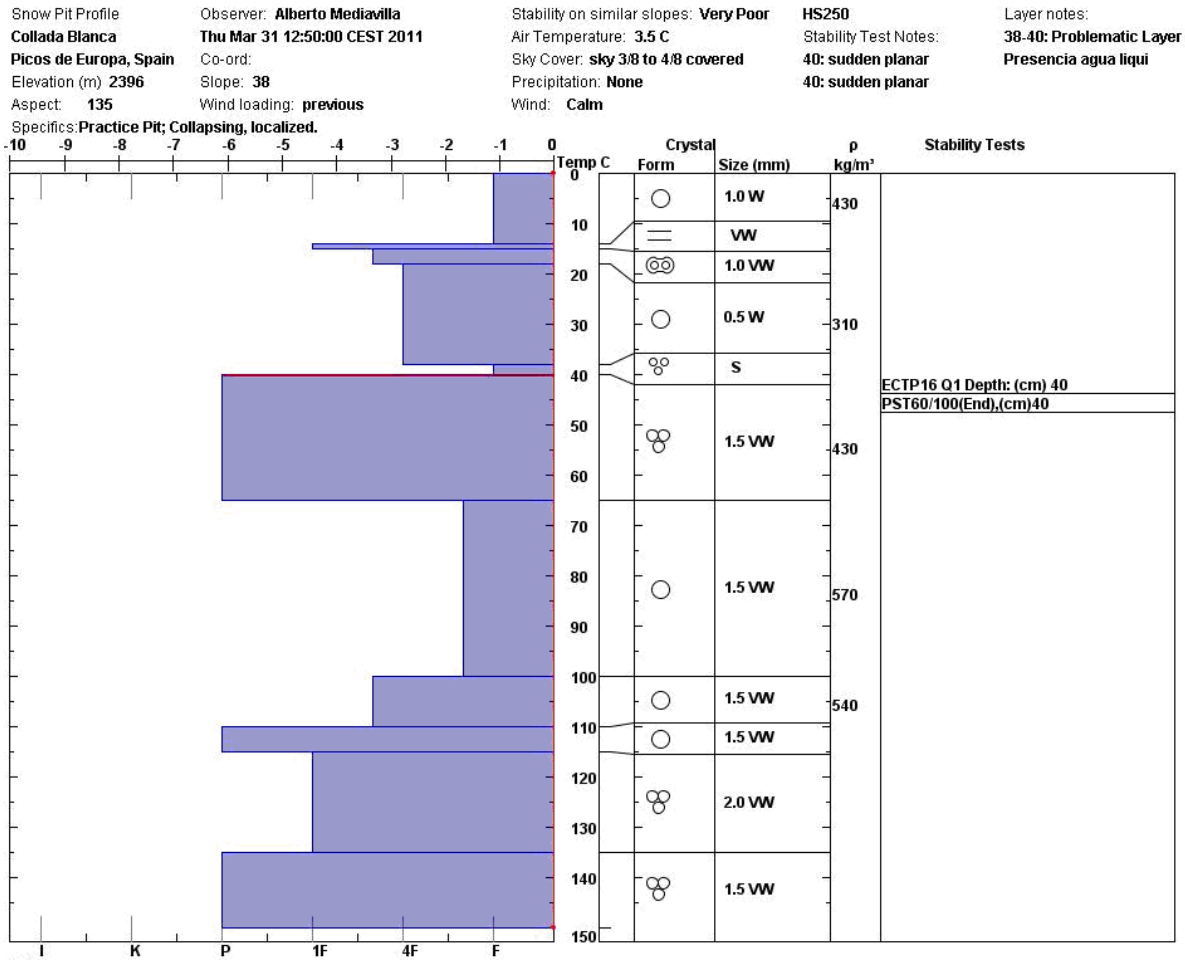


Fig. 33 Sondeo del manto nivoso del 31/3/2013. Capa frágil a 40 cm (línea roja). Diferente dureza y humedad entre los aglomerados de grano redondo, arriba dureza puño, debajo dureza lápiz.

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, la energía se libera sin dificultad, de forma repentina**, y el bloque se desplaza pendiente abajo (laderas inclinadas unos 30º) o se produce una fractura en escalón que 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**.

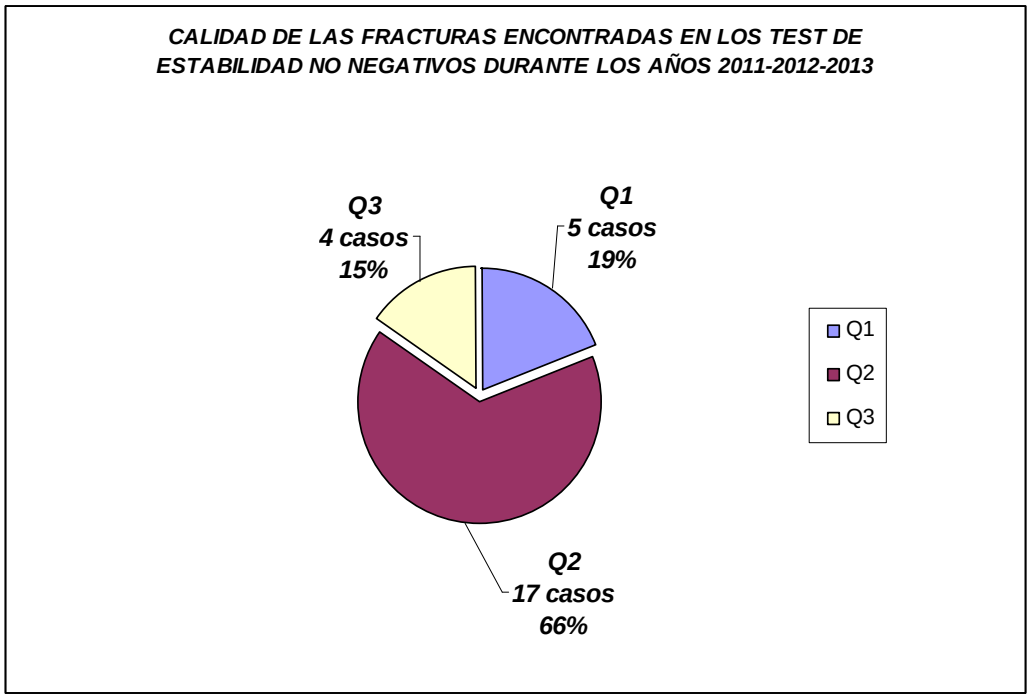


Fig. 34 Calidad de las fracturas encontradas en los tests de estabilidad realizados durante los años 2011, 2012 y 2013.

9 Los diferentes tipos de aludes

Los tipos de aludes se presentan en tres grupos:

- Aludes de nieve reciente (incluidas las placas friables).
- Aludes de placa dura.
- 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.
Como puede verse en la figura siguiente, durante la campaña de invierno de 2012 se registraron nevadas con temperaturas inferiores a -10 º C a primeros de febrero en una sola ocasión, y el resto de episodios de nieve se produjeron con temperaturas en torno a -5º C a esa altura.
Por el contrario, se registraron frecuentes periodos de temperaturas positivas, algunos superiores a 5 ºC a ese nivel. También se acumularon grandes espesores de nieve en los sucesivos episodios de nevadas, como en el caso de los primeros días de febrero de 2012, que incrementaron de forma notable el espesor del manto nivoso.

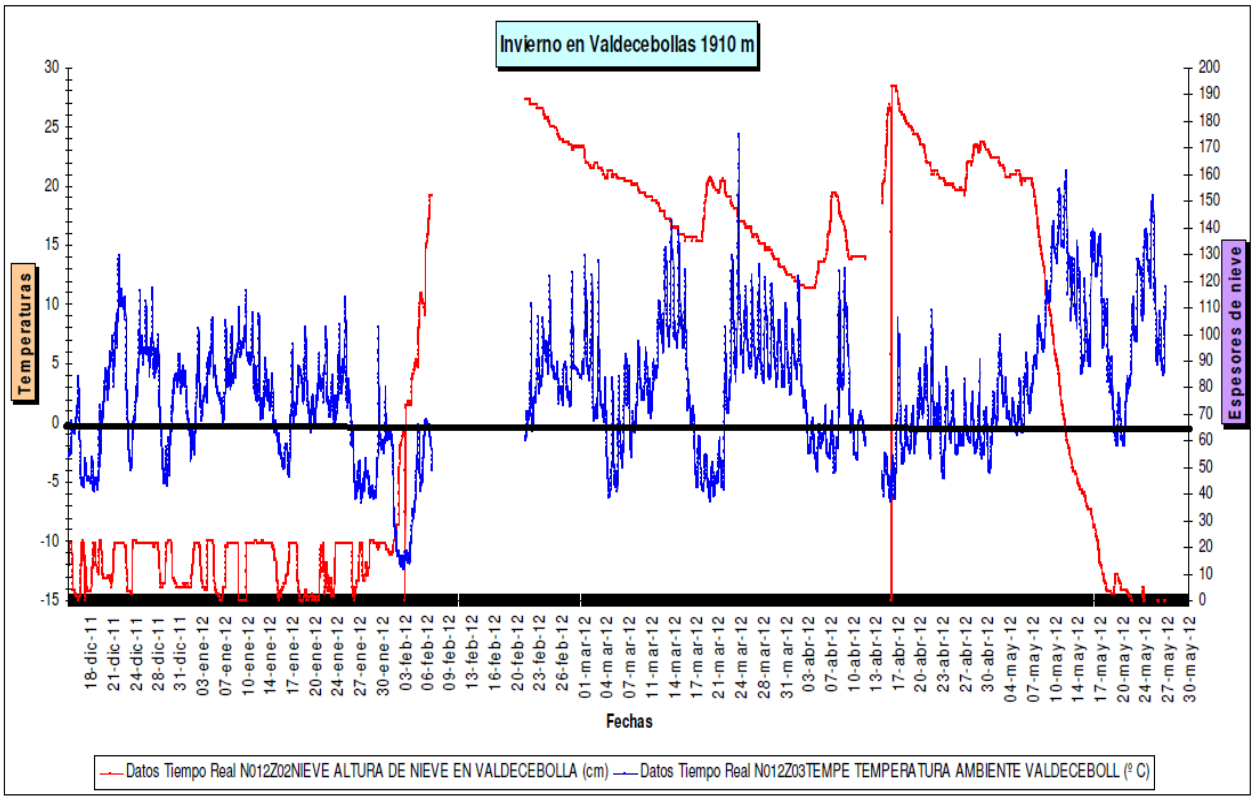


Fig. 35 En azul datos de temperaturas a 1910 m en el telenivómetro de Valdecebollas (Confederación Hidrográfica del Ebro) de 15 de diciembre de 2011 a 30 de mayo de 2012. En rojo espesores de nieve en cm.

La alternancia de ascensos y descensos de temperatura a un nivel de 2000 m es frecuente durante el invierno, con temperaturas positivas que a veces van acompañados de lluvias, seguidas de bruscos descensos acompañados de nevadas. Estas condiciones tan cambiantes implican también grandes variaciones en el peligro de aludes.

Fig. 36 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.**

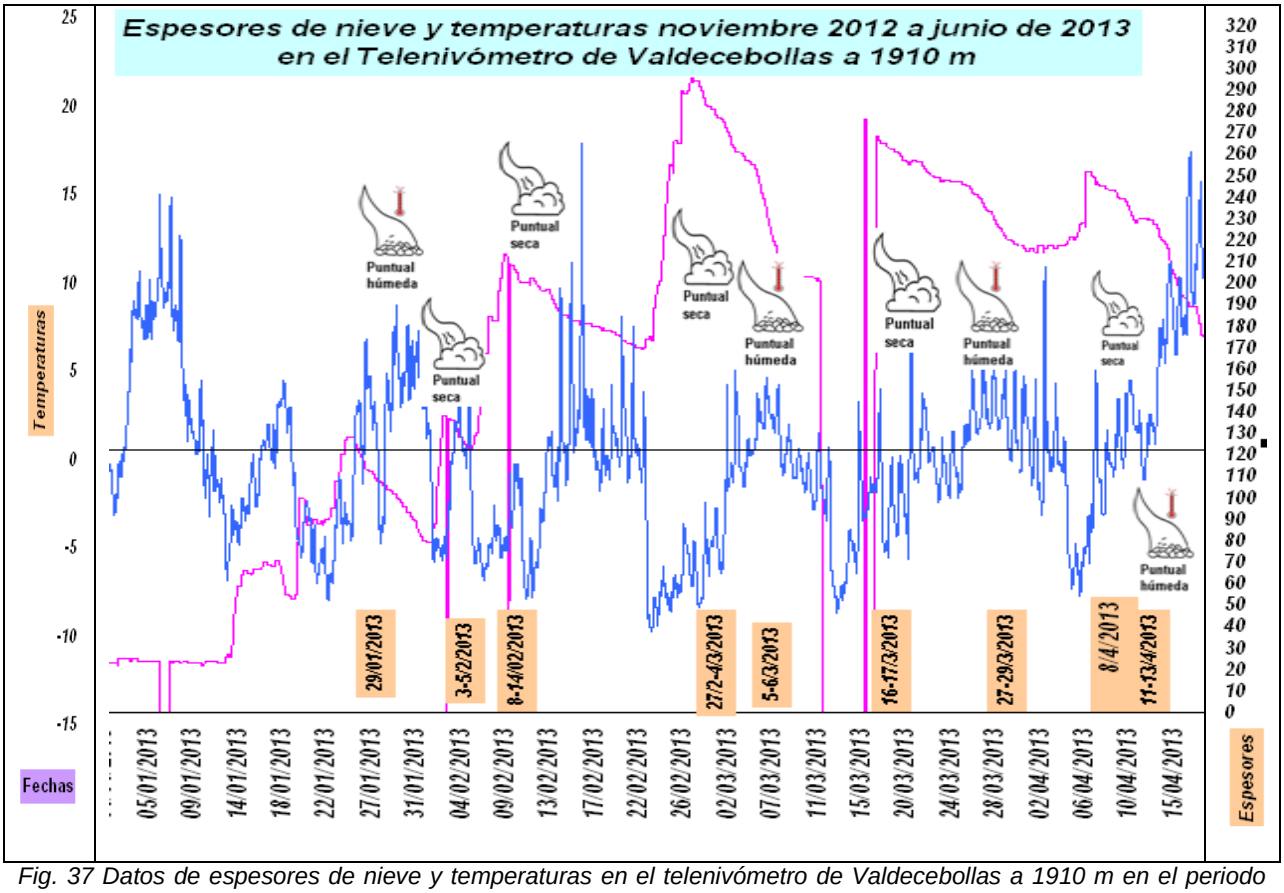


Fig. 37 Datos de espesores de nieve y temperaturas en el telenivómetro de Valdecebollas a 1910 m en el periodo comprendido entre el 5/1/2013 al 15/04/2013 con los símbolos del tipo de aludes y las fechas de registro

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) de la figura siguiente.

Los fuertes vientos que acompañan a los episodios de nevadas dan como resultado un transporte de nieve y una velocidad de sinterización muy elevada, tanto porque los granos finos generados por 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 ºC.

Por tanto, **la formación de placas será muy rápida en general y esto es un factor que incrementa el peligro de este tipo de aludes, debido a que la pérdida rápida de plasticidad de la nieve sinterizada implica anclajes deficientes sobre el terreno.**

Velocidad de sinterización en función de la temperatura y del tamaño del grano

Ø (mm)	T (ºC) -20	-10	0
0.1	20 s	10 s	7 s
0.5	42 min	22 min	14 min
1.0	5.6 h	3 h	1.8 h

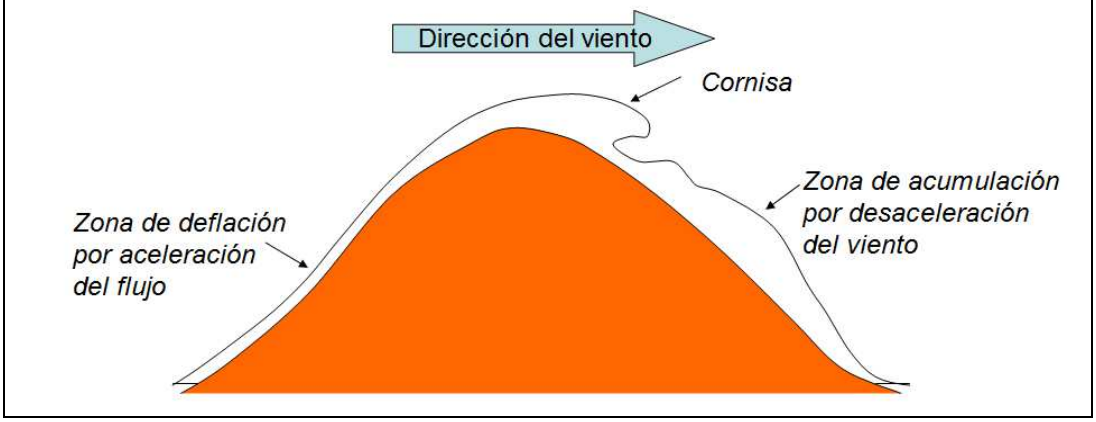


Fig. 38 Tabla de velocidad de sinterización (Hobbs y Mason 1964). Intervalos de temperatura: -20, -10 y 0 ºC. Debajo, ilustración del transporte y acumulación de la nieve debida al viento.

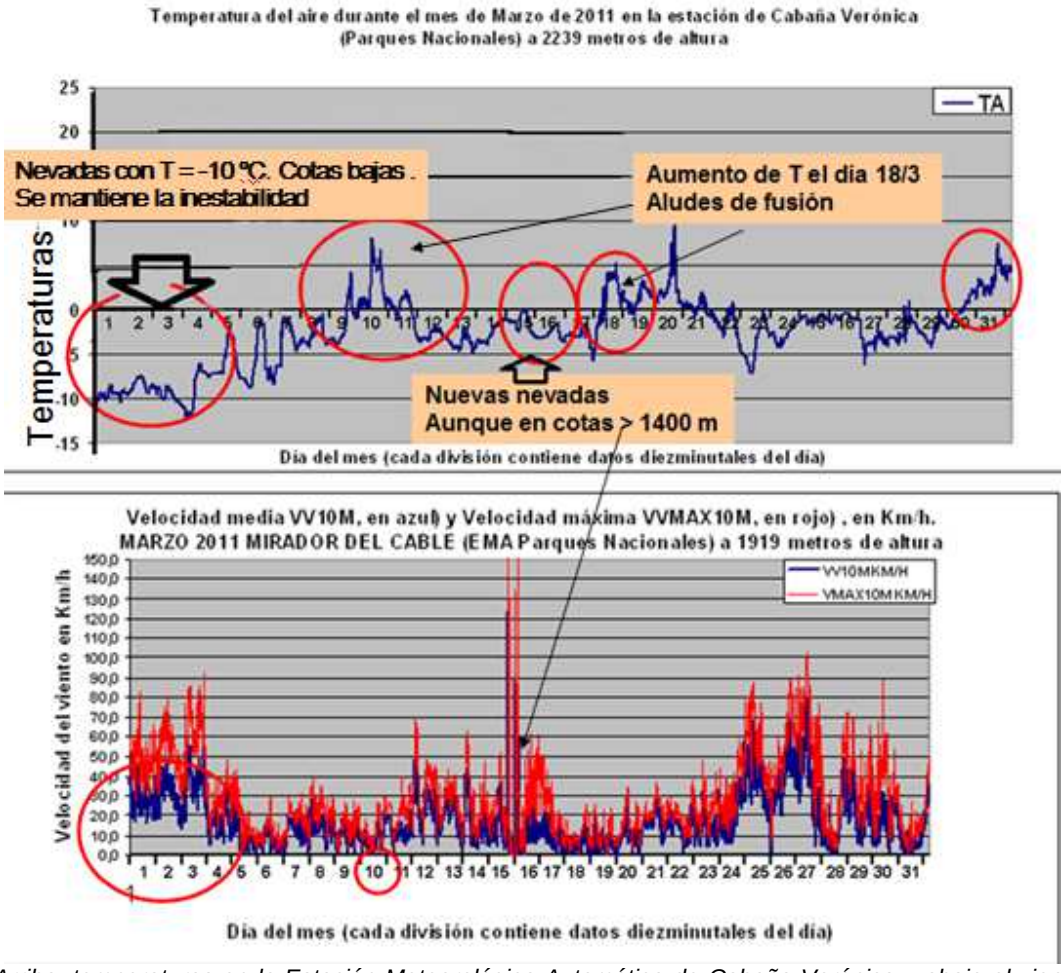


Fig. 39 Arriba, temperaturas en la Estación Meteorológica Automática de Cabaña Verónica y abajo el viento medio (azul) y rachas (rojo) registrado en la EMA del Mirador del Cable, ambas pertenecientes al Parque Nacional de Picos de Europa, durante el mes de marzo de 2011. Muestra que los episodios de nevadas van acompañados de fuertes vientos, así como las notables oscilaciones de temperaturas.

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. 40 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.

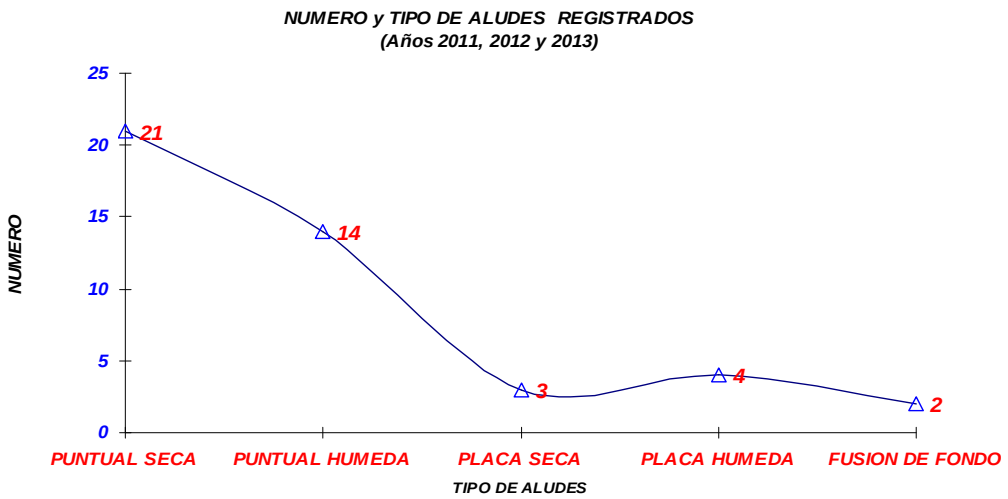


Fig. 41 Número y tipo de aludes observados durante los años 2011, 2012 y 2013

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.

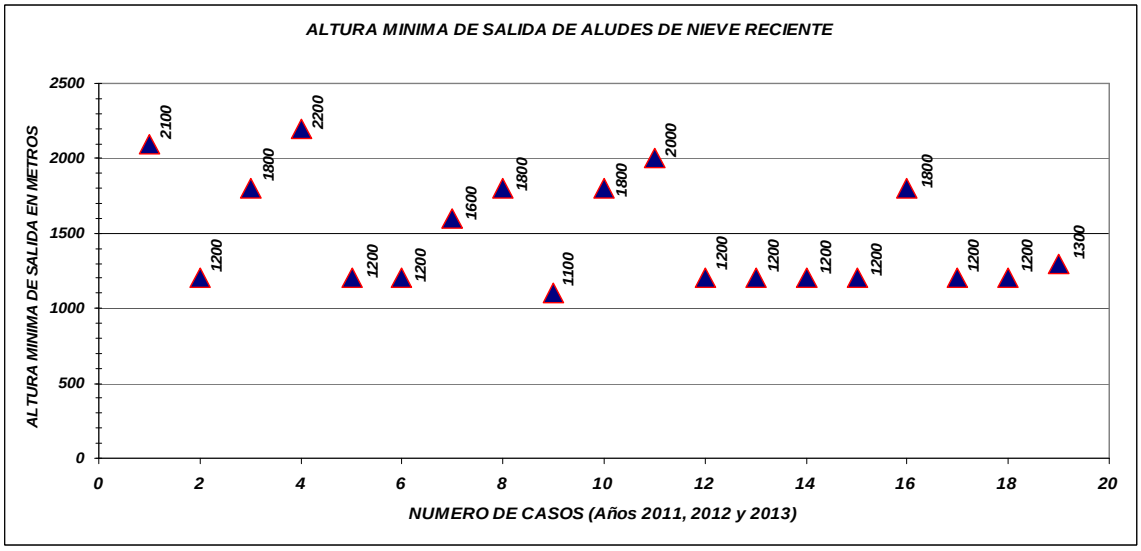


Fig. 42 Altura mínima de salida de aludes de nieve reciente en los episodios registrados durante los años 2011, 2012 y 2013.

Todos los años se repiten estas salidas de aludes, que afectan a las mismas zonas**, siempre que la cota de nieve está en torno a los 500 m o es inferior**. En algunas ocasiones se producen con cotas superiores, hasta unos 800 m si las nevadas acumulan bastante espesor.

Fig. 43 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 Google Earth.

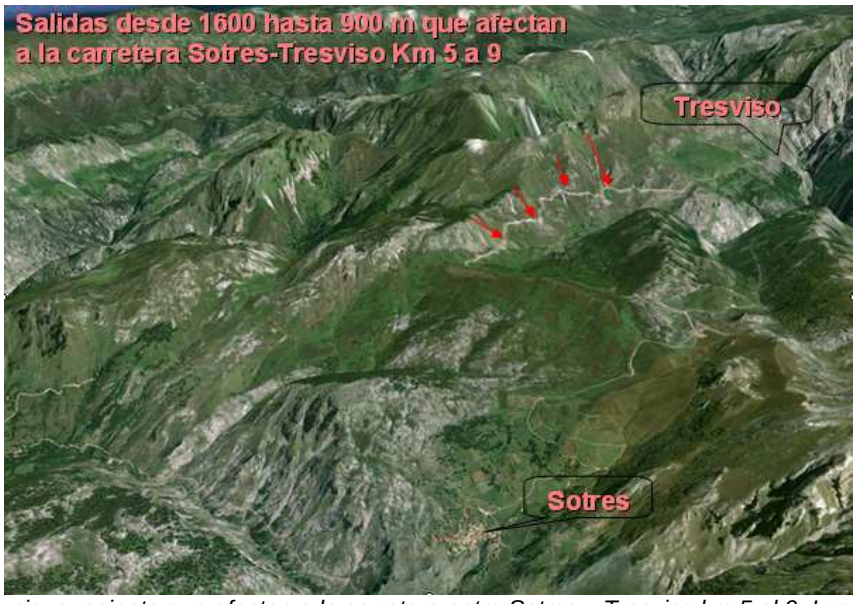


Fig. 44 Aludes de nieve reciente que afectan a la carretera entre Sotres y Tresviso km 5 al 9. Imagen Google Earth.

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 de aludes ocurren a menor altura.

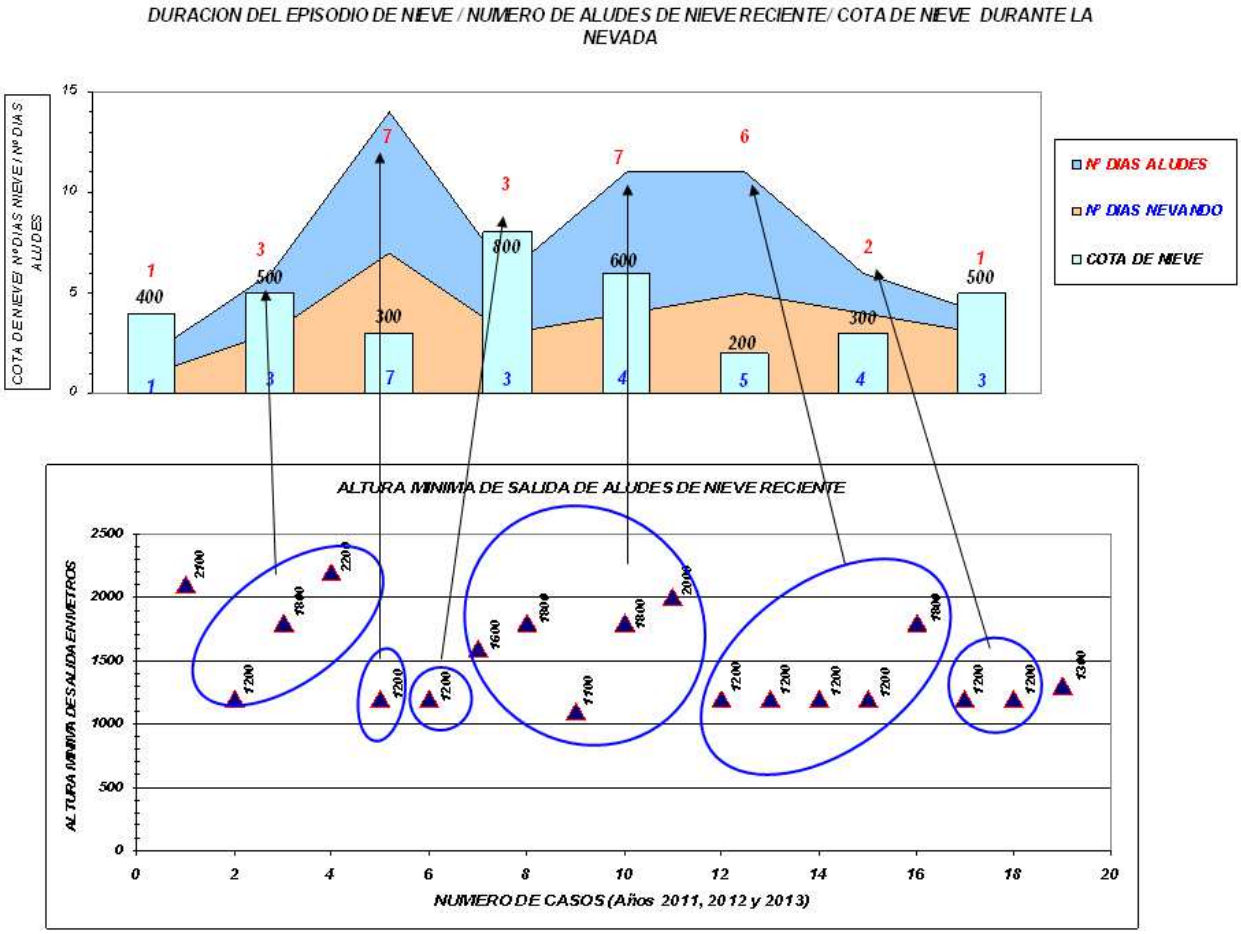


Fig. 45 Relación entre el número de días seguidos con nevadas, la cota de nieve, la altura mínima de salida de aludes de nieve reciente y el número de días posteriores a las nevadas en que éstos se producen.

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.**

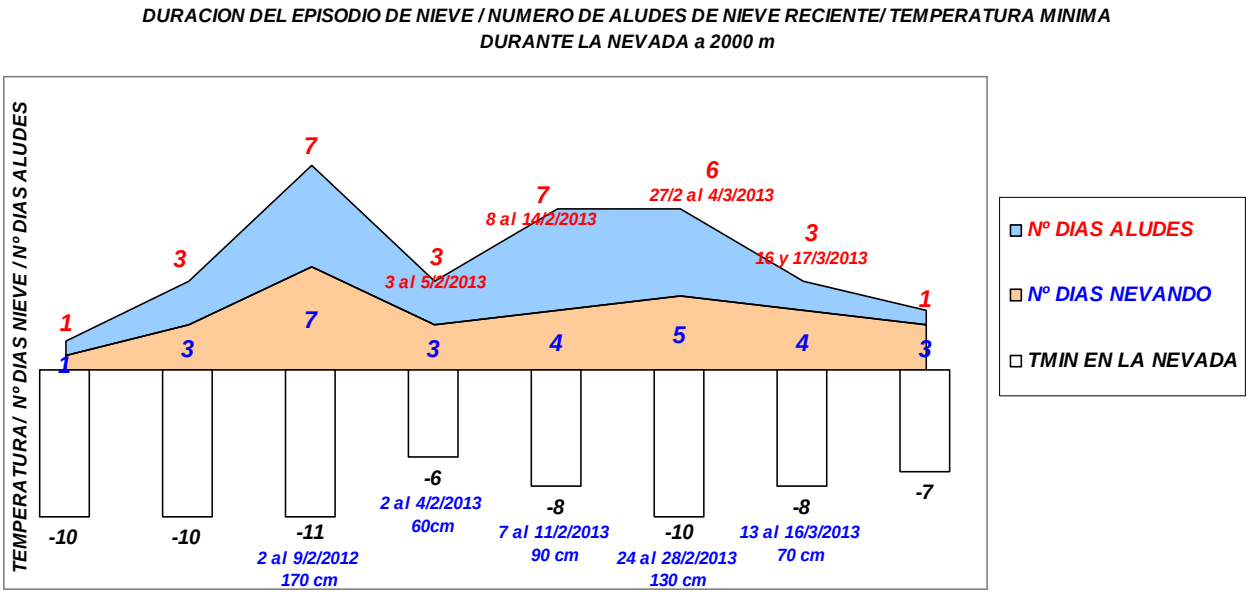


Fig. 46 Relación entre el número de días seguidos con nevadas, la temperatura mínima a 2000 m y el número de días posteriores a las nevadas en éstos se producen.

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 0º C y donde haya un espesor mínimo para producirse. Por debajo de ese nivel la nieve ya se habrá fusionado.

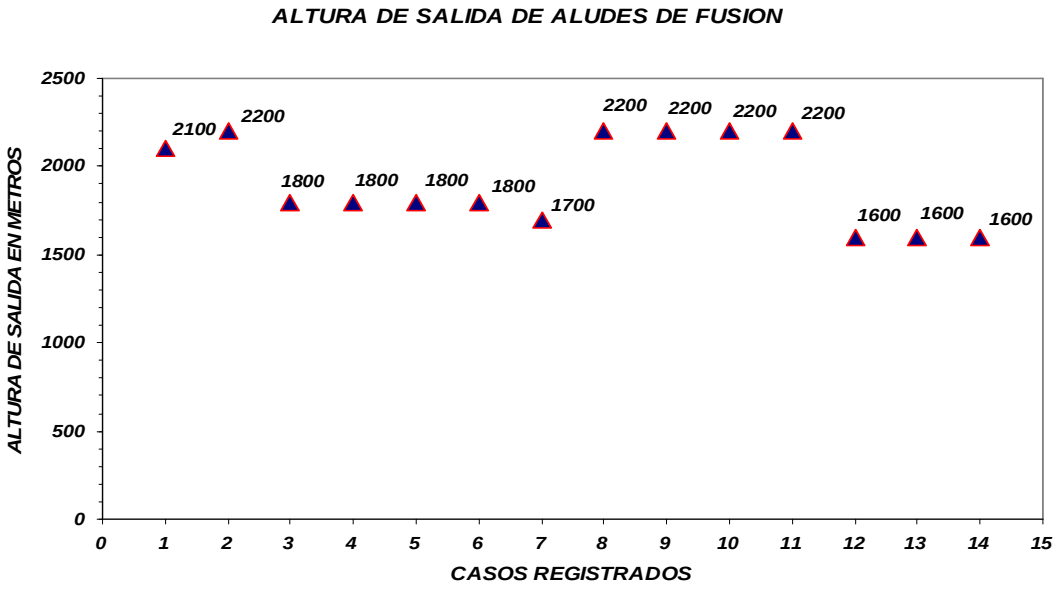


Fig. 47 Datos de altura de salida de aludes de fusión

Los aludes de fusión se inician cuando la temperatura se aproxima y supera los 0 ºC, 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.

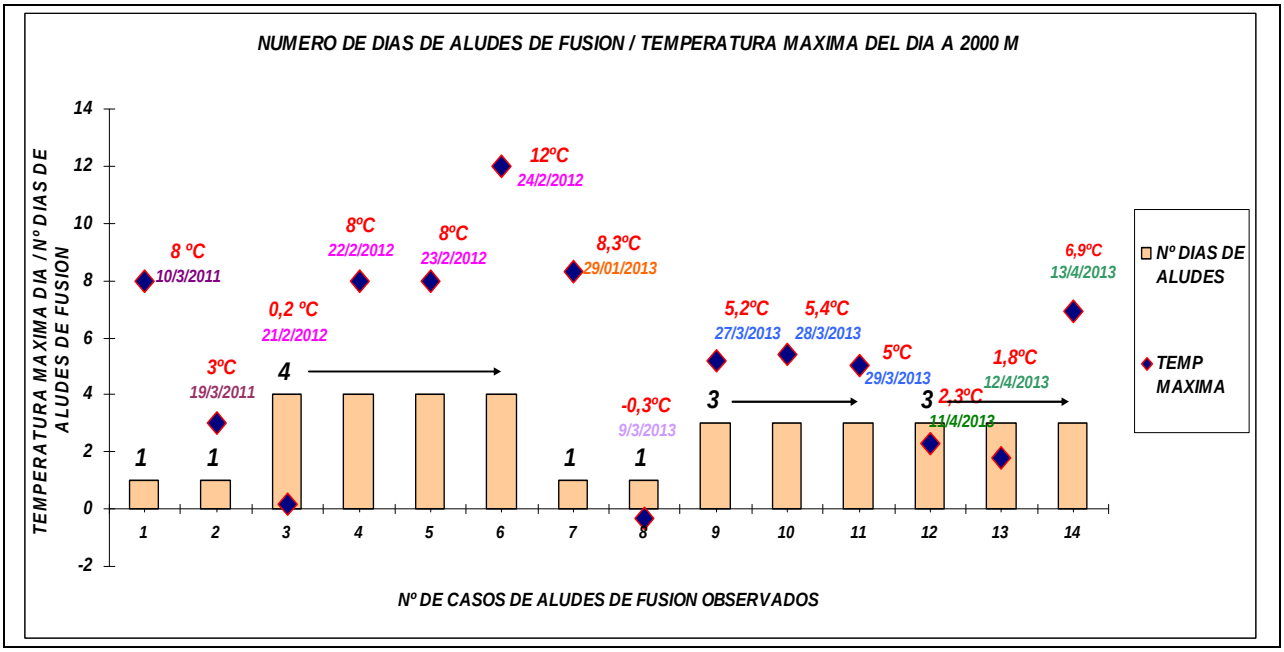


Fig. 47 Número de días de aludes de fusión y temperaturas máximas a 2000 m

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 desde su inicio en Cuetos Albos. Debajo fotografía del evento. La figura y la foto están tomados de VADA et. al. (2013).

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

Características meteorológicas de Picos de Europa que se relacionan directamente con la nivología:

- **Se producen frecuentes episodios de descargas frías y tormentas, que pueden acumular capas de nieve granulada de cierto espesor.**
- **En invierno se producen periodos de temperaturas positivas incluso por encima de los 2000 m**.
- **Las nevadas en general, van acompañadas de fuertes vientos.**
- **Las nevadas con frecuencia, sobre los 2000 m, ocurren con temperaturas en torno a -5 /-6 ºC y sólo algunos episodios de nieve van acompañados de temperaturas inferiores a -8º C a ese nivel.**

Características de la nieve en Picos de Europa:

- **Grandes espesores de nieve**. 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.
- **Los gradientes de temperatura en el manto nivoso son predominantemente débiles** y **cuando son gradientes medios o fuertes no tienen persistencia.**
- 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.**
- **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 isotermo.**
- **En los sondeos realizados no se han encontrado cubiletes.**
- **En la evolución de la nieve seca, predomina la metamorfosis de gradiente débil (0ºC/m<G >5ºC)** y en algunas ocasiones, pocas, se encuentra algún gradiente medio (5ºC < G < 20ºC). **Por tanto hay una marcada tendencia 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.**
- **De los dos procesos opuestos de metamorfosis de la nieve seca que son, el de curvatura y el de gradiente térmico, en Picos de Europa, predomina de forma notable el de curvatura.**
- **Son frecuentes los aludes de nieve reciente y fusión y los aludes de placa húmeda y de fusión se producen en cualquier mes del invierno.**
- **Se han registrado densidades de la nieve en el manto, bastante elevadas.**
- **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.**

11 Referencias

· 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 nivométéorologiques.* 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 CNMR CEN. Publicación Météo-France.

· C Coléou. *Les Tests de Stabilité.* Francia. Météo-France CNMR 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 standardsand 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.