

APLICACIÓ AL PIRINEU CATALÀ DELS NOUS MÈTODES D'AVALUACIÓ DE L'ESTABILITAT

Ivan Moner¹, Jordi Gavaldà¹, Montserrat Bacardit², Carles Garcia³, Glòria Martí³

1 Dept. Tècnic, Conselh Generau d'Aran, Pg. dera Libertat 16, 25530 Vielha

2 Centre de Recerca d'Alta Muntanya, Ctra. N-230, Km.152 25530 Vielha e Mijaran

3 Institut Geològic de Catalunya, c/Balmes, 209-211 08006 Barcelona

RESUM

Els darrers anys investigadors nord-americans i suïssos han presentat nous mètodes de valoració de l'estabilitat de la neu, sobretot pel que fa referència al desencadenament accidental de plaques de vent. S'han diferenciat els dos components que participen en el desencadenament d'una allau de placa: mentre l'ineestabilitat mecànica –ligada a la resistència al cisallament- era un paràmetre conegut i avaluat des de fa anys, l'ineestabilitat estructural –la capacitat de la neu de concentrar l'estrès en un pla i propagar la ruptura- només ha estat ben estudiada en les darreres temporades.

Els nous indicadors d'ineestabilitat se centren en l'avaluació de l'ineestabilitat estructural a partir de la qualitat del cisallament o el caràcter de la fractura (2002) o bé en la combinació dels dos tipus d'ineestabilitat pels mètodes de llindars (2005). Finalment l'aparició del Test de la Columna Estesa (ECT) (2006, 2008) ha aportat un indicador que dona una informació objectiva, tant mecànica com estructural, i és fàcil i ràpid de realitzar.

Aquestes dues darreres temporades hem estat usant i avaluant alguns d'aquests nous mètodes, incorporant aquestes mesures en la mecànica de presa de dades habitual i provant els mètodes en diverses allaus accidentals, amb resultats força satisfactoris que aquí presentem.

RESUMEN

Recientemente, investigadores norteamericanos y suizos han presentado nuevos métodos de valoración de la estabilidad de la nieve, especialmente en lo que se refiere al desencadenamiento accidental de placas. Se han diferenciado los dos componentes que participan en el desencadenamiento de una avalancha de placa: mientras la inestabilidad mecánica –ligada a la resistencia a la cizalla- era un parámetro conocido y evaluado desde hace años, la inestabilidad estructural – la capacidad de la nieve de concentrar el estrés en un plano y propagar la ruptura- sólo ha sido bien estudiada los últimos años.

Los nuevos indicadores de inestabilidad se centran en la evaluación de la inestabilidad estructural a partir de la calidad de la cizalla o del carácter de la fractura (2002) o bien en la combinación de los dos tipos de inestabilidad en los métodos de los lindares (2005). Finalmente, la aparición del Test de la columna extendida (2006, 2008) ha aportado un indicador que proporciona una información objetiva, tanto mecánica como estructural, y es fácil y rápido de realizar.

Estas dos últimas temporadas hemos estado usando y evaluando algunos de estos nuevos métodos, incorporando estas medidas en la mecánica de la toma de datos habitual y probando los métodos en diversas placas accidentales, con resultados bastante satisfactorios que aquí presentamos.

1. INTRODUCCIÓ

El 83% dels accidents per allau que es produeixen al Pirineu català són causats per allaus de placa. En més del 90 % dels casos l'allau va ser desencadenat pel mateix accidentat o pels seus companys (font: estadístiques accidents IGC). Aquestes dades posen de relleu la importància que té per als muntanyencs el disposar d'eines per valorar l'estabilitat d'un vessant. Aquestes eines, a més a més, cal que siguin senzilles i ràpides d'aplicar per que resultin operatives, i cal que proporcionin un resultat objectiu.

[Objectius d'aquest treball](#)

La darrera dècada s'ha avançat força en el coneixement que es té dels mecanismes de desencadenament accidental de plaques. La manera com un esquiador pot posar en moviment una massa de neu, que en ocasions pot arribar a milers de tones, poc a poc s'ha anat desxifrant, fins que en l'actualitat se'n té una comprensió força satisfactòria. Ja varem fer un resum d'algunes d'aquestes publicacions a les darreres JNA, hi remetem per més informació (Moner et al 2006).

De la mà d'aquest avenços en el coneixement teòric, han aparegut noves tècniques de camp d'avaluació de l'estabilitat dirigides a diferents aspectes de la qüestió, recolzades en grans conjunts de dades d'allaus accidentals ocorreguts a Nord-Amèrica, Suïssa i Nova Zelanda. Els mètodes tenen en comú la rapidesa i la facilitat de realització i l'elevat grau d'objectivitat en la seva interpretació, així com la bona correlació dels resultats amb la estabilitat/inestabilitat del vessant estudiat.

L'objectiu d'aquest treball és validar, i en cas necessari adaptar, alguns d'aquest mètodes d'avaluació de l'estabilitat a les particularitats nivològiques de la nostra regió. A partir de dades de vessants inestables (on s'han observat allaus accidentals o whumpfs) i d'un nombre equivalent de vessants estables (zones allavoses esquiades sense desencadenament) s'examina cada un dels mètodes i es valida o proposa una modificació segons els resultats.

2. NOUS MÈTODES DE CAMP DE VALORACIÓ DE L'ESTABILITAT

Dels mètodes de camp de valoració de l'estabilitat d'un vessant apareguts els darrers anys, s'han adoptat i testat els següents. Us remetem als articles originals o bé a Moner et al (2006) per una descripció més completa.

- Mètodes de suma de llindars (McCammon & Schweizer 2002, Jamieson & Schweizer 2005).
- Qualitat del cisallament (Johnson & Birkeland 2002).
- Anotació de la part del bloc que llisca i de la qualitat del pla de lliscament en el test del salt (RB) (Schweizer 2002).
- ➔ **Test de la columna estesa (ECT) (Simenhois & Birkeland 2006, 2008).** Al darrer ISSW va presentar-se un nou test que es prometia capaç de valorar tant l'inestabilitat estructural com la mecànica. La realització és molt senzilla: s'aïlla un bloc de 30x90 cm perpendicular a la pendent i es sobrecarrega un dels seus extrems amb la mateixa mecànica que en el test de compressió. Si en un o dos nivells de sobrecàrrega apareix una fractura que travessa el bloc sencer s'interpreta el resultat com inestable. Si la fractura no travessa el bloc sencer o ho fa en tres o més nivells de sobrecàrrega, el resultat del test és estable.

El mètode va ser provat en 68 vessants inestables, a complint-se el 100% de les vegades que la fractura creuà el bloc sencer en un o dos nivells de sobrecàrrega. En canvi, de 256 proves en vessants estables, només en un 1.6% el ECT va donar un resultat de falsa alarma. Aquest important volum de dades sobre les que es recolza el test i la magnífica correlació del resultat amb l'estabilitat van fer que, als pocs mesos d'aparèixer, aquest test ja fos adoptat per diferents serveis de predicció d'allaus del món sencer, entre ells els de Catalunya i l'Aran.

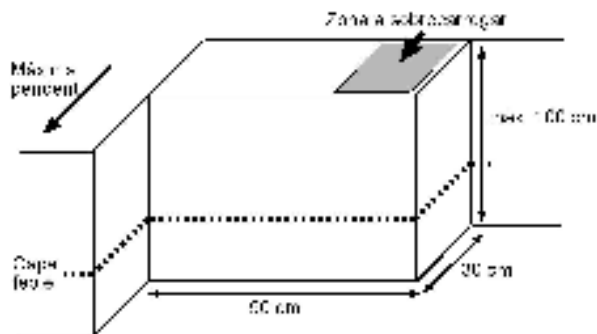


Figura 2: Diagrama de les mides del bloc a aïllar en l'ECT (modificat de Simenhois & Birkeland 2006) i fotografia d'un ECT positiu aquest hivern al Pirineu.

3. APLICACIÓ AL PIRINEU

Des del 1998 al Pirineu català, però amb especial intensitat a l'Aran els darrers tres hiverns, s'han reunit dades de 49 allaus accidentals i de vessants on s'havien produït whumpfs (vessants inestables) i un nombre equivalent de tests i perfils fets en vessants allavosos esquiat sense que es produís desencadenament (vessants estables). En la majoria dels vessants inestables es coneixia el pla de lliscament. En els que se sabia quina era la capa de fallida (CF), però es desconeixia si la interfície que fallava era la superior o la inferior, s'ha optat en primer lloc per la que presentava més contrast de dureses i en segon lloc per la de major diferència de mida de gra. En el cas dels perfils estables, la interfície de fallida (IF) la proporcionen els tests d'estabilitat, en aquest ordre de prioritat: rutschblock, ECT, test de compressió, test de la pala.

	Vessants estables	Vessants inestables
Estratigrafia	50	49
Qualitat del cisallament	37	23
"Sistema suïss"	18	13
ECT	28	18

Taula 1: nombre de dades de que es disposa per cadascun dels mètodes provats al Pirineu

3.1 Mètodes dels llindars

Seguint els treballs de McCammon, Schweizer i Jamieson s'examinen a continuació les set variables que s'han mostrat significatives en els seus treballs a l'hora de discriminar entre les poblacions de perfils estables i inestables. Els tests aplicats han estat no paramètrics, el *U*-test de Mann-Whitney per variables contínues (gruix CF, profunditat IF, mida de gra CF, diferència mida de gra CF – capa adjacent, Duresa Cf, diferència duresa CF-cap adjacent) i el de Chi-quadrat de Pearson (χ^2) per les discretes (tipus de gra CF). S'han considerat poblacions diferents aquelles que presenten nivells de significació $p < 0.05$.

Profunditat del pla de fallida

Per resultar perillós, un pla de fallida potencial ha de ser prou proper a la superfície perquè el pes d'una persona el pugui afectar. Diversos treballs han demostrat que les forces generades per un esquiador es dissipen ràpidament per sota dels 0.5-0.8 m (p. Ex. Föhn 1987 i Jamieson 1995)

Se sap que els gruixos de la cicatriu observats no són representatius de la profunditat del pla de fallida en el punt de desencadenament. La profunditat observada en els perfils fets prop de la zona de sortida de l'allau tampoc ho és, però hauria de poder correlacionar-se amb la dels perfils fets per valorar un vessant, que també es realitzarien en els marges de la placa. Un nivell de significació de $p = 0.006$ sembla confirmar aquesta hipòtesi.

Gruix de la capa feble

S'ha apuntat que capes febles de poc gruix serien favorables a concentrar els esforços de cisalla en el seu si i així afavorir la inestabilitat (Schweizer 1993). En la nostra mostra s'observa

que el gruix mitjà de la capa en que es produeix la fallida és de 4.9 cm en els perfils inestables, 7.2 cm en els estables. Tot i això no s'observen diferències estadísticament significatives entre totes dues poblacions ($p=0.80$).

Tipus de gra

En la capa feble, els grans persistents (facetes, gobelets, gebre) són preponderants, apareixent en un 73% de les fractures, però menys de l'observat als conjunts de dades suïssos i canadencs en que arribava al 82%. La principal diferència sembla estar en els casos de gebre de superfície enterrat: mentre que als Alps Suïssos i al Canadà és el tipus de capa feble que més accidentalitat produeix, aquí només ha estat observat en un allau accidental (2% dels casos).

S'ha testejat la significació estadística d'aquesta distribució amb resultats negatius ($p = 0.15$). Tot i la presència freqüent de grans persistents en les capes que fallen, aquest tipus de cristalls és molt habitual en el nostre mantell, sovint prim i irregular. Afegint als grans persistents les agulles visibles, un tipus de gra que apareix en un 11% dels casos, la correlació amb l'estabilitat millora força, fins a situar la significació en nivells elevats ($p<0.001$).

Mida de gra, dureses i diferències

La duresa de mà de les capes és un paràmetre que es relaciona directament amb la seva cohesió. La mida dels cristalls, d'una manera més indirecta, també. Com major és la mida de gra, menys grans trobarem per unitat de volum, per tant menys contactes i menys enllaços existiran entre els cristalls. També s'ha descrit el marc físic en que diferències de mida de gra i de duresa entre capes afavoririen el desenvolupament de ruptures en aquestes interfases (Colbeck 2001).

Aplicació dels mètodes

L'aplicació directa dels mètodes dels *lemmons* i les *yellow flags* no proporciona un resultat satisfactori. Els percentatges tant de falses alarmes com de falsos estables són inacceptables, especialment en el cas de les *yellow flags*, tot i ser aquest un mètode més refinat, extret de un conjunt de dades major i amb uns mètodes estadístics més acurats.

A partir de les dades del Pirineu s'han establert uns nous llindars per les variables que mostraven significació estadística ($p<0.05$). El mètode emprat ha estat el de *classification trees*. El valor llindar de la profunditat del pla de fallida s'ha hagut de triar arbitràriament, basant-nos en el 5è i el 95è percentils. Els llindars s'han simplificat per facilitar l'ús al camp. El test de Mann-Whitney mostra una significació molt elevada de la suma lineal dels llindars ($p<0.001$), i s'estableix el valor de 5 per separar les poblacions estables i inestables de perfils.

		Vessants estables	Vessants inestables
Profunditat	10...90 cm	86%	98%
Tipus de gra	□, v, ^, /	63%	85%
Mida gra CF	≤ 0.7 mm	39%	81%
Dif. mida gra	≥ 0.5 mm	56%	81%
Duresa CF	< 4D-	46%	71%
Dif. dureses	≥ 2	46%	79%
Suma	≥ 5	18%	75%

Taula 2. Proposta de nous llindars per les variables estadísticament significatives al Pirineu Català.

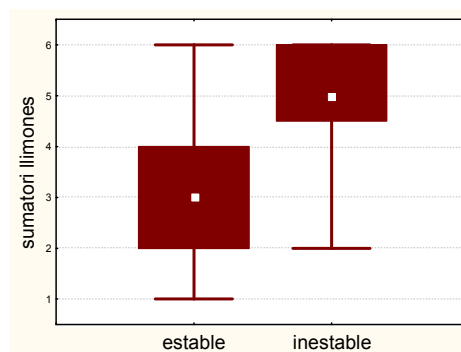


Figura 3: Distribucions de les poblacions estable i inestable dels sumatoris de les variables que superen els llindars establerts.

3.2 Tests i variables associades

Qualitat de la cisalla

En vint-i-tres allaus accidentals s'ha observat la qualitat del cisallament. D'aquests, en divuit ocasions la cisalla ha estat ràpida i planar (Q1 - 79%), 4 han tingut una cisalla "mitja" (Q2 -17%) i en només una ocasió s'ha registrat un cisallament lent o irregular (Q3 – 4%). Per contra, en els tests fets en vessants estables apareix una majoria de Q2 (57%) i un elevat percentatge de Q3 (36%). Agrupant els resultats de Q2 i Q3 ("estables") i comparant-los amb els de Q1 ("inestables"), el test de la Chi-quadrat de Pearson (X^2) mostra una alta significació ($p < 0.001$).

Anotació de la part del bloc que llisca i de la qualitat del pla de lliscament en el test del salt

Es disposa de tretze tests del salt fets en vessants inestables en que s'han observat aquests paràmetres. D'aquests, en el 100% dels casos el pla de lliscament era llis i en un 83% el bloc sencer lliscà en un nivell de sobrecàrrega, que són els dos valor de les variables que indicarien més potencial de propagació de la ruptura. Per totes dues variables, agrupades aïllant el valor més inestable ("superfície llisa" i "tot el bloc"), el nivell de significació és molt elevat ($p < 0.001$).

Test de la columna estesa

Dels divuit tests fets en vessants inestables, en setze ocasions (89%) la fractura s'ha propagat pel bloc sencer en un o dos nivells de sobrecàrrega. D'altra banda, dels 25 ECT fets en vessants sense desencadenament, només en tres ocasions el test ha donat positiu (12%). La significació estadística dels resultats és evident, confirmada pel test de X^2 ($p < 0.001$).

4. CONCLUSIONS I CONSIDERACIONS FUTURES

Els resultats d'aquest treball permeten arribar a les següents conclusions:

- **Mètodes dels llindars:** Tant *Lemmons* com *Yellow Flags*, aplicats amb els llindars que proposen els seus autors, mostren correlacions poc satisfactòries amb l'estabilitat. L'anàlisi estadístic de les dades aporta nous llindars més adequats a les característiques de la neu del Pirineu Català.
- **Observació del cisallament en altres tests d'estabilitat:** la inclusió en el resultat del test d'alguna variable que indiqui la manera com es produeix el trencament fa millorar molt la correlació amb l'estabilitat del vessant. Tant el mètode suïs com la qualitat del cisallament són aplicables a les nostres muntanyes.
- **Test de la columna estesa:** els bons resultats que acompanyaren l'aparició d'aquest nou test es reforcen amb els resultats d'aquest treball. L'ECT, a més de tenir una excel·lent correlació amb l'estabilitat/inestabilitat del vessant, amb percentatges de fals estable i de falses alarmes propers al 10%, sembla que pot ser aplicat a altres zones nivoclimàtiques sense cap adaptació. Falta conèixer bé quina es la variabilitat espacial dels resultats i tenir més temporades de dades, però sembla que l'ECT està cridat a esdevenir el principal test d'estabilitat, donada la facilitat i rapidesa de realització, i l'objectivitat i precisió del resultat.

5. ARTICLE COMPLERT

El que aquí es publica és només un resum estès de l'article complert del mateix títol, que inclou figures i referències bibliogràfiques que el fan força més entenedor. Fins i tot alguns dels resultats, com els valors de les *Yellow Flags* pel Pirineu de Catalunya, estan acabant-se d'elaborar en el moment de tancar-se aquesta publicació. Pot trobar-se l'article complert i totalment actualitzat a l'apartat de **Nivologia** de la web del **Centre de Prediccion de Lauegi dera Val d'Aran**:

<http://www.lauegi.conselharan.org> o bé <http://www.aran.org>