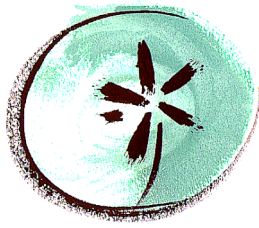


DRYAS®



Medi Ambient i Riscs Naturals

ACCELERACIÓ I RISC SÍSMIC **- NCSE 02 -**

-ANNEX DE DOCUMENTACIÓ-

Direcció: **Valentí TURU i MICHELS**
Av. Príncep Benlloch 66-72
Edifici Interceus, despatx 408
Telèfon i fax: 321815 - 820323
Email: risc.dryas@igeotest.ad
<http://www.igeotest.ad>

A1 SISMICITAT

Els Pirineus constitueixen el límit septentrional del que s'anomena àrea Ibero-Mogrebí, el límit meridional de la qual està definit pels relleus africans de l'Alt Atlas i l'Atlas Saharià. Aquesta zona de l'escorça terrestre està constrenyida entre les plaques africana i euroasiàtica, havent-se estructurat les diverses unitats tectòniques que la formen al llarg del cicle geodinàmic que s'inicià ara fa uns 200 milions d'anys amb el trencament del supercontinent Pangea. En aquest context, els Pirineus i la seva continuació al llarg de la Serralada Cantàbrica es poden considerar un límit fòssil entre dues plaques, que durant un determinat període separà la Península Ibèrica de la massa continental europea. De la complexa seqüència evolutiva d'aquesta franja de litosfera en resulta l'activitat sísmica dels nostres dies, la manifestació més evident de l'actual dinàmica (VEGAS, 1985).

L'activitat sísmica de la serralada pirinenca és considerada, actualment, de caràcter moderat. Als registres històrics de sismicitat, però, no són rars els terratrèmols als que s'ha atribuït intensitats epicentrals de grau VII o superiors a l'escala de Mercalli, com la sèrie d'ensulsiades que es produïren els anys 1427 i 1428 amb intensitats VIII i IX i epicentres a la zona de la Garrotxa, o el moviment que el 1678 afectà tota la serralada i el Midi francès, de grau IX (FONTSERÈ i IGLÉSIES, 1971).

Al llarg de les darreres dècades el nombre d'estacions d'observació sísmica ha anat augmentat paral·lelament a la millora de l'instrumental disponible i malgrat això actualment encara no es disposa d'informació suficient que permeti relacionar l'activitat sísmica amb la tectònica regional de forma clara (ROCA y UDIAS, 1976). Tot sembla indicar, però, que bona part dels terratrèmols de l'extrem oriental de la serralada estan associats, si més no actualment, a la falla nordpirinenca i al sistema de fractures de direcció NE-SW, entre les que destaquen les de la Tet i la Tec (OLIVERA *et al.*, 1986).

A1.1 Risc sísmic

És un concepte d'ordre social i econòmic que estima la probabilitat de pèrdues de vides humanes o pèrdues materials a causa d'un terratrèmol. El risc sísmic s'expressa com la combinació de la perillositat sísmica, la vulnerabilitat dels edificis i les pèrdues econòmiques (expressades en termes d'unitats monetàries). La seva expressió és la següent:

$$\text{Risc sísmic} = \text{perillositat} * \text{vulnerabilitat} * \text{costos econòmics}$$

Per a entendre el concepte de risc sísmic és necessari explicar els conceptes de perillositat sísmica i vulnerabilitat sísmica.

A1.1.1 Vulnerabilitat

Es defineix com la possibilitat que té una estructura de patir danys en el cas de ser sotmesa a l'acció d'un terratrèmol. Generalment, quan es parla de vulnerabilitat es fa referència a les estructures, degut al fet que aquestes transmeten els efectes del sisme a tots els altres elements com són les persones i béns materials continguts en la mateixa. La vulnerabilitat és pròpia a cada estructura i és independent de la perillositat del lloc. Això significa que una estructura pot ser vulnerable i no estar en risc perquè està situada en una zona sense perillositat sísmica.

La vulnerabilitat dels edificis depèn de les característiques del disseny i construcció, qualitat dels materials, edat, altura, etc. Els estudis de vulnerabilitat no només es realitzen en edificis d'habitatge, sinó que es realitzen també en ponts, carreteres, instal·lacions industrials, xarxes de distribució de gas, xarxes elèctriques etc.

En aquest sentit podem agafar com exemple la classificació d'edificis de la norma DIN 4180 sobre tipologia d'edificis i afectació per vibracions

DIN 4180		
Tipus 1	Tipus 2	Tipus 3
Edificis històrics i de pedra amb morter	Edificis de formigó armat	Edificis d'estructura metàl·lica

Per altra banda la simetria dels edificis també influeix en la seva resistència en front a un sisme. Per exemple edificis amb planta en H, L o T són més vulnerables que els de planta quadrada. Per altra banda la distribució de la carga útil de l'edifici també influeix en la seva estabilitat, en aquest sentit si el centre de gravetat està situat en una posició elevada (piscina a la sobretaulada) o irregular (garatge parcialment buit, magatzem) els efectes d'un sisme poden ser més perjudicials. Finalment s'enten com a edifici vulnerable els que corresponen a equipaments essencials (Bombers, Hospitals, Telecomunicacions, i altres).

En la norma de construcció sismoresistent NCSE02 espanyola s'estableixen les condicions tècniques que han de complir les estructures d'edificació, a fi que el seu comportament davant fenòmens sísmics eviti conseqüències greus per a la salut i la seguretat de les persones, eviti pèrdues econòmiques i propiciï la conservació de serveis bàsics per a la societat en cas de terratrèmols d'intensitat elevada.

A1.1.2 Perillositat sísmica

Indica la probabilitat d'ocurrència d'un determinat efecte degut a possibles terratrèmols de diferents magnituds o intensitats, durant un determinat període de temps. És l'element bàsic per a l'estimació del risc sísmic d'una regió determinada.

Per al seu càlcul és necessari conèixer la distribució dels terratrèmols en el temps i en l'espai, és a dir, cal conèixer la sismicitat de la zona i també cal conèixer la influència dels efectes locals de la zona. Tot això es tradueix en la obtenció d'una acceleració sísmica. Així, la sismorresistència dels edificis ha d'estar adaptada a la severitat del moviment del sòl que hagi estat determinada a partir de l'acceleració sísmica.

A1.1.2.1 L'acceleració sísmica de càlcul

La acceleració sísmica de càlcul, a_c , es defineix com el producte:

$$a_c = S \cdot p \cdot a$$

On:

a_b : Acceleració sísmica bàsica, està definida en relació a la gravetat. En el següent mapa es poden observar les diferents zones definides en el territori espanyol. La zona del Pirineu propera a Andorra s'han pres valors entre 0,04g i 0,06g.



p : Coeficient adimensional de risc, funció de la probabilitat acceptable de que excedeixi a_c en el període de vida per el que es projecta la construcció. Pren els següents valors:

construccions de importància normal $p = 1,0$

construccions essencials $p = 1,3$

S: Coeficient d'amplificació del terreny. Pren el valor:

$$\begin{aligned} \text{Per } \rho \cdot a_b \leq 0,1 \text{ g} & \quad S = C/1,25 \\ \text{Per } 0,1 \text{ g} < \rho \cdot a_b < 0,4 \text{ g} & \quad S = C/1,25 + 3,33(\rho \cdot (a_b/g) - 0,1)(1 - C/1,25) \\ \text{Per } 0,4 \text{ g} \leq \rho \cdot a_b & \quad S = 1,0 \end{aligned}$$

On:

C: Coeficient del terreny. Depèn de les característiques geotècniques del terreny. En aquesta norma els terrenys es classifiquen en els següents tipus:

- **Terreny tipus I:** Roca compacta, sol cimentat o granular molt dens. Velocitat de propagació de las ones elàstiques transversals o de cisalla, $v_S > 750 \text{ m/s}$.
- **Terreny tipus II:** Roca molt fracturada, sols granulars densos o cohesius durs. Velocitat de propagació de las ones elàstiques transversals o de cisalla, $750 \text{ m/s} \geq v_S > 400 \text{ m/s}$.
- **Terreny tipus III:** Sol granular de compacitat mitja, o sol cohesiu de consistència ferma a molt ferma. Velocitat de propagació de las ones elàstiques transversals o de cisalla, $400 \text{ m/s} \geq v_S > 200 \text{ m/s}$.
- **Terreny tipus IV:** Sol granular fluix, o sol cohesiu tou. Velocitat de propagació de les ones elàstiques transversals o de cisalla, $v_S \leq 200 \text{ m/s}$.

A cadascun d'aquests tipus de terreny se li assigna un valor del coeficient C indicat en la següent taula

COEFICIENTS DEL TERRENY

TIPUS DE TERRENY	COEFICIENT C
I	1,0
II	1,3
III	1,6
IV	2,0

Per obtenir el valor del coeficient C de càlcul es determinarà els gruixos e_1 , e_2 , e_3 i e_4 del terreny dels tipus I, II, III i IV respectivament, existents en els 30 primers metres sota la superfície.

A1.1.3 Pèrdues econòmiques

Els terratrèmols poden ocasionar severes pèrdues econòmiques allí on succeeixin, a més de greus danys a la població. El tipus de pèrdues es pot dividir en: pèrdues directes i pèrdues indirectes. Les pèrdues directes són les que estan relacionades directament amb el dany físic a l'edifici. Les pèrdues indirectes inclouen les víctimes humanes, el contingut dels edificis i les pèrdues econòmiques provocades per la paralització de l'activitat econòmica.

A1.2 Risc sísmic al Principat

L'aplicació de tècniques de tractament estadístic a les dades disponibles ha permès confeccionar diversos mapes de risc sísmic de caràcter regional per als Pirineus i territoris adjacents. A partir de dades de fonts diverses corresponents al període 1907-1974, ROCA i UDIAS (1976) elaboren una d'aquestes cartografies segons la qual bona part del territori andorrà té una probabilitat del 60% de sentir un sisme d'intensitat VII o superior (Mercalli) en un període de cinquanta anys. Aquests resultats, molt semblants a les conclusions a les que han arribat altres autors (MUNUERA, 1963), indiquen que el risc sísmic al Principat es prou important com per ser tingut en compte en una zona tan poblada dels Pirineus com és aquesta. De fet, la pròpia Conselleria de Serveis Públics del Govern andorrà recomana que els edificis siguin dissenyats per suportar els efectes de moviments amb una intensitat màxima de grau VII a l'escala macrosísmica internacional (M.S.K.), essent prou significatiu el següent comentari; "Es obvi que l'enregistrament d'un sisme d'intensitat superior a la fixada faria reconsiderar el valor escollit." (Conselleria de Serveis Públics i ITEC, 1989).

A1.2.1 Activitat sísmica recent

Entre el 14 de març i el 5 d'abril de l'any 1970 es succeïren una desena de sismes amb epicentre al territori andorrà, essent dels més importants i ben documentats dels que han afectat al Principat. Segons dades de l'Observatori Fabra de l'Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona els sismes assoliren intensitats màximes de V a VI (Mercalli), situant-se l'epicentre a l'anomenat massís d'Envalira. La cartografia isosística elaborada mostra que les màximes intensitats afectaren la meitat oriental del Principat i bona part de la Cerdanya. La següent és una relació detallada d'alguns d'aquests esdeveniments, mostrant-se les coordenades epicentrals calculades a partir d'una trentena d'estacions europees (R.A.C.A.B., 1976):

DATA	Hora origen (T.U.)	Latitud epicentre	Longitud epicentre
14 de març	15 h. 48 m. 10 s.	42° 32' N	1° 46' E
16 de març	06 h. 26 m. 41 s.	42° 28' N	1° 44' E
5 d'abril	06 h. 50 m. 00.s.	42° 33' N	1° 44' E

L'any 1983 els epicentres d'altres terratrèmols de menor entitat han estat situats al sector sudoriental d'Andorra. Aquest conjunt de sismes és de caràcter superficial, amb hipocentres de menys de 10 quilòmetres de profunditat segons dades proporcionades per entitats franceses i presentades per OLIVERA *et al.* (1986).

Els estudis de risc sísmic no tenen només en consideració els terratrèmols amb epicentre a la zona estudiada, sinó també aquells moviments que, tot i localitzar-se llur epicentre més enllà dels límits de la zona d'interès, puguin sentir-se en aquella. Per tal de calcular la intensitat amb que un terratrèmol pot arribar a sentir-se a certa distància del seu epicentre, cal un

profund coneixement geològic que permeti elaborar un model d'atenuació de les ones sísmiques. Presentem un resum dels sismes detectats a Andorra i el seu entorn pirinenc durant el període 1984-1993, recollits als butlletins elaborats pel Servei Geològic de Catalunya. Amb aquest recull no es pretén altra cosa que donar una idea de les característiques de la sismicitat més recent a Andorra i, en general, el Pirineu oriental:

1984: l'activitat sísmica fou inexistent a l'entorn andorrà més immediat, com mostra el mapa d'epicentres corresponent. Esmentarem només els sismes localitzats a les zones del Port de la Bonaigua, Sant Llorenç de Morunys i els dos de Ribes de Freser. De tots ells, el de major importància fou el que es produí en aquesta última localitat el 26/9, d'intensitat V (MSK).

1985: el nombre de sismes registrats fou major, destacant el que es produí al nord-est del Principat el 23/11, de magnitud de durada 3.2. Altres epicentres foren detectats en l'entorn pirinenc, tots ells de magnitud similar o inferior a l'anteriorment esmentat.

1986: un dèbil moviment de magnitud 2.4 fou localitzat a Andorra el dia 24/02. Altres sismes d'aquell any foren els de les zones de Puigcerdà (25/03) i la Seu d'Urgell (27/06), de magnituds 2.9 i 2.6 respectivament. A la regió francesa de Montlluís foren tres els moviments registrats, amb magnituds a l'entorn de 3.0 (9/02, 26/02 i 15/05). Aquell any diversos sismes es produïren a la zona de Ribes de Freser, destacant el de magnitud 3.0 del dia 22/03. El moviment més important assolí intensitat IV, localitzant-se el seu epicentre a la localitat gironina d'Amer (26/10).

1987: el 12/06 fou detectat un sisme amb epicentre al nord-oest d'Andorra, de magnitud 3.0. Al llarg dels primers mesos de l'any un total de quatre sismes amb epicentre al Coll de Puymorens foren registrats, sent el més important el de magnitud 3.3 del dia 07/02. El dia 26/07 foren dos els sismes detectats a l'entorn de la Seu d'Urgell, amb magnituds 2.9 i 3.0. De nou es notà certa activitat a la regió de Montlluís, amb un moviment de magnitud 3.2 el dia 05/09. Cal esmentar també certa activitat a Ax-les-Thermes, amb magnituds inferiors a 3.0, així com els nombrosos moviments detectats al sector d'Aiguestortes, amb una magnitud màxima de 3.2 el dia 5/10. A la comarca del Ripollès l'activitat d'aquell any fou important, tot i que els sismes sempre foren de magnitud inferior a 3.0.

1988: diversos moviments detectats a l'oest del Principat, sent el del dia 19/02 el de major importància en assolir una magnitud de 3.1. Entre els dies 20 i 21 de febrer una trentena de moviments es produïren a la zona de la Seu d'Urgell, sent percebuts per la població els tres de magnitud propera a 3.5 amb una intensitat IV. Les regions del Ripollès i de l'Alta Ribagorça tornaren a ser afectades per diversos epicentres, destacant el sisme d'intensitat IV de Ribes de Freser (16/03).

1989: cal destacar el sisme de magnitud 2.5 localitzat a Andorra el 8/01. Altres moviments de magnituds semblants es detectaren a prop de Puigcerdà, Bellver de Cerdanya, la Seu d'Urgell, Tírvia, Vicedessos, i Noarre. De tots ells, el de major importància fou el de magnitud 3.3 localitzat a Tírvia (29/03). Novament es detecta activitat al Ripollès i Aigüestortes, així com a la regió francesa de Montlluís, amb sismes d'escassa magnitud.

1990: aquest fou un any de notable activitat, com es pot comprovar donant una ullada al mapa d'epicentres corresponent. Diversos foren els epicentres localitzats al nordoest del Principat, amb magnituds gairebé sempre inferiors a 2.5. Un altre sisme de magnitud inferior a 3.0 fou localitzat a l'extrem sudoriental del país. Altres sismes es localitzaren a l'entorn de Bellver de Cerdanya i Puigcerdà, així com a la Seu d'Urgell, localitat aquesta última que fou afectada per un moviment que assolí intensitat IV (18/10). A l'entorn de Tremp es produí un moviment que fou percebut amb intensitat IV (5/08). La zona de l'Alta Ribagorça de nou es mostrà activa.

1991: aquest fou, a diferència de l'anterior, un any amb escassa activitat a l'entorn del Principat i al Pirineu català en general. Tot i així cal destacar un sisme al sector sudoriental d'Andorra, que assolí magnitud 2.7 (2/11). Altres moviments foren detectats a l'Alta Ribagorça i a les regions de Bellver de Cerdanya, Tírvia, Montlluís, etc.

1992: diversos epicentres localitzats al nord i a l'est del país, entre els que destaca el del dia 21/01, amb magnitud 2.7. Cal fer esment dels sismes de la Pobla de Lillet (19/03), d'intensitat V, i de Vielha (17/06), d'intensitat III. Diversos epicentres de magnitud inferior a 3.0 localitzats a les comarques de l'Alta Ribagorça i el Ripollès.

1993: la instal·lació de noves estacions al Pirineu Central és el màxim responsable del major nombre de sismes d'intensitat inferior a 2.5 registrats durant aquest any, estant bona part d'ells localitzats a la comarca de l'Alta Ribagorça. Es registrà certa activitat a l'oest del Principat, sempre d'escassa magnitud. Cal destacar els diversos epicentres localitzats entorn de Puigcerdà (bona part d'ells detectats entre el 8 i el 13/10), assolint-se intensitats III i II els dies 8/10 i 5/11. A Calaf i a Ax-les-Thermes foren localitzats els epicentres de dos sismes d'intensitat III, els dies 29/03 i 25/04 respectivament.

A1.4 Valor de l'acceleració sísmica al Principat

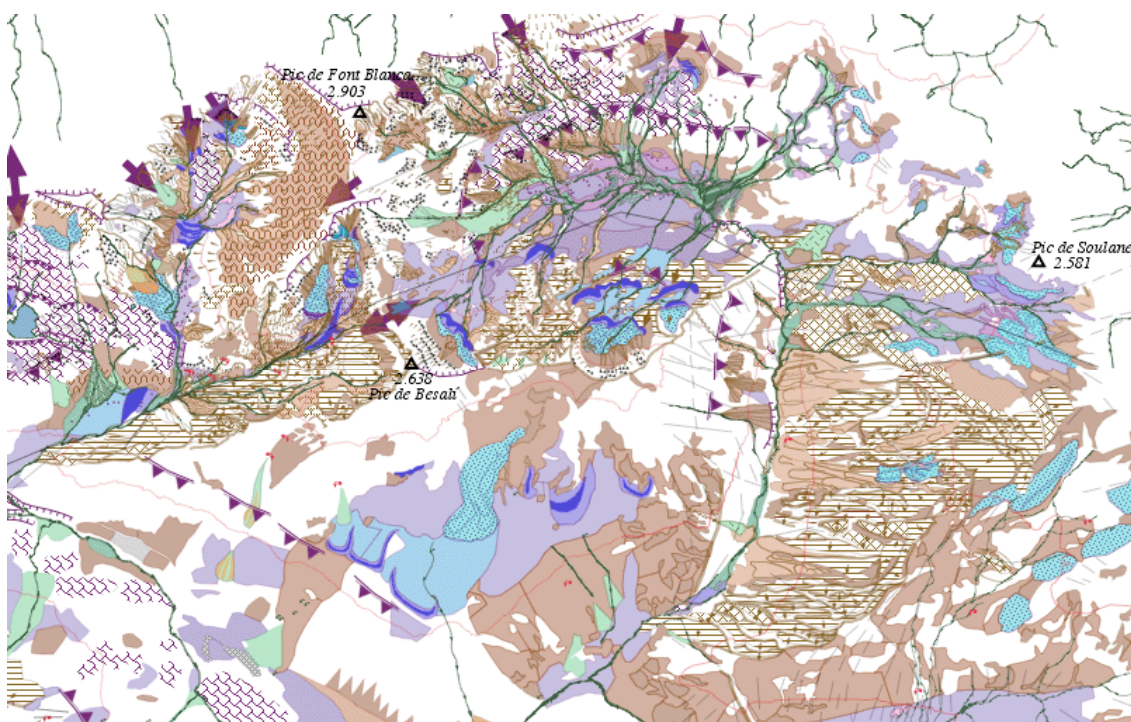
Donat que el Principat presenta un 60% de provabilitats d'experimentar un sisme de grau VII (escala MSK; intensitat no superior a uns 4,5 graus en l'escala de Richter amb un epicentre situat a 100 Km de distància), donat que els sismes històrics més importants s'han detectat en el sector nord d'Andorra (massís d'Envalira) associats a la FNP i per extensió a les seves ramificacions (Falla de Merens i de Soldeu), hom avalua el valor de l'acceleració sísmica segons la següent expressió (Aydan *et al.* 1996, dins de Selçuk & Çiftii, 2007):

$$a_{\max} = 2,8 (e^{0,8M_s} e^{-0,025R} - 1)$$

On: Ms = Magnitud del terratremol de la zona
R = Distància de l'epicentre (Km)

TURU i PLANAS (2005) han identificat evidències d'acció sísmica relativament recent associada a la falla de Merens (límit nord d'Andorra) al Port de Banyell, la qual cosa implica que per la mateixa intensitat l'acceleració sísmica mínima que caldria considerar és superior a l'esperada segons la norma sismoresistent ($a_b=0,06$ g). Aquesta seria de:

$$a_b=0,4 \text{ g.}$$



Mapa geomorfològic de detall del sector de Rialb

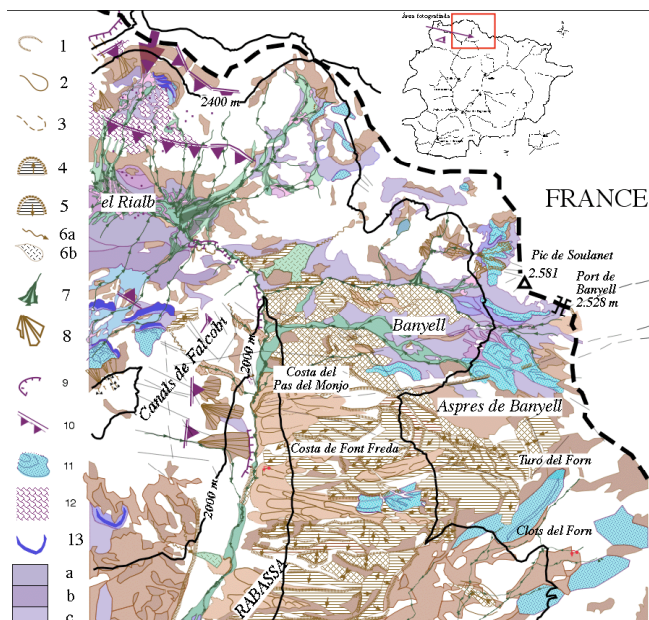
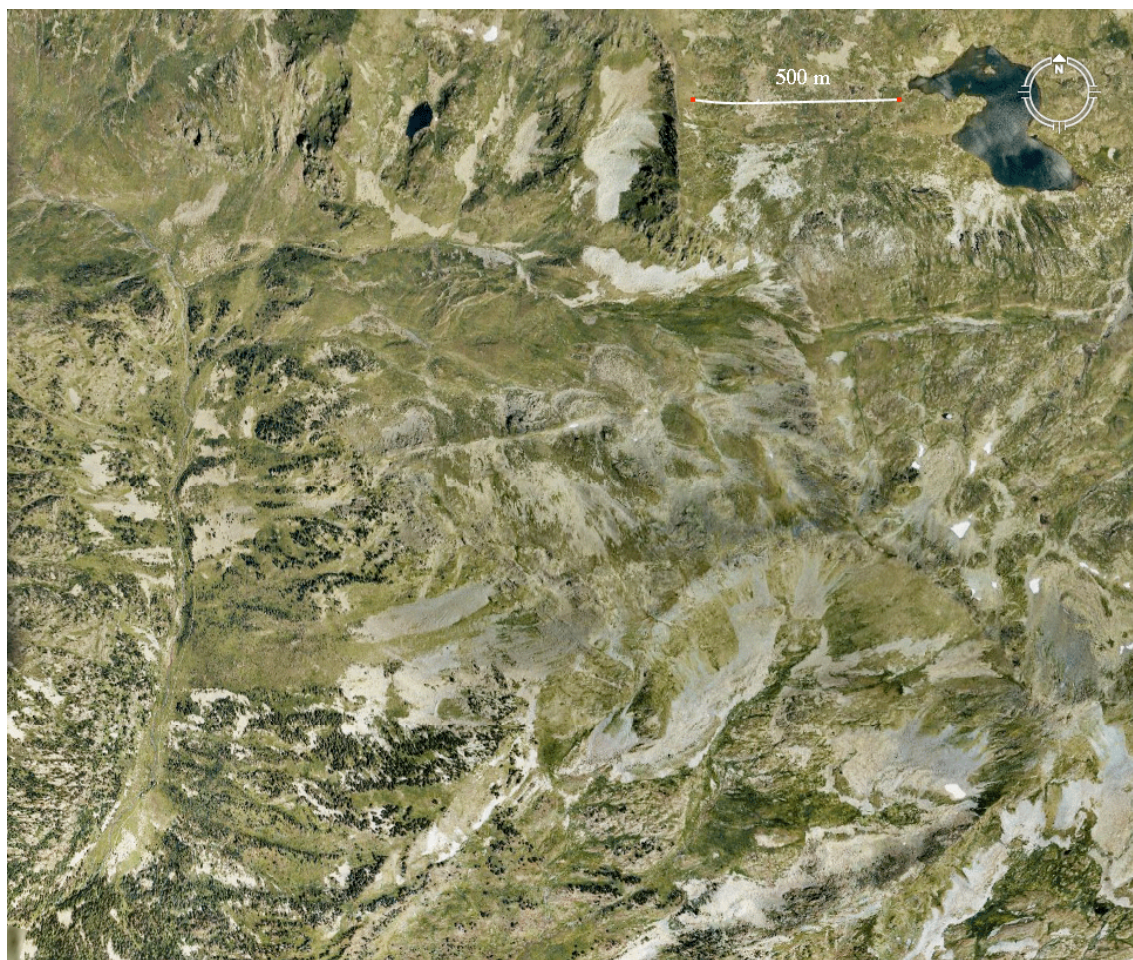


Foto d'en Becat (1980)

TURU & PLANAS (2005)



Sector de Rialb, pot observar-se geleres rocalloses tallades per la falla de Merens

A1.3 Breu ressenya bibliogràfica

FONTSERE, E. i IGLESIES, J. (1971) Recopilació de dades sísmiques de les terres catalanes entre 1100 i 1906; Fundació Salvador Vives Casajuana (Eds.), Barcelona, 547 pp.

MUNUERA, J.M. (1963) Datos básicos para un estudio de sismicidad en el área de la Península Ibérica; Memorias del Instituto Geográfico y Catastral, (32).

OLIVERA, C.; GALLART, J.; GOULA, X. and BANDA, E. (1986). Recent activity and seismotectonics of the eastern Pyrenees.; Tectonophysics, (129), 367-380.

REAL ACADEMIA DE CIENCIAS Y ARTES DE BARCELONA (1976). Sección Meteorológica y Sísmica del Observatorio Fabra; Boletín nº59. Barcelona, 411-414.

ROCA ,A. y UDIAS, A. (1976) Sismicidad y riesgo sísmico de la zona de Cataluña y Pirineos. Revista de Geofísica, vol. XXXV, (núms. 3 y 4), 183-207.

SELÇUK, L. & YAHYA Ç. (2007) Microzonation of the Plio-Quaternary soils: a study of the liquefaction risk potential in the Lake Van Basin, Turkey; Bull. Eng. Geol. Env. ; 66, 161-176

TURU, V. i PLANAS, X. (2005) “Inestabilidad de vertientes en los valles del Valira. Datos y dataciones para el establecimiento de una cronología, posibles causas. Andorra y Alt Urgell (Pirineos Orientales)”; Simposi d'Inestabilitat de Vessants i Talussos, València 2005.

VEGAS, R. 1985. Tectónica del área Ibero-Mogrebí; MECANISMO DE LOS TERREMOTOS Y TECTÓNICA; (UDÍAS, A, MUÑOZ, D. y BUFORN, E. editores), Universidad Complutense de Madrid, 197-215