

Faila-arrokak

Pablo Puelles Olarte

Geodinamika Saila
Euskal Herriko Unibertsitatea/Zientzia Fakultatea
644 P.K., 48080 BILBO

Laburpena: Faila-arrokak deformazio-mekanismoaren eta deformazio-baldintzen araberakoak izanik, oso informazio baliagarria eman diezagukete. Hori dela eta, lan hone-tan faila-arroka garrantzitsuen deskribapena eta beraiek sorrarazten dituzten prozesu nagusiak laburbilduko dira.

1. SARRERA

Hausturak egitura geologiko nonahikoak dira eta edozein arroka-azale-ramendutan ager daitezke. Hausturak materialaren kohesioa galtzen delako bereizten diren apurketak dira eta etengune-plano edo etengune-gainazal esaten zaie. Haustura-planoan zehar neurgarria den mugimendua dagoen-ean, hau da, hausturan zehar hausturaren alde bateko arrokak beste al-dekoekiko mugitu direnean, hausturari «faila» esaten zaio. Beraz, failak, oro har defini daitezke arroka haustura-planoarekiko paraleloa den norabi-dean mugitu den plano-haustura baten gisa.

Hausturak, hainbat kasutan, garrantzi handikoak izaten dira; orduan, arrokaren trinkotasuna baldintzatzen dute eta eragin handia izaten dute obra zibiletan, tunelak eta urtegiak eraikitzerakoan, esaterako. Hausturak mineralizazio-gune garrantzitsuak ere badira. Estentsioz sortutako dilata-zio-hausturak zabaltzean sortutako hutsuneak ur-soluzioetan hauspeatutako kuartzoa eta kaltzita bezalako zain-materialek betetzen dituzte. Zain hauek mineral-hobi baliagarriak dira. Egituraren ikuspuntutik, zainen agerpenak hausturak dilatazioen bitartez sortu direla iradokitzen du eta beraz, zain-materialaren pilaketa gertatu bada, haustura mugatzen duten arroka zatiek nolabaiteko urruntze mugimendua pairatu dute.

2. FAILADURAK SORTUTAKO ARROKAK

Kasu gehienetan ezinezkoa izaten da mendian haustura-gainazala ikus-tea eta horrela izanik, faila-arrokei erreparatu behar zaie hausturaren edo failaren agerpenaz jabetzeko. Horretaz gain, faila-arrokek deformazio-bal-dintzen eta deformazio-prozesuaren berri ere ematen dute. Hortaz, faila-arrokak ondo sailkatzea ezinbesteko baldintza da beraiek eman dezaketen informazioa ondo ulertzeko.

Faila-arrokak sailkatzeko hiru irizpide aintzat hartzen dira: (1) arroka-ren kontsolidazioa, (2) arroka-ren barneko antolamendua, (3) arroka-ren klastoen tamaina eta arroka-ren matrizearen proportzioa (1. taula) [1]. Le-hendabiziko faktoreari erreparatuz bi faila-arroka mota bereizten dira: ge-roko alterazio edo zementaziorik gabe arroka litifikatua bada, arroka *kont-solidatua* deritzo. Bestalde, arroka-ren klastoak arroka oso bat eratuz agertzen ez badira, arroka *kontsolidatu gabea* esaten zaio. Bigarren fakto-reari dagokionez, faila-arrokak bi talde nagusitan sailkatzen dira: ausazko fabrika daukatenak, hots, barneko antolamendurik ez duten arroka eta fo-liazioa edota lineazioa erakusten dutenak. Azken talde honetan arroka-ren barneko egiturazko elementuek lehentasunezko orientazioa erakusten dute, arroketan foliazioa edota lineazioa sortuz. Mota honetako arroka gogorra-goak izaten dira eta haien itxura marraduna edo xafladuna izaten da. Azke-nik, blokeen arteko mugimendu erlatiboaren ondorioz gertatutako xehatzea dela eta, faila-arrokak osatzen dituzten klastoak tamaina ezberdinetakoak izan daitezke. Hortaz, angeluarrak izaten diren klastoak tamaina txikiagoko matrize batean murgildurik egoten dira. Arroka-ren nomenklatura, beraz, bere baitan azaltzen diren klastoen tamainaren eta matrizearen proportzioa-ren arabera da.

Arrokak sailkatzerakoan erabiltzen diren termino orokorrak ondoren-goak izaten dira: faila-bretxak, faila-irinak, pseudotakilitak, kataklasitak eta milonitak.

Faila-bretxak

Begi hutsez ikus daitezkeen klastoen proportzioa altua bada, arroka *faila-bretxa* deritzo. Faila-bretxak jatorrizko arroka zati angeluarrez osa-tuak dira (1.a irudia) [1]. Klasto hauek pikor finagoko matrize batean dau-de, azken honen proportzioa %30a baino txikiagoa izanik. Failadura bitar-tean klastoak mugituak eta biratuak izan daitezkeen arren, faila-bretxa batzuetan «izoztuta» agertzen dira.

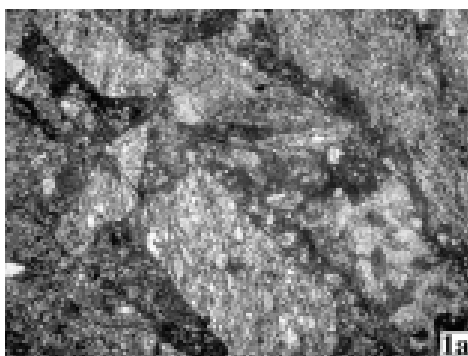
Klasto-tamainaren arabera, hiru bretxa mota bereizten dira: (1) *mega-bretxak*, 0.5 m baino tamaina handiagoko klastoak dituztenak; (2) *bretxak*,

		Ausazko fabrika	Foliazioduna		
Kontsolidatu gabea		Faila-bretxa (begi hutsez ikusitako zatien proportzioa < arrokaren %30a)	?		
		Faila-irina (begi hutsez ikusitako zatien proportzioa > arrokaren %30a)	?		
Kontsolidatua	Beira / Desbeiratutako beira	Pseudotakilita	?		
	Matrizearen izaera Pikor-tamainaren txikiagotzea prozesurik garrantzitsuena (birkristaltzea eta mineral berrien hazkundera baino garrantzitsuagoa)	Bretxa zementatua Bretxa zementatu fina Mikrobretxa zementatua	Zatiak > 0,5 cm 0,1 cm < zatiak < 0,5 cm zatiak < 0,1 cm	%0-10	
		Protokataklasita	Protomilonita	%10-50	Matrizearen proportzioa
		Kataklasita	Milonita	%50-90	
	Ultrakataklasita	Ultramilonita	%90-100		
	Pikor- -hazkundera	?	Blastomilonita		

1. taula. Faila-arroken sailkapena (Sibson, 1977).

klastoeen tamaina 1mm eta 0.5 m bitartekoa dutenak eta (3) *mikrobetxak*, klastoak 0.1 mm baino txikiagoak dituztenak.

Dilatazioa bretxifikazioaren berezko ezaugarria da eta hortaz, bretxen sorrera hobestuko da konfinatze-presio baxuko eta fluido-presio altuko eremuetan. Pull-apart eta dilatazioa iradokitzen dituzten hutsuneak pikor fineko matrizez beterik ez badaude, geroxeago lurpeko uretatik edo soluzio hidrotermaletatik hauspetutako mineralez bete daitezke, arroka klastoak zementaturik geratuz. Modu honetan eraturiko arroka kontsolidatuari *brexta zementatua* esaten zaio (1.b irudia). Poroetako fluido-presio altuak, bretxaturiko materiala hutsune tentsioaletan barnerarazi eta *brexta-dikeak* sor ditzake.



1a. irudia. Faila-bretxaren xafla mehea. Apurturiko zati angeluarrak metamorfizatutako hareaharrizkoak dira. Tarskavaig zamalkamendua, Skye Irla, Eskozia.



1b. irudia. Kareharrizko faila-brexta zementatua. Grosse Windgällen, Suitza.

Faila-irinak

Faila-irina (fault gouge) kolore argiko eta pikor fineko faila-arroka da, faila-gainazaletan eta faila-zonetan agertzen dena. Pikor-tamaina 0.1 mm baino txikiagoa izaten da. Lehorturik dagonean, nahiz eta haustu ez diren pikor puskak egon, faila-irinek talko-hautsaren antza izaten dute eta azalera-menduan silikatoen alterazioaren ondorioz sortzen diren buztin itsaskorrak dirudite. Faila-irinak metro batzuetako geruza finak osatzera hel daitezke. Faila-arroka mota hau tenperatura eta presioa baxuak direnean eratzen da.

Pusken arteko haustura-sarea dela eta, kuartzoa edo kaltzita bezalako mineralak lurpeko uretatik hauspea daitezke eta ondorioz, arroka zatiak zementaturik geratzen dira. Modu honetan eraturiko arroka *faila-irin gogortua* esaten zaio.

Faila-planoan zeharreko mugimendu erlatiboak lehendik eraturiko faila-irinetan foliazioa eragin dezakeelarik ere, berez, faila-bretxekin gertatzen den legez, arroka mota hauek ez dute barneko antolamendurik erakusten, hau da, beraien fabrika ausazkoa izaten da. Faila-zonak failatu gabeko arrokak baino bigunagoak direnez, errazago higitzen dira eta ondorioz, arroka failatuekin erlazionatutako sakonune topografikoak sortzen dira.

Pseudotakilitak

Takilita terminoak beira bolkaniko basaltikoa adierazten duen arren, pseudotakilita ez da arroka bolkaniko mota bat. Faila-blokeen arteko mugimendu erlatibo azkarrak eragindako marruskadura-beroa nahikoa izan daiteke materialaren proportzio bat urtzeko. Urtzearen ondorioz agertzen den substantzia berria beirakara izaten da eta arroka bolkanikoetan ikus daitekeen bezala, sarritan esferulitak izaten ditu. Inguruko arroka zartatuetan barneratzen denean, zainak eratzen ditu (1.c, d irudiak). Prozesu honen bidez sorturiko arrokei *pseudotakilita* deritze. Material beirakara desbeiratuta egon ohi denez eta urtu gabeko zati asko izaten dituzenez, oso zaila izaten da begi hutsez ultramilonita batetik bereiztea: mikroskopioa erabili beharra dago.



1.c irudia. Gneis zatiak pseudotakilitazko matrizean. Greenland.



1.d irudia. Pseudotakilitazko dike itxurako injekzioak gneis granitikoetan. Parys, Vredefort, Hego Afrika.

Pseudotakilitak sakonera handian baino ez dira eratzen, zama-presioa ertaina eta deformazio-tasa erlatiboki azkarraren baldintzen pean. Pseudotakilitaren sorrera arroka lehorretan gertatzen da; bestela fluidorik egonez gero, urek, beroa urgatuta, zona honetatik eramango dute eta.

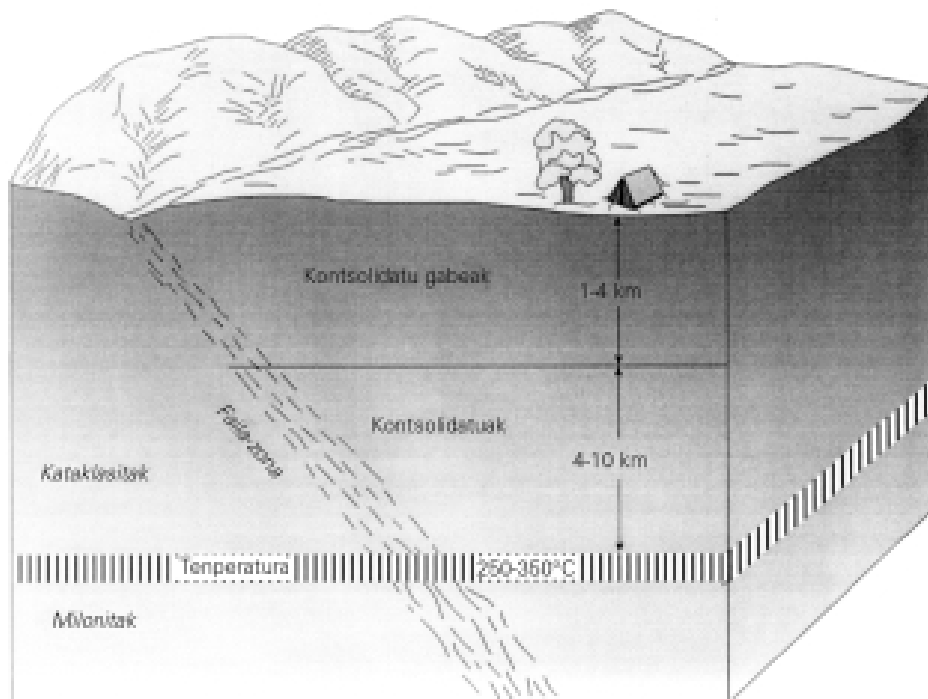
Faila-zonetan eraturiko pseudotakiliten sorrera, beraz, lurrikaren ondorioz gertatzen den igurtziarekin lotuta dago. Energia-askatze honen ondorioz sortuak direnez, pseudotakiliten lodiera zenbat eta handiagoa izan, failarekin

erlazionatutako desplazamendua orduan eta handiagoa izango da. Ezaugarri honek, nolabait, paleoseismoaren garrantzia iradokitzen du [2], [3].

Kataklasitik

Faila-bretxak eta faila-irinak fabrika gabeko arroka dira eta, normalean, sakonera txikian, alegia lurraren azaletik gertu aurkitzen dira, 1 eta 4 km bitarteko sakoneran, hain zuzen ere. Sakonera handiagoetan beste mota bateko arroka xehatu kontsolidatuak azaltzen dira (2. irudia) [4].

Apurtze eta xehatzearen bidez egoera hauskorrean sorturiko arroka pikor finekoa bada, faila-arrokari *kataklasita* deritzo. Arroka hauek 4 eta 10 km bitarteko sakonean eraten dira eta pikor-tamaina, oro har, faila-irinarena izaten dute (0.1 mm baino txikiagoa). Hala ere, klastoak txikiak diren arren, begi hutsez ikus daitezkeen zatien proportzioa %50a izatera hel daiteke klasto hauen tamaina, 10 mm baino txikiagoak izaten direlarik. Matrizearen proportzioaren eta klastoen tamainaren arabera, protokataklasitik,

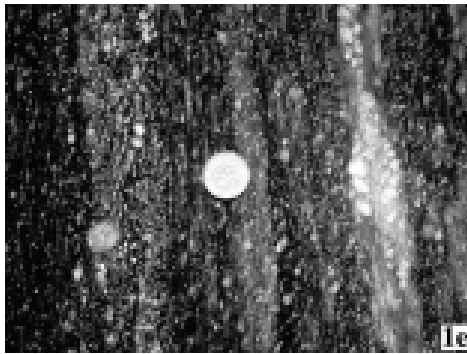


2. irudia. Faila-arroken agerpena sakoneraren arabera. Kontsolidatu gabeko kataklasitek 1 eta 4 km bitarteko sakoneraren berri ematen dute. Sakonera handiagoe-tan arroka kataklastiko kontsolidatuak agertzen dira. Sakonera handiagoa bada eta temperatura 250-350° baino altuagoa, milonitak eraten dira.

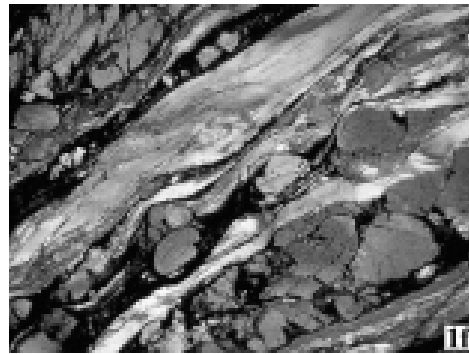
kataklasitak eta ultrakataklasitak bereizten dira. Azken hauek pikor ultrafinetakoak izaten dira, ia beiratsuak. Arroka hauen kohesioak eta gogortasunak jasandako presio- eta tenperatura-baldintzen berri ematen dute. Apurturiko partikula txikiak mineral hidrotermalek edo metamorfikoek zementatuak dira. Beraiezko gogortasuna dela eta, mendian oso erraz antzematen dira, higadura diferentzialaren ondorioz paisaia irtenuneak eratzen baitituzte.

Milonitak

Geologo estrukturalak, beraz, bi faila-arroka mota nagusi bereizten dituzte: (1) apurtze eta xehatzearen bidez egoera hauskorrean sorturikoak (*cataclasis*) eta (2) sakonera handiagoetan etengabeko birkristaltzearen edo jarioaren bitartez egoera moldakorrean eratutakoak. Azkenengo prozesuaren bidez eraturiko arrokkak *milonitak* dira, gogorrak eta itxura marraduna edo xafladuna dutenak (1.e irudia). Grekoz *mulôn* hitzaren esanahia *errot* delarik ere, deformazio-prozesu nagusia ez da apurtzea, deformazio plastiko-kristalinoa baizik (1.f irudia); honen bitartez pikor-tamainaren txikiagotzea jazotzen da. Arrokkaren mineral nagusiaren arabera, milonitazioa tenperatura-, deformazio-tasa eta esfortzu-baldintza jakin batzuetan gertatuko da.



1.e irudia. Gneis granitikotik eratorritako milonita bandeatua. Milonitaren pikor-tamaina fina dela eta, ikusten den kolorea iluna izaten da. Tamanrasset, Hoggar, Aljeria.



1.f irudia. Gneis kuartzo-feldespatikotik eratorritako milonitaren xafla mehea. Kuartzozko pikorrak luzeak dira. Ipar Harris, Outer Hebrides, Eskozia.

Arrokan milonitazioa partziala bada, arrokkari *protomilonita* deritzo, matrizearen proportzioa %50a baino txikiagoa izanik. Proportzioa %50 eta %90 bitartekoa izanez gero, arrokkari *milonita* (ss) esaten zaio. Milonitazio prozesua erabatekoa bada, matrizearen proportzioa %90-100 bitartekoa

da eta milonitari *ultramilonita* esaten zaio. Arrokkak matrize finez inguratu-tako tamaina handiko pikorrak badauzka, *blastomilonita* edo *klastomilonita* izan daiteke. Lehendabiziko kasuan, pikor edo pikor-agregatuak milonitazio prozesuak eragiten zuen bitartean sortu ziren; bigarreanean, aldiz, jatorrizko arrokkatik eratorriak dira.

Aipaturiko arroka-faila hauek, beraz, egiturazko parakuntza jakin bati jarraiki aurkitzen ditugu. Hortaz, faila-zona batean, azalean faila-irinak egon daitezke, sakonera handiagoetan pseudotakilitak eta maila baxuenetan hauek milonitak nagusitu daitezke.

3. BIBLIOGRAFIA

- [1] SIBSON, R.H., 1977. «Fault rocks and fault mechanisms». *Journal of the Geological Society of London*, 133, 191-213.
- [2] SIBSON, R.H., 1975. *Generation of psedotachylyte by ancient seismic faulting*. *Geophys J R Astr Soc*, 43, 775-794.
- [3] SIBSON, R.H., 1980. *Transient discontinuities in ductile shear zones*. *J Struct Geol*, 2, 165-171.
- [4] TWISS, R.J. eta MOORES, E.M., 1992. *Structural Geology*. Ed. W.H. Freeman and Company, new York, 532 or.