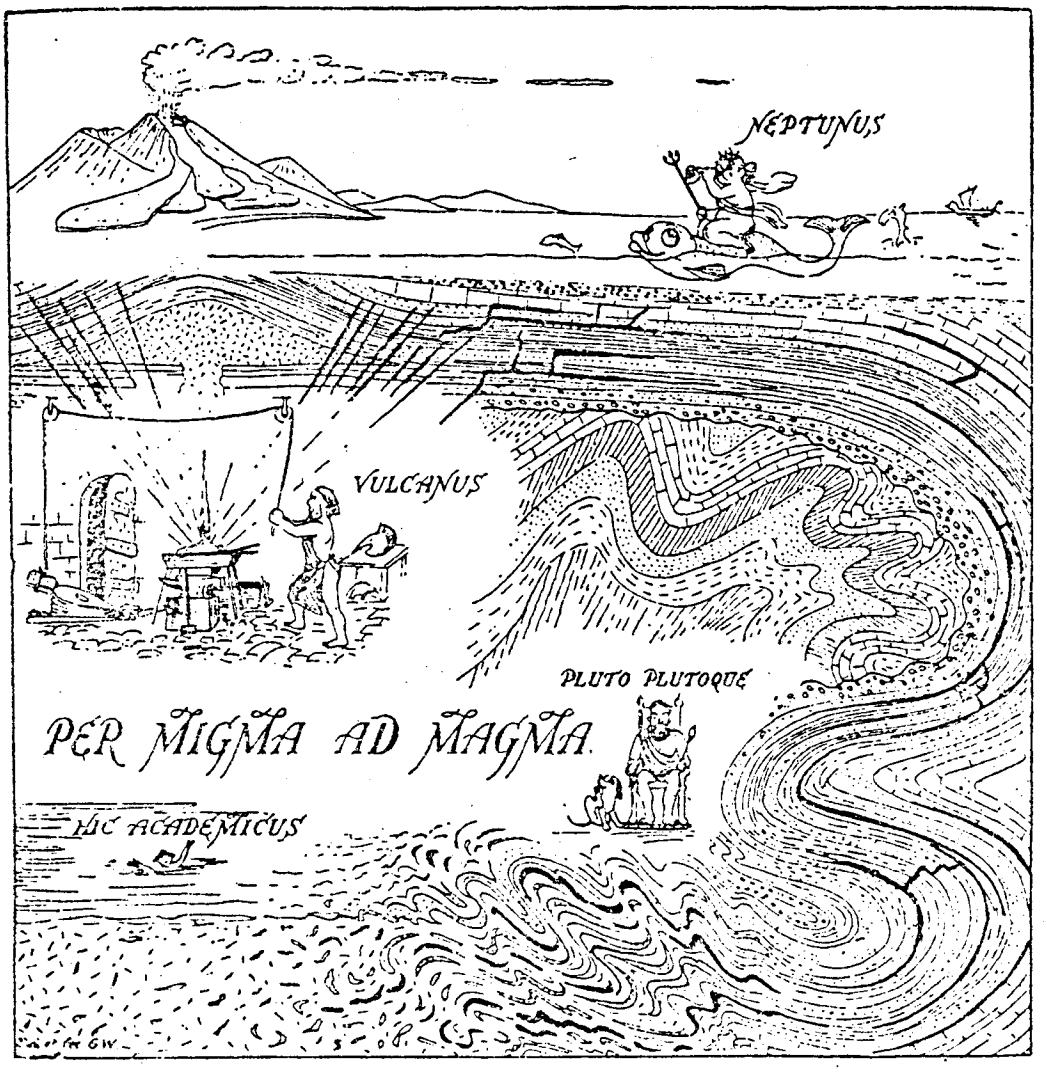
udako euskal unibertsitatea

G E O L O G I A :

- PETROLOGIA
- KRISTALOGRAFIA



Geologia orokorra:

- Petrologia
- Kristalografia

Liburu honetan parte harte dute :

1. zatia : PETROLOGIA

Ana Ribera

Iñaki Antiguedad

2. zatia : EUSKAL HERRIKO HISTORIO GEOLOGIKOA

Maripi Solbes

Mertxe Antxia

Ana Ribera

Iñaki Antiguedad

3. zatia : KRISTALOGRAFIA

Maribel Arriortua

Iñaki Antiguedad

J.R.Etxebarria-rekin laguntzaz.

Leioa 1980.eko irailean

A U R K I B I D E A

1. ZATIA : PETROLOGIA

Geologian erabiltzen diren oinarri batzu 1

Harrien sailkapena 3

Harri eratuen ezaugarri orokorrak 4

HARRI SEDIMENTARIOAK 10

Harri sedimentarioen egitura 14

Harri sedimentarioen konposaketa kimikoa eta mineralogikoa 25

Harri sedimentarioen sailkapena 28

HARRI IGNEOAK 38

Harri igneoen konposaketa kimikoa 40

Harri igneoen konposaketa mineralogikoa 42

Harri igneoen ehundura (textura) 43

Harri igneoen egitura 46

Harri igneoen sailkapena 50

HARRI METAMORFIKOAK 57

Metamorfismoa eta beronen kontrola 58

Metamorfismoaren faktoreak 60

Metamorfismo-motak 62

Harri metamorfikoen ezaugarri orokorrak 64

Harri metamorfikoen ehundura-motak 68

2. ZATIA :

Historia geologikoaren laburpena 1

Euskal Herriko ezaugarri geologikoak 14

3. ZATIA : KRISTALOGRAFIA

Kristale eta mineraleen aztertzerako teknikak 1

Analisi termiko diferentziala (ATD) 14

X-izpien espektroskopia 22

1. ZATIA

PETROLOGIA

GEOLOGIAN ERABILTZEN DIREN OINARRI BATZU

Harri ezberdin eta berauen jatorriarekiko interesa garatuz joan zen neurrian eta exenplu askotako azterketaren bitartez hasi ziren "lege" antzeko batzu finkatzen; hauen artean ondoko hauk aipatuko ditugu :

- Geruzen horizontaltasunaren oinarria :

sedimentuak jalkiten direnean horizontalki (edo kasi) izaten da. Beheko gainazalaren paraleloak.

- Geruzen gainezarmenaren oinarria :

tolestamenduz alteraturik ez dagoen edozein geruza-paketetan, berrienak goiko partean egoten dira eta zaharrenak behekoan.

Aurreko oinarri biok Nicholas Steno-k finkatuak dira 1.669.urtean.

- Gaurkotasunaren oinarria :

lurrazaleko gaurko azala zehazki aztertzen badugu ondoko hauetaz konturatuko gara :

. hondartzetan dauden hare-garauak urak garraiaturikoak dira. Leku apropos batean depositatu ondoren, , denboraz, gogortu egiten dira harri bihurtzen.

. hibai batek garraiaturiko materialeak behe-ibilguan uzten ditu alubioia eratzen. Denboraz, alubioi horren lodiera gero eta handiago izango da. Gogortu egingo da eta posiblea izango dugu ho-ren gainean eraikitzea.

. antzeko gauza gertatzen da basamortuetan non haizeak,berak garraiaturiko partikula finak depositatu egiten baititu dunak izeneko biltegiak formatzen.

. sumendietatik irtendako laba, hoztu egiten denean, jite karakteristiko daukan harri bilakatuko da.

. lurrikarak gertatzen direnean, lurraren bisaia aldatu egiten da.

. itsasaldeko itsaslabarren atzeratzea ere nabarmena dugu (Euskal Herriko hainbat tokitan, esate baterako).

. .....

Honen ondorioz argi eta garbi esan dezakegu :

" Lurrazala ez da gauza inaktiboa. Konstanteki ari da aldatzen eta gaur ikusten duguna etengabeko bilakabide horren etapa bat baino ez da ".

Esan beharra dago ere, aktibotasun honetan garrantzi handikoak direla lurbarneko fenomenoak : sumendiak, lurrikarak.....

Beste aldetik, gaurregun eraturik eta geruzaturik dauden harriak zehazki aztertzen baditugu, ondokoetaz konturatuko gara :

- batzu hare-garauz osoturik daude. Hondartzetan dauden garauen antzekoak izaten dira.

- beste batzu harri handiz eta borobilez beterik (konglomeratuak). Harri borobil horik, gaurko alubioietan ikusitakoen antzekoak izaten dira.

- beste geruzatan, labaren hozte-prozesuan sortutako harrien antzekoak aurkituko ditugu, beren ezaugarri guztiekin gainera.

- eta beste batzutan duna fosile antzekoak. Hau da, oso materiale finez osoturiko geruzak.

- eta ia ia geruza guztietan, gaurko animalia batzuren antzekoak diren beste denboratako animalien hondarrak (maskorrak, ozkolak...) aurkituko ditugu.

Honek guztionek zera esan nahi digu :

" Aintzinean eraturiko harrietan gaurregun eratzen ari direnen ezaugarri gehienak aurkit ditzakegu ".

Orduan, esan dezakegu gaurregun ematen ari diren aldakuntza guztiak Lurraren historioan zehar ere zelan edo halan gertatuak direla.

Hemendik dator " GAURKOTASUNAREN LEGEA " :

ORAINALDIA LEHENALDIRAKO GILTZA DA.

HARRIEN SAILKAPENA

Denok dakigu harriak zelakoak diren eta non dauden ere. Baina problema hemen datza : NONDIK datoz harriak ? ZEIN da harri ezberdinen jatorria ?.

Harrien sailkapenak eta nomenklaturak beti izan dira arriskutsuak, are gehiago, ikuspegi genetikotik (jatorria) aztertzen baditugu. Hortik datorkigu lehenengo geologoen artean sortutako iskanbila, zeinek geologiaren garapena urte asko atzeratu zuen. Batzuek, Werner (1.749-1.817) burua zutelarik (garai horretako famatuena), era guztietako harriak, bolkanikoak salbu, aintzinako materialeen higaduraz, garraioz eta ozeano hipotetiko batetako depositazioz (jalkieraz) eratuak zirela aldarrikatu zuten.Hau da, hauen ustez harrien sorreraren prozesua urak baldintzatua zen. Honexegatik esaten zaie " Neptunistak ", Neptuno baita uraren jainkoa.

Besteek, Hutton (1726-1797) buru zelarik, harri guztiak lurbarneko magmetatik sortuak zirela esan zuten. Hauen eritziz kanpoko harriak ziren bakarrik gainazalean eratutakoak prezipitatze kimikogatik, jalkiteagatik edo organismohondarren metatzeagatik. Beste harri guztiak barnekoak ziren, batak(igneoak) magma urtua hoztu eta solidatzetik sortu direnak eta besteak (metamorfikoak) aurreko harrien (edozein tipotakoak) transformakuntzatik (presio eta tenperatura altuak) sortuak. Hauei " Plutonistak " esaten zaie, Pluton baita lurbarneko jainkoa.

Azkenean plutonistak irten ziren irabazle eta horrela sendotu zen Geologia Modernoaren oinarria, harriak hiru taldetan sailkatuz :

HARRI SEDIMENTARIOAK (edo jalkin harriak)

HARRI IGNEOAK (edo magma-harriak)

HARRI METAMORFIKOAK

HARRI ERATUEN EZAUGARRI OROKORRAK

Lurrazaleko azaletik ibiltzean harri trinkoak (ez alteratuak) ikusteko oso posibilitate gutxi izaten dugu. Gehienetan landarez beterik aurkitzen dugu lurra. Indar atmosferikoen menpean luzaro egonez gero harriak higatu, txikitu eta apurtu egiten dira, METEORIZAPENA izeneko prozesuan. Ondorioz, harriak "lurtzoru" bihurtzen dira eta bertan desarroilatzen da landaredia.

Harri trinkoak agertzen direneko tokiak agermenduak deitzen ditugu. Leku batzutan errezago aurki ditzakegu : kaminoen ertzetan, ibaietako ibilguetan.. .....

Generalean, ez beti, lurtzoruak oso desegingarriak gertatzen dira (eskuz) eta beraietan hondar organikoak agertzen dira. Harriak, berriz, nahiko trinkoak gertatzen dira (mailuz apurtu behar dira) eta ez dute zertan eduki behar hondar organikorik. Baina berriro dinogu, hau generala bada ere ez da beti horrela gertatzen.

Geruzapena (edo estratifikazioa) eta jalkiera

Agermendu batzutan ondoko ezaugarri hauk nabaritzen dira :

- harriak kapaka agertzen dira. Kapa horik tabulareak izaten dira eta potentzia edo lodiera aldakorra izaten dute zentimetro batzutatik metro batzutara. Kapa horik geruzak deitzen ditugu eta agerkera hori geruzapena.

- geruza horietako materiale zati bat ateratzen badugu eta aztertu ere zera esan dezakegu : partikula txikiz beterik dagoela. Partikula hauk garauak deitzen ditugu.

- geruza batzutan organismoen oskol-janzkiak ere aurki ditzakegu. Hondar hauk (fosilak) kaltzio-karbonatoz ($Ca\ CO_3$) edo silizez (SiO_2) formaturik egoten dira.

Honelako agermendu batzu ikusi ondoren hondartza gazte batetara edo ibai baten alubioetara edo basamortutako dunetara abiatzen bagara geruzatan ikusitako materiale eta oraingo hauetakoen antzekotasunez jabetuko gara. Denboraz

behatu ezkero, dunak mugitzen eta hazten ikusiko dugu, bai eta itsasaldean hondartza baten bilakabidea ere. Hemendik datorkiguna zera da : materialeen gaurko jalkiera ikusiz, gauza bera lehen ere (Lurraren historioan zehar) gertatu dela admititu behar dugu. Hauxe da GAURKOTASUNAREN LEGEA : agermendu horietako harriak, gaurregunean materialeak jalkiten diren modutsuan formatu ziren. Gaurko bilakabideak (uraren eraginez edota haizearenez...) aztertuz gero, aintzinako harriak eman zituzten prozesuak ezagut ditzakegu. Honela formaturiko harriak HARRI SEDIMENTARIOAK deitzen ditugu; zelanbait esateko, harri sedimentarioa gogortasun-prozesua (litifikazioa) jasan duen sedimentua da.

Lurrazaleko azalearen 75 %-a estaltzen dute harri-mota hauek.

Galda-harriak (bolkanketa) eta harri igneoak

Lurrazaleko azalean aurkitzen ditugun harri guztiak ez dira sedimentarioak. Ba daude beste motatakoak ere. Lurreko hainbat tokitan (Japonia, Islandia, Ertamerika....) sumendiak edo bolkanak ugari dira. Sumendia, irekidura batzuren inguruan dagoen gorunea deitzen dugu. Irekidura hoietatik, noizean behin, materialea irteten da (materiale hau magma deitzen dugu) bai likido moduan (laba deitzen duguna), bai hondar solido moduan (materiale piroklastikoa) eta bai gas moduan (H, Metanoa, CO_2, SH_2...) ere.

Alde batetik, sumendietatik gaurregunean irteten den materialea eta beronen hozpena aztertuz eta bestetik, Gaurkotasunaren oinarria aplikatuz, konkluzio honetara irist gaitezke : lurrazaleko azalean ba daude era honetan aintzinean sorturiko harriak. Harri hauk harri bolkanikoak edo galda harriak deitzen ditugu eta berauen bereizgarririk nabarmenenak zerok dira :

- normalean, geruzatuak agertzen dira. Hala eta guztiz ere, geruzapena ez da harri sedimentarioena bezain nabarmena.

- labak solidatzen direnean gogortu egiten dira. Solidatze-prozesu honetan gasak edota isurkoiak askatu egiten dira hutsune batzu uzten. Hutsune horik tipikoak gertatzen dira honelako materialeetan.

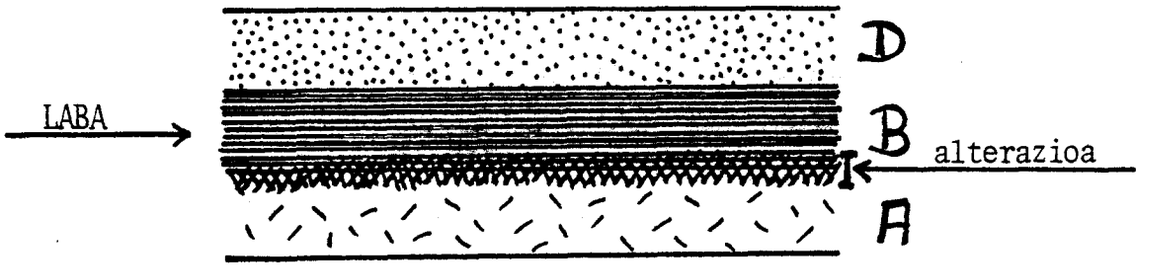
- lupaz begiratuz gero, materialea homogeneoa dela konturatuko gara nahiz

eta minerale isolaturen kristal ikuskorren batzu agertu ahal izan.

- horrela eraturiko harrien dentsitatea txikia izaten da, harri sedimentarioena baino.

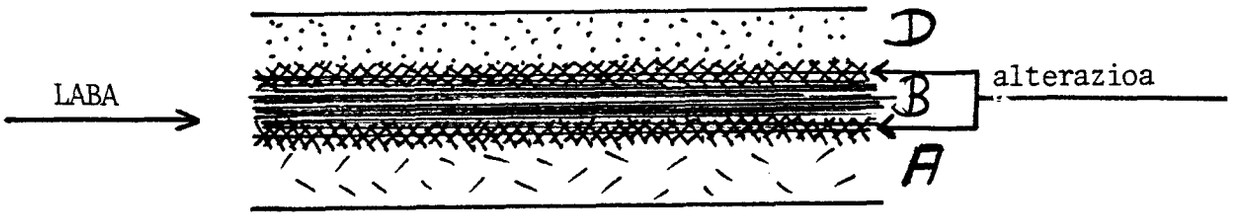
Sumendi batetatik irtendako laba solidatzen ikusten badugu, laba horrek azpiko materialeak berotasunagatik zelan alteratzen dituen ikusiko dugu. Alterazio horren ondorioz aldatu egiten dira azpiko harri horien bereizgarriak (aldaketa mineralogikoak, apurketak...). Materiale berriak (urak edo haizeak garraiaturikoak) jalkiten badira laba horren gainean ez de azpiko harrietan gertatutako efektua goiko harrietan gertatuko, laba hoztu egin delako.Beraz, harri bolkaniko hauk azalean bertan formatzen dira. Hau dela eta HARRI EXTRUSIBOAK izendatzen ditugu.

HARRI EXTRUSIBOAK



A = materiale zaharrena D = berriena

Baina,sarritan, naturan beheko irudian ikusten den "kortea" edo antzekoak aurkit ditzakegu. Kasu honetan goiko eta beheko sedimentuetan beroaren eragina nabarmena da. Oraingo honetan ezin dugu esan lehen extrusiboen kasuan esandakoa. Kasu honetan laba materialeen barruan sartu da eta bertan hoztu. Honexegatik izango da bera (laba) modernoena.



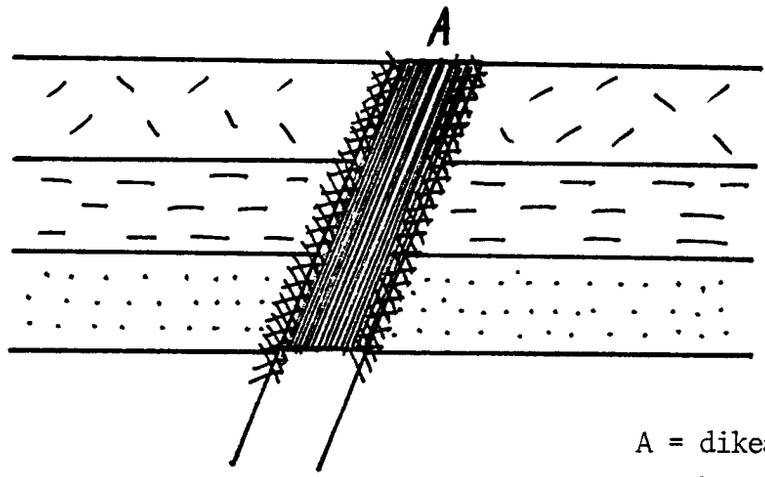
A eta D zaharrenak B = berriena

Harri hauk bolkanikoak dira ere baina ez azalean formatutakoak, barruan baizik. Hau dela eta HARRI INTRUSIBOAK izenez ezagutzen ditugu. Goiko materialeak higatuak direnean harri intrusibo horik azalean ikusteko moduan gertatzen dira.

Harri intrusiboen artean bi agerkera ezberdin agertzen da :

- bata goiko figurakoa : labaren koladak geruzarekiko paralelismoa gordetzen du. ZAIN-KAPAK dira.

- bestea, beheko irudikoa : koladak zeharkatu egiten ditu geruzak bazterrak alteratuz. DIKEAK dira



A = dikea edo barradera

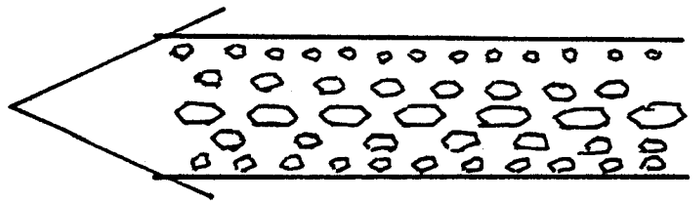
Harri intrusibo eta extrusiboen artean diferentzia handia dago, batez ere, texturari (ehundurari) dagokiona. Izan ere, harri intrusiboetan agertzen diren mineraleak ikusterrezak izan ohi dira; extrusiboetan, berriz, ikusteko zailak gertatzen dira. Zer esan nahi du honek ? Erantzuna oso sinplea da eta bakoitzaren bilakabidean datza.

Sumendietatik irtendako materialea (laba eta) oso arinki hozten da eta ez dago materiale hori kristaltzeko betarik. Horregatik, azkenean geratzen dena masa masiboa baino ez da.

Intrusiboetan, berriz, lurbarnean ematen direnez gero, geruza artean, hozte-prozesua ez da hain arin gertatzen eta minerale batzu kristaltzeko posibilitaterik ba dago. Hala eta guztiz ere, hozte-prozesu horren abiadura ez da ber-

din gertatzen koladaren leku guztietan. Bazterretan arinago gertatzen da alboko harriak hotzak direlako eta koladaren barnealdean astiroago. Hau dela kausa, ertaldean aurkituko ditugu kristalerik handienak. Hau horrela bada ere, hozduraren kontua ez da kontutan hartu behar dugun arazo bakarra; badaude beste batzu: hozteko den likido liskatu (biskotsu) horren ur-edukia,.....

albotako harriak



Nomenklaturaz zeozer

Forma ezberdinetan eratutako harriei izenak jartzeko orduan oso kontutan hartu behar dugu autore ezberdinek jarritako izenak. Baina izen horik ez datoz batera. Horregatik, nomenklatura zelan edo halan finkatu nahiean ondoko izen hauk erabiliko ditugu, autore gehienek erabiltzen dituztenak :

- Harri plutonikoak : lurbarnean formatu direnak.Jatorria aparte utziz.
- Harri igneoak : izen hau erabiliko dugu magma baten solidatzetik, bai azalean bai lurbarnean, formaturiko harriak izendatzeko.

Honen arauera harri intrusiboak plutonikoak izango dira lurbarnean formatu direlako. Harri intrusiboak eta extrusiboak, ostera, igneoak izango dira magma baten solidatzetik datozelako.

Metamorfismoa

Harri plutoniko guztiak ez datoz magma baten solidatzetik, hau da, harri plutoniko guztiak ez dira harri igneoak.

Zelan formatu dira ?

Guk badakigu, sondeo asko egin dira ta, lurbarnerantz zenbat eta gehiago sartzean, tenperatura hainbat eta altuagoa dela. Hau da gradiente geotermikoa deitzen duguna. Baina hau ez da aldatzen den faktore bakarra, presioa bera ere aldatu egiten da goiko materialeen pisuaren arauera.

Baldintza aldakor hauetan (P eta T gehitu egiten dira lurbarneratzean), materialeak transformatu egiten dira baldintza berriei egokitzeko eta baldintza berri horietan egonkorrak izateko. Transformakuntza-prozesu hau METAMORFISMOA izenez ezagutzen dugu. Metamorfismoa lurbarnean ematen denez gero, harri intrusiboekin ba dauka zerikusirik. Gainera, harri intrusiboek transformazio hori lagundu egin dezakete inguruko berotasuna gehituz. Azken batez, harri igneoek (intrusibo zein extrusiboek) eragindako transformazioa alboko materialeetan metamorfismo-forma bat da.

Metamorfismo-prozesua jasan duten harriak HARRI METAMORFIKOAK dira. Berauen bereizgarri nagusiak zerok ditugu :

- Harri sedimentariotatik datozenean geruzapena aurkez dezakete.
- Harri hauetako garauak handiak izaten dira minerale ezberdinak "visuz" ezagutzeko moduan.
- Harri metamorfikoak nahiko gogorrak gertatzen dira eratorri daitezkeen sedimentarioak baino.
- Minerale espezie batzu harri metamorfikoetan baino ez dira agertzen. Honegatik magmatismoaren indikatzaileak gerta daitezke.
- Harri metamorfiko batzuk, harri sedimentarioen ezaugarriak presentatzen dituzte baina guztiz alteratuak (e.b. fosilak.....)

Zer esanik ere ez dago, edozein motatako harria harri metamorfiko bihur daitekeela metamorfismo-prozesua behin jasan ezkero.

HARRI SEDIMENTARIOAK

Lurraren gaurko gainazala prozesu bi hauen ondorioa da : HIGADURA (harrien jate, desegite eta apurtzea) eta SEDIMENTAZIOA (harri-zation depositatze eta metatzea).

Orohar esanda, HIGADURA lehorraldeetan gertatzen da batez ere, sedimentazioa hondo ozeanikoetan gertatzen den artean.

Harrien depositoak SEDIMENTOAK deitzen ditugu eta prozesua bera SEDIMENTAZIOA . Sedimento hauk dira geroago *HARRI SEDIMENTARIOAK* emango dituztenak. Harri hauk Lurraren gainazalean gertatzen diren prozesu batzuren ondorioak ditugu :

HARRI SEDIMENTARIOAK = *Itur-barrutia* + *Meteorizazioa* + *Garraioa* + *Sedimentazioa* + *Diagenesia*

ITUR-BARRUTIA :

Zona honetatik datoz harri sedimentarioa osotuko duten materialeak (harri puskatuak). Itur-barrutiko harriak mota guztietakoak izan daitezke : sedimentario, igneo edota metamorfikoak.

Itur-barrutiko harriak sedimentarioak badira, eratuko den harri sedimentario berria ez da lehenengo ziklo sedimentariokoa izango, bigarren edo hirugarrenekoa baizik.

METEORIZAZIOA :

Hasierako harriaren (ama-harria) apurtzean parte hartzen duten prozesu guztien taldea da meteorizazioa.

Meteorizazioa fisikoa edo kimikoa izan daiteke :

- Meteorizazio fisikoa edo mekanikoa : Azkenean harria apurtu egiten da.

Faktoreak :

.- kanpoko agenteak : euria, elurra, ura, erreka, haizea...

.- izoztea-desioztea : ura harrien zirristuetatik sartzen da, hoztu eta

bere bolumena handituz gero harrien apurketa dator.

.- berotasuna-hoztasuna : tenperatura-aldaketak handiak direnean (mendietako goiko aldeetan, basamortuetan....) harriek luzangatzera eta kirkurtzerako joera daukate. Ondorioz, harriak denbora pasatzean apurtu egiten dira.

.- Hidratapena : ura molekulen barruan sartzen da harriaren bolumena handitzen eta ondorioz harria apurtzen.

.- deskarga elektrikoak : ekaitzetan, esate baterako.

- Meteorizazio kimikoa : harria ez da apurtzen baina aldaketa bat dago. Aldaketa kimikoa.

Faktoreak :

.- Oxidapena : aireko oxigenoa harrien elementu batzurekin batzen da oxiduak ematen. Burdinarekin gertatzen da maiz.

.- Disolbapena : konposaketa batzu errez disolbatzen dira uretan. Esate baterako gatza (Cl Na).

.- Karbonatapena : Kaltziozko karbonatua (CO_3Ca) ez da uretan disolbatzen baina anhidrido karbonikoa (CO_2) dagoenean, orduan karbonatua bikarbonatura pasatzen da eta bikarbonatua bai dela disolbagarri.

.- Hidratapena : lehen esan dugu zer den. Kasu batzutan ez du harria apurtzen, aldatu kimikoki baino.

.- Hidrolisia : Ura (H_2O) hidrolizatu egiten da (H) eta (OH) ematen. Azken hauk batu egiten dira (edo ahal dira behintzat) beste elementu batzurekin harri berriak sortzen. Horrela esate baterako silikatuak buztina bihurtzen dira.

GARRAIOA :

Itur-barrutiko harriak apurtuta daudenean meteorizaziogatik garraiatuak izaten dira garraio-agenteen bidez. Garraio-agenteok hauk dira :
Ura (agente nagusia), izotza, haizea, gizakia.....
Agentea zein den aparte utzita, materiale hori modu ezberdinetan garraia daiteke : bueltaka, saltoka, suspensioz, disoluzioz..... sedimentazio-arrora heldu arte.

SEDIMENTAZIOA :

Garraiatua izan den materialea depositatzen deneko prozesua.

- Garraioa disoluzioz gertatu bada (ioien erara),depositazioa *jalkieraz* egingo da, hau da, prezipitazio kimikoz. Hauxe da sarri askotan kareharrien kasua.

- Garraioa beste era batez gertatua bada (saltoka, bueltaka, suspensioz..), depositazioa garraio-indarra desagertzen denean gertatzen da.

Sedimentazioa gertatzen denetako arroak *sedimentazio-arroak* deitzen ditugu. Arrook oso bariatuak dira baina talde ebitan bat ditzakegu :

Arro kontinentalak :

.- hibai-arroa

.- laku-arroa

.- basamortu-arroa

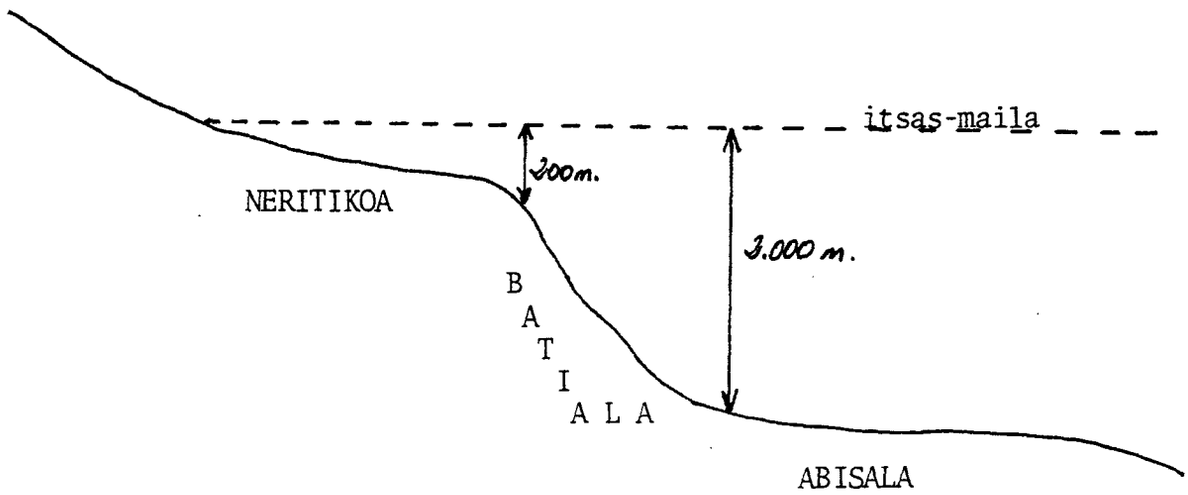
.- padura-arroa

Arro ozeanikoak :

.- neritikoa : plataforman

.- batiala : ezpondan

.- abisala : hondoetan



DIAGENESIA :

Sedimentazio-arroan sedimentoak jasaten duen azken prozesua "harri" bihurtu aurretik. Nolabait definitzekotan zera esango genuke : *sedimentu bat harri bihurtzeko parte hartzen duten prozesu fisiko-kimikoen multzoa.*

Prozesuok hauxek izan daitezke :

- Fisikoak : uraren kanporatzea; trinkotzea....

- Kimikoak : desgazitzea; birkristaltzea, zementazioa.....

Prozesuok sarri askotan batera agertzen dira.

Esana dugunez, diagenesia gertatua denean "Harri sedimentarioa" dugu. Baina harri hau ez da zertan izan behar beti gogorra eta trinkoa, hau da benetako harria nolabait esateko. Harri hori trinkoa eta gogorra gertatzen denean *litifikazio* izeneko prozesua gertatu dela esan dezakegu. Litifikazioaren definizioa lehen diagenesiaren kasuan emandakoaren antzekoa da, diferentzia bakarra zera da: diagenesian beti ez da harri gogorra sortzen. Litifikazioa, ba, diagenesiaren barruan kontsidera dezakegu, beti agertzen ez bada ere.

.....

Orain arte ikusitako guztia *GAURKOTASUNAREN LEGE*an oinarrituz adierazia izan da (ikus liburu honetako 1. horrialdean). Hots, eratuta dauden harrien antzekoak eratzen ari dira une honetan. Honek, Lurraren historioan zehar fenomeno geologikoek ez dutela aldaketa handirik eduki adieraten digu. Horrela, ba, gaur eguneko inguru sedimentarioen behaketa sistematikoak aintzinako inguru sedimentarioen ulerpenerako giltza emango digu..

.....

Oraindik aurrera harri sedimentarioen ehundurak (texturak), egiturak (estrukturak) eta bestelako ezaugarriak aztertzeari ekingo diogu, bai eta geruzen gainezarmenaren erizpideei ere.(ikus 1. horrialdea).

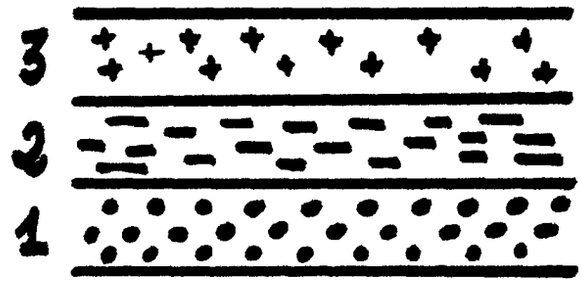
HARRI SEDIMENTARIOEN EGITURA

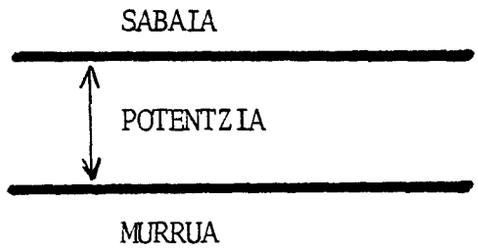
GERUZAPENA : (ikus 4. horrialdean)

Harri sedimentarioen ezaugarririk nabarmenena geruzatuak aurkezten direla da. Hau dela eta, honela definituko genuke geruzapena : *harri sedimentarioek daukaten eraketa-modua, azal planoek mugatutako gorputzen erara* (geruzak), *berauen jatorria sedimentazio-baldintzen aldaketetan edo sedimentazio-etenaldian datzalarik.*

GERUZA : pilatze-azal baten gainean eraturiko harrizko unitate planoa. Geruza bakoitza baldintza fisiko-kimiko iraunkor batzuren barruan eratua dela kontsideratzen da.

Era honetan geruzak bata bestearen gainetik doaz pilatzen inguruko baldintzakaldatuz doazen neurrian. Geruza hauek eratzen duten paketamendua GERUZAPENA da.





Geruza bat plano bik mugatuta dago :

Goikoa ..... SABAIA

Behekoa ..... MURRUA

Lodiera ..... POTENTZIA

GERUZAPEN-MOTAK : Geruzen egiturari begira :

1- *GERUZAPEN MASIBOA*

Kasu honetan eta bistaz behintzat ez da ordenamendu berezirik nabaritzen. Hala ere eta sakonki aztertuz (lupaz edo) ordenamenduren bat ba liteke egotea, esate baterako :

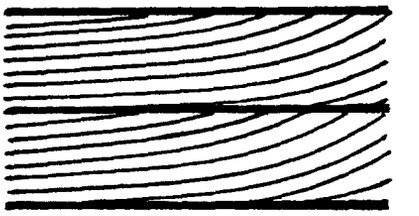
2- *GERUZAPEN XAFLATUA* (laminarra) *EGITURA PARALELOEKIN*

Kasu honetan eta geruza bakoitzaren barruan beste xafla antzeko batzu nabaritzen dira. Xafla baten lodiera ez da zentimetro bat baino gehiago izaten.

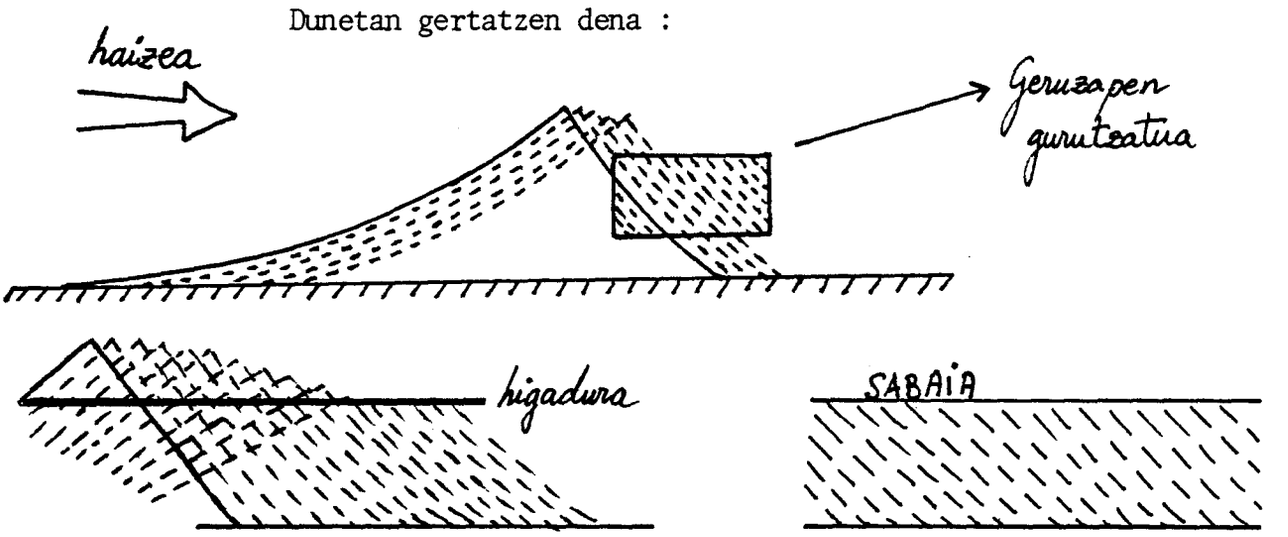
Honen arrazoia sedimentazioaldian gertatutako aldaketa txikietan datza. Aldaketa hauek berauek determinatzen dute geruza xaflaka agertzea. Geruzen arteko muga, berriz, sedimentazioaldian gertatutako aldaketa gogorretan datza.

3- GERUZAPEN XAFLATUA (laminarra) EGITURA GURUTZATUAREKIN

Kasu honetan xaflapena (laminazioa) ez da horizontala gertatzen zeihartua baino, xaflak (laminak) azal zeihartu batetan depositatzen direlako. Geroztik higadurak ebagi egiten du multzoa geruzaren "sabaia" gertatzen.



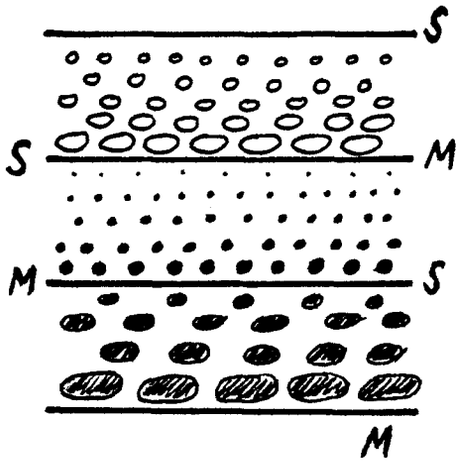
Dunetan gertatzen dena :



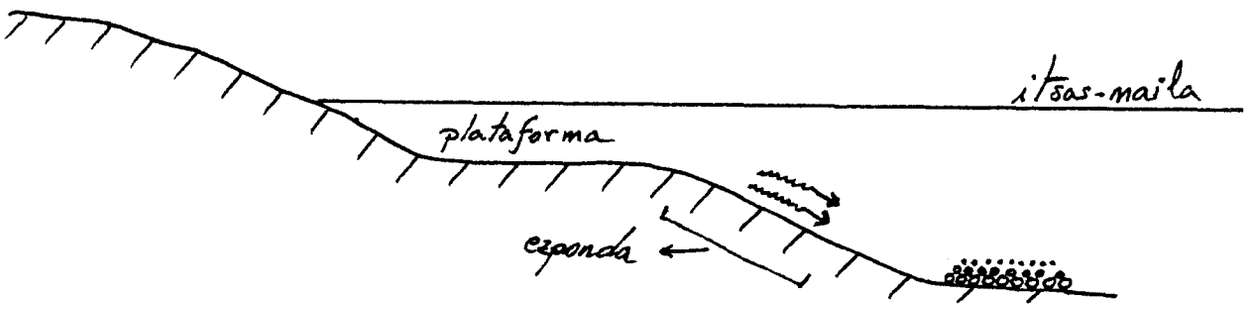
Hauxe da Dunetako kasu konkretua. Hala ere, gauza bera gertatzen da ozeanoetako hondoetan, hibaietan,.....

4- GERUZAPEN MAILAKATUA (edo turbiditikoa)

Egitura honen kausa sedimentuen ezarkuntza diferentzialean datza : harri lodiak lehenago depositatzen dira finak baino.



Hau, energia handiko garraio-korronteen kasuan (*Uharretasun-korronteak*) gertatzen da, batez ere. Energia hori bapatean desagertzen denean orduantxe gertatzen da ezarkuntza diferentziala.

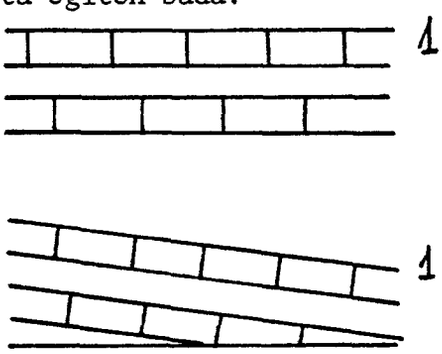


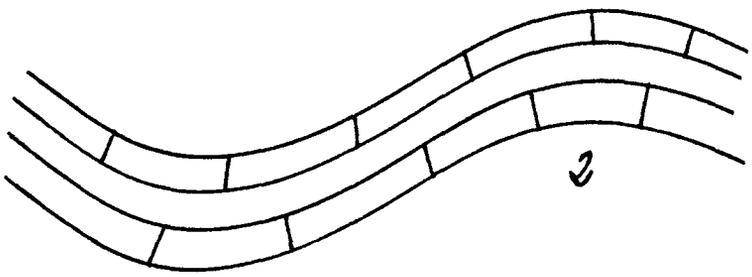
Ezponda kontinentalean *Uharretasun-korronte* haundiak gertatu ohi dira beheko partean eskala handitako geruzapen mailakatua ematen : Uharretasun-serie izenekoa.

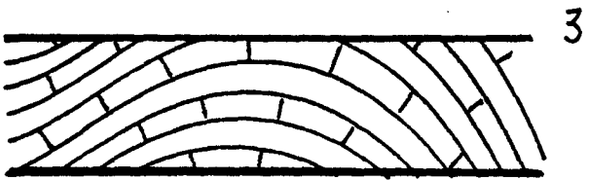
5- GERUZAPEN BARNETOLESTUA

Hasieran geruzak horizontalki eratzen dira eta gero tolestuak izaten dira fenomeno tektonikoengatik. Geroztik,eta higaduraren eraginez,"sabai" berria agertzen da, "higadur-sabaia".

Berdin gerta daiteke jatorrizko azala horizontala ez bada,azkenean tolestu egiten bada.







Geruzapen barnetolestua

GERUZAPENAREN KAUSAK :

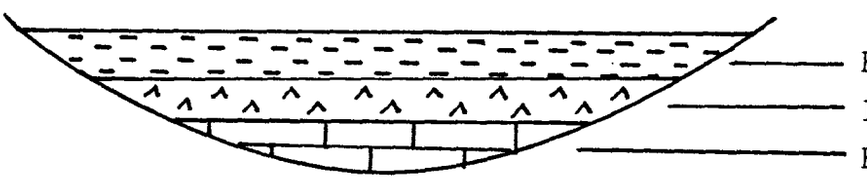
Arroan (inguru fisikoan) gertatzen diren aldaketak eta sedimentazioan (prozesuan) gertatzen direnak.

Ondoko hauk dauzkagu :

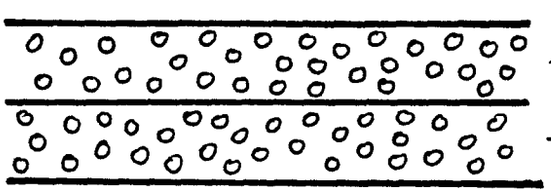
1- SEDIMENTAZIO-ARROAN GERTATZEN DIREN KONPOSAKETAREN ALDAKETA KIMIKO-MINERALOGIKOAK

.- Kimikoa : geruzapena,depositazio-giroaren eboluzio kimikoaren funtzioan dago.

Demagun arro itxi bat : *itsaspadura*. Lurrunketa haundia dela eta,konzentrazioa gehitu egiten da, gero eta gehiago. Konzentrazio-aldaketengatik sedimentazioa gertatzen da.



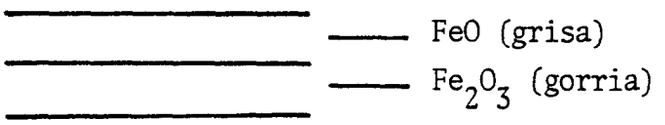
.- Mineralogikoa : geruzapena, geruzen konposaketa mineralogiko desberdinengatik gertatzen da. Desberdintasun hori ama-harria (edo itur-barrutia) beste bat delako gerta daiteke.



Goiko irudian ikus daitekeenez, lehenengo geruzatik bigarrenera ama-harria (edo bestela itur-barrutia bera) aldatu behar izan da, konposaketa mineralogikoa desberdina delako.

2.- SEDIMENTUEN KOLORE-ALDAKETAK

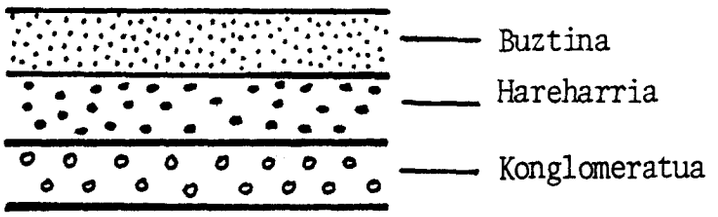
Kolorea aldatzen bada ere konposaketa mineralogikoa ez aldatzea gerta liteke.



Kolorea garrantzizko faktorea dugu inguruko ezaugarri fisiko-kimikoak zeintzu izan diren zehazten dizkigulako. Era honetan gorria-k giro oxidatzailea adierazten digu eta kolore ilunek (grisa, beltza) giro erreduzitzailea.

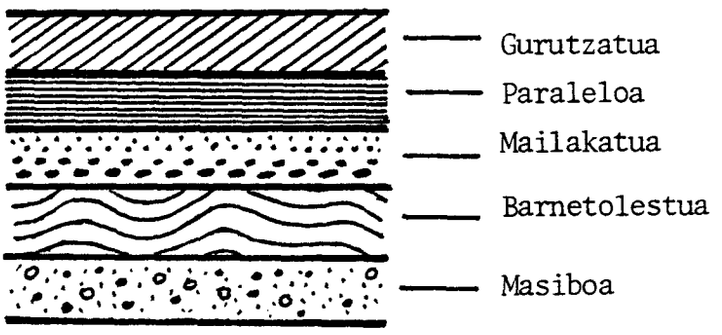
3- EHUNDURA-ALDAKETAK

Ehundura, garauen tamainari dagokio. Horregatik ehundura bera nahikoa da geruzapena nabaria izan dadin.



4- EGITURA-ALDAKETAK

Lehen ikusi dugunez, egitura desberdinak aurki ditzakegu harri sedimentarioetan. Desberdintasun honek beronek eragiten du geruzapena.



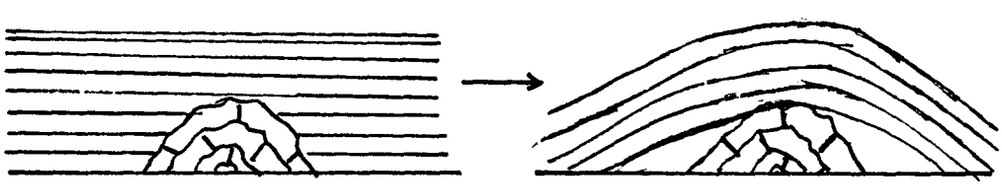
OKERMENDUA

" *Geruza batek horizontalekiko daukan angelua* ".

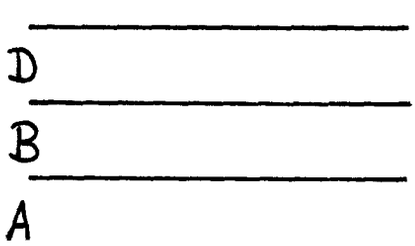
Geruzen okermendua ez da zertan izan behar beti mugimendu tektonikoen ondorioa (tolestu egiten dira geruzak). Sarri askotan horrela bada ere (geruzak normalean horizontalki eratzen baitira), batzutan geruzak azal zeihartu batetan eratzen dira. Kasu honetan "jatorrizko okermendua" dagoela esan dezakegu.

Ba liteke okermendu bat gertatzea, ez jatorrizkoa eta ez tektonikoa. Hauxe da, hain zuzen, sasi-antiklinalearen kasuan gertatzen dena :

-Demagun elementu arrezifalez osoturiko nukleo bat daukagula. Nukleo horren inguruan, eta horizontalki, sedimentuak depositatzen dira. Ez dago, ba, jatorrizko okermendurik. Diagenesian zehar sedimentuak ura galdu eta trinkatu (konpaktatu) egiten dira. Baina trinkapen honen ondorioz - eta nukleo arrezifal hori dela kausa - edimentuak zimurtu egiten dira antiklinale baten erara (sasi-antiklinalea). Horrela,ba, okermendu bat sortzen da tektonikoa ere ez dena.



GERUZEN GAINEZARMENAREN ERIZPIDEAK



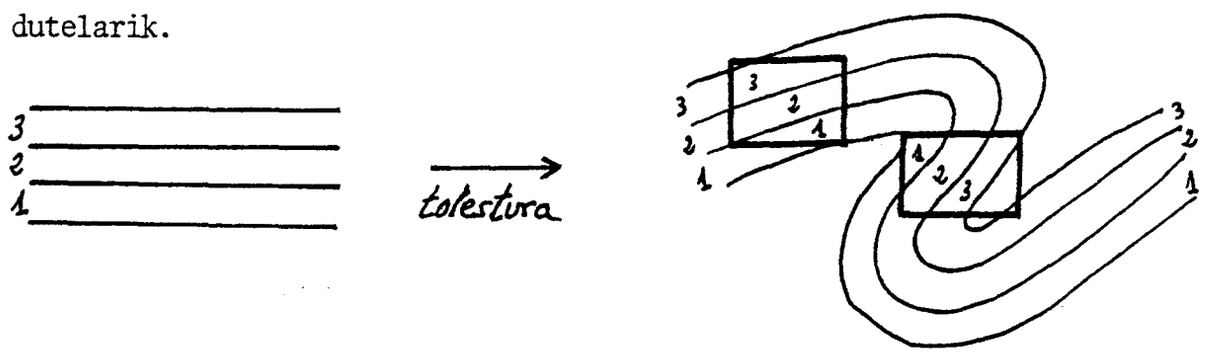
Ondoko irudian agertzen den seriearen antzeko bat badaukagu, eta serie hori normala dela - hau da, fenomeno tektonikoek inbertitu ez dutela - suposatzen badugu, A geruza B geruza baino

zaharragoa da eta B, D geruza baino zaharragoa ere.

Lege hau " *Geruzen gainezarmenaren legea* " izenez ezagutzen dugu eta STENO-k esana dugu XVII mendean : (ikus 1. horrialdea)

Serie geruzatu batetan geruza bakoitza goian daukan hurren-hurrengo geruza baino zaharragoa da.

Lege hau teorian oso logikoa bada ere praktikan ez da beti determinatzeko erraza gertatzen, fenomeno tektonikoek tolestu egiten baitituzte geruzak, tolestura honen ondorioz geruzek okermendu bat hartzen edo inbertitzen dutelarik.



Honegatik, erizpide batzu erabili behar ditugu geruza bat inbertituta ote dagoen jakiteko.

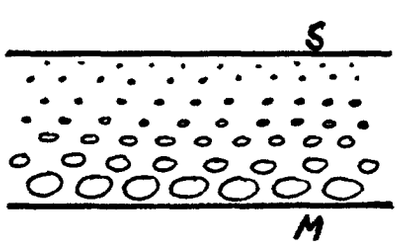
Horrela, hor goian ikusitako seriea inbertituta balitz, A ez litzateke zaharrena izango modernoena baizik.

ERIZPIDEAK

1- ERIZPIDE ESTRATIGRAFIKOAK

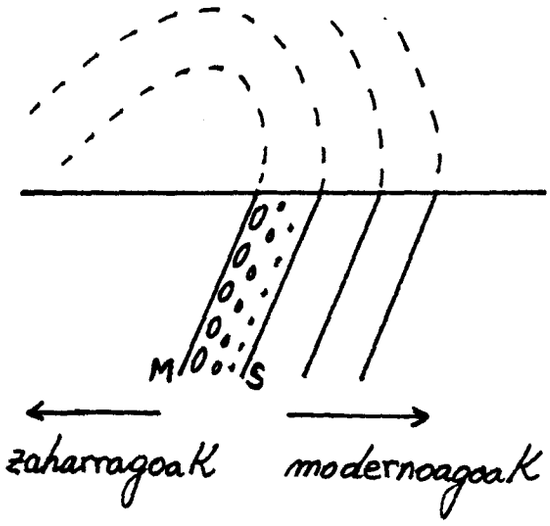
Aurretik ikusitako egitura sedimentarioekin lotuta daude.

a) geruzapen mailakatua



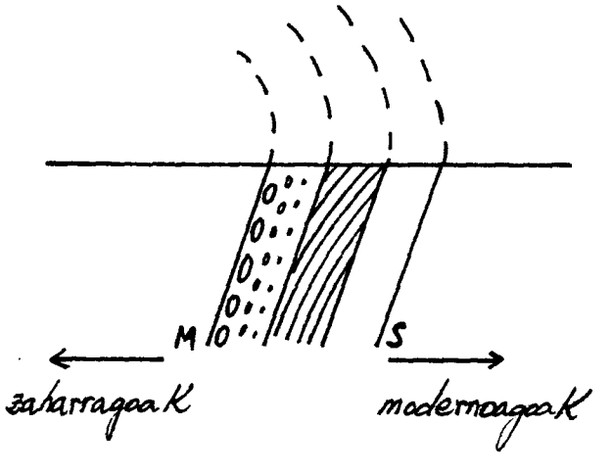
Holako egitura batetan harririk lodienak beheko aldean daude (MURRUA) eta finenak goikoan (SABAIA).

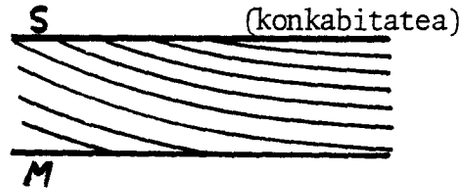
Serie baten barruan egitura hau daukaten geruzak aurkitzen baditugu SABAIA eta MURRUA non dauden determina genitzake, hots, serie normala edo inbertitua den jakin genezake.



Kasu honetan seriea inbertituta dago.

b) geruzapen gurutzatua



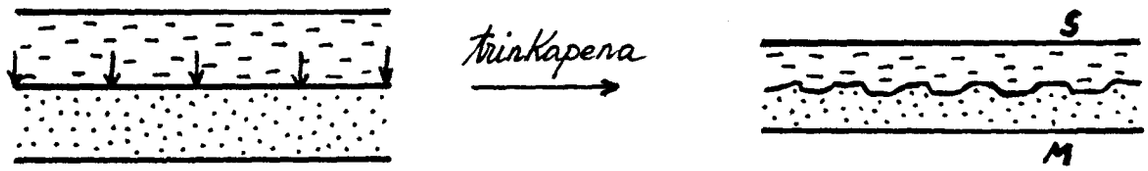


d) geruzapen-azaleko haztarnak

Geruzapen-azalak SABAIA eta MURRUA ditugu. Haztarna hauen bidez S eta M bereiz ditzakegu.

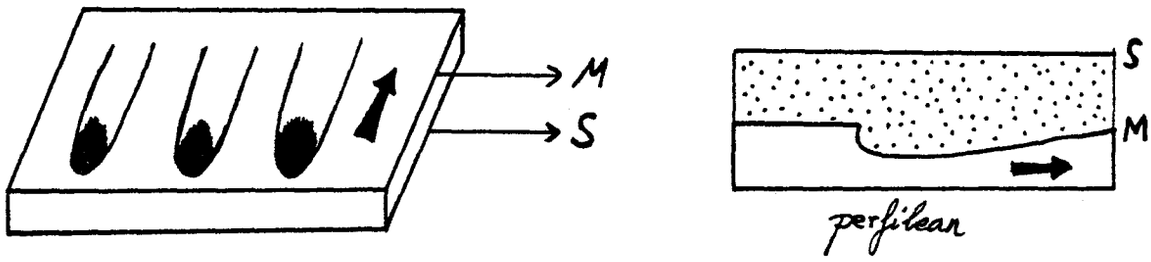
.- MURRUKO HAZTARNAK :

- *Zama-seinaleak* (load cast) : sedimentu gogorrak (e.b. hareharria) beste sedimentu finoagoren gainean (e.b. buztina ur askorekin) ezartzen direnean gertatzen dira seinaleok. Trinkapena dela eta, beheko sedimentuak ura galdu egiten du seinale horik agertzen direla.



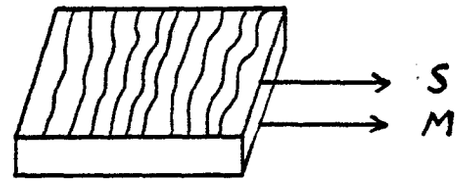
- *Hildo-seinaleak* (groove cast) : zeozeren zirkulazioarengatik (ura, harriak...) sortutako erliebe zuzenak. Erliebe hauek zirkulazioaren zentzua adierazten dutenean *turboglifoak* (flute cast) deitzen ditugu.

Hona hemen turboglifoen eskematxoa :



.- SABAIKO HAZTARNAK :

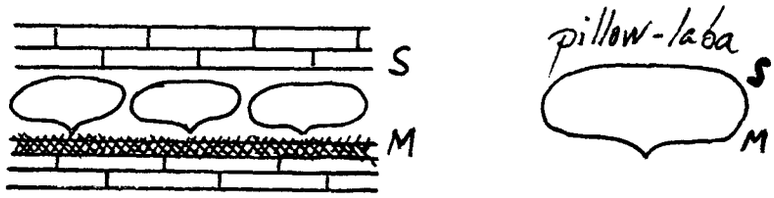
- *Olatuen seinaleak* :



- *Idorpenaren seinaleak* : Lurra idortzen denean agertzen diren seinaleak.

e) kolada bolkanikoak

Urpean gertatzen bada erupzioa,kolada tanta antzeko batzutan bakoizten da egitura kuxintsua ematen : *laba kuxintsua* edo *pillow-labak*.

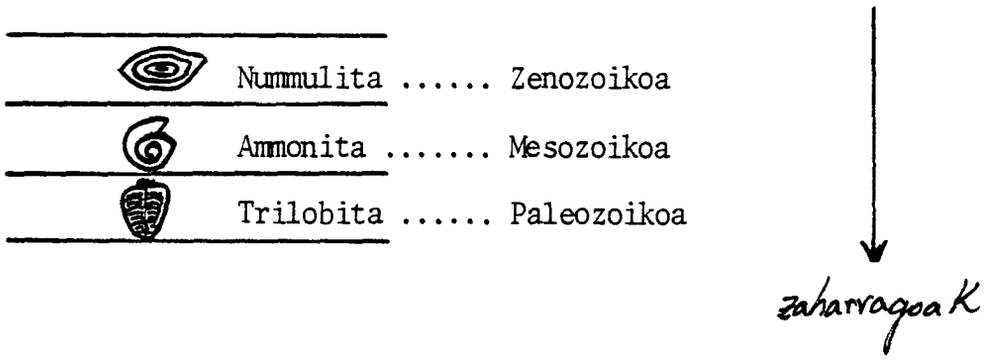


Ondorioz, beheko sedimentuek kontaktu-metamorfismoa jasaten dute.

Pillow-labek aurkezten duten beheko punta hori murrura egokitzearen kausa da.

2- ERIZPIDE PALEONTOLOGIKOAK

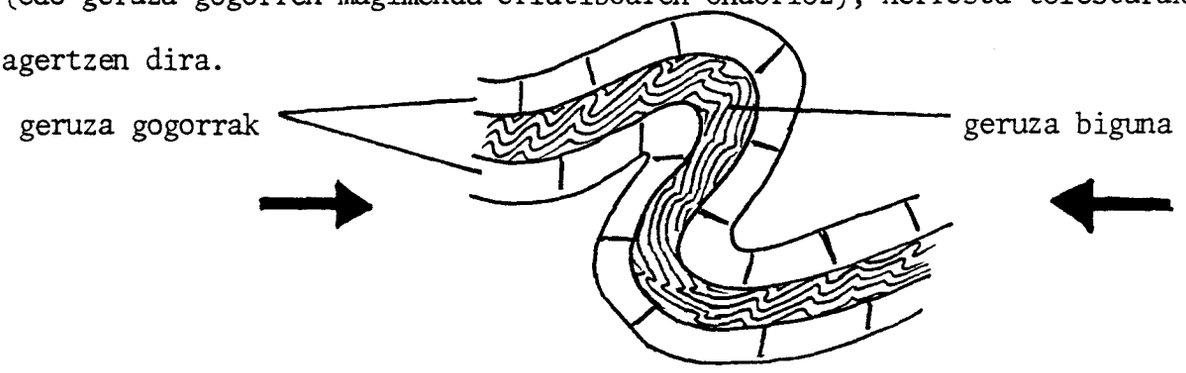
Fosileen serie kronologikoa ezagutzen dugunez, sabaia eta murrua bereizteko beraietaz balia gaitezke.



Batzuetan, landareak ere aurki ditzakegu hazkuntza-posizioan. Kasu hauetan oso erraza izango da sabaia eta murrua determinatzea. Hona hemen adibide batzu :

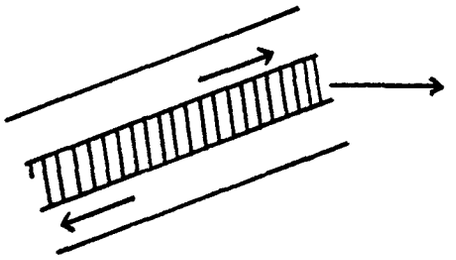
3- ERIZPIDE TEKTONIKOAK

- *Herresta-tolesturak* (drap folds) : Gogortasun desberdinetako geruzen pakete bat tolestua denean, geruza bigunetan, eta indarren ondorioz (edo geruza gogorren mugimendu erlatiboaren ondorioz), herresta-tolesturak agertzen dira.



- *Eskistositatea* (cleavage) : kasu honetan ez dago herresta-tolesturarik.

Eskistositatea : indarren ondorioz geruza bigunetan agertutako plano paraleloak.



Geruza biguna (ESKISTOSITATEA)

4- ERIZPIDE PETROLOGIKOAK

Harri metamorfikoetan erabiltzen dira, batez ere. Harri metamorfiko asko harri sedimentariotatik eratorri dira. Horregatik,orain arte ikusitako erizpideak (estratigrafikoak, paleontologikoak, tektonikoak) kasu honetan aplikatzea ere pentsa liteke. Baina normalean aplikaezinak gertatzen zaizkigu metamorfismoak egitura primarioak (edo funtsezko egiturak) ezabatzen dituelako. (ikus harri metamorfikoen gaia)

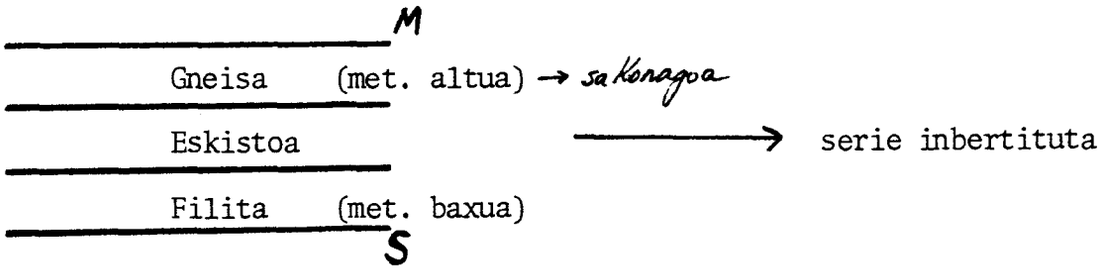
Baina beste aldetik, badakigu metamorfismoa mailaka gertatzen dela eta maila bakoitzean minerale ezberdinak sorterazten dituela :

Filitak - Eskistoak - Gneiseak - Migmatitak - Granitoa

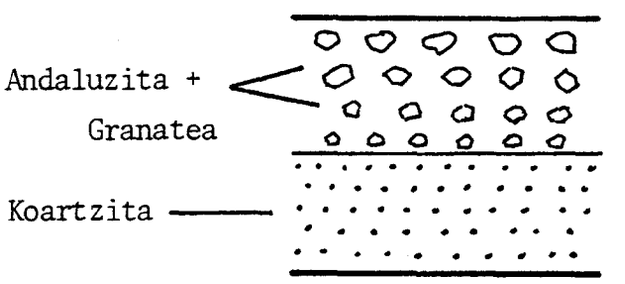
(metamorfismo baxua) ..... (metamorfismo altua)

T^+

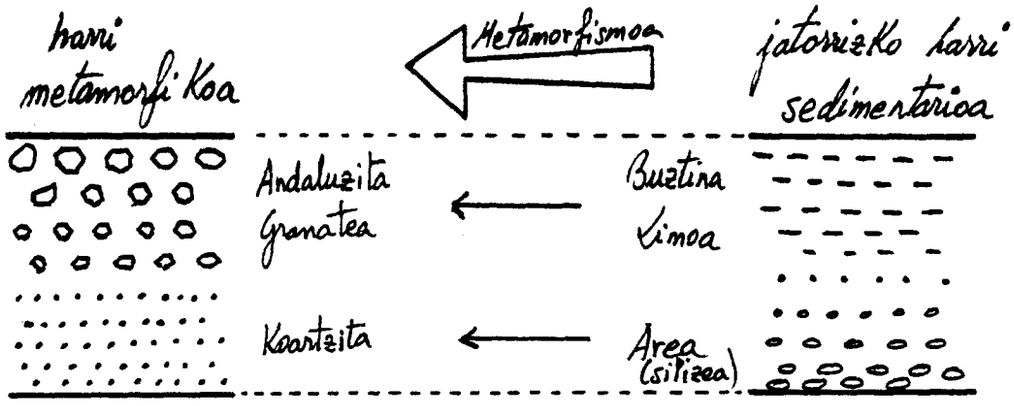
Honetaz baliaturik jakin dezakegu sabaia eta murrua non dauden :



Geruza bat hartzen badugu :



Bai andaluzita, bai granatea eta bai koartzita ere minerale metamorfikoak dira. Geruza horrela ikusita inbertituta dagoela pentsa liteke (geruzapen mailakatua). Baina andaluzita eta granatea harri aluminikotatik eratorriak direla eta koartzita silizetik eratorria dela ba dakigu :



Jatorrizko harri sedimentarioari begira geruza normala dela (eta ez inbertituta) esan dezakegu.

HARRI SEDIMENTARIOEN KONPOSAKETA KIMIKOA ETA MINERALOGIKOA

Harri sedimentarioen konposaketa kimikoa beste harri-moten konposaketak (igneo-metamorfikoenak) baina barianteagoa da, harri sedimentarioetan ama-harriaren mineraleak aurkitzen direlako eta ama-harria edozein harri (sedimentario-igneo-metamorfikoa) izan daitekeelako.

Konposaketa kimikoa analisi kimikoen bidez lortu ohi da eta harri sedimentario kimikoei (jalkieraz sedimentatu direnei) eta garau finetako harri detritikoei aplikatzen zaie batez ere. Harri sedimentario kimikoen artean talde nagusia kareharriak ditugu eta garau finetako harrien artean lutitak eta hareharriak. Garau loditako harrien konposaketa mineraleen behaketa zuzenez egin ohi da.

CLARKE-k (1924. urtean) ondoko taula hau eman zuen non harri igneoen eta harri sedimentarioen talde nagusien konposaketa kimikoa (oxidoz) agertzen baita.

Oxidoak	H. Igneoak	Lutitak	Hareharriak	Kareharriak
SiO_2	50.14	58.10	78.33	5.19
TiO_2	1.05	0.65	0.25	0.06
Al_2O_3	15.34	15.40	4.77	0.81
Fe_2O_3	3.08	4.02	1.07	0.54
FeO	3.80	2.45	0.30	----
MgO	3.40	2.44	1.16	7.89
CaO	5.08	3.11	5.50	42.57
Na_2O	3.84	1.30	0.45	0.05
K_2O	3.13	3.24	1.31	0.33
U_2O	1.15	5.00	1.63	0.77
P_2O_5	0.30	0.17	0.08	0.04
CO_2	0.10	2.63	5.03	41.54
SO_2	----	0.64	0.07	0.05
BaO	0.06	0.05	0.05	----
C	----	0.80	----	----

CLARKE (1924)

A- KONPOSAKETA KIMIKOA : Konposaketa kimikoan parte hartzen duten faktoreak hauxek dira :

- Garauen tamaina : Zenbat eta garauen tamaina handiago izan hainbat eta silize gehiago (SiO_2) dago :

hareharrietan = 78.33 % SiO_2

lutitetan = 58.10 % SiO_2

- Sedimentuen heldutasuna : faktore honek mineraleen eboluzio-gradua ematen digu harriak itur-barrutitik (ama-harritik konkretuki) irteten direnetik sedimentazio-arrora heldu arte.

Zenbat eta luzeago izan prozesua (meteorizazioa + garraioa + sedimentazioa) edo denbora gehiago pasa hainbat eta helduago izango dira sedimentuak.

Sedimentuak oso helduak direnean mineralerik gogorrenak aurkituko ditugu

bakarrik: SiO_2 , esate baterako. Besteak desagertuak izango dira, esate baterako Feldespatoak.

- Aldaketa diagenetikoak : prozesu diagenetiko garrantzitsu batek - litifikazioa - CO_3Ca-ren gehitzea ekar dezake, karbonatua baita zementu bezala normalean agertzen dena.

Horrela, poro asko duten harriek - hareharriak e.b. - posibilitate gehiago daukate litifikazioan zehar karbonatua (CO_3Ca) jalki dadin.

B- KONPOSAKETA MINERALOGIKOA :

120-ren bat minerale desberdinak aurkitu dira harri sedimentarioetan. Hala ere, gehiago agertzen direnak 20-ren bat baino ez dira. Mineraleok talde bitan bat ditzakegu :

- Detritikoak : Itur-barrutian higatuak, gero garraiatuak eta azkenean sedimentazio-arroan depositatuak.
- Kimikoak : Sedimentazio-arroan bertan sortuak jalkieraz, hau da, prezipitazio kimikoz.

KRININE-k emandako sailkapena (1948. urtean) :

DETRITIKOAK : (agerpen-portzentaien arauera).

>10 %	<10 %	1% > (Akzesorioak)
Koartzoa	Sukarria (chert)	Burdina-mineraleak
Buztin-mineraleak	Garau loditako mika	Zirkoia
		Turmalina
Garau finetako mikak	Feldespatoak	Epidota
		Granate
		Horblenda

KIMIKOAK :

>10 %	<10 %	1 % > (Akzesorioak)
Kaltzita	Sukarria (chert)	Mikak
Dolomita	Koartzo sekundarioa	Feldespatoak
	Igeltsua	

Sedimentazio-arroan aurkitutako harriek informazioa ematen digute beraiek jasatako prozesuaz. E.b. sedimentazio-arroan harri karetsu asko aurkitzen baditugu, horrek, itur-barrutia—sedimentazio-arroa distantzia txikia dela esan nahi digu, kareharri guztiak disolbatzeko astirik egon ez delako.

HARRI SEDIMENTARIOEN SAILKAPENA

Lehen esan dugunez talde baitan sailka ditzakegu :

1.- HARRI DETRITIKOAK.

Harri hauk osotzen dituzten zatiak kanpotik etorri dira sedimentazio-arrora eta egoera solidoan izan dira garraiatuak.

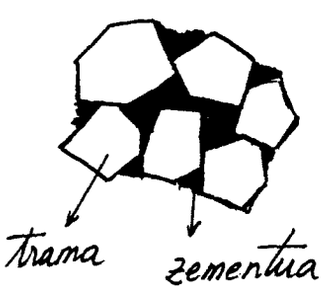
HARRI DETRITIKOEN EHUNDURA :

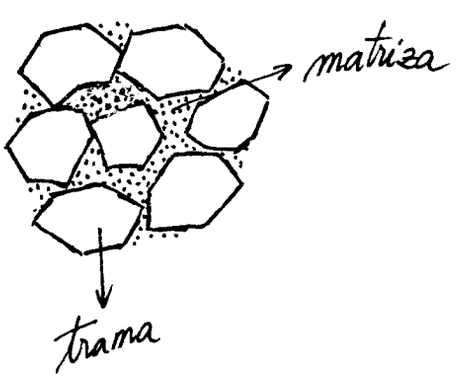
Hiru elementu hartzen dute parte ehunduran :

-TRAMA : harriaren karkasa osotzen duten garau-taldea.

-MATRIZA : trama osotzen duten garauek utzitako hutsuneak beste materiale finagoak betetzen ditu. Materiale fin honi "matriza" esaten diogu.

-ZEMENTUA : matrizaren ordez, prezipitazio kimikoz (jalkieraz) suertatutako materialeak betetzen dituenean hutsuneak, materiale horri "zementua" esaten diogu.



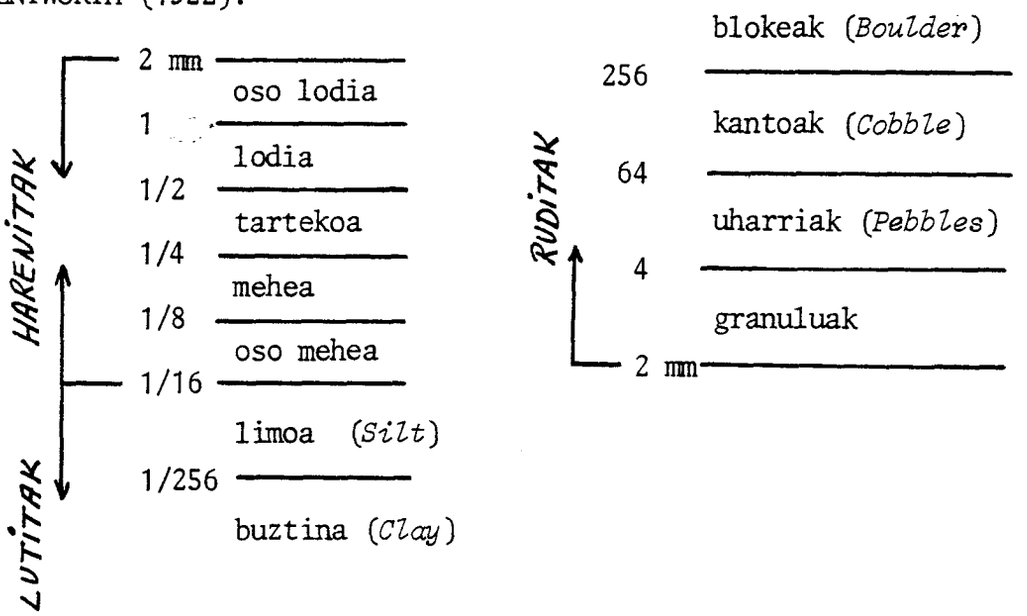


Tramaren barruan aspektu batzu aipa ditzakegu :

a) Garauen tamaina : harri baten garau-tamaina neurtzeko metodo batzu dira erabilgarri :

- mazeen bidez : harri sedimentarioari diametro desberdinetako maze batzutatik pasa erazten zaio. Maze bakoitzetik beronen diametroz beherako diametroa daukaten garauak baino ez dira pasatzen.
- neurketa zuzena : garauak handiago direnean (> 2 mm) zuzen-zuzenean egiten da. Garau baten diametroa bolumen berdina daukan esfera batena dela suposatzen da.
- sedimentazio-abiaduraz : garauak oso txikiak direnean (limoak e.a.) aplikatzen da. Garauak uretan disolbatu eta sedimentatzen hasten dira. Sedimentazio-abiadura neurtuz garau ezberdinen diametroa ezagutzera hel gaitezke,STOOKES-en legeak aplikagarri direla.

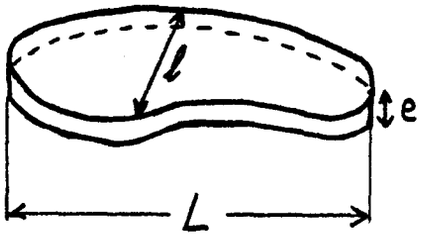
Garauen tamainaren funtzioan hona hemen harri detritikoen sailkapena : WENTWORTH (1922).



b) Garauen forma : Garau-forma oso indize garrantzitsua daukagu materialearen garraiakeraz (garraiatzeko moduaz) informazioa ematen digulako.

Garau baten forma esferarekiko antzekotasun handia edo txikia bezala definitzen da. Garauen forma aztertzeko irizpide bi hartzen ditugu kontuan :

- zapaltasun-indizea : garau baten zapaltze-gradua neurtzen du indize honek. Garauak dauzkan hiru dimentsioen funtzioan ateratzen da.



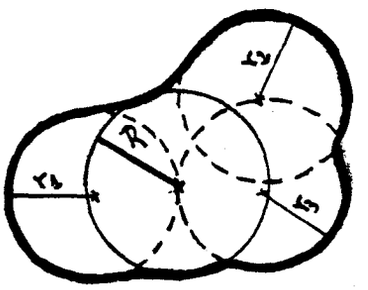
$$\frac{L + l}{2\,e} = \text{Z.i. (zapaltasun-indizea)}$$

Esfera balitz : Z.i. = 1

- biribiltasun-indizea : garau baten biribiltze-gradua neurtzen du indize honek.

Desberdina da "biribiltasuna" eta "esferizitatea". Biribiltasunak garauek ez dutela aristarik esan nahi du. Esferizitateak, berriz, garauek ez dutela aristarik ata gainera esfera baten antza aurkezten dutela ere bai.

$$\text{B.i.} = \frac{\frac{\sum r_i}{n}}{R}$$



non :

r_i = bertizeen kurbaturaren erradioak.

R = garau horretan sar daitekeen esferarik haundienaren erradioa.

HARRI DETRITIKOEN EZAUGARRI BATZU :

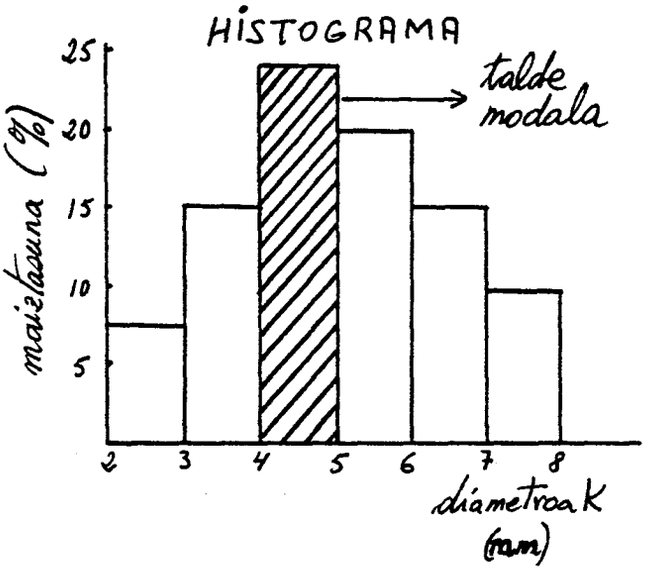
Esana dugunez hiru taldetan bana ditzakegu harri detritikoak :

RUDITAK --------- HARENITAK --------- LUTITAK

— RUDITAK :

Rudita batetan garauen batezbesteko diametroa 2 mm-tik gora dago.

Lagin baten garauen diametroak eta berauei dagozkien maiztasunak (frekuentziak) grafiko batetan (HISTOGRAMA) adierazten baditugu, maiztasunik handiena



daukan diametroen bitartea TALDE MODALA deitzen dugu.

Matriza dagoenean (hutsuneak betetzen dituen materiale fina) bi talde modala agertzen dira : tramari dagokiona eta matrizari dagokiona.

Normalean garauei "*KLASTOAK*" esaten diegu. Klasto hauk biribilduak edo angelutsuak, askatuak edo zementatuak izan daitezke.

Honen arauera hona hemen ruditen sailkapena :

	ASKATUAK	ZEMENTATUAK
BIRIBILDUAK	*HARKAZKARRAK*	*KONGLOMERATUAK*
ANGELUTSUAK	*KASKAILUAK*	*BRETXAK*

Maizago aurki ditzakegunak konglomeratuak dira.

Klastoak harri berberatik datozenean : OLIGOMIKTIKOAK

Klastoak harri desberdinetatik datozenean : POLIMIKTIKOAK

Klastoak sedimentazio-arroan bertan ere forma daitezke jalkieraz, hau da, prezipitazio kimikoz : BARNEKLASTOAK. Besteak, ostera, kanpoklastoak lirateke.

Klastoak trama bezala ager daitezke arrazoi hauengatik :

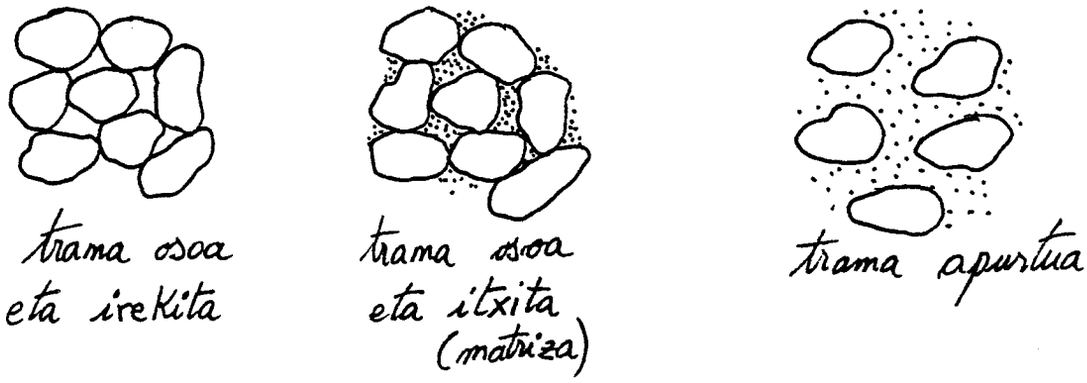
- klastoen artean matriza agertzen delako
- klastoen arteko hutsuneetan zementua jalkiten delako.

Trama-motak :

.- trama osoa : klastoak elkarrekin loturik daude.

- trama irekita : hutsuneak libre daude.
- trama itxita : hutsuneetan matriza edo zementua dago.

.- trama apurtua : klastoak ez daude elkarrekin lotuta.



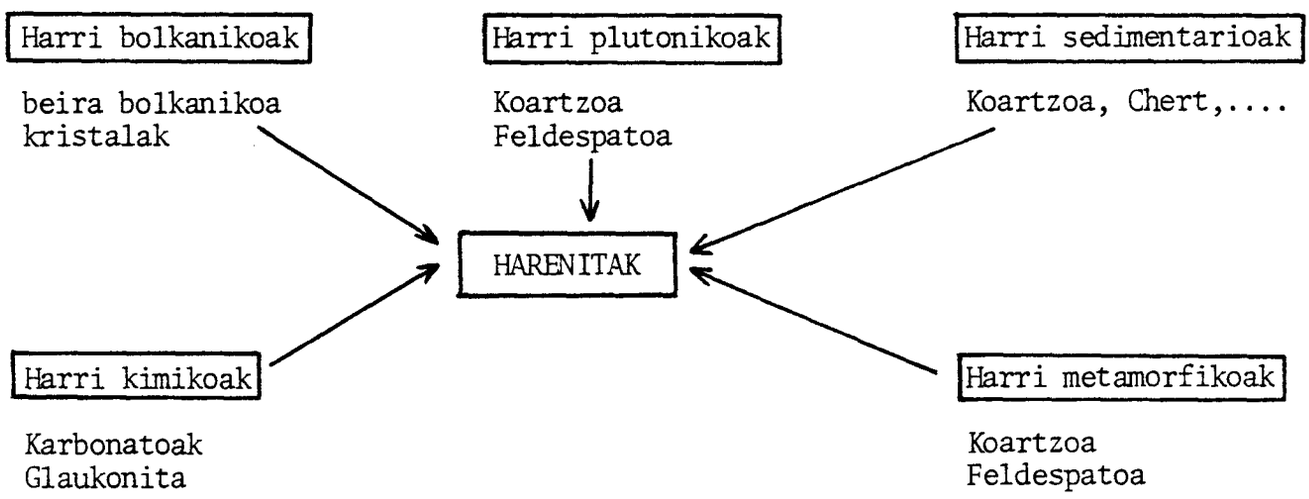
— HARENITAK :

Harenita batetan garauen batezbesteko diametroa bitarte honetan dago :

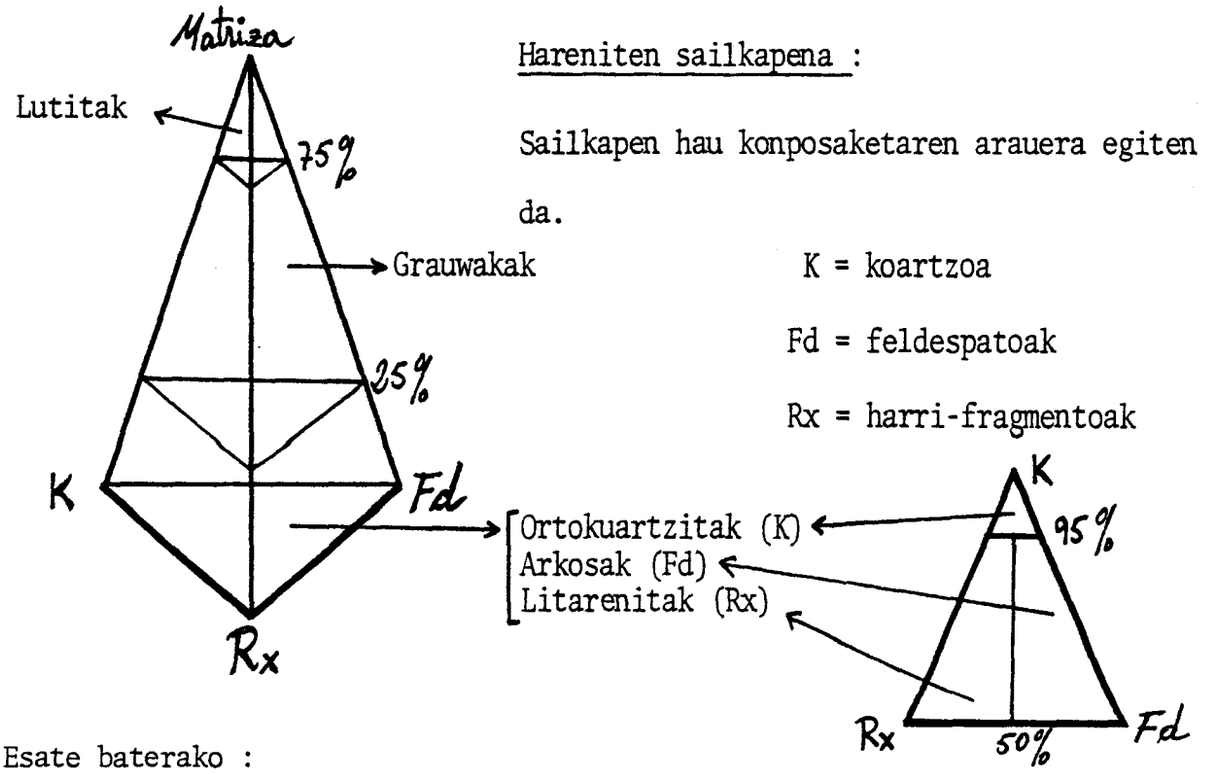
$$1/16 \text{ mm} < \phi < 2 \text{ mm}$$

HARENITAK
- HAREAK : garau askatuak
- HAREHARRIAK : garau zementatuak. Kasu honetan klastoak trama bezala ager daitezke hutsuneetan matriza edo zementua izanik. Porositate handia aurkezten dute eta horrexegatik aproposak dira elementu batzuen gordeleku bezala : ura, petrolioa....

Klastoak edonondik etor daitezke :



Harenitetan maizago agertzen den mineralea koartzoa da.



Hareniten sailkapena :

Sailkapen hau konposaketaren arauera egiten da.

K = koartzoa

Fd = feldespatoak

Rx = harri-fragmentoak

Esate baterako :

- Grauwaka : grauwaka batek daukan matrizaren portzentaia 25 % - 75 % bitartean dago.
- Lutita : lutita batek daukan matrizaren portzentaia 75 % baino handiagoa da.
- Arkosa : matrizaren portzentaia txikia da (25 % baino txikiagoa) eta feldespatoena altua.

Matrizaren agerpena edo ez agerpena garrantzizko faktorea da ur-korronte gogorrik izan den ala ez jakiteko. Ur-korronte gogorrak izan badira ez da matriza izango eta harenita garbi izango da.

— LUTITAK :

Lutita batetan garauen batezbesteko diametroa 1/16 mm baino txikiagoa da.

Lutitak harri detritikorik ugarienak dira (harri sedimentarioen 50 %-a). Hala ere,ez ditugu ondo ezagutzen hain klasto finekin lan egiteak ekartzen dituen oztopoengatik. Normalean X-izpiak eta beste metodo berezi batzu erabili behar dira kasu hauetan.

Lutiten sailkapena : Hona hemen FOLK-ek (1968) emandako sailkapena :

	H. askatua	H. trinkoa	H.trinkoa eta xaflakorra
Limoa > 2/3	*LIMOA*	*LIMOLITA*	*HARBELA LIMOTSUA*
Limo-buztina	*LOKATZA*	*LOKATZITA*	*HARBELA*
Buztina > 2/3	*BUZTINA*	*BUZTINITA*	*HARBELA BUZTINTSUA*

- *Garauen tamaina* : sedimentazio-abiaduraz neurtzen da. Batzutan, eta minerale batzuren jite xaflatua (laminarra) dela medio, oztopo batzu sor daitezke metodo honekin beronekin ere.

- *Xaflakortasuna* : minerale batzuk xaflatan banatzeko daukaten bereizgarria. Normalean xaflakortasuna geruzapenaren paraleloa da. Honen kausa minerale planoek (mikak) sedimentazioaldian hartzen duten disposapenean datza.

- *Porositatea* : oso haundia izaten da buztinetan batez ere (50 %-a sedimentatu berria denean). Diagenesian zehar trinkatu (konpaktatu) egiten da porositatea gutxitzen.

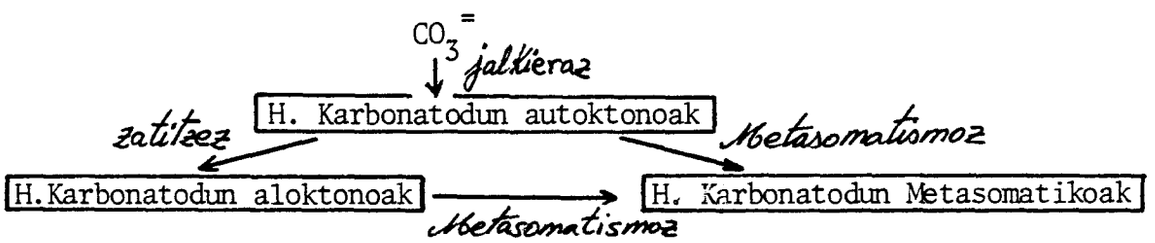
2.- HARRI KIMIKOAK

Bost taldetan bana ditzakegu harri kimikoak :

- HARRI KARBONATODUNAK :

Harri kimikoen artean hauxek dira maizago agertzen direnak. Harri hauetan frakzio karbonatoduna ez-karbonatoduna baina handiago da.

Hona hemen harri karbonatodunen genesiaren eskematxoa :



Metasomatismoa : eskala handiko errenplazamendua disoluzioz gertatua.

Harri karbonatodun nagusi hauxek dira :

KAREHARRIAK : Kaltzitaz (CO_3Ca) batez ere osoturikoak

DOLOMIAK : Dolomitaz ($(CO_3)_2Ca\ Mg$) batez ere osoturikoak

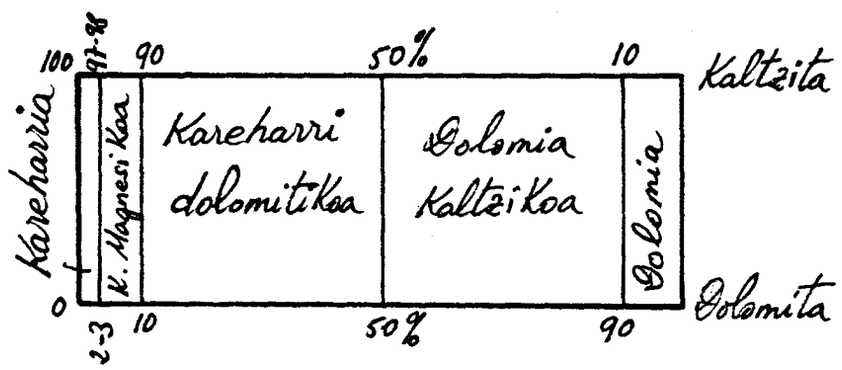
Hiru prozesok eman ditzakete kareharriak :

1- CO_3Ca-ren kristaltzea : hau da, e.b., organismoen CO_3Ca-ren segregazioaren kasua (koralak, arrezifeak...). CO_3Ca airepeko baldintzetan ere kristal daiteke (e.b. : kalitxea).

2- CO_3Ca garauen litifikazioa : Lehen CO_3Ca prezipitatzen da eta gertatzen diren garauak apurtzean litifikatu egiten dira kareharria ematen.

3- Ordezkamendu metasomatikoa : oso gutxi gertatzen dena.

Sailkapena : sailkapen asko daude baina hemen bat baino ez dugu emango, sinpleena:



FOLK-en eritziz dolomia primario eta sekundarioak bereizi behar dira :

- D. primarioak : prezipitazio zuzenez edo metasomatismoz gertatua baina sedimentua oraindik arroan dagoenean.
- D. sekundarioak : metasomatismoz gertatua baino beranduago.

— HARRI SILIZEOAK :

Harri silizeoen gehienak organikoak dira, hau da, organismoen hondar txikiak metatu egiten dira eta azkenean harri trinkoa ematen dute : harri silizeoa. Organismoen hondar horik silizeoak dira, jakina. Organismo hauen artean hauk ditugu : erradiolarioak, alga diatomeak, belakien espikulak....

Beste harri silizeo batzu prezipitazio kimikoz (jalkieraz) agertu dira. Normalean zaila gertatzen da harri silizeo baten jatorria (organikoa edo kimikoa) jakitea, agertzen diren organismoen hondarrak oso txikiak baitira.

Harri silizeoen artean garrantzia handia daukate EBAPORITEK, hau da, gatz asko daukaten uretan gertatutako ebaporazioz eratzen direnak: Igeltsua,... Ebaporita guztiak ez dira silizeoak orain ikusiko dugunez.

— HARRI EBAPORITIKOAK :

Gatz asko daukaten uretan gertatutako ebaporazioz eratzen dira. Inportanteenak hauxek dira :

Igeltsua : $SO_4Ca.\ 2H_2O$

Anhidrita : SO_4Ca

Halita : ClNa (gatz arrunta)

Ebaporiten dentsitate baxua dela kausa, beste materiale batzuren pilatzegatik lurperatzen direnean igotzeko joera aurkezten dute. Fenomeno honi HALOZINESIA deitzen diogu eta beronek forma erazten ditu "diapiroak". Horrexegatik, goian aipatutako harri ebaporitikoak sarri askotan diapiroetan agertzen dira.

— HARRI FOSFATODUNAK :

Prezipitazio kimikoz eraturiko harriak konposakai nagusia fosforoa izanik.

Normalean jatorri organikoa izaten dute harri hauek :e.b. guano-ren kasuan (hegazti batzuren zirina).

Fosforoa jalki dadin baldintza bereziak behar dira :

- Arroko baretasun tektonikoa
- jite erreduzitzailea.
- eta beste batzu normalean ematen ez direnak. Horregatik harri fosfatodunak ez dira ugari izaten.

— HARRI BURDINTSUAK :

Burdin mineraleak dauzkaten harriak.

- glaukonika asko daukatenak
- harbela burdintsuak
- kareharri burdintsuak
- Pirita (masa handitan agertzen denean)
- Limonita (urmaeletan agertzen den burdin mineralea)

— HARRI ORGANIKOAK :

Jatorri organikoa daukatenak.

- Ikatzak : landareen hondarrez eraturikoak transformakuntza-prozesu bat jasan ondoren.

(zoikatza) TURBA - LIGNITOA - HARRIKATZA - ANTRAZITA

$C^- \longrightarrow C^+$

- Bitumenak : harrietan zopatutako hidrokarburoen nahastea.

PETROLIOA - ASFALTOA - GASA

Jatorria garau finetako sedimentuetan harrapatuta geratu zen materia organikoan dago. Sedimentu hoietan transformakuntza batzu jasan zituen hidrokarburoak sortzen. Hidrokarburo hauk, gero, migratu egin dira "ama-harritik""gordailu-harrira". Batzutan igon egin dira gainazaleraino eta oxidatu egin dira "asfaltoak" sortzen.

HARRI IGNEOAK

EZAUGARRI OROKORRAK

Harri igneoak, magma baten solidatzearen ondorioz sortzen dira. Harri hauen konposaketa kimiko eta mineralogikoa eta bai ehundura (textura) ere aldatu egiten dira jatorrizko magmaren ezaugarrien arauera eta bai solidatzea gertatzen deneko ingurugiroaren arauera ere.

Harri hauen sailkapenerako, ba, erizpide bi hartzen ditugu :

+ solidatzearen ingurugiroaren arauera :

1 - INTRUSIBOAK

2 - EXTRUSIBOAK edo BOLKANIKOAK

1 - solidatze-prozesua astiro gertatzen da; nahiko denbora egon denez, magmaren konposatu likidoak minerale egonkor bilakatu dira, hauen kristaltzea ona izanik.

2 - Lurraren gainazalean edo itsasondoetan eratzen dira. Kasu honetan solidatze-prozesua arin gertatzen da eta kristaltze-gradua ez da ona.

+ konposaketaren arauera :

AZIDOAK NEUTROAK BASIKOAK ULTRABASIKOAK

MAGMA :

Magma, sustantzia liskatsua da, batez ere silikatoduna, eta soluzioz ur-lurrun asko eta konposatu lurrunkor ugari daramana. Magma hozten denean solidatu egiten da harri igneoak (edo magmatikoak, berdin da) sortu eraziz. Magmaren konposatu lurrinkor horiek urkoi bezala egiten dute eta magmaren solidatze-puntua beheratzen dute.

Jatorria

Lurrazaleko beheko aldean eta Mantoko goiko aldean dagoen materia solido silikatodunaren lekuko urtzez sortzen da magma.

Magma batek aldaketa asko izan ditzake goranzko migrazioaldian eta horrela, hasieran urtua den magma bat azkenean harri igneo bilakatzen da. Magma berberetik

sortuak diren harri igneoak KO-MAGMATIKOAK deitzen ditugu.

Oraindino ez da ondo ezagutzen Lurrazalean eta Mantoan boltsaune magmatikoek daukaten bilakabidea. Lurrazaleko beheko aldean 500 - 600 °C-tako tenperatura izaten da eta hor bertan aurkitzen den materiale basaltikoa gutxi gorabehera 1.000 °C-tan urtzen da. Azken tenperatura hau, lurgaineratzen diren laba basaltikoena da, hain zuzen ere. Hau dela eta, bero-iturri baten beharra dago materiale horien urtzea gerta dadin.

Bero-iturri bezala ondoko hauk aipatu dira :

- materiale erradiaktiboen metatzea.
- mantoko beheko aldean dauden konbekziozko korronteak.
- fusio-puntuan Presioak (P) daukan garrantzia.

Hauetariko bideren batetik materialaren urtzea lortzen denean, magmak isuri egiten du horretarako zartatune eta failetaz baliatuz.

Konposaketa kimikoa

Konposaketa kimikoaren arauera ondoko sailkapena egin dezakegu :

MAGMA BASIKOAK : SiO_2 ..... gutxi
Fe, Mg, Ca..... asko

MAGMA AZIDOAK : SiO_2, Na, K ..... asko
Fe, Mg, Ca ..... gutxi

Tenperatura

Bolkanetatik irtendako labetan egin diren neurketek ondoko tenperatura hauk ematen dizkigute :

Laba basikoetan ..... 1.000°C

Laba azidoetan ..... 800°C

Konposatu lurrunkorren agerpenak beheratu egiten du magma baten fusio-puntua; honexegatik, lurbarnean magmak daukan tenperatura goian seinalaturikoa baino txikiagoa izan behar da. Kontutan hartu behar da, laba irtetzean, konposatu lurrunkorrak

atmosferara joaten direla.

Liskatasuna (biskositatea)

Magma baten liskatasuna, konposaketa kimikoaren, tenperaturaren eta konposatu lurrunkorren portzentaiaren funtzioan dago.

.- magma basikoak nahiko isurkor izaten dira; azidoak, ostera, nahiko liskatsu.

.- tenperatura beheratzen denean, magma liskatsuago bihurtzen da.

.- konposatu lurrunkorren portzentaia handia bada, liskatasuna baxuagoa da.

HARRI IGNEOEN KONPOSAKETA KIMIKOA

Harri igneoen 99 %-a zortzi elementuz osoturik dago :

O Si Al Fe Ca Na K Mg

eta falta den 1 %-a elementu arraroz, berauen artean Ti, P eta H garrantzitsuenetarikoak izanik.

Elementu hauk sare silikatodunetan sartzen dira, batez ere.

Elementu hauk oxiso-erara kontsideratuko ditugu, analisietan era honetan ematen baitira.

* SiO_2 harri osoaren 75 %-a izatera hel daiteke. Koartzo moduan agertu ohi da.

SiO_2-tango edukiaren arauera honela sailka ditzakegu harri igneoak :

AZIDOAK	> 66 %	⟶ harri azidoetan beti egoten da SiO_2 askatua.
NEUTROAK	52 - 66	
BASIKOAK	45 - 52	
ULTRABASIKOAK	< 45	

* Al_2O_3 (Alumina)

SiO_2 kenduz, hauxe da gehiago agertzen den oxidoa (18 %-ra hel daiteke). Feldespato, feldespatoide, piroxeno monokliniko, anfibolo eta miken kasuetan SiO_2-ren ordez jar daiteke. Feldespatoetan funtsezko osatzailea da.

* Burdin-oxidoak (FeO - Fe_2O_3) eta magnesio-oxidoa (MgO)

Minerale ferromagnesiano izeneko mineraleetan agertzen dira nagusiro : olibinoa,piroxenoa, anfiboloa, mika beltza.

Konposatu ez-silikatodunetan ere : magnetita, hematita, ilmenita....

Harri basiko eta ultrabasikoetan agertzen dira nagusiro.

* Karea (CaO)

Minerale ferromagnesiano eta plagioklasetan agertzen da nagusiro. Harri basiko eta ultrabasikoetan 10 %-era hel daiteke; harri azidoetan, berriz, gutxiago.

* Potasa (K_2O) eta sosa (Na_2O)

Alkali izenez ezagunak.

Ortoklasa eta Albitetan (feldespato alkalinoak) agertzen dira batez ere. Alkalien portzentaia (%) gehitu egiten da, SiO_2-ren portzentaia gehitu egiten denean.

* Ura (H_2O)

Harri igneoen garrantzizko konposakina da ura; magman izugarrizko ur asko egoten da. Ur honen parte batek alde egiten du hozte-prozesuan eta beste partea mineraleen barne-egituran geratzen da : miken kasua.

Gainera, harri igneoek minerale hidriko sekundarioak aduki ditzakete : zeolita

* Hauetaz gainera, ba daude beste batzu, " elementu traza " izenekoak minerale silikatodunen sareetan sartzen direnak. Hauxek dira : Ti (Titanioa),augitan (piroxenoa) Al-ren ordez ezartzen dena; F (fluor), moskobitan (mika) OH-ren ordez ezartzen dena;.....

Elementu traza batzu berezko mineraleak ematen dituzte : Apatitoa [Ca_5 (F, Cl) P_3 O_{12}] ; Esfena (Ca Ti Si O_5); Zirkoia (Zn Si O_4). Elementu traza batzu garrantzi ekonomiko handikoak dira (Ni,Cr,Sn,....)

HARRI IGNEOEN KONPOSAKETA MINERALOGIKOA

Harri igneoetan aurki ditzakegun mineraleak, harri horien konposaketa kimikoaren funtzioan eta bai harri horik sortu direneko ingurugiroaren funtzioan ere daude .

- Ingurugiro bolkanikoan, konposatu lurrunkorrek alde egiten dute eta berauk eransten dituzten mineraleak gutxi dira.

- Ingurugiro plutonikoan, konposatu lurrunkorrek ezin dute alde egin hain erraz eta mineraleen egituretara pasatzen dira minerale batzu emanez : Topazioa, Turmalina, Fluorita.....

Harri-espezie bat definitzen duten mineraleei " funtsezko mineraleak " esaten zaie.

Adibidez :

Piroxeno monoklinikoa eta Plagioklasa (Labradorita) dauzkan harria DOLERITA izango da eta horik ez dauzkana ez da sekulan Dolerita izango.

Akzesorioak : besteekin batera agertzen dira baina ez dira funtsezkoak.

Bai batak (funtsezkoak) zein besteak (akzesorioak) PRIMARIOAK dira, hau da, magmatik eratu dira zuzen-zuzenean. Primarioak alteratzen direnean SEKUNDARIOAK agertzen dira : Serpentina, Zoisita, Kaltzita....

Harri igneoen sailkapenerako hiru erizpide hartzen dira kontutan :

1 - KOARTZOAREN AGERPENA :

Koartzoa "funtsezko mineralea" da harri azidoetan eta besteetan "akzesorioa".

2 - FELDESPATOEN KONPOSAKETA :

- Ortoklasa, Albita, Oligoklasa (alkalidunak : Na eta K asko): harri azidoen funtsezko mineraleak dira. Harri basiko eta ultrabasikoetan eskas agertzen dira.

- Andesina : harri neutroetan.

- Labradorita, Bitownita, Anortita : harri basikoetan.

Ultrabasiko askotan ez dira feldespatoak agertzen, feldespatoideak baizik, azken hauk antzekoak dira baina silize gutxiagoz.

3 - FERROMAGNESIANOAK (minerale mafikoak) :

Normalean, harri basiko eta ultrabasikoetan agertzen dira nagusiro. Harri azidoetan, berriz, Koartzoa eta Feldespatoak (minerale felsikoak).

- Olibinoa basiko eta ultrabasikoetan baino ez da agertzen.
- Piroxeno eta anfiboloak : ultrabasiko, basiko eta alkalinoetan.
- Biotita : neutro eta azidoetan.

Harri alkalinoek, batzutan, minerale arraroak dauzkate : Riebeckita (anfibolo sodikoa), Akmita (piroxeno sodikoa).....

OHARRA : esan beharra dago ez dagoela diferentzia argirik harri-mota ezberdinen artean eta emandako arauak seinale batzu baino ez dira.
(Ikus hurrengo horrialdeko taula).

EHUNDURA edo TEXTURA

Mineraleen banaketari eta berorien elkarren arteko harremanei dagokie ehundura.

Normalean, harri igneoek aurkezten dituzten ehundurek ba dute zerikusirik solidatze-giroarekin.

Era honetan zera esan dezakegu :

- garau finetako harriek eta beirazko harriek ere (garau gabeko beira-pasta antzekoa daukatenak), ez dute benetan kristaltzeko betarik izan solidatze-prozesua oso arina gertatu delako (hau da, konkretuan, laben kasuan gertatzen dena).
- garau loditako harriek, berriz, lurbarnean jasan dute solidatze-prozesua, berau astiro gertatua da eta betarik egon da kristaltzeko.
- garauak lodiagoak badira, ba liteke honen kausa konposatu lurrunkorren jo-

MINERALE FERROMAGNESIANOEN PORTZENTAIA OSOA		ULTRABASIKOA > 90 %	BASIKOA 70 - 40 %	NEUTROA 40 - 20 %	AZIDOA < 20 %
MINERALE FERROMAGNESIANOAK	OLIBINOA	normala	normala	oso arraroa	oso arraroa
	PIROXENO ORTORRONBIKOA	normala	normala	oso arraroa	oso arraroa
	PIROXENO MONOKLINIKOA	normala	normala	normala	oso arraroa
	HORNBLENDA	akzesorioa	akzesorioa	normala	akzesorioa
	BIOTITA	akzesorioa	akzesorioa	normala	normala
FELDESPATOAK	PLAGIOKLASA	< 10 % Anortita-Labradorita	Anortita-Labradorita	Andesina	Oligoklasa-Albita
	ORTOKLASA		bakarrik dago alkalinoetan	bakarrik dago alkalinoetan	normalean asko
	KOARTZOA		akzesorioa	akzesorioa	Funtsezkoa. Normalean > 10 %

kabidean egotea.

Ehundura-motak

Beirazkoak

Hipokristalinoak

Holokristalinoak : Kriptokristalinoak - Pegmatitikoak

Porfidikoak

— BEIRAZKOAK : Harri ez-kristalduak, magmaren hozte arinagatik sortuak. Batzutan, eta mikroskoporen bidez, oso kristale txikiak aurki ditzakegu *mikrolito* izenekoak. Aintzinako beirazko harri bolkanikoak desbeiratu egiten dira geldiro gertatzen den kristaltze-prozesu baten ondorioz.

— HIPOKRISTALINOAK : ehundura-mota honetan ezagutzeko moduan dauden kristal batzu agertzen dira beirazko matriz batetan artekaturik daudekarik. Kasu honetako kristaltze-prozesua honelaxe litzateke : prozesua hasieran geldiro gertatzen da (kristalak) eta gero bapateko hoztea gertatzen da (beirazko matriza).

— HOLOKRISTALINOAK : ehundura-mota hau aurkezten duten harriak erabat kristalduak dira eta ez dago matriza. Harri hauetan nagusi diren garauen diametroaren funtzioan sailkatzen dira :

garau fina	1 mm.
bitartekoa	1 - 5 mm.
garau lodia	5 mm

Kristalak oso txikiak badira eta potentzia gutxiko mikroskopo batez ikusteko gaitzak gertatzen badira KRIPTOKRISTALINOAK deitzen ditugu harri horik. Kristalak handiagoak badira baina " visuz " ikusteko moduan gertatzen ez badira AFANITIKOAK deitzen ditugu. Kristalak handiak direnean eta ondo ikusten direnean PEGMATITIKOAK dira.

— PORFIDIKOAK : Harri batetan kristal-tamainu bi nabaritzen direnean, harri horren ehundura porfidikoa dela esango dugu. Kristalik han-

dienek - *fenokristaleak* -,ondo eraturiko " aurpegi kristalinoak " aurkezten dituzte eta garau finetako (edo bitarteko) matriz batetan daude sartuta. Honen jatorria hauxe da : geldiro gertatutako kristaltzeak(fenokristaleak) eten bat jasaten du magmaren gorakadagatik, orduan magma hoztu egiten da kristaltze-prozesua arinagoa izanik (matriza).

Garauen formari begiratuz, honela sailka ditzakegu kristalak :

IDIOMORFOAK : ondo kristalduak dira eta kristaltzearen lehenengo faseari dagozkio : kristaltzea geldiro gertatzen da eta ez dago espazio-mugarik.

IPIDIOMORFOAK : partzialki kristalduta dagoen magma batetan sortuak dira kristal hauk eta moldatu egin behar dira dauden hutsuneetara. Horrexegatik, aurkezten dituzten forma kristalinoak ez dira perfektoak.

ZIRRISTUTAKOAK : kristaltzen diren azkenak. Forma irregularrak hartzen dituzte.

Trama edo fabrika

Mineraleek espazioan hartzen duten disposapena eta multzo igneoaren egitura orokorrarekiko norabidea (orientazioa), harri igneoen " trama edo fabrika " deitzen dugu.

Harri askotan, mineraleek aurkezten duten norabidea erabat desordenatua da, kasu honetako trama *isotropikoa* izanik. Beste harritan, berriz, disposapena lerrokatua da : *anisotropikoa*. Lehenengo kasuan, harriak trinkoak dira; bigarren kasuan, ostera, makal-aldeak aurkezten dituzte.

EGITURA (ESTRUKTURA)

Magmaren hoztea non gertatzen den kontutan harturik harri igneo-mota bi daude :

HARRI EXTRUSIBOAK : (edo bolkanikoak). Solidatzea kanpoan gertatzen da.

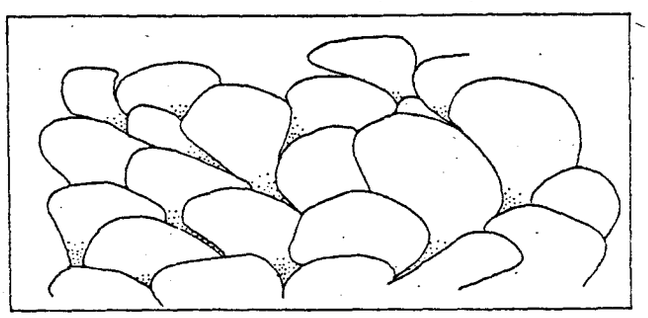
HARRI INTRUSIBOAK : magma lurbarnean solidatu da.

HARRI EXTRUSIBOAK

LABAK : lurgainazalean zabalik dagoen irekidura batetatik (sumendia) behin eta berriz isurtzen den magma baten ondorioa dira labak.

Labak isurkorrak badira "kapa" finetan aurkezten dira; liskatsuak badira, berriz, ibilbidea laburra daukate eta domotan aurkezten dira.

Urazpian sortzen direnean egitura berezi daukaten multzo borobilak emanez hozten dira : *laba kuxintsuak edo pillow-labak.* Honen adibide bikaina Enekuri -Bilbo aldean- daukagu landareek estali ez badute behintzat.(diametroa = 30 cm).



pillow-labak

Labak hozten direnean, era luzangatuan ager daitezke : *kordadak.*

Batzutan, labak zatikatu egiten dira hozte-prozesuan zehar, blokeetako egitura emanez.

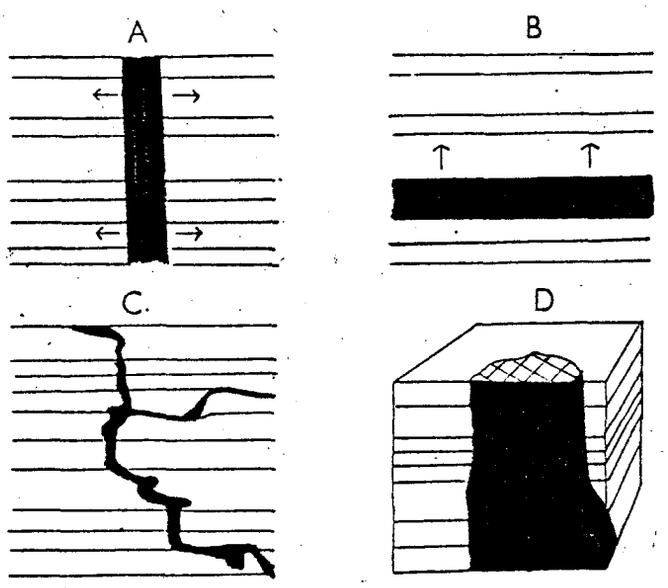
Laba batzuk,goiko aldean, gasen metatzeaz formaturiko besikulak dauzkate. Toba (piedra pomez),esate baterako, besikuletan fase gaseosa oparo zeukan magma baten hoztean eratu den laba harroa da.

Labak hozten diren neurrian kizkurtu egiten dira zartatune (fraktura) batzu desarroilatu eraziz. Zartatune hauk sistema geometrikotan azaltzen dira. Aipagarriak ditugu laba basaltikoetako zutabeak (Frunizen dago adibide bikaina).

HARRI INTRUSIBOAK

INTRUSIO TXIKIAK : Sill, dikea, mea, tapoia

Intrusio txiki hauk makal-aldeei, hau da, erresistentzia gutxiagoko aldeei lotuta daude eta gorputz planoak dira.



A = dikea

B = Sill

C = mea

D = tapoia

SILL : presio bertikala gainditurz sartzen den kapa. Gutxi gorabehera horizontala izaten da eta " filoi-kapa " izenez ere ezagutzen dugu.

DIKEA : presio tangentziala gainditurz sartzen da. Makurdura gogorra aurkezten du.

MEA : era irregularreko intrusioa.

TAPOIA : era zilindrikoko intrusioa.

INTRUSIO HANDIAK

Dimentsio handiko multzo igneoak : bolumena Km^3 batzutakoa izaten da eta agermenduaren diametroa hamarka kilometro batzutakoa.

Intrusio batzu *aktiboak* dira eta bidea zabaltzen dute harriak zeharkatzean. Beste batzu, berriz, *pasiboak* dira eta dauden hutsuneak betetzera doaz. Intrusio aktiboen artean batzu konkordanteak eta beste batzu diskordanteak dira alboetako harriekiko hartzen duten disposapenaren arauera.

Intrusio aktiboak

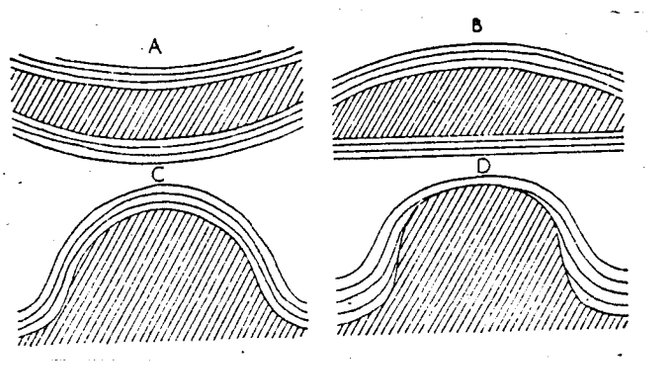
Konkordanteak :

LOPOLITOA : platera antzeko multzo igneoa. Beheko aldea konbatuta dago

beherantza.

LAKOLITOA : era lentikularrekoa. Goiko aldea konbatuta dago gorantza.

DOMOA : parte batzu gogorki arkeatuak izaten ditu. Goiko aldeko harriak okertuak eta zimurtuak izaten dira magmaren igotzearen presioarengatik.



A = lopolitoa

B = lakolitoa

C = domoa

D = diapiroa

Diskordanteak :

Era zilindriko edo koniko aurkezten dute. Alboetako harrien geruzak apurtu eta zeharkatu egiten dituzte egitura berriak sorteraziz : tolestura zentrukideak, zamalkamenduak.....

PLUTOIA : 10 - 20 kilometro tarteko diametroa dauka.

TAPOIA edo STOCK : gutxi gorabeherako planta zirkularra daukanean.

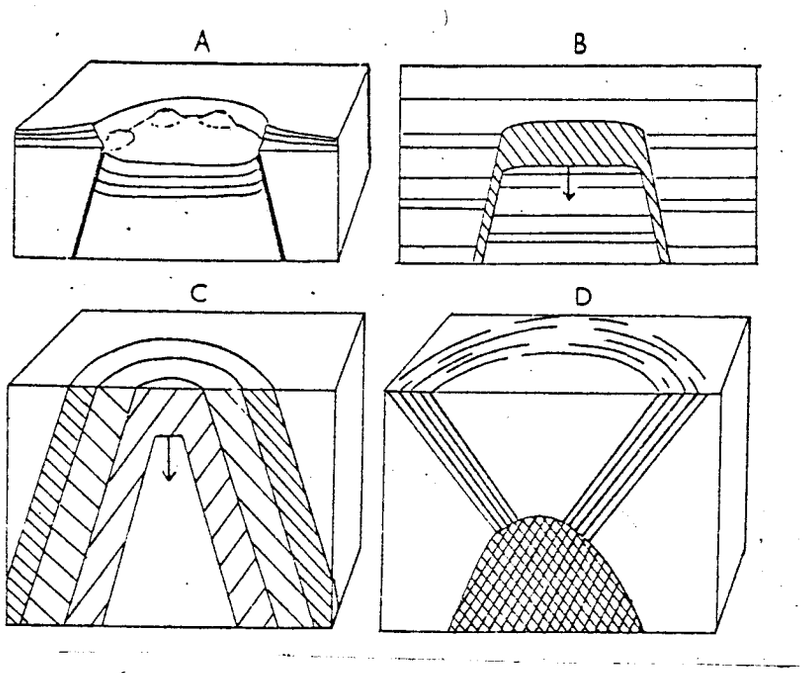
DIAPIROA : domo batetik bilakatzen da. Magma intrusiboak gorantza jo eta goiko harriak apurtzen ditu, gatzaren domo baten antzera.

BATOLITOA : honen diametroa oso handia izaten da : hamarka kilometro batzu edo ehunaka.

Intrusio pasiboak

Intrusio hauek, harri-multzo handiek jaustean utzitako hutsuneak betetzen dituzte eta, normalean, faila eta zartatuneei lotuta daude.

Tipo honetako eskala handitako intrusioak *intrusio erhaztunak* ditugu : albotako harriak jausi egiten dira zartatune erhaztunen eraginez eta hortxe bertan kokatzen dira " dike erhaztunak " direlakoak. Prozesu hau errepikatzen bada ondoko irudiko C kasua daukagu.



Intrusio erhaztunmota ezberdinak.

HARRI IGNEOEN SAILKAPENA

SiO_2-tango edukiaren arauera (%) horrela sailka ditzakegu harri igneo plutonikoak :

SiO_2 (%)		
> 66	AZIDOAK	Granitoa - Granodiorita - Tonalita
66 - 52	NEUTROAK	Sienita - Monzonita
52 - 45	BASIKOAK	Diorita - Gabroa
< 45	ULTRABASIKOAK	Peridotita

eta harri igneo bolkanikoen sailkapena honelaxe litzateke :

> 66	AZIDOAK	Riolita - Riodazita - Dazita
66 - 52	NEUTROAK	Trakita - Trakiandesita
52 - 45	BASIKOAK	Andesita - Basaltoa
< 45	ULTRABASIKOAK	?

Goiko tauletan emandako sailkapena oso teorikoa da eta praktikan aurkitzen ditugun harrien konposaketa era guztietakoa izaten da.

Harri hauen ezaugarriak ikusi aurretik, saiatuko gara magmari dagozkion ezaugarri batzu argitzen, hal nola beronen jatorria eta bilakabidea eta bai kristaltze-prozesua ere.

Egin dezakegun lehenengo galdera hauxe da : harri igneo-mota bakoitzari magama-mota bat dagokio ala magma berberak bere bilakabidean zehar harri ezberdinak eman ditzake ?.

Magmaren jatorria dela eta bide bi kontsidera ditzakegu :

1 - magma, urtuta dagoen barruko alde batetatik dator. Bide hau guztiz baztertuta dugu jadanik, egindako proba geofisikoek horrela ez baitute adierazten. Gainera, igaro den denbora luzea kontutan hartuz, behin urtuta izan balitz ere orain solidatuta legoke.

2 - magma leku konkretu batetan eta une konkretu batetan sortzen da. Bide honen alde legoke gaurregun lurrazalean harri igneoek daukaten hedapen ez-uniformea espazioan zein denboran.

ZERK eragiten du magma baten sorrera ?

Dakigunez, zenbat eta lurbarneragorantz joatean, tenperatura hainbat eta handiagoa da. Egindako azterketa batzuk adierazten dutenez, ΔT ordena honetakoa da : 20 - 30 °C/Km.

Hau dela eta, 40 kilometrotako sakoneran 800 - 1200 °C-tako tenperatura legoke, berau magma bat sorterazteko nahikoa izanik, zeren eta tenperatura honetan materialeak urtuak baitira.

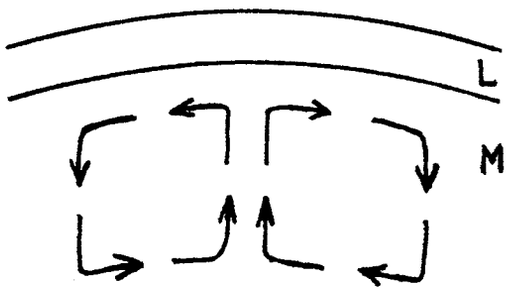
Hala eta guztiz ere, honek ez du esan nahi lurbarnean alde uniforme urtuta dagoenik. Kontutan hartu behar da presioa (P). Presioa eta tenperatura (P eta T) elkarren kontran dauden faktoreak dira eta horrexegatik, hain zuzen, ez dago lurbarnean alde uniforme urturik.

Izan ere, nahiz eta tenperatura gehitu (ΔT), presioa gehitzen bada (ΔP) ez dago urtzerik, zeren eta, presioaren gehitzeak ez baitu uzten harriak urtzeko behar den bolumenaren gehitzea.Horrela, P-T bikotea apur dezaketen faktoreek beraiek lagun dezakete materialeen urtze partziala.

Ondoko kasuok gerta daitezke :

T positiboa P = kte : nahiko eztabaidagarri gertatzen da kasu hau. T, materiale erradiaktiboen eraginez gerta daiteke P izan gabe. Hala ere, materiale erradiaktiboak oso uniformeki hedatuak dira eta horregatik arazo honek, berak bakarrik, ezin du leku konkretutan gertatutako urtze partzialak justifikatu.

P negatiboa T = Kte : presioaren gutxitzea eragin dezakeen fenomeno bat konbekziozko korronteena da. Mantoan, materialeak igon daitezke tenperatura altua kontserbatuz (tenperatura aldatu egiten da baina gutxi eta astiro) eta presioa gutxituz. Horrela gertatzen dira konbekzio-korronteak :



L = Lurrazala

M = Mantoa

Mekanismoa bata zein bestea izanik, ondorioz higikortasun handia eta edonon intrusio moduan sartzeko eta solidatzeko ahalmena daukan materiale urtua dugu.

Magmen artean sailkapen hau egin dezakegu :

MAGMA PRIMARIOA (funtsezko magma) :

Honen konposaketa SIAL, SIMA edo MANTOko hainbat konposaketari dagokio.

MAGMA ERATORRIA :

Magma honen konposaketa ez dagokio inongo konposaketari, ez SIAL, ez SIMA ez MANTOKoari. Funtsezko magma batetik " *eratorria* " da eta " *desberdintze magmatiko* " izeneko prozesuetan eboluzionatua suposatzen zaio.

Honen arabera zera galde genezake :

- *ZENBAT FUNTSEZKO MAGMA DAGO ?*

Harri igneoen agerpenaren datuak kontutan harturik.....

Harri intrusiboen 95 %-a harri granitikoak dira (1)
Harri bolkanikoen 98 %-a harri basaltikoak dira (2)
(1) = ez dira granitikoak " semsum estricto " baina konposaketa granitikoa daukate.
(2) = ez dira basaltoak " semsum estricto " baina konposaketa basaltikoa daukate.

.....funtsezko magma bi daudela esan genezake, konposaketa granitikoarena bata eta basaltikoarena bestea. Laborategian frogatu denez, magma basaltiko batetik eta desberdintze magmatiko prozesuak jasan ezkero edozein harrimota atera liteke, basikoak zein azidoak. Hala eta guztiz ere laborategian frogatu bada ere ez du ematen Lurrean horrela gerta daitekeenik. Izan ere, Lurrean ageri diren harri igneoen kopuru handia emateko beharrezko izango zitekeen harri basikoren bolumena ez da aurkitzen.

Hau dela eta gaur egun zera onartzen da :

Funtsezko magma bi daude :
1 - konposaketa granitikoduna ..... zona kontinentaleetan
2 - konposaketa basaltikoduna ..... zona ozeanikoetan

Ba daude gainera, magmen konposaketa desberdintzen duten prozesu batzu, hala nola :

1- BEREGANATZEA (asimilatzea) :

Magma baten konposaketa aldatu egin daiteke goranzko migrabidean alboetako beste materiale batzu (*xenolitoak*) bereganatzen baditu.

2- NAHASKETA :

Nahasketa, konposaketa desberdineko magma bi nahasten direnean gertatzen da.

Bai lehenengo eta bai bigarren kasuan ere, konposaketaren aldaketa magman sartutako materiale berrietan datza.

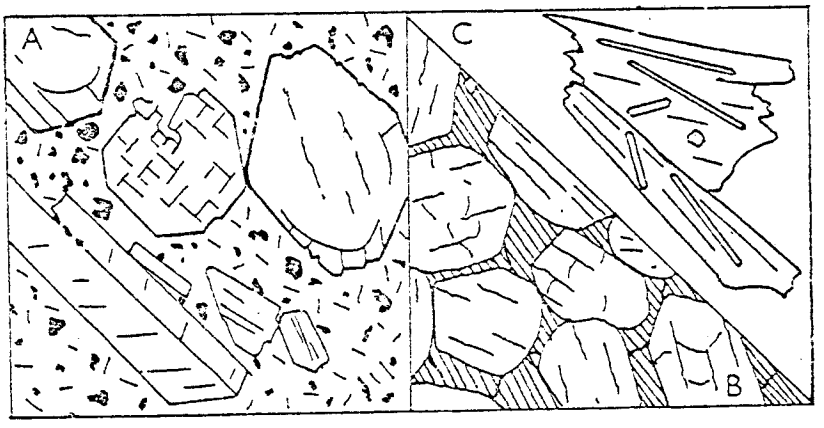
3- DESBERDINTZE MAGMATIKOA :

Desberdintze magmatikoan, ostera, ez da horrelakorik gertatzen. Magmaren konposaketak desberdintze-prozesu bat jasaten du, magmatik bertatik bereizten diren magma-zatiengatik. Hau da, magmaren materialeak hoztuz doazen neurrian kristaldu egiten dira eta kristalduz doazen neurrian askatu egiten dira ama-magmatik beronen konposaketa desberdindu eraziz.

Hona hemen zelan gertatzen den bilakabide hau :

Hoztearen hasierako etapetan, lehenago eraturiko kristalek flotatu egiten dute askeki likidoan. Kristal horien kopurua gehituz doan neurrian sare antzeko bat antolatzen dute hutsuneak likidoak betetzen dituelarik. Azkenean zirristuetan dagoen likidoa bera ere hoztu egiten da eta lehen magma zena orain harri solido bihurtuta dago.

Mineraleen agertze-ordena jakin daiteke harri igneoen ehundura (textura) aztertuz : agertzen diren lehenengoak " euhedralak " izaten dira (lekua soberan izan dute ondo kristaltzeko); gerokoek inguratu edo barnean hartzen dituzte aurrekoak; agertzen diren azkenak zirristuetakoak izaten dira (ez dute lekurik ez astirik ondo kristaltzeko).



Kristaltze-ordena :(A) *Olibinozko kristale euhedralak* (idiomorfoak). *Denbora eta lekua nahikoa izan dute.* (B) *Aurreko olibinozko kristalen arteko hutsuneetan kristaldutako Hornblendazko kristalak.* (C) *Biotitazko kristal batzuk barnean hartzen dituzte aurreko Apatitozko kristal batzu.*

Harri igneo askoren artean egindako konparaketek dioskutenez ba dago agertze-ordena horretan erregularitateren bat, osorik ez bada ere.Honetaz arduratzen zen bat N.L. BOWEN izan da eta berari zor diogu beraren izena daraman agertze-seriea (aurrerago ikusiko duguna).

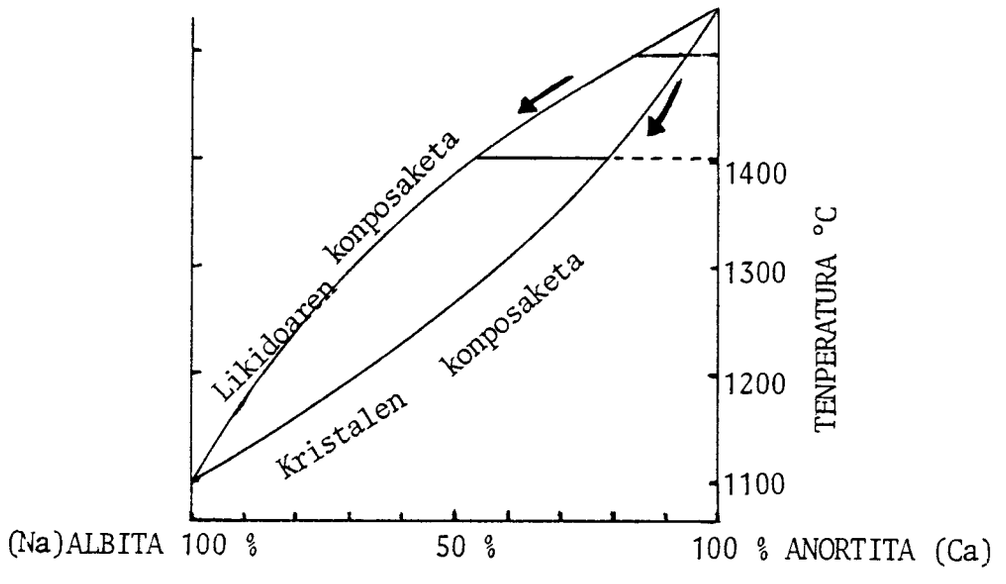
Minerale konkretu bat kristaltzen hasten deneko tenperatura, minerale horrek inguruko baldintza fisiko eta kimikoetan daukan solugarritasun erlatiboaren funtzioan dago, minerale horren berorren solidatze-puntuaren funtzioan baino gehiago.

Minerale bat kristaltzen da magma minerale horrekiko saturaziora heltzen den momentuan. Era honetan, minerale berbera lehenago edo geroago ager daiteke beraren konzentrazioaren funtzioan. Hau da, zenbat eta konzentrazio gehiago eduki minerale batek magma baten barruan hainbat eta tenperatura altuago batetan kristalduko da arinago helduko baita saturaziora.

Hozte-prozesua aurrera doan neurrian gero eta minerale gehiago kristaltzen dira eta magmatik askatu ere. Magma moduan geratzen den kondar likidoaren konposaketa pobreago bihurtzen da kristaldutako mineraleekiko baina aberatsago masa urtuan oraindino geratzen diren elementuekiko. Honela gertatzen da magma baten konposaketa-aldaketa. Agertuz doazen mineraleek serie batzu osatzen dituzte *erreakzio-serieak* izenekoak.

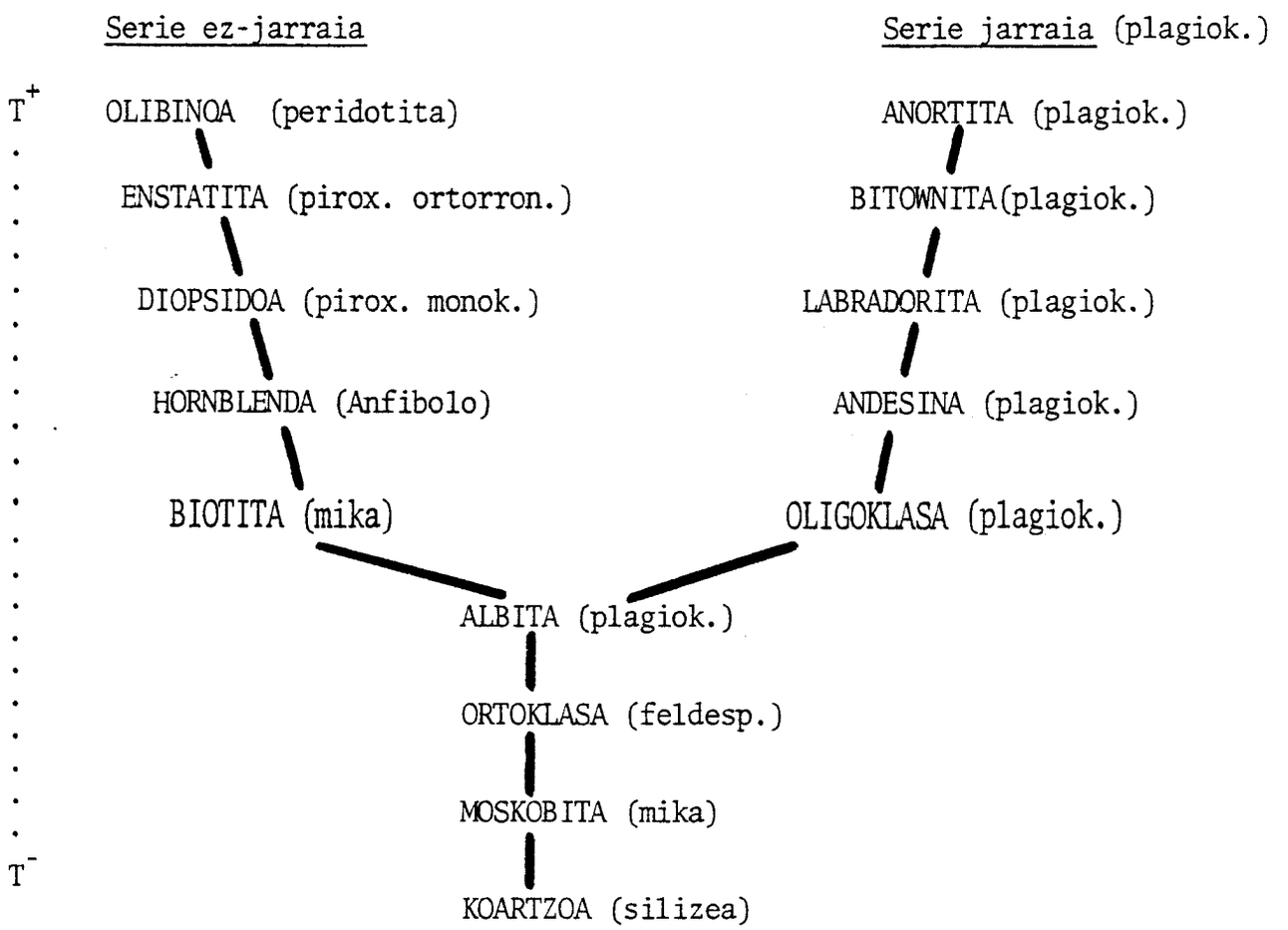
Hona hemen erreakzio-serie hauen funtzionamenduaren exemplu bat :

Feldespato plagioklasikoen erreakzio-seriea.



Irudian ikusten denez, kristaltzea hasten deneko tenperatura konposaketaren funtzioa da. Tenperaturik altuenean *anortita hutsa* (Ca) eta baxuenean *albita hutsa* (Na) agertzen dira. Hau dela eta, hozte-prozesu osoan magma (likidoa) sodikoago izango da kristaltzen den zatia (kaltzikoagoa) baino gehiago. Hau da, magmaren konposaketa aldatu egiten da goiko kurbaren arabera eta kristalduz doazen plagioklasak behekoaren arabera. Etapa bakoitzeko "*magma-kristaleak*" oreka hau irudiko marra horizontaleek adierazita dago.

BOWEN-en ERREAKZIO-SERIEAK



Hauxek dira, ba, BOWEN-en erreakzio-serieak. Goiko partean agertzen diren materialeak, kristaltzen diren lehenengoak dira.

HARRI METAMORFIKOAK

SARRERA : SERIE PLUTONIKOA

Izen honekin Lurbarnean eratu diren harri guztiak (tenperatura eta presioaren eraginez) izendatzen ditugu. Hasierako harriak (zeinetatik harri plutonikoak bilakatzen baitira), harri sedimentarioak, igneoak edo metamorfikoak izan daitezke. Azkenean diren harriak, harri kristalinoak dira, berauen ehundura, egitura eta elkartze mineralak erapen-giroaren arauera aldatzen direlarik.

Serie plutonikoaren barruan hiru talde bereiz ditzakegu :

HARRI METAMORFIKOAK :

Metamorfismo izeneko prozesua jasan duten harriak. Harri hauek beren ehundura, egitura eta bai konposaketa mineralogikoa ere egoki behar dute baldintza berrietara, baina solidotasuna galdu gabe.

HARRI GRANITIKOAK : (sensum lacto)

Konposaketaren aldetik aldagune txikia aurkezten duten harri plutoniko azidoak dira. Alboetako harriekiko harremanak aldakorrak izaten dira. Batzutan, harri granitikoak gradualki pasatzen dira alboetako harrietara eta haien egiturak hauen egituraren jarraipena ematen du, harri granitikoen inguruan harri metamorfikoen zerro zabala dagoelarik (aureola). Harri granitiko hauk gutxi gorabehera " in situ " eratu direla - aurreko harrien transformakuntzagatik - kontsideratzen da. *Ultrametamorfismo-prozesu* bat jasan dutela esan dezakegu.

Beste batzutan, harri granitiko hauk intrusio moduan agertzen dira alboetako harrien artean, indarrez sartu bailiren. Gorputz hauen materiale granitikoa migratu egin behar izan da magma moduan sortu den lekutik hona. Honen proba bezala harri hauek aurkezten dituzten egitura igneoak dira. Gainera intrusio txikiekin batera agertu ohi dira.

MIGMATITAK :

Harri hauetan nahastuta dauden parte bi aurkitzen dira : bata,

" bertakoa ", aurreko harrietatik metamorfismoa jasan ondoren geratu dena eta bestea " kanpokoa ", granitikoa, kanpotik etorri dena (magma moduan edo konposaketa granitikoa daukan soluzio moduan) eta bertako materialeekin nahastuta. Hau dela eta,serie plutonikoaren aipatutako talde bien arteko zubia kontsidera ditzakegu migmatitak : alde batetik harri metamorfikoak eta bestetik harri granitikoak.

METAMORFISMOA ETA BERONEN KONTROLA

Metamorfismoa :

Metamorfismoa honela defini dezakegu : *harrietan gertatzen diren transformakuntzak harri horik sortu zireneko baldintzak aldatu egiten direnean*. Horrela, materialeak transformatu egiten dira baldintza berriei egokitzeko eta baldintza berri horietan egonkorrak izateko : hauxe da metamorfismoa.

Era honetan, Lurraren azalean depositatutako sedimentu bat (P=1 atm; T=20-25°C) lurbarneratzen denean P eta T gehitu egiten dira (ikusi beheko taula) eta sedimentu horrek aldaketa sakonak jasaten ditu (konposaketa mineralogikoan, ehunduran....).

Sakonera (Km)	Presioa (atm)	Tenperatura (°C)
0.1	27	13
1	270	33
10	2700	343
20	5400	676
30	8100	919
40	10800	1222
50	13500	1525
60	16200	1828
70	18900	2132

(M.M.Chariguin-en liburutik hartuta)

- Tenperatura gehitu egiten da "gradiente geotermiko"aren funtzioan

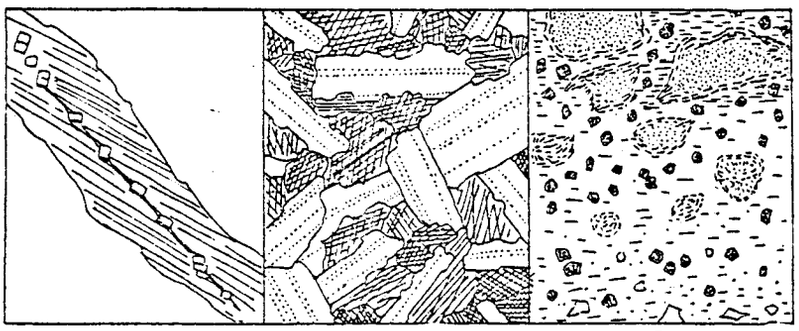
1°C / 33 m.

- Presioa gehitu egiten da goiko materialeen pisuagatik.

Aldaketa hauk direla eta, harriak egonezin bihurtzen dira eta transformatu beharrean daude baldintza berrietan "oreka" aurkitzeko; hau da, metamorfizatu behar dira HARRI METAMORFIKO bihurtzen.

Hala eta guztiz ere, harri metamorfiko askok jasan dituen tenperatura eta presio altuak ez dira sakonera handiago bati dagozkionak altuagoak baino. Honen kausa lurbarnean gertatzen diren fenomenoetan aurkitu behar dugu : bulkanismoa, orogenesia, magmatismoa....

Metamorfismo-prozesuan harriek ez dute bere solidotasun osoa galtzen eta horregatik gorde egiten dituzte aurreko ezaugarri batzu " *ezaugarri primarioak* edo *funtsezko ezaugarriak* " deitzen ditugunak.



A.- *Belemnita baten haztarnak metamorfismo-prozesua jasan ondoren.* B.- *Dolerita* (harri igneo basikoa) *metamorfizatua eta hornblenda berriz (sekundarioa) eta plagioklasa zaharrez (primarioa) eraturik.* C.- *Geruzapenaren gordeketa grauwaka* (harri sedimentarioa) *birkristaldu batetan. Jatorrizko harriaren frakzio buztintsua orain Andaluzita sekundario bihurtuta dugu (zati puntuduna).*

Batzutan, harri berberak denbora geologiko luze batetako gertaeren erregistroa gorde dezake, historia geologikoaren berri ematen.

Metamorfismoaren faktoreak :

Zirristutako jariogaiak :

Metamorfismo-prozesuan zehar harri-masak solidoa irauten badu ere harri-masa horren barnean dauden zirristuak (mineraleen arteko hutsuneak, diaklasak...) nagusiro masatik bertatik irtendako jariogai urdunez beterik daude.

Jariobide hau dela medio sakabanatu egiten dira elementuak harri osotik. Era honetan etengabeko elkarraldatzea gertatzen da jariogaietan eta kristaletan dauden elementuen artean. Ondorioz, minerale barriak kristal daitezke, beste batzu desagertzen diren bitartean.

Tenperatura :

Metamorfismo-giroa kontrolatzen duten faktore fisikoak hauxek dira : tenperatura, presio hidrostatikoa eta tentsio edo esfortzuko baldintzak. Faktoreon garrantzitsuena beharbada tenperatura daukagu.

Metamorfismoa tenperatura altuen funtzioan bakarrik dagoenean METAMORFISMO TERMIKO izenez ezagutzen dugu.

100-200°C-tik behera, mineraleek milioi urtetan iraun dezakete desorekan inguruko materialeekin, tenperatura baxu honetan gertatzen diren erreakzioen abiadura oso txikia delako. Honen adibide bat gaur egun gainazalean dauden harri igneo batzutan aurkitzen diren tenperatura altuko mineraleen agerpena dugu. Tenperatura gehituz doan neurrian erreakzioak gero eta energikoago gertatzen dira, elkarte mineral berriak sortzen direlarik.

Metamorfismoaren goren puntua pasatu eta harriak hozten hasten direnean tenperatura baxuko mineraleak berrager daitezke eratuta dauden teanperatura altuko minerale batzuren kaltean. Kasu honetan ATZERANZKO METAMORFISMOA gertatu dela esan dezakegu.

Presioak :

Presio hidrostatikoa (litostatikoa ere deitua) gehitu egiten da kargarekin, hau da, estalduraren lodierarekin : 20 km-tako sakoneran 6.000 atmosferatako presioa izaten da.(ikus aurreko taula).

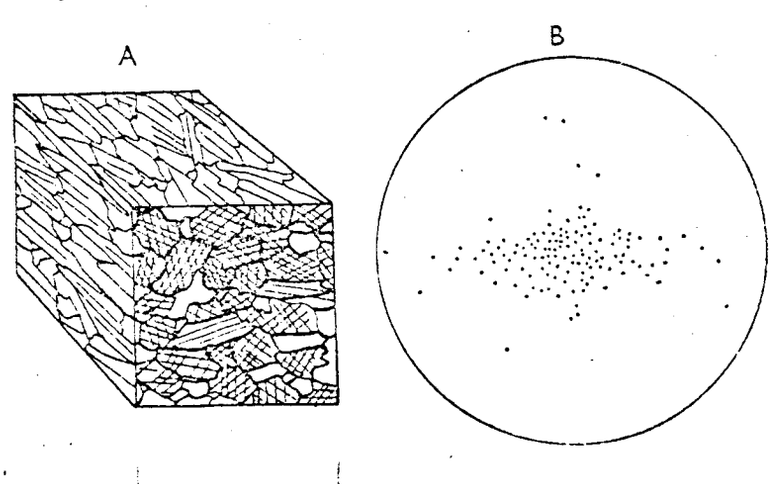
Presio altuek harri askoren bereiztasun fisikoak aldatzen dituzte, harriok luzangakor (duktil) eta jariotzeko kapaz izanik. Presioak paketamendu hestuko sare atomikoak dauzkaten minerale dentsoen garapena bultzatzen du : granatea, zianita...

Metamorfismo-pean dauden harri askok presio gidatuak (edo esfortzuak) ere jasan behar ditu. Presio hauek Lurrazalean gertatzen diren mugimenduetan daukate jatorria eta tolestura-failekin loturik daude.

Presio honek harri hotzen gainean eragiten duenean, ondorioa zatitze mekanikoa edo KATAKLASIA da eta agertzen diren harri zatituak KATAKLASTIKOAK deitzen ditugu.

Tenperatura altuago denean (edo zirristutako jariogai aktiboak bertan direnean), presio gidatuek kristalen hazkuntza azelera dezakete kristalotan azal berriak agertzen direlarik eta berauetan erreakzio berriak gerta daitezkeelarik.

Presio gidatuen pean eratu diren harriak TEKTONITAK deitzen ditugu. Hauen mineraleek norabide preferentea aurkezten dute (*fabrika*) indarren direkzioen funtzioan dagona.



Tektonita baten norabide preferentea : A.- *harbel hornblendikoaren zatia.* B.- *hornblenden c ardatzen projekzio estereografikoa. (puntuen konzentrazioa nabarmena da).*

Faktore kimikoak :

Metamorfismoak harrietan sortzen dituen aldaketak Temperatura eta Presioaren funtzioan baino ez badaude harri horien konposaketa ez da aldatzen. Hau da, mineraleen egiturak aldatu egiten dira baina konposaketa bera ez. Kasu honetan metamorfismoa ISOKIMIKOA dela esan dezakegu.

Harrien konposaketa aldatu egiten denean, ostera, METAMORFISMO METASOMATIKOA edo METASOMATISMOA deitzen dugu. Kasu honetan aldaketa hori zirristutako jariogaien bidez gertatutako materiale arrotzen migrazioan datza (hozte-prozesuan dagoen magma batetik ere etor daitezke materiale arrotzak).

METAMORFISMO-MOTAK

Metamorfismoan parte hartzen duten baldintzen funtzioan ondoko metamorfismo-mota hauk dauzkagu :

LEKUKO METAMORFISMOA : metamorfismoa ekartzen duten faktoreak lekuko faktore espezifikoak dira.

- *Kontaktu-metamorfismoa*
- *Metamorfismo dinamikoa*

ESKUALDEKO METAMORFISMOA : metamorfismoa ekartzen duten faktoreak zona zabal batetan daude kokatuta.

- *Metamorfismo dinamotermikoa*
- *Metamorfismo buriala (Zama-metamorfismoa)*

1.- KONTAKTU-METAMORFISMOA

Intrusio magmatikoen beroarengatik alboetako harrietan gertatutako metamorfismoa. Alboetako harri horietan gertatzen diren erreakzioen ondorioz zona metamorfiko bat agertzen da : AUREOLA METAMORFIKOA izenekoa.

Kontaktu-metamorfismoa TERMIKOA eta ESTATIKOA da, eta bertan parte hartzen duten faktoreak hauxek dira :

- intrusioaren tenperatura (metamorfismo termikoa).
- presio litostatikoa (aldatu egiten da sakoneraren arauera).
- ΔT (tenperaturaren ugalpena) gradu geotermikoz.
- Ez dago presio gidaturik (metamorfismo estatikoa).

Kontaktu-metamorfismoz eraturiko harriak (konposaketa mineralogikoa aparte utzita) KORNEANAK deitzen ditugu.

Normalean, aureola metamorfiko horretan ez dira aurreko harrien (sedimentario-igneo-metamorfikoak) ezaugarriak agertzen metamorfismoak ezabatu dituelako. Hala eta guztiz ere, eta intrusiotik urruntzen garen neurrian (korneanen metamorfismo-gradua gero eta baxuagoa da) ezaugarri horik (geruzapena edo eskistositatea....) hasiko zaizkigu agertzen metamorfizatua izan ez den harrira heldu arte. Horregatik, askotan zaila gertatzen da metamorfismoaren muga kokatzea.

Aureola-motan parte hartzen duten faktoreak :

- intrusio igneoaren jitea (konposaketa kimikoa) eta tenperatura (zenbat eta tenperatura altuago izan, aureolaren zabalera gero eta handiago izango da).
- intrusioa gertatzen deneko sakonera. Sakonera honen funtzioan egongo dira alboetako harrien presio litostatikoa eta tenperatura.
- alboetako harrien jitea (konposaketa mineralogikoa) eta ezaugarri fisiko-kimikoak. E.b. mineraleen eraketa-tenperatura : intrusioaren tenperatura alboetako mineraleen tenperatura (eraketa-tenperatura, jakina) baino baxuagoa bada ez da transformakuntza handirik gertatuko.

2.- METAMORFISMO DINAMIKOA

Fenomeno tektonikoak (failak, zamalkamenduak....) ugari diren aldeetan gertatzen da metamorfismo-mota hau.

Kasu honetan faktore nagusia presio gidatua da.

Tenperaturak ez badu parte hartzen, eratzen diren harriak KATAKLASTIKOAK deitzen ditugu (ikus 61. horrialdea).

Tenperaturak parte hartzen badu metamorfismo-mota honetan mineraleen birkristaltzea gerta daiteke : TEKTONITAK.

3.- METAMORFISMO DINAMOTERMIKOA

Azalera handikoa da. Mendikateak ematen dituzten prozesuekin (orogenesiak) batera agertzen da.

Parte hartzen duten faktoreak :

- presio litostatikoa : metamorfismo-mota honek mendikateen zona sakonetan eragiten du, horregatik faktore hau garrantzizkoa dugu.

- gradu geotermikoa (tenperatura) : oraintxe bertan aipatutako arrazoiongatik faktore hau ere garrantzizkoa dugu.

- presio gidatuak : orogenesietan gertatzen den metamorfismo-mota honetan presio gidatuek oso eragin handia daukate.

- intrusio igneoen tenperatura : faktore hau garrantzi txikiagokoa da. Izan ere, orogenesietan intrusio igneoak gerta liteke eta kasu honetan kontutan hartzekoa da berauen tenperatura.

4.- METAMORFISMO BURIALA (Zama-metamorfismoa)

Kasu honetan fenomeno tektonikoek ez daukate eraginik.

Faktorerik garrantzitsuenak goiko materialeen zama (presio litostatikoa) eta sakonerari dagokion tenperatura (txikia izaten da) dira.

Zama-metamorfismoa jasaten duten harrien mineraleek aldaketa batzu izaten dituzte baina ehundura (textura) zeharo apurtu barik. Gainera, tenperatura baxua denez gero kristalen tamaina txikia izaten da.

HARRI METAMORFIKOEN EZAUGARRI OROKORRAK

Minerale metamorfikoak egoera solidoan dauden harrietan hazten dira eta horretarako behar duten espazioa lortu beharrean aurkitzen dira inguruko beste minerale batzuren kaltetan.

Minerale hauk "anhedralak" izaten dira (edo ipidiomorfoak ere deituak),

hau da, kristalen kontornoak ez dira planoak izaten.

Harri metamorfiko batetan aurpegi kristalino perfektoak dituzten minerale gutxi batzu (euhedralak edo idiomorfoak) aurki ditzakegu beste minerale guztiak "anhedralak" diren bitartean. Minerale idiomorfo horiek ez dute zertan izan behar lehenengoak kristaldu direnak (espazio soberan dagoenean); batzutan beranduago kristaltzen dira baina arrazoiren batengatik gauzak dira beren berezko forma kristalinoak eratzeko hazten ari diren inguruko mineraleekin borrokan. Talde honetako mineraleak granatea, estaurolita eta turmalina dira, paketamendu ioniko hestuko sare espazialak dauzkatenak.

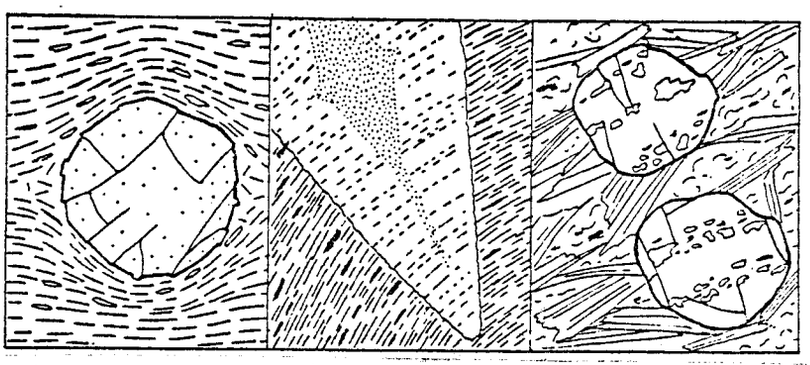
Minerale xaflakorrak (laminarrak), e.b. : mikak, xaflatan kristaltzen dira diskontinuitate-azalei (zartatuneak, eskistositatea, geruzapena...) lotuta.

Beste minerale batzu, e.b.:anfiboloak, katez osoturiko sare espazialak dauzkatenak, "orratzetan" kristaltzen dira, direkzio horretako hazkuntza arinago gertatzen delako.

Harri metamorfikoen garau-tamaina faktore askok mugatuta dago. Garau finetako harrietan, harbeletan adibidez, mineraleak ia ia bereizezinak gertatzen dira mikroskopoz beraz ere. Garau handienetako harrietan mineraleen tamaina zentimetro batzutakoa izan daiteke.

Tenperatura baxuko metamorfismoak garau finetako harriak sortarazten ditu. Luzaro jotzen duen metamorfismoak (tenperatura altuagokoa) ehundura trauskila daukaten harriak eratzen ditu.

Harri metamorfiko askotan dimentsio handiko mineraleak agertzen dira : PORFIROBLASTOAK, dauden beste mineraleak baino handiagoak. Porfiroblasto hauek beren hazaldian zehar alboetako minerale txikiagoak baztertu egiten dituzte lekuz aldatu eraziz.

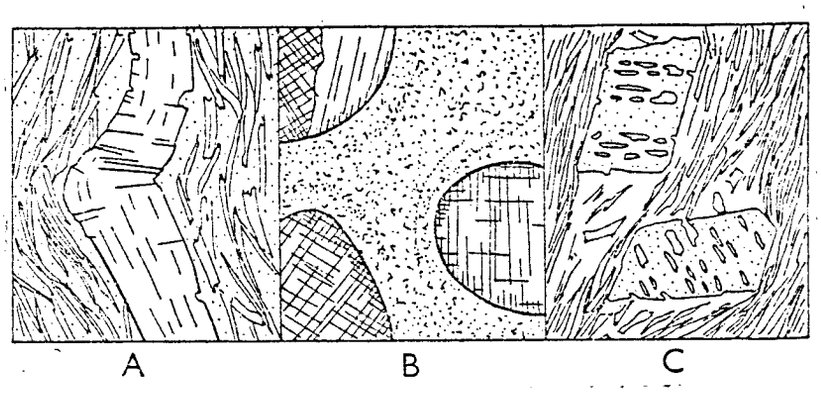


A.- Granatezko porfiroblastoa : alboetako masaren disposizioa aldatu erazten du. B.- Andaluzitazko porfiroblastoa : inguruko masaren hondar batzu dauzka barnean. C.- Granatezko porfiroblastoak : barnean dauzkaten koartzozko mineraleek xaflapen primarioa seinalatzen dute.

"Kristaltzea - Deformatzea" erlazioa

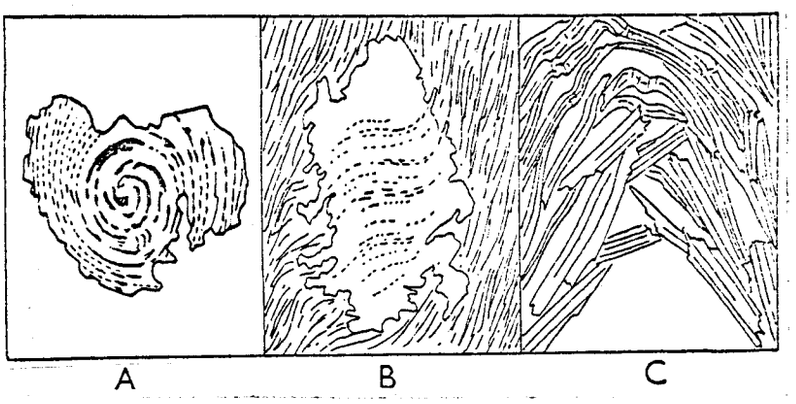
Harriek deformazioa jasan badute posible izango dugu minerale metamorfikoen arteko adin-arlazioa ateratzea. Ondoko kasuok agertzen zaizkigu :

a) *Kristaltzearen geroko deformazioa :* kasu honetan mineraleek deformazio mekanikoak jasan dituzte : mineralerik gogorrenak apurtu egiten dira; bigunenak tolestuak gertatzen dira deformazioaren arabera; porfiroblastoak jiratzen dira; lerrokapenak desagertzen dira.....



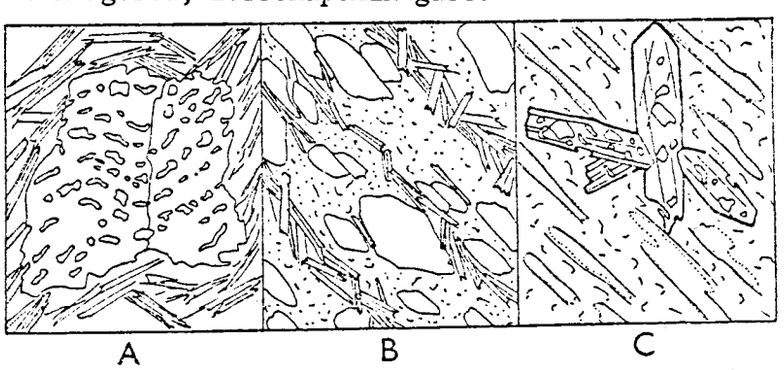
Kristaltzearen geroko mugimenduak : A.- Zianitazko porfiroblasto hautsia eta makurtua. B.- Piroxenozko hasierako kristalak geroago biribilduak eta geroko kristaltze batetako matriz batek inguratuak. C.- Estaurolitazko porfiroblasto jiratuak.

b) *Kristaltzearen aldibereko deformazioa :* mugimendu gertatzen ari den bitartean kristalen hazkuntza ere aurrera doa. Batera agertu ohi dira minerale deformatuak eta ez-deformatuak. Minerale berriek lerrokapen nagusi bat aurkez dezakete esfortzuen eskemaren arabera. Porfiroblastoek hazten jarraitzen dute jiratzen diren bitartean S edo espiral baten antzeko haztarnak uzten.



Kristaltzearen aldibereko mugimenduak : A.- Granatea, barnean espiralean partikula batzu dauzkala. B.- Albitazko porfiroblasto honen barnean kanpoko masaren ehunduraren jarraipena diren haztarna kurbatu batzu agertzen dira. C.- Mikazko xaflak (laminak) tolestutura baten txagan (txarnela) : batzu deformatuak eta beste batzu ez-deformatuak.

c) *Kristaltzearen aurreko deformazioa :* kasu honetan minerale berriek lerrokapen konkretu bat aurkez dezakete aurreko deformazioaren egiturekin lotuta, edo azarean agertu, lerrokapenik gabe.



Kristaltzearen aurreko mugimenduak : A.- Estaurolitazko porfiroblasto bi : barnean aurreko tolestura gordetzen duten koartzozko garau batzu dauzkate. B.- Miken kristaltzea : ez dute lerrokapen konkreturik ematen. C.- Hornblendazko porfiroblasto bi : lerrokapenik ez.

Ehundura-motak

Harri metamorfikoen ehundura hasierako harrien ehunduran oinarritzen da. Hasierako harriaren ehundura partzialki edo erabat aldaturik egon daiteke metamorfismo-graduaren arabera (presio gidatuen funtzioan batez ere).

Harri metamorfiko ehundurak badu zer ikusirik harriaren konposaketa mineralogikoarekin. Izan ere, ehundura ez da berdina izango mika asko daukan harri batetan (itxura lastotsua) edo garau karbonatodun asko daukan harrian (itxura trauskila).

Hala eta ere, ehundura kontrolatzen duten faktoreak metamorfismoa bera kontrolatzen dutenak dira.

Zazpi ehundura bereiziko ditugu :

1.- EHUNDURA KATAKLASTIKOA :

Esfortzupean dauden harrien zatitze mekanikoaren ondorioz agertzen den ehundura. Mineraleak makurtuta eta zatituta agertzen dira. Ehundura-mota hau mineraleen hazkuntzaz determinaturik ez dagoen ehundura metamorfiko bakarra da.

2.- EHUNDURA KORNOBIANITIKOA :

Esfortzu gidatupean ez dauden harriek aurkezten duten ehundura. Kontaktu-metamorfismoan gertatzen da batez ere. Mineraleak, normalean, dimentsiokidekoak izaten dira eta haien artean gogorki lotuta. Beste mineraleak (e.b. mikak) lege gabeko disposapenak hartzen dituzte, hau da, ez dute orientazio nagusirik.

3.- EHUNDURA HARBELTSUA :

Nabaria gertatzen da ehundura honetan oso minerale txiki eta lastotsuen lerrokapen paraleloa. Hauxe da harbelen kasua. Harbelak errazki banatzen dira xaflatan (laminatan) eta xaflatze-plano horietan mikak agertu ohi dira.

4.- EHUNDURA FILITIKOA :

Kasu honetan ere nabarmena gertatzen da mineraleen lerrokapen paraleloa eta zati lentikularretan banatzen dira. Ehundura honetan agertzen diren ga-

rauak harbeletan (ehundura harbeltsua) agertzen direnak baino handiagoak izaten dira (hau normala da filiten metamorfismo-gradua handia delako). Hala eta guztiz ere, garau horik ikusteko gaitzak gertatzen dira.

Ehundura hau filitek aurkezten dute.

5.- EHUNDURA ESKISTOTSUA

Kasu honetan ere gertatzen da mineraleen lerrokapena. Holako ehunduretan ugari dira minerale laminatuak (mikak) eta bai minerale orraztuak ere (anfiboloak). Ehundura hau aurkezten duten harriak eskistoak dira.

Ehundura-mota honi dagozkion garauak handiak izaten dira "bisuz" ikusteko modukoak.

Bai harbelak (ehundura harbeltsua), bai filitak (ehundura filitikoa) eta bai eskistoak ere (ehundura eskistotsua) presio gidatupeko metamorfismoz eratu dira eta horrexegatik TEKTONITAK dira. Harri hauen ezaugarririk nabarmenena XAFLAKAPENA da. Mineraleen lerrokapenak ikusterrazak gertatzen dira batzutan mikroskoporen laguntzaz.

6.- EHUNDURA BIKORDUNA

Minerale gutxi gorabeherako dimentsiokide asko dauzkaten harrien ehundura. Hau da, esate baterako, marmolen eta koartziten kasua. Hala eta guztiz ere, honetaz arduratzen direnak ez datoz batera ehundura bikorduna zer den zehazterakoan.

7.- EHUNDURA GNEISIKOA

Ehundura-mota honen ezaugarririk nabarmenena mineraleek aurkezten duten bandatako txandaketa zakarra da. Ehundura hau gneisei dagokie. Gneisetako mineraleen diametroa 2 mm-takoa baina handiagoa izaten da.

2. ZATIA

Euskal Herriko
Historia geologikoa

HISTORIA GEOLOGIKOAREN LABURPENA.

HARO AURREKANBRIKOA

Ezaugarri orokorrak :

Bi alditan zatituta dago : Arkaikoa eta Algonkientsea

ARKAIKOA : tolestatuta dauden kristalezko harbelaz osoturik dago. Metamorfismoa jasan arren, harriek beren ezaugarriak oraindik gordetzen dituzte eta ba dirudi hasieran galda-harriak edo harri bolkanikoak zirela.

Jalkin-harriak edo harri sedimentarioak eskasak dira eta graubakak eta konglomeratuak dira.

ALGONKIENTSEA : arkaikoaren gainean dago diskordantziaz. Deformazioa eta metamorfismoa gutxitu egiten dira bat batean.

Jalkin-harriak nagusi dira eta harri hauek ba dituzte lehenengo bizidun hondakinak, klasifikatzeko baliodunak.

Haro honen *FUNTSEZKO BARRUTIAK* ondokoak dira :

- *KANADAR EZKUTUA* : Ezkutu honetan dauden materialeak hauxek dira : hareharriak, mikazitak eta anfiboloak. Sinklinalez tolestatuta daude.Algonkientsearen azken partean ezkutu hau itsasgaineratzen da eta ordutik honantza kontinente bezala dago. Orduan ere taxutu ziren Apalatxe eta Rokosa geosinklinaleak. *Orogenia huroniarra* algonkientsean gertatu zen eta Eskandinabian zehar Ipar Asiaraino hedatzen da.
- *BALTIKOTAR EZKUTUA* : gneisak, hareharriak, graubakak, harbelak..... Algonkientsearen bukaeran *geosinklinale kaledoniarra* taxutu zen Artikoraino hedatu zena.
- *AFRIKAR EZKUTUA* : Bere zurruntasuna kanbrikoa baino lehenago lortu zuen. Barnealdean, kristalezko materialeak eta granitoak daude, 3.000 milioi urte baino zaharragoak. Gainean, harbelak oso gutxi alteratuak.

Fauna eta flora :

Arkaikoak ez digu fosilik utzi. Ezagutzen diren lehenengoak Algonkientsekoak dira : zizare batzuren urrats-bideak....

Aurrekanbrikoan hain fosil gutxi egoteak, maskorrak taxutzeko Ca gutxi zegoela adierazten digu edo CO_2 larregi itsas uretan. Honek zaila egiten zuen maskorrak taxutzea.

Klima :

Aurrekanbrikoko jalkin harriak klima otza eta hezean agertzen dira. Algonkientsearen bukaeran aldaketa bat egon zen eta kondizio erdi-idorrak lortu ziren; hau ezagutzen da orduko materialeak gorriskak direlako munduko hainbat lekutan.

HARO PALEOZOIKOA (edo lehen haroa).

Ezaugarri orokorrak :

Sei alditan zatituta dago :

KANBRIKOA :
========= Kanbriko azpian haro aurrekanbrikoa dugu diskordantziaz. Kanbriko gainean *ordobizikoa* dago eta hemen arin agertzen den fauna ugari dago.

Algonkientseko lurrazalean kraton eta geosinklinaleen arteko banaketak, kanbrikoan zehar ere segitzen du.

Geosinklinale kaledoniarra (Norvegia eta Britainiako irlak) gero eta hondoratuagoa da. Ezkutuetan dagoen higadurari dagokion garraioa, geosinklinaleetan dagoen jalkieraren jatorria da. Ba da, halaber, harri kimikoen kasua, geosinklinaleetan bertan eratzen direlarik (kareharriak.....). Kanbrikoan zehar ez dago mugimendu orogenikorik eta ia beti transgresiboa da.

ORDOBIZIKOA :
========== Kanbriko eta ordobizikoaren artean itsasoaren atzeratze bat dago eta azken honek muga markatzen du.

Goi-ordobizikoan *orogenia kaledoniarra* hasten da. Behe-ordobizikoan, aktibitate bolkaniko garrantzizkoak daude (basikoak) eta laba basiko hauk gero kaledoniar orogeniaren hasieran azido bihurtzen dira.

Beste aldetik, geosinklinaleak ezegonkorrak dira eta haietan " flysch " fazieak jalkitzen dira.

Ordobizikoaren bukaeran Apalatxe-etako tolesketa hasten da (*fase takonikoa*). Orohar,ordobizikoa transgresiboa da azken partea izan ezik.

SILURIKOA :
========= Eskandinabia tolestuta ba zegoen orduko eta silurikoan zehar itsasgaineratu zen. Aldi honetan hildo sakon bat eratzen da eta hildo honetan 500 metro baino gehiagoko harbela-multzo batez bete zen; geroxeago hementxe bertan Baltiko itsasoa kokatu zen.

Erteuropako itsasoa oso sakona zen eta horregatik graptolitak dituzten

harbelak jalkiten dira. Ludlowientse pisuan klima idor bat zegoelarik itsasoaren atzeratze bat gertatu zen gatz arruntaren depositua eratuz.

Silurikoa transgresiboa da azken partea izan ezik.

DEBONIKOA :
========= *Orogenia kaledoniarrak* Siluriko eta Debonikoaren artean bereizketa sakon bat egiten du. Bere goiko muga nabariena karboniferoko landare ugariak dira.

Geosinklinale kaledoniarraren tolesketarengatik, Hebridas-etako mendikatea, Groenlandia eta Errusia eta Baltikotar ezkutua biltzen dira. Hemen geosinklinale berri bat eratuko da Debonikoan zehar, gero karboniferoan zehar orogenia hertziniko edo bariskoa eratzeko. Geosinklinale hau *geosinklinale hertzinikoa* da.

Orain arte ez dira kontinenteak hain handiak izaten eta bai fauna eta bai flora lehorraldeetara aurreratu dira.

KARBONIFEROA :
========== Esan dugunez, Karboniferoaren hasieran flora ugari batekin markatzen da. Flora honek *ikatz-hobi* handiak emango ditu. Hemetik, prezeski, datorkigu Karbonifero izena.

Aldi honetan zehar *orogenia hertzinikoa* zen. Honegatik, aktibitate edo egintza bolkaniko handia izan zen. Mendikate hertziniarraren eraketa bukatzean, zabalera handiko lerro bat tolesten da. Lerro honetan Britainia Haundia, Frantziako Meseta Zentrala eta Mendebal Alemania daude.

Westfalientse seriean ikatz asko eratu zen.

PERMIKOA :
======== Permikoan zehar Paleozoiko haroa amaitzen dela adierazteko, gauza garrantzitsu asko gertatzen dira. Geosinklinaleak mendikate bihurtu ziren : Apalatxeak, Uralak....

Permiko bukatzean, kontinenteak itsasotik sortu ziren eta basamortu zabalak agertu ziren. Mundu guztian izotzaro handia zegoen.

Permikoan ikatz-hobiak desagertu egin ziren. Hala ere, jalkin-harriak eta gatz-hobiak ba daude : Estatu Batuetan, SESB-en, Alemanian....

Permikoan orogenia hertzinikoaren azken bi fase daude : *saalikoa eta palatinoa* . Azken fase hau Trias arte zabaldu zen.

Fauna eta flora

Fauna aldetik :

- *Trilobitak*: garrantzi handia dute, batez ere Ordobizikoan. Karbonifero-Permikoan zehar desagertu egin ziren. Paleozoikoko fosil berezleak dira. Itsas-artropodoak dira.
- *Graptolitak*: Ordobizikoan batez ere. Permikoan desagertu.
- *Ammonitak* : Debonikoan bilakatzen hasi ziren, baina Haro Sekundarioan (Mesozoikoan) dute garrantzia.
- *Lehorraldeko ornogabeak* :insektuak, moluskuak.... Karboniferoan bilakatzen dira.
- *Itsasoko animaliak* : gasteropodoak, zefalopodoak..... Karboniferoan batez ere.

Espezie asko desagertu ziren Permikoan zehar. Dena den, aldi honetan foraminiferoak eta lamelibrankioak bilakatzen dira eta narrastiak ugaztun izakerarantz doaz.

Flora aldetik :

- Algak : ugari dugu Paleozoikoan zehar.
- Landare baskularrak : batez ere Karboniferoan.
- Ira hazidunak.
- Ihi artikulatuak.
- zuhaitz ezkatatsuak (lepidodendron, sigillaria...) ugari ditugu Karboniferoan zehar.

Klima

Klima oso aldakorra da.

Karboniferoan hezea eta epela da. Hau egokia da ikatz-hobiak eratzeko.

Permikoan, berriz, klima otza da, batez ere hego hemisferioan. Ipar hemisferioan klima epela da gatz-hobiak jalkiz.

HARO MESOZOIKOA (edo bigarren haroa edo sekundarioa)

Ezaugarri orokorrak :

Hiru alditan banatuta dago :

TRIASIKOA :

Triasikoa aldi geokrata dugu, lehorraldeetako nagusitasunarekin. Azalera kratogenikoetan (lehorraldeetan), kontinenteko materialeak ezartzen dira sakonera txikiko itsasoetako materialeen tartekapenekin. Itsasaldeetan, berriz, itsasoko materialeen izugarrizko pila bat ezartzen da, karbonatuak batez ere.

Bolkanketa ugaria dugu Keuper seriean (ofitak).

Europan TRIAS ugari dugu : Alemania, Alpe Mendiak, Jura mendia, Ingalaterra....

JURASIKOA :

Hiru zatitan banatu ahal dugu Jurasikoa :

- *Goi-Jurasikoa* : MALM = kareharri zuriskaz osoturik.
- *Erdi-Jurasikoa* : DOGGER = hareharri burdinadunaz osoturik.
- *Behe-Jurasikoa* : LIAS = buztin beltxaz osoturik.

Jurasikoa lurbarneratzeen garaia dugu.

Jurasikoko itsasoa gero eta zabalduagoa da. Aldi honetan ia Europa osoa urpean dago. Bohemia, Errusia....urgainean daude.

Geosinklinale alpetarra gero eta sakonagoa da sedimentu pila bat bertan jalkiten delarik. Hau da geosinklinalearen lehen etapa. Geroago (Zenozoikoan), toleskuntza izango da orogenia alpetarra emanez.

Aldi honetako bolkanketa urria da eta bakarrik geosinklinaleetako hondoan nabaritzen da.

KRETAZIKOA :

Lurrazaleko mugimenduak urri dira, aldi egonkorra baita.

Itsas-mailaren gorabeherak garrantzitsuak ditugu eta goi-kretazikoaren azken partean (Maestrichtientse pisuan) dugu itsasoaren lurbarneratzerik handiena.

Aldi honetako litologia kareharriduna da, batez ere. Lehorraldean hareharriak ditugu.

Fauna eta Flora

Fauna aldetik :

- *Zelentereoak* : polipoak, marmokak... nabariro bilakatzen dira.
- *Trilobitak* : (itsasartropodoak) urri dira.
- *Narraztiak* : oso ugari dira. Trias-i " *narraztien garaia* " deitzen zaio.
- Narraztiengandik *ugaztunak* bilakatzen dira, mesozoikoaren azken partean.
- *Ammonitak* : (itsasmoluskuak) oso ugari dira eta Mesozoikoaren fosil berezleak.
- *Mikroforaminiferoek* (zelulabakarrekoek) garrantzi handia hartzen dute Kretazikoan zehar.
- *Hegaztiak* : bilakatzen dira.
- *Arrainak* : bilakatzen dira.
- *Belemnitak* : agertzen dira.

Flora aldetik :

- Koral algak : nabaritzen dira.
- Oihanak koniferaz osotuak dira.
- Iratzeak bilakatzen dira.

Klima

Mesozoikoan zehar klima uniformea da. Haroaren azkenaldian animalien suntsitze simultaneoa dugu, ingurugiroaren aldaketengatik. Honekin batera, beste haro baten hurbiltasuna nabaritzen da.

HARO ZENOZOIKOA (edo hirugarren haroa edo tertziarioa)

Ezaugarri orokorrak :

Bi alditan banatu ahal dugu Tertziarioa :

PALEOGENOA :

Paleozenoa, Eozenoa eta Oligozenoan zatitzen da.

Aldi honen bereizgarri bat zera da : itsasfazieko jalkin-geruzetan nummulitak azaltzen direla.

Eozenoan lurrazalaren inbertsio bat gertatzen da Oligozenoan osotzen dena.

Paleogenoan Pirinio mendiak, Alpe mendiak, Rokosa Mendiak eta Antillak sortzen dira. Zenozoikoan zehar *orogenia alpetarra* dugu.

NEOGENOA :

Miozeno eta Pliozeno izeneko serietan banatzen da.

Hasieran, itasoaren lurbarneratze bat dago eta Mediterranio itsasoa sortzen da. Azkenean, berriz, atzeratze handi bat dago.

Afrikan zartatuneak agertzen dira eta Amerikan Antillak kontinentetik askatzen dira. Mediterranioa Atlantikotik bereizten da. Ertamerika itsasgaineratzen da.....

GAUR EGUNEKO KONDIZIOEI HURBILTZE-PROZESU BAT GERTATZEN DA ZENOZOIKOAN ZEHAR.

Fauna eta flora

Fauna aldetik :

Paleontologiaren aldetik Haro honek duen berezitasunik gogoangarriena, hasera-haseratik ugaztun karenadunek hartu duten hedapena da. Haroa aurrera doan neurrian, animalia hauk, eta gainerako ornodun eta ornogabeak ere bai, gero eta gaurko animalien antzekoago dira.

- *Foraminiferoak* (zelulabakarreko animaliak) Kretazikoan baino ugariago dira. Nummulitidoak, orbitolidoak....fosil berezleak dira.
- *Arrainak* : harenkea, karpa, makailoa.
- *Narraztiak* : dortoka eta krokodiloa.
- *Ugaztunak* : haro honetan ugaldu, nagusitu eta bilakatu egin ziren. Miozenoari "*ugaztunen urrezko garaia*" deitzen zaio. Arratoiak, urtxintxak, zaldiak (Ipar Amerikan sortua), errinozeronteak, gameluak.....sortzen dira. Eozenoan itsas ugaztunak azaltzen dira : baleak, itsasbehiak. Miozenoan lehenengo haragijaleak : zakurra, katua, hartza....

Flora aldetik :

- Gimnospermak eta Monokotiledoneak bilakatzen dira nabariro.
- Algak ere ugari dira.

Klima

Paleogenoan zehar Europan tropikala zen eta kontinental aldeetan desertikoa. Gatz-hobiak nabariak dira : Suria, Cardona. Neogenoan hozte-prozesu nabari bat agertzen da, hala ere, tenperatura gaur egunekoa baino altuagoa zen. Dena den, lignitoa eratu zen eta honegatik Tertziarioa da historiako bigarren periodo karboniferoa.

HARO KUATERNARIOA

Ezaugarri orokorrak :

Bi alditan zatitzen da :

PLEISTOZENOA : glaziareak Pleistozenoarekin amaitu ziren.

HOLOZENOA : orain dela 10.000 bat urte hasi zen eta Lurra gaur dagoen eran gelditu zen.

1.880. urtean Penck-ek eta Keilhach-ek jalkin-harri fosildunak aurkitu zituzten morrena artean. Zolugainean daukaten zabalera da garrantzitsuena.

Fauna eta flora

Animaliak eta flora gaurko antzekoak ziren; bakarrik, eboluzio lasterrezko ugaztun batzu dira fosil berezleak (gizona, elefantea..). Polena ere, estadistika aldetik erabil daiteke. Pleistozenoaren hasieran Zenozoikoaren azken parteko animaliak ziren ugarienak (mastodontea....). Gero, klimaren aldakuntzak eta ehiztariek galdu zituzten animalia horik.

Animaliak :

- soinbera (moluskuak) - itsasokoak
  - lehorraldekoak
- ugaztunak : karraskariak, haragijaleak, perisodaktiloak, artiodaktiloak, proboszideak, gizona.
- GIZONA : bere asaba Paleogeno-Neogeno bitartekoan izan zen (Zenozoikoaren erdialdean, orain dela 25 milioi urte).

  Bere eboluzioan hiru pauso bereiz daitezke :

  1 - hominidoak : Australopithecus, Homo habilis, Homo erectus.

  2 - Presapiens.

  3 - Homo sapiens : Neandertalekoa, Cromagnonekoa

Flora aldetik :

- Zuhaitz elkargoek lekuak aldatzen dituzte klimaren gorabeheragatik. Moeta hauk bereiz daitezke :

.- Artiko ingurua : zuhaitz gabea, urki txikiak, sahatsak.....

.- Baso inguruak : konifera iraunkorrak dira ugarienak iparraldean eta hegoaldean landare egurtsuak horri planazkoak.

Espezie batzu ez dira migratzen.

Klima eta giroa :

Pleistozenoan zehar izozteak gertatu ziren. Gaur egun, izozteak eguzkiaren erradiazioaren gorabeheragatik, kontinenteen deribagatik, itsas korronteen desbideraketagatik eta abarrengatik izan zirela pentsatzen da. Izozteek ere lortu zuten espezieen migraketa edo suntzitzea.

Europan sei izozte handi ezagutzen dira : Biber (zaharrena), Danubio, Gunz, Mindel, Riss eta Wurm.

Kuaternarioan izan ziren lurrazaleko goratze batzu. Mendisortze handienak Mediterranion eta Pazifikoan izan dira.

Bolkanketa motela izan da.

UNITATE KRONOESTRATIGRAFIKOEN KOADROA

Adina x 10^6 urte	Aldia	Azpialdia	Serie	Azpiseria	Pisua	Azpipisua	Magna siglak
	KUATERNARIOA		HOLOZENOA				
			PLEISTOZENOA		flandrientsea		
					neotirrenientsea		
					eutirrenientsea		
					eotirrenientsea		
					siziliensea		
					billafrankientsea		
1	TERTZIARIOA	NEOGENOA	PLIOZ.		astientsea: plazenz		
10			MIOZENOA (1)	GOI	messinien: andalien.		
					tortonientsea		
				ERDI	helbetientsea		
				BEHE	burdigalientsea		
					akitanientsea		
25		PALEOGENOA	OLIGOZENOA		chattientsea		
					stanpien: rupelien.		
					sannoisientsea: lat.		
40			EOZENOA	GOI	priabonientsea		
				ERDI	biarritzientsea		
					lutezientsea		
				BEHE	kuisientsea		
					ilerdientsea		
60			PALEOZENOA		thanetien: landen		
					montientsea		
					danientsea		
70	KRETAZIKOA		GOI		maestrichtien	senonientsea	
					kanpanientsea		
					santonientsea		
					koniazientsea		
					turonientsea		
					zenomanientsea		
			BEHE		albientsea		
					aptientsea	klansay.	
						gargas.	
						bedoul.	
					barremientsea		
					hauteribientsea	neokomien	
					balanginientsea		
					berriasientsea		
130	JURASIKOA		MALM		portlandientsea		
					kimmeridgientsea		
					oxfordientsea		
			DOGGER		kallobientsea		
					bathonientsea		
					bajozientsea		
					aalenientsea		
			LIAS		toarzientsea		
					pliensbachientsea	domerien.	
						karixien.	
					sinemurientsea	lotharing.	
						sinemur.	
					hettangientsea		
180							

Adina	Aldia	Azpialdia	Serie	Azpiseria	Pisua	Azpipisua	Magna siglak
	TRIASIKOA		KEUPER		rethientsea		
					norientsea		
					karnientsea		
			MUSCH		ladinientsea		
					anisientsea		
230			BUNTS		werfenientsea		
	PERMIKOA		GOI		zechsteina: thuring		
			BEHE ROTLEG.		sajonientsea		
					autunientsea		
270	KARBONIFERROA	GOI	STEPHANIENTSEA		C		
					B		
					A		
					kantaurientsea		
			WESTFALIENTSEA		D		
					C		
					B		
					A		
			NAMURIEN		C		
					B		
					A		
		BEHE	DINANTIENTS		bisesientsea		
					tournaisientsea		
350	DEBONIKOA		GOI		famenientsea		
					frasnientsea		
			ERDI		gibetientsea		
					eifelientsea		
			BEHE		emsientsea		
					siegenientsea		
					gedinientsea		
400	SILURIKOA		GOTLAND	GOI	pridolientsea		
					ludlowientsea		
					wenlokientsea		
				BEHE	llandoberientsea		
440	ORDOBIZIKOA		GOI		ashgillientsea		
450					karadozientsea		
			BEHE ERDI		llandeiloientsea		
					llanbirnientsea		
					skidawientsea	arenig	
					tremadozientsea		
500	KANBRIKOA				postdamientsea		
					akadientsea		
					georgientsea		
600	AURRE KANB.				proterozoikoa (algonkien.)		
					arkeozoikoa (arkaikoa)		

(1) Miozeno kontinentala	TERTZIARIOA	NEOGENOA	MIOZENOA	GOI	pontien	turolients.	
						ballesients.	
					goi bindobonientsea		
				ERDI	beha " "		
				BEHE	burdigalientsea		
					akitanientsea		

EUSKALHERRIKO EZAUGARRI GEOLOGIKOAK

Bi zatitan banatuta : Kantauri-arroa eta Iruineko arroa.

KANTAURI-ARROA

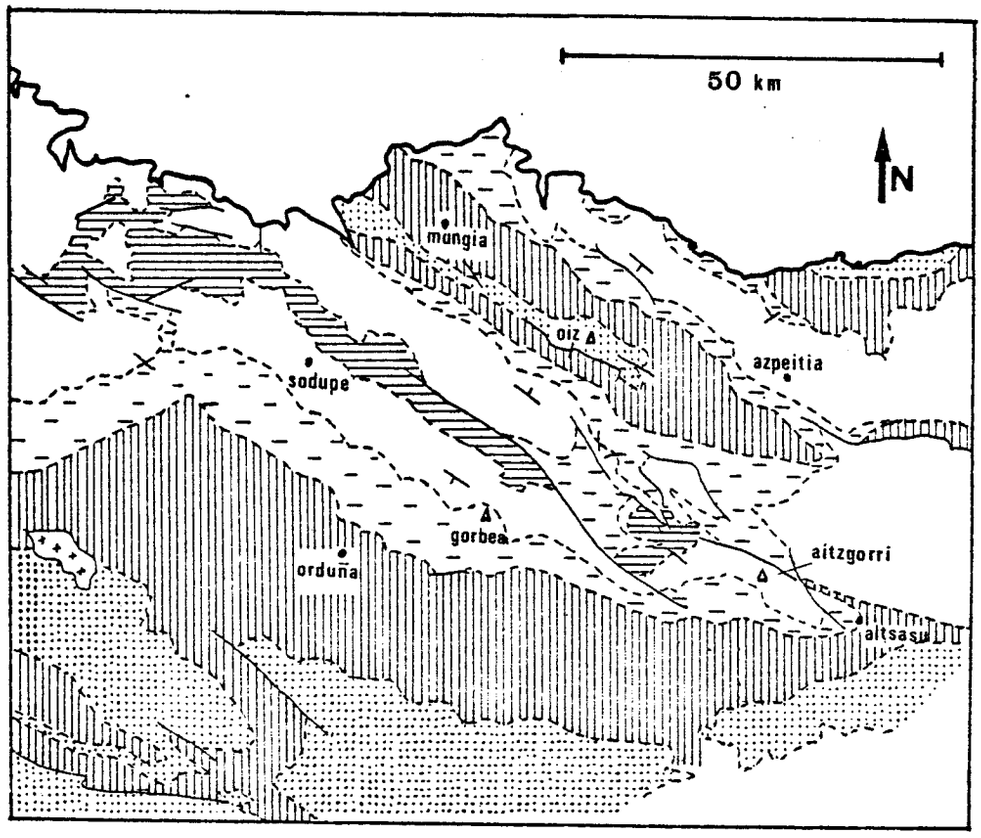
Arro honen mugak hauxek dira :

- I = Kantauri itsasoa
- H = Meseta
- E = Aiako Haitzak (paleozoikoa) eta Iruineko arro zenozoikoa
- W = Asturiaseko Mazizoa (paleozoikoa)

Kantauri arroan post-hertzinikoa den historio sedimentarioa Trias-en hasten da. Historio hau bereizten duena, itsasoak dituen lurbarneratze-atzeratzeen jarraipena da. Jarraipen hau azaltzeko mugimendu tektonikoen jokoa kontutan hartu behar da. Ziklo sedimentario hau orogenia pirinaikoaren aurretik doan eozenoko "flysch" batekin bukatzen da.

PALEOZOIKOko materialeak BOST HIRIETAKO MAZIZOAN bakarrik ikusi ahal ditugu eta hau Kantauri-arroaren ekialdeko muga da. Mazizo honetan dauden materialeen adina Silurikoaren eta Karboniferoaren artean jarri da. Litologia aldetik, kareharriak, hareharriak, lutitak, konglomeratuak eta eskisto metamorfikoak ere ditugu granito bat dagoelarik.

SEKUNDARIO edo MESOZOIKOAN Kantauri-arroak duen ezaugarririk nabarmenena itsasoaren lurbarneratze-atzeratzeen jarraipenean datza. Mendikate hertzinikoa (Goi-karboniferoan zehar altxatuta) laster birrindu zen higaduraz penilautada bat emanez. Kontinenteko erregimen honetan jalkiten dira Triaseko materiale detritikoak klima igorra izanik (Buntsandstein). Gero itsasoaren lurbarneratze bat dago eta Muschelkalk-ko kareharriak jalkiten dira. Bai Buntsandstein-ko materialek bai Muschelkalk-koak ez dira ugari Euskal Herrian eta daudenean Keuperko materialeekin batera agertu ohi dira diapiroetan : Murgian, Maeztun.....



Geroago, berriro klima idor bat dago eta ebaporitak prezipitatzen dira (igeltsuak, tupa gorriak...); hau Keuper seriea da, Euskal Herrian oso ugari : Larrauri, Orduña, Bakio, Murgia.....Keuper seriean zehar aktibitate bolkaniko handia dago ofitak emanez (diapiroetan aurkitzen den materiale berdea). Gipuzkoako iparrekialdean (IE = NE) arroaren oszilapenek garrantzi handia hartzen dute haro honetan (Mesozoikoan) itsasgaineratuko diren mazizo paleozoikoetarako hurbiltasunagatik.

Jurasikoan zehar itsasoko jalkiera bat dago eta buztinak (itsas sakonean) eta kareharriak (ez hain sakonean) jalkiten dira. Goi-jurasikoan (Dogger-Malm) FASE NEOKIMMERIKOA dugu. Fase honetan mugimendu epirogenikoak (desplazamendu bertikalak) nabaritzen dira. Mugimendu hauengatik, Trias-en jalkiak ziren gatz-bilguneak migratu egiten dira bloke eta kubetak emanez. Honela, arroaren mendebal-

dea eta hegoaldea (Santander, Gaztela eta Ebroaldea) itsasgaineratzen dira eta fazie kontinentaletako materiale detritikoak agertzen dira : KONPLEXU PURBECK-WEALD : Dima, Zeanuri, Aramaiona, Somorrostroaldea..... Arroaren ekialdea, berriz, urpean dago. Horregatik, ekialdean itsasoko jalkiera potenteagoa izan da haro honetan (Gorbeia-Elgea mendiak).

Jalkiera honek Behe-kretazikoan zehar ere segitzen du Aptientse pisura heldu arte. Pisu honetan itsasoaren lurbarneratze bat dago eta etapa baketsu bat hasten da itsasoko erregimen neritiko bat dagoelarik. Erregimen honetan formazio arrezifalak bilakatzen dira. Baldintza hauek Aptientse eta Albientse pisuetan segitzen dute KONPLEXU URGONIARRA eratuz : Gorbeia, Anboto, Aramotz, Itxina, Aitzgorri, Aralar, Mendaro, Ispaster, Galdames, Truzio..... Goi-albientse pisuan FASE AUSTRIKOA dugu. Fase honetan mugimendu epirogenikoak areagotzen dira. Momentu honetan arroan bloke altxatuak eta kubeta hondatuak daude eta bai batak eta bai besteak mugikorrak dira. Mugikortasun honetan dautza, prezeski, bertako jalkieraren ezberdintasunak bai fazieen aldetik eta bai potentzien aldetik ere. Bloke altxatuetan jalkiten dira sedimentu detritikoak : KONPLEXU SUPRAURGONIARRA : Balmaseda, Baranbio, Gorbeiaren punta, Urkiola, Legazpia, Durango, Elorrio..... Prozesu hau Zenomanientseraino iristen da.

Goi-kretazikoan eta Zenozoikoan zehar OROGENIA ALPETARRAREN funtsezko faseak bilakatzen dira. Konpresiozko esfortzuak aldizka jarraitzen dira, tolesturak, failak, zamalkamenduak, diapirismoa eta abar eratuz. Adibidez : Bilboko sinklinorioa Getxotik Eibarreraino doana. Goi-kretazikoan itsasoko aktibitate bolkanikoak garrantzi handia dauka arroaren iparraldean (N) batez ere : Fruniz, Gernika, Eibar (Arrate), Zumarraga.....

ZENOZOIKOko materialeak bi zati etengabetan banatzen dira (berauen agermenduak), bata Bilboko sinklinalea (edo sinklinorioa hobe) eta bestea Gipuzkoako kostaldeko kanoiari jarraituz (Zumaia aldean).

Bilboko sinklinorioa : Berango, Algorta, Bizkargi, Oiz, Ermua...

Gipuzkoako kostaldea : Zumaia, Zarautz, Getaria, Orio.....

Zenozoikoan Kantabria-Joar mendikatea altxatzen da eta Ebroko sakongunea bilakatzen da.

Zenozoikoan zehar itsasoaren lurbarneratze-atzeratzeen jarraipena garrantzitsua da, baina dauden itsasoko fazieak beti neritikoak dira, hau da, baxa edo sakonera txikiko itsasoetakoak (sakonerako 40-50 mtr.).

KUATERNARIOko materialeak urri dugu Euskal Herrian : estalaktita-estalagmiten eraketa; istingak (turberak), dunak kostaldean eta hibaietako garraio-harriak (alubioiak).

IRUINEKO ARROA

Haro paleozoikoaren azken partean orogenia hertzinikoa zen. Ondorioz mendikate batzu altxatzen dira. Geroztik,erliebe hauk leuntzen dira penilautada bat emanez. Haro honetan Nafarroa (Penintsula osoa) hego hemisferioan kokaturik zegoen.

Duela 185 milioi urte (Goi-triasikoan), itsasoaren lurbarneratze bat dago konglomeratuak, hareharriak eta gero kareharriak jalkiz (Muschelkalk). Hau guztiau giro tropikal batetan Nafarroa tropiko aldean zegoelarik. Itsasoaren atzeratze bat dago eta igeltsuak, gatzak eta buztin gorrixkak jalkiten dira (Keuper) : Lizarra (Estella), Salinas de Leniz.....

Duela 150 milioi urte (Dogger-Malm), itsasoaren lurbarneratze bat dago : FASE NEOKIMMERIKOA dolomitak jalkiz. Dena den, Nafarroako ekialdea urgainean dago (Zaraitzu -Salazar- harana, Erronkarialdea). Mendebaldean, berriz, itsasoa sakonagoa da (Aralar). Iruinea momentu honetan ertzaldean dago (buztinak, tupak, baina potentzia gutxiagokoak). Gero itsasoa atzeratzen da.

Kretazikoaren hasieran (130 milioi urte), itsasoa berriro lurbarneratzen da Ebroalderaino iritsi arte. Momentu honetan Ebroaldea lehorraldea da eta Iruinea plataforman dago. Gero eta iparralderago joatean itsasoa sakonagoa da. Momentu honetan urpean hildo batzu daude : Deba, Bilbo, Gasteiz. Hildoen arteko zonetan (superfizialagoak) koral arrezifeak bilakatzen dira : Aralar, Ulzama, Aitzgorri..

Albientse pisuan (FASE AUSTRIKOA) bolkanketa garrantzitsua da eta Iruineko arroa hondatzen da. Halaber, Bizkai Golkoa irekitzen da bira bat dagoelarik. Aintzina, Bretainiako plataforma kontinentala eta Kantaurikoa lotuta zeuden.

Kretazikoaren azken partean (70 milioi urte) itsasoa atzeratzen da.

Paleozenoan berriro lurbarneratzea. Kareharriak jalkiten dira eta hauen higaduraren (deskonposaketaren) bidez biostromoak eratzen dira albeolina, nummulita eta abarrekin : Etzauri, Urbasa, Alaitz.

Iparralderago sedimentuen potentzia handiagoa da. Ezberdintasun honetan datza geroago izango den altxatze pirinaikoa.

Arroa gero eta txikiagoa da itsasoa atzeratzen delako eta hegoaldean itsaspadura bat eratzen da. Itsaspadura honetan ebaporazio handia dago eta potasak jalkiten dira Belaskoain-etik Xabier-era.

Oligozenoaren azken partean altxatze pirinaikoak arro hau tolestatu eta desplazatu egiten du. Desplazamendu hau (5 kilometro) hegoalderantz da, hau da, arro honen gaurko kokatzea aloktonoa da.

Pirinioen higaduragatik iraizkin-kono (dejekzio-kono) batzu eratzen dira (Belaskoainen).

Miozenoan dautza arro honen azken mugimenduak:Alaitz mendikatea biratzen da, Iruineko arroak gaurko forma hartzen du eta abar.

Ba daude, halaber, deskonpresiozko faila batzu (Etzauri, Garea).

Hemendik aurrera gaurko arro hidrografikoa bilakatzen hasten da.

3. ZATIA

KRISTALOGRAFIA

KRISTALE ETA MINERALEEN AZTERKETARAKO TEKNIKAK

SARRERA

Mineraleen kimika, iragan den mendearen hasieran hasi zen zientzia bezala, hiru teoria hauk agertu ondoren :

- PROUST-en proportzio konstantearen legea.
- DALTON-en teoria atomikoa.
- Analisi kuantitatiboetarako metodo zehatzen garapena.

Mineraleen kimika, mineraleen konposaketaren ezagukeran oinarritzen denez gero, analisi kimiko baten posibilitate eta mugak oso ondo ezagutu behar dira. Analisi kimiko kuantitatiboari dagokiona zera da : sustantzietako elementuen ezaguera eta berauen kantitate errelatiboen determinazioa.

Analisi bat osoa izateko, minerale baten elementu guztiak ezagutu behar dira, eta zehatza izateko, elementu horien kantitateak ere determinatu behar dira. Analisi baten zehaztasuna, erabilitako metodo analitikoaren kalitatearen funtzioan dago eta metodorik onenek beraiek ere beti izaten dute erruren bat.

Analisi baten emaitzan, kantitateak pisu-portzentaiatan ematen dira; horregatik, analisia ondo egina balego, portzentaia guztien batura 100 izan beharko litzateke. Baina praktikan, erru experimentalak direla eta, kasuala da 100 ematea. Dena dela ontzat jotzen dira 99´5 - 100´5 % arteko batura ematen denean. Hala ere, ba liteke margen honetako analisi bat izatea eta prezisio gabekoa gertatzea, bi arrazoirengatik :

- baturan erru positibo eta negatiboen konpensaketa ematen delako

edo - analistak elementu guztiak ez dituelako identifikatu edo txarto identifikatu dituelako.

Adibidez

BAVENITA-ren lehenengo analisian kaltzio-aluminio silikato hidratatu bezala agertu zen eta elementuen analisian portzentaien batura 99´72 % izan zen. Berriro egin eta berilio silikato zela konprobatu zen :

BAVENITA $Ca_4 Be Al_2 H_2 Si_9 O_{27}$

Berilio hori ez zen hasiera batetan detektatu, aluminioarekin batera prezipitatu eta pisatu zelako.

ANALISI KIMIKOAK (formula kristalokimikoak)

Minerale bat definitzerakoan zera esango genuke : konposaketa kimiko berezia daukala. Konposaketa hori formula baten bidez expresa daiteke, bertan elementuak agertzen direlarik eta berauen arteko proportzio-erlazioak ematen direlarik.

Adibidez :

HALITA-ren konposaketa Cl Na formularen bidez expresatzen da eta formula horrek kloroa eta sodioa, minerale horretan, proportzio berean konbinatzen direla azaltzen du.

Era berean, BRUZITA-ren formula hauxe da : $Mg (OH)_2$, hots, magnesioaren atomo bat eta bi (OH)-talde.

Formulak bakunak edo konposatuak izan daitezke elementuen kopuru eta konbinaketa-formen arauera. Minerale baten formula zuzena ezagutzeko, analisi kimiko baten beharra dago. Hala ere, analisi hau beharbada ez da nahiko izango, zeren eta agertzen diren elementuak eta berauen proportzioak esan arren, analisi kimikoak ez baitigu esaten elementu horik mineralean zelan dauden estrukturalki lotuta.

Adibidez :

Uraren jokabidea analisietan : ura hiru formatan ager daiteke mineraleetan :

- ezpurutasun bezala mineraleak berak adsorbitua.
- kristalizazio-ur bezala.
- minerale horren estrukturan barrenean dauden hidrogenioi edo hidroxilioietatik (OH) sortua.

Generalki, 105°C-tik behera askatzen diren ur-kantitate txikiak adsorzio-

zko ur modura kontsideratzen dira, hau generala ez bada ere. Mineralearen barruan urak duen jokabidea definitzeko analisi exhaustiboa behar da.

Unitate-gelaren dimentsioen eta mineralearen dentsitatearen ezaguerak, formula baten zehaztasuna frogatzen uzten du.

Analisi kimikoen emaitzak pisu-portzentaitan expresatzen dira eta mineralearen formula determinatzeko, portzentaia horik proportzio atomiko bihurtu behar dira, honetarako portzentaia bakoitza elementu bakoitzaren pisu atomikoz zatitzen da, ondoko adibide honetan ikusiko dugun legez :

MARKASITA $Fe\ S_2$

	Pisu-portzentaia	Pisu atomikoa	Proportzio atomikoa
Fe	46.55	55.87	46.55 / 55.85 = 0.834
			0.834 / 0.834 = 1
S	53.05	32.07	53.05 / 32.07 = 1.654
			1.654 / 0.834 = 2
	99.60		

erru experimentalaren barruan, Markasitaren formula hauxe da : $Fe_1\ S_2$.

Kontrako prozesua, formulatik konposaketa " portzentuala " ateratzea da. Markasita $Fe_1\ S_2$ eta bertako elementuen pisu atomikoak (Fe = 55.85 ; S = 32.07) direnez gero, orduan Markasitaren molakula-gramo hau izango da :

$$55.85 + 2 \times 32.07 = 119.99$$

$$Fe\ \% = 55.85 / 119.99 \times 100 = 46.54$$

$$S\ \% = 64.14 / 119.99 \times 100 = 53.46$$

Interesgarria litzateke Markasita ezberdinen analisiak Markasitaren analisi teorikoarekin gonbaratzea :

	1	2	3	4	5
Fe	46.54	46.55	46.53	47.22	46.56
S	53.46	53.05	53.30	52.61	53.40
	100.00	99.60	99.83	99.83	99.96

Lehenengo zutabean Markasita teorikoari dagokion konposaketa ageri da. Beste guztiak (2,3,4,5) jatorri ezberdinetako Markasita batzuren analisiak dira.

	1	2	3	4	5
Fe	0.833 = 1	0.833 = 1	0.833 = 1	0.833 = 1	0.833 = 1
S	$\frac{1.666}{0.833} = 2$	$\frac{1.654}{0.833} = 1.985$	$\frac{1.661}{0.833} = 1.993$	$\frac{1.645}{0.833} = 1.940$	$\frac{1.666}{0.833} = 2$

Taula honetako analisi guztiak onak dira zeren eta hauen baturak 99´5 - 100´5 % artean baitaude. Baina hala eta guztiz ere, denak (experimentalak : 2, 3,4,5) konposaketa teorikotik (1) desberdintzen dira. Diferentzia hauk metodo analitikoen zehaztasun-gabezian dautza eta ez Markasitaren konposaketa $Fe_1 S_2$ formulatik urruntzen delako.

Erru experimentalak kontutan hartuz, analisiek zera indikatzen dute: Markasitak (jatorritik aparte) konposaketa kimiko finkoa dauka (elementu berberak Fe eta S). Hau arraroa da mineraleen artean, gehienek ez baitute konposaketa kimiko finkorik, karakteristikoa baino.Hala ere, konposaketa karakteristiko hori formula baten bitartez adieraz daiteke .

Adibidez :

ESFALERITA (Blenda)

	1	2	3	4
Fe	0.15	7.99	11.05	18.25
Mn	----	----	-----	2.66
Cd	----	1.23	0.30	0.28
Zn	66.98	57.38	55.89	44.67
S	32.78	32.99	32.63	33.57
	99.91	99.59	99.87	99.43

Analisi hauek zera erakusten dute :

Esfalerita, zink sulfuro ia ia purua izan daitekeela edo Fe-Mn-Cd-en kantitaterik eduki dezakeela. Arazoa askoz gehiago argitzen da analisien emaitzak (pi-

suz) proportzio atomikoz emanez.

	1	2
*Fe	0.15 / 56 = 0.003	7.99 / 56 = 0.143
*Mn	0.00 / 55 = 0.000	0.00 / 55 = 0.000
*Cd	0.0 /112.4= 0.000	1.23/112.4= 0.011
*Zn	66.98/65.3= 1.026	57.38/65.3= 0.879
S	32.91 / 32= 1.024	32.99 / 32= 1.032
	*batura = 1.029	*batura = 1.033

	3	4
*Fe	11.05/56 = 0.198	18.25/56 = 0.327
*Mn	0.00/55 = 0.000	2.66/55 = 0.048
*Cd	0.30/112.4= 0.003	0.28/112.4= 0.003
*Zn	55.89/65.3= 0.856	44.67/65.3= 0.684
S	32.63/32 = 1.020	33.57/32 = 1.049
	*batura = 1.057	*batura = 1.062

Lau analisiotan *atomo metalikoak - sufre atomoak* delako erlazioa 1 : 1 da, ondoko formula honi dagokiona : Zn S; baina Mn-Cd-Fe atomo batzu zink atomo batzuren ordez jartzen dira.

Zn S formula, esfaleritaren konposaketa kuantitatiboaren laburpena da. Minerale hau (esfalerita) Zn S purua izan daiteke (lehenengo analisiaren kasua), baina, modu berean, Fe ere ager daiteke, zink-en heren bat edo gehiagoren ordainez; fenomeno hau oso ezaguna da mineraleetan eta ondoko formularen bidez azaltzen da : (Zn, Fe) S, non Zn eta Fe-ren atomoen kopurua S-rena bezain bestekoa da, metale bakoitzaren atomoen zenbakia aldakorra izanik.

Analisi berezi batin dagokion konposaketa, formulaz azaldu nahi denean, elkarordezten diren elementuen proportzio atomikoak unitatearen frakziotara laburtzen dira.

Adibidez :

Laugarren analisia ondoko formularekin azal daiteke :

	Pisutango portzentaia	Proportzio atomikoak	Frakzio hamartarrak
Fe	18.25	18.25 / 56 = 0.327	0.327 / 1.062 = 0.31
Mn	2.66	2.66 / 55 = 0.048	0.048 / 1.062 = 0.05
Cd	0.28	0.28 /112.4 = 0.003	0.003 / 1.062 = 0.00
Zn	44.67	44.67 / 65.3 = 0.684	0.684 / 1.062 = 0.64
		1.062	
S	33.57	33.57 / 32 = 1.049	
	99.43		

$$(Zn_{0.64}Mn_{0.05}Fe_{0.31})_{1.062}\ S_{1.049}$$

Formula honetan Cd kendu egiten da oso gutxi dagoelako. Formula hauk, (Zn, Fe) S formula generalaren kasu bereziak dira eta aztertutako esfaleritazko laginen konposaketa adierazten dute.

Antzeko beste adibide bat OLIBINOarena dugu. Hona hemen olibino-lagin ezberdinekin egindako analisien emaitzak :

	1	2	3	4
SiO_2	40.99	38.11	33.72	31.85
Fe O	8.58	31.48	47.91	58.64
Mn O	0.20	0.22	0.41	0.85
Mg O	50.00	30.50	18.07	8.49
	99.77	100.31	100.11	99.83

Emaitza hauek argi eta garbi adierazten dute teknika analitikoaren muga, oxido daukaten konposatuei aplikatzen zaienean. Hau da, ez dago bide analitikorik konposatu baten oxigeno-kantitate osoa determinatzeko. Horrexegatik, analisien emaitzak elementu ezberdinen oxidoei dagozkienak dira eta ez elementuei beraiei.

Pisutango portzentaiak erlazio atomikotan eman beharrean, erlazio molekularretan emango dira, hau da, analisian ateratako zifrak oxido bakoitzaren pisu molekularraz zatituz.

Olibinoaren aurreko analisiak hain ezberdinak dira beren artean, ezen minerale desberdinak direla pentsa bailiteke. Hauetako emaitzak erlazio molekularretara pasatuz formula baten aldaketak direla ikusten da.

Adibidez :

Har dezagun Olibinoaren lehenengo lagina :

	Pisutango portzentaia	proportzio molekularra	frakzio hamartarrak
Fe O	8.58	8.58 / 71.846 = 0.119	0.119/1.362 = 0.09
Mn O	0.20	0.20 / 70.937 = 0.003	0.003/1.362 = 0.00
Mg O	50.00	50.00 / 40.311 = 1.240	1.240/1.362 = 0.91
		1.362	
Si O_2	40.99	40.99 / 60.06 = 0.680	
	99.77		

non : 71.846 = FeO-ren pisu molekularra; 70.937 = MnO-ren p.m.; 40.311 = MgO-ren p.m.; 60.06 = SiO_2-ren p.m.

$$(FeO, MnO, MgO)_2 (SiO_2)_1$$

MgO eta FeO oxidoen kantitateen aldaketak handiak badira ere, (MgO + FeO + MnO) baturaren erlazio molekularraren eta SiO_2-ren erlazio molekularraren arteko erlazioa beti da 2 : 1

$$(FeO, MnO, MgO)_2 (SiO_2)_1 \text{ ..... OLIBINOA}$$

$$(Fe, Mg)_2 (SiO_4)_1$$

Konposaketa aldakorra daukan minerale baten konposaketa bereziak determinatzeko sarritan erabiltzen den beste metodo bat, minerale hori osotzen duten mineraleen pisutango portzentaiak ematea izaten da.

Olibinoaren kasuan minerale horik

FORSTERITA (Fo) eta FAYALITA (Fa) dira.

(Mg_2SiO_4) (Fe_2SiO_4)

Horrela, lehen egindako analisietatik irtendako konposaketak, forma honetan azal daitezke :

1..... $(Mg_{0.91}\ Fe_{0.09})_2\ SiO_4$ ..... $Fo_{91}\ Fa_9$

2..... $(Mg_{0.63}\ Fe_{0.37})_2\ SiO_4$ ..... $Fo_{63}\ Fa_{37}$

3..... $(Mg_{0.40}\ Fe_{0.60})_2\ SiO_4$ ..... $Fo_{40}\ Fa_{60}$

4..... $(Mg_{0.21}\ Fe_{0.79})_2\ SiO_4$ ..... $Fo_{21}\ Fa_{79}$

Portzentaia bien batura " ehun " izan behar denez, orduan, osagai bat ken daiteke, zalantzagarritasuna sortu barik; honela, Olibinoa (Fo_{15}) 15 % Mg_2SiO_4 eta 85 % Fe_2SiO_4 daukan olibinoa da.

Portzentaia molekular hauen pisutango konposaketa honela kalkula daiteke:

- Mg_2SiO_4-ren molekula-gramoak 80.64 gr MgO eta 60.06 gr SiO_2 dauzka.
- Fe_2SiO_4-renak 143.70 gr FeO eta 60.06 gr SiO_2 dauzka.

eta hemendik :

Olibinoaren molekula-gramoak zera izango du :

Mg_2SiO_4 $2\ MgO + SiO_2$

	MgO pm.		SiO_2 pm.
Mg_2SiO_4-ren molekula-gramoak	2 x (40.311)	+	1 x (60.06)
Mg_2SiO_4-ren molekula-gramoak	80.64 gr	+	60.06 gr.

Fe_2SiO_4 $2\ FeO + SiO_2$

	FeO pm.		
Fe_2SiO_4-ren molekula-gramoak	2 x (71.846)	+	1 x (60.06)
Fe_2SiO_4-ren molekula-gramoak	143.70 gr.	+	60.06 gr.

OLIBINOA Fo_{15} $Fo_{15} - Fa_{85}$

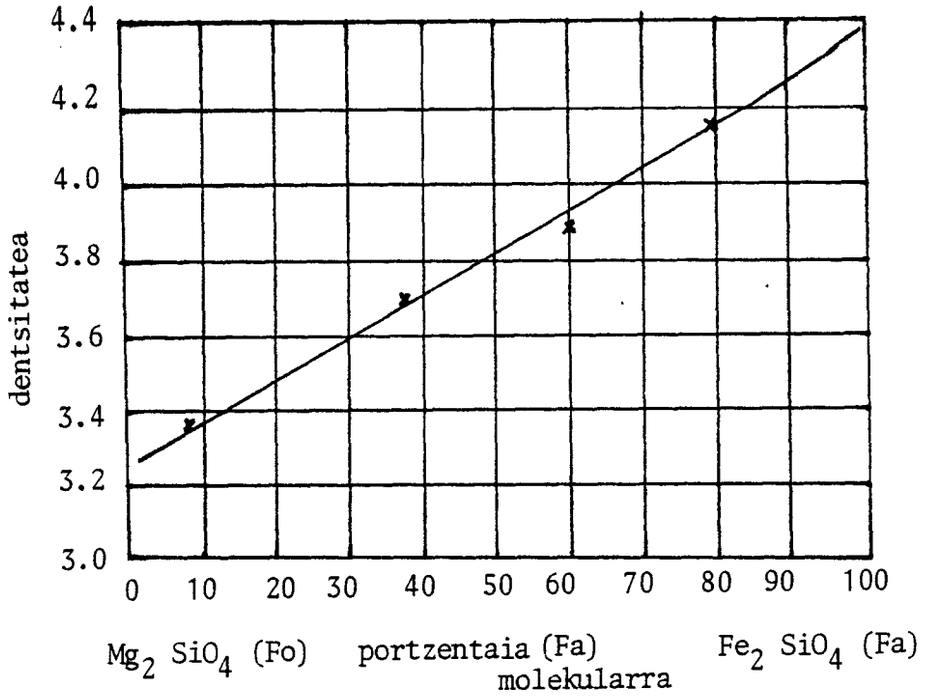
	Pisutango portzen.	100%-erako pisutango port.
$MgO = 80.64 \times \frac{15}{100} =$	12.10	6.23
$FeO = 143.70 \times \frac{85}{100} =$	122.14	62.86
$SiO_2 = 60.06 \times \frac{100}{100} =$	60.06	30.91
	194.30 %	100.00 %

Aztertu diren olibinoen dentsitateak hauxek dira :

1 = 3.35 gr/cm^3; 2 = 3.69; 3 = 3.88; 4 = 4.16.

Argi eta garbi dago erlazio zuzena dagoela dentsitatearen eta Fe edukiaren artean, zeren eta dentsitatea gehitu egiten baita Fe-ren edukia gehituz doan neurrian.

Erlazio hau askoz hobe ikus daiteke ondoko grafikoan, non dentsitatea konposaketaren funtzioan adierazten den.



Fa-ren konposaketa abzisatan eta dentsitatea ordenatuetan jartzen baditugu zuzen bat agertzen zaigu. Honek, Olibinoaren dentsitatea bere konposaketaren funtzio lineala dela esan nahi du.

Grafika honetan, bi elementu horietariko bat ezagutuz gero erraz dugu bestea ateratzea. Honelako grafikak (konposaketa eta propietate fisikoren bat erlazionatzen dutenak) asko erabiltzen dira, konposaketa bat analisi kimikoa egin gabe arinki determinatzeko.

KONPOSAKETA KIMIKOA ETA UNITATE-GELAREN EDUKIA

Sustantzia baten unitate-gelak, sustantzia horren formulan agertzen diren atomo guztiak edo beraien multiploren bat edukitzen ditu. Minerale eta sustan-

tzia inorganiko gehienetan, unitate-formula ez da estrukturalki molekula bat.

Adibidez :
SUFRE-ren molekulak anularrak dira, S_8 tipotakoak.

Unitate-gelaren dimentsioak (X-izpiz determinatuak) eta sustantziaren dentsitatea ezagunak ditugunean posiblea dugu gelaren edukia aurkitzea.

Gelaren bolumena horrela aurki dezakegu :

SISTEMAK :

KUBIKOA	bolumena = a^3
TETRAGONALA	bolumena = a^2 c
HEXAGONALA	bolumena = a^2 c sen 60°
ORTORRONBIKOA	bolumena = a b c
MONOKLINIKOA	bolumena = a b c senβ
TRIKLINIKOA	bolumena = abc $(1-\cos^2\alpha-\cos^2\beta-\cos^2\gamma+2\cos\alpha\cos\beta\cos\gamma)$

Minerale baten dentsitatea beraren unitate-gelarena da eta unitate-gelaren masak "M" ondoko formula dauka :

$$M = V\,D$$

non :

M = unitate-gelaren atomo guztien masa.

D = dentsitatea.

V = bolumena.

Unitate-gelaren dimentsioak Å unitatean ematen badira, bolumena $Å^3$ moduan agertuko da eta M gramotan ateratzeko 10^{-24} $cm^3/Å^3$ faktoreaz biderkatzea nahiko izango da.

$$M\ gr = V\ Å^3 \times D\ gr/cm^3 \times 10^{-24}\ cm^3/Å^3$$

Unitate-gelaren masa ezagutuz kalkulatu egin daiteke analisi kimikoaren bidez bertan dauden atomoen kopurua. Minerale batek, $N^{(u.m.a.)}$masa atomiko daukan X elementuaren P portzentaia badauka, gelan dauden elementu horren ato-

mo guztien masa zera da :

$$\frac{P \times M}{100} \text{ gramo}$$

Hemendik atomoen kopurua ateratzeko, nahiko izango dugu atomo baten masaz zatitzea, hau da, 1.6602×10^{-24} N

non : 1.6602×10^{-24} gr/u.m.a. = masa atomiko erlatiboa 1 daukan atomo baten masa erreala.

X tipotako atomoen kopurua :

$$\frac{P\ V\ D}{1.66 \times 10^{-22}\ N} = \frac{P(\%)\ D(gr/cm^3)\ V(\mathring{A}^3)\ 10^{-24}(cm^3/\mathring{A}^3)}{1.66 \times 10^{-22}(gr)\ \ N} = \frac{P\ V\ D}{166.02\ N}$$

non :

P = ehunekobestea (%)

V = bolumena ($\mathring{A}^3$)

D = dentsitatea (gr/cm^3)

N = X elementuaren masa atomikoa.

Analisiaren emaitza elementuen portzentaiatan emanez, unitate-gelan dauden elementu bakoitzeko atomoen kopurua, elementu horren portzentaia bere masa atomikoz (N) zatituz eta $\frac{V\ D}{166.02}$ faktoreaz biderkatuz ateratzen da.

Analisi kimikoek ez dute zehazki ehuneko ehun ematen eta horregatik ateratako zifrek ez dituzte benetako portzentaiak adierazten. Hau dela eta, zuzendu egin beharko ditugu ehuneko ehunera iritsi arte.

Aztertutako esfaleritaren laugarren laginak lagunduko gaitu prozesua argitzen :

KATIOIAK	a	b	c		d	
Fe	18.25	18.26	18.26/56	= 0.3287	1.23	4.07 = 4
Mn	2.66	2.68	2.68/55	= 0.0488	0.18	
Cd	0.28	0.28	0.28/112,4	= 0.0025	0.09	
Zn	44.67	44.92	44.92/65.4	= 0.6875	2.57	

S	33.57	33.76	33.76/32.06 = 1.053	3.93	= 4
	99.43	100.00			

a = analisiek emandako portzentaiak.

b = ehuneko ehun lortzeko, proportzionalki aldatutako portzentaiak.

c = atomoen zenbaki erlatiboak.

d = unitate-gelako atomoak (3. zutabeko datuak $\frac{V\ D}{166.02}$ faktoreaz biderkatuz).

Unitate-gelaren parametroa 5.41 Å da eta dentsitatea 3.92 gr/cm^3.

Honela, esfaleritaren unitate-gelan, 4 atomo metaliko eta beste 4 atomo sufre daude. Agertzen diren oker txikiak ($\pm$ 0.07) analisian egindako erruengatik edo dentsitatea eta gelaren parametroen determinazioan sortutakoengatik dira. Unitate-gela horrek ba ditu (Zn Fe) S erako lau talde eta zenbaki horri (4, kasu honetan) Z deitzen diogu.

Metodo berbera erabiltzen da unitate-gelaren edukiak ezagutzeko, analisien emaitzak oxidoen portzentaiatan ematen direnean. Oxidoen portzentaiak (pisuz) beren masa molekularraz zatituz, molekula-zenbaki erlatiboa lortzen da.

Unitate-gelako oxido bakoitzaren molekulen kopurua lortzen da eta hemendik atomoen kopurura pasa daiteke, oxido horietan atomoek daukaten proportzioaren arauera.

Adibidez :

Olibinoaren lehenengo laginaren analisia exenplutzat har dezakegu :

OXIDOAK	a	b	c	d	e	
SiO_2	40.99	41.08	41.08/60.06 = 0.6835	4.01	Si ... 4.01	
Fe O	8.58	8.60	8.60/71.84 = 0.1197	0.70	Fe ... 0.70	8.02
Mn O	0.20	0.20	0.20/70.90 = 0.0028	0.02	Mn ... 0.02	
Mg O	50.00	50.12	50.12/40.311 = 1.2430	7.30	Mg ... 7.30	
	99.77	100.00				

a = analisiek emandako portzentaiak.

b = ehuneko ehun lortzeko, proportzionalki aldatutako portzentaiak.

c = molekulen zenbaki erlatiboa.

d = unitate-gelako oxidoen molekulak.

e = unitate-gelako atomoak.

Unitate-gelaren parametroak hauxek dira :

$a_o = 4.76$ Å

$b_o = 10.21$ Å dentsitatea $D = 3.35$ gr/cm^3

$c_o = 5.99$ Å sistema erronbikoa

Era honetan, olibinoaren unitate-gelan $(Mg, Fe)_2 SiO_4$ erako lau talde daude, non : Z = 4.

Azaldutako prozesuak minerale bati emandako formula konprobatzeko balio du eta bai experimentalki aurkitutako dentsitatea konprobatzeko ere.

ANALISI TERMIKO DIFERENTZIALA (ATD).

Teknika ezaguna dugu aspalditik.

Le Chatelier-ek (1.887. urtean), " *De l'action de le chaleur sur les argiles* " izeneko bere liburuan " buztinak " aztertzeko metodo bat azaldu zuen, gero gaurregun ATD izenez ezagutzen dugun metodoaren oinarria gertatu delarik.

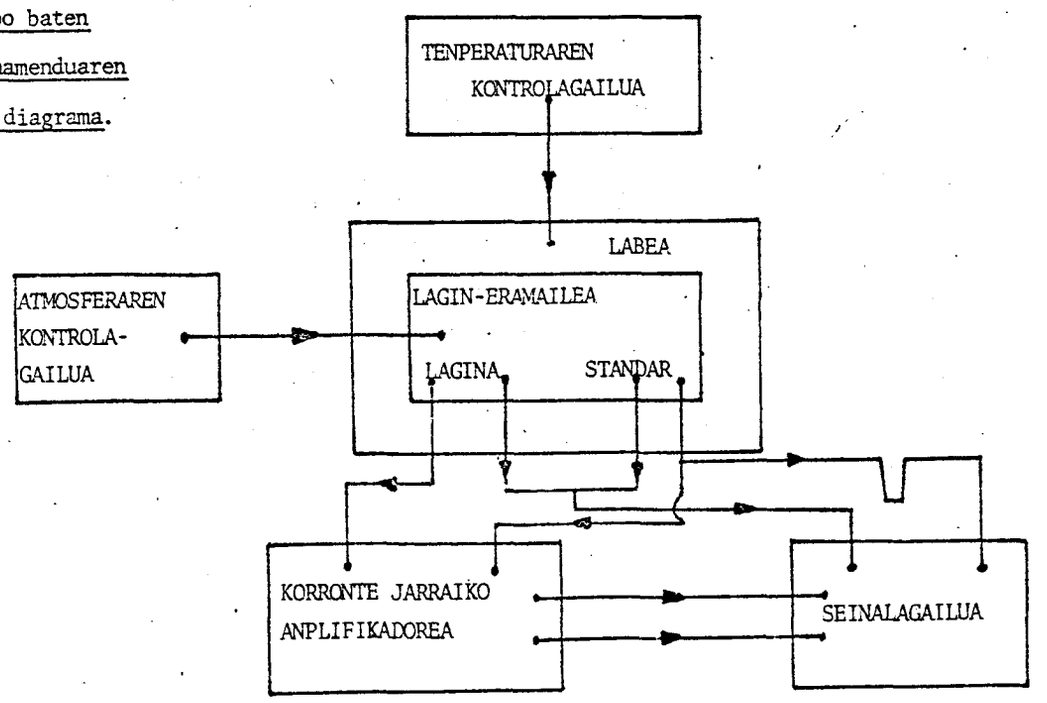
ATDa zertan datzan ikus dezagun :

Sustantzia batek fase-aldaketa edo edozein motatako erreakzio kimiko bat (oxidazioa, deskonposaketa...) edo ordena-desordena aldaketa jasaten duenean, aldaketa bat nabaritzen da beraren berotasun-ahalmenean, entalpian, entropian, etabarretan, zeinek sustantzia horren tenperatur aldaketa eragiten baitu. Aldaketa horixe da, prezeski, ATD metodoan neurtzen dena.

Lagina berotuz, aldaketa fisiko edo kimikoei dagokien ondorio kalorifikoak erregistratzen dira tenperaturaren funtzioan (edo denborarenean). Berotze-aldian (edo hozte-aldian) zehar konstanteki ari da konparatzen laginaren tenperatura eta lagin standar batena eta erregistratzen dena, tenperatura horien arteko diferentzia da. Hemendik dator " diferentzial " hitza.

ATD metodoa burutzeko tresneria handia erabiltzen da, baina orohar beti ageri dira elementu hauk :

ATD ekipo baten funtzionamenduaren blokeen diagrama.



a = berotzeko edo hozteko sistema egokia (labea).

b = lagin-eramailea.

c = korronte jarraiko anplifikadorea.

d = tenperaturaren detektagailu diferentziala.

e = tenperaturaren kontrolagailua, labeari energia hornitzeko.

f = seinalagailu grafikoa.

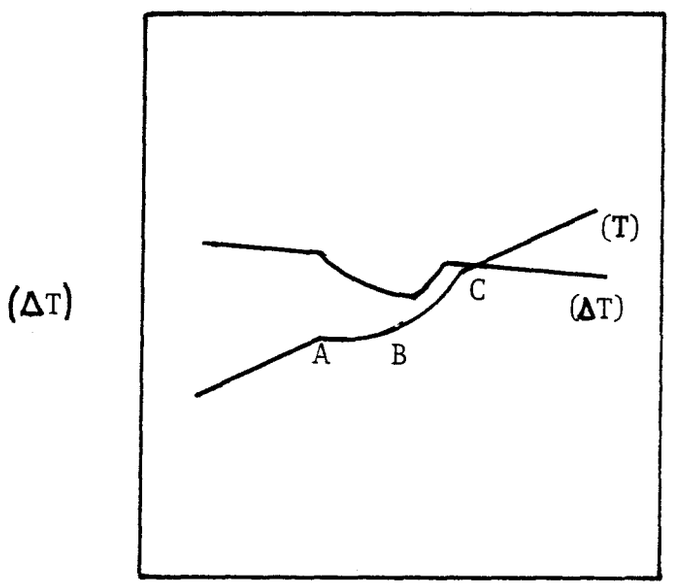
g = labeko atmosferaren kontrolagailua.

Labean lagin-eramailea jartzen da, eta bertan, simetrikoki jarriak, bi ontzi berdinak ezartzen dira. Ontzi hauetan, neurtzeko lagina eta lagin standarra (Al_2O_3 normalean) daude. Ontzi bakoitzean termoparea edo beste antzeko sistemaren bat dago tenperatura neurtzeko. Tenperaturaren programagailuak seinale bat hornitzen dio labeari, abiadura (v) programatu batetan berotzeko. Neurtzeko laginaren eta lagin standarraren arteko tenperatur diferentzia detektagailu diferentzialaren bitartez neurtzen da, diferentzia anplifikatuz eta erregistro grafiko batetara (XY) eramanez, bide batez, labearen tenperatura adierazten duen seinalea edo denbora ere bialtzen delarik.

Laginak aldaketarik jasaten ez duen bitartean, beronen tenperatura eta standarrarena erlazio zuzenean daude, baino prozesu fisiko edo kimikoren bat jasaten duenean zuzentasun hori galdu egiten da eta ΔT agertzen da, zeinek prozesua bukatu arte iraungo duen. Momentu horretan erlazio zuzenean izango dira berriro.

Hurrengo irudian prozesu endotermiko bat ikus daiteke :

<u>Prozesu endotermikoa</u> (ATD)



Neurtzeko den laginaren T edo denbora

Kurba batean laginaren tenperatura adierazten da (T) eta bestean, lagin eta standarraren arteko diferentzia (ΔT). A punturaino iritsi arte, laginaren portaera ez-aldakorra da; T kurbak malda konstantea dauka eta ΔT kurba horizontala da. A puntuan - non portaera anormala hasten den - T kurbaren malda aldatu egiten da (beroaren absortzioa dagoelako) eta ΔT kurba horizontalatik urrundu egiten da. Prozesua bukaturik dagoenean (B puntua), ΔT maximoa da eta hemendik aurrera laginaren tenperatura gehituz doa labearen tenperatura (C puntua) lortu arte; une horretan bertan, ΔT kurba horizontalera itzultzen da. Bi kurba horiei begiratuz, ΔT kurbaren pikoa, T kurbarena baino askoz nabarmenagoa dela igartzen da. Honek ΔT kurbak trantsizioak azkoz hobeto detektatzen dituela esan nahi du.

Trantsizio exotermikoa gertatu balitz, piko hori alderantziz zatekeen. Pikoaren azpitiko azalera prozesu horretako ΔQ-ren proportzionala da.

Teknika honen bitartez, posiblea da ondoko lanak egitea :

- beroaren kalkulu semikuantitatiboak.
- fase-aldaketen kalkulu semikuantitatiboak.
- erreakzio-beroen kalkulu semikuantitatiboak.
- bero espezifikoen kalkulu semikuantitatiboak.
- etabar.

Hala eta guztiz ere, metodo honek daukan akatsik handiena errepikatze kuantitatiborik eza da, faktore askok afektatzen baitituzte emaitzak. Faktore hauen artean garrantzi handienekoak hemendik datoz :

- lagin-eramailearen geometria.
- laginen tamainua eta izakera.
- berotze-abiadura.
- termopareek laginetan duten kokapena.
- etabar.

Beharbada, teknika hau (ATD), fase-aldaketa eta erreakzio kimikoen zinetikan izan da erabiliena.

Artikulu berri batetan, Loiacono-k lehenbiziko aldiz erabili du metodo hau Curie tenperaturen azterketa sistematikoan, trantsizio ferroelektrikoetan. Kasu hau garrantzi handiko urratsa da, egoera solidoaren Fisikaren barneko aplikazioetan.

Izan ere, teknika honen beronen izaeran datza bere mugarik handiena, zeren eta iragapen (trantsizio)-entalpiak oso txikiak direnean ez da gai ezer detektatzeko. Gainera, kontutan hartu behar da, entalpia edo entropia horien kalkulua oso nekagarria dela eta standar oso puruak behar dira iragapen-tenperaturen mailaren barruan.

Generalean, orain arte ATD-ren aplikazioak kalorien kopuru handia daukaten prozesuetan izan dira erabiliago. Hemendik aurrera, metodo honen tresneriaren sentikortasuna gehituz gero posiblea izango dugu sortutako edo absorbitutako kalorien kopuru txikia daukaten prozesuetan ere erabiltzea.

ATD METODOAREN APLIKAZIOA KAOLINITEN AZTERKETARAKO $Al_2 Si_2 O_5 (OH)_4$

Teknika hau buztinen azterketarako erabili bada ere, gehienbat kaoliniten azterketarako erabiliak izan dira aspalditik.

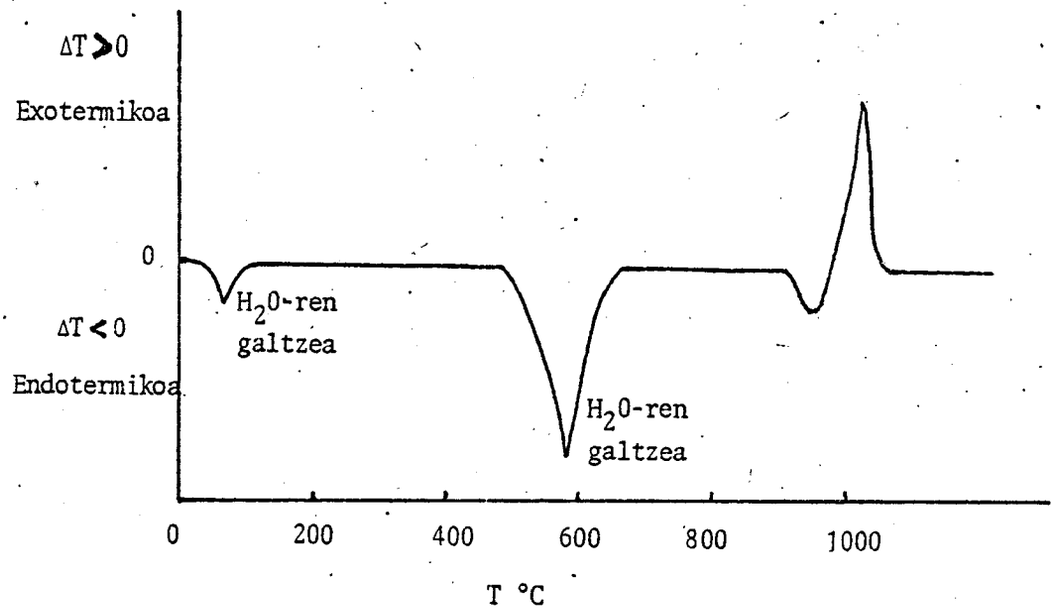
ATD-ren bitartez, kaolinitek idealki lau efektu termiko aurkezten dituen kurba ematen dute. Lehenengo hirurek endotermikoak izaten dira eta laugarrena, berriz, exotermikoa. Efektu bakoitzaren esannahiak badu erlazio zuzena minerale hauek presentatzen dituzten erreakzioekin berotan jartzean.

Pikuen forma, intentsitatea eta piku horik agertzen direneko tenperaturak, kaolinaren minerale ezberdinak desberdintzeko erabiltzen dira.

Agertzen den lehenengo efektu endotermikoa (100°C), molekulan agertzen den urari dagokiona da. Ur hori hiru formatan ager daiteke :

- partikulen gainazalean adsorbitua.
- laminen artean absorbitua.
- silize edo albumina gelekin batera.

Uraren efektu hau oso nabarmena da haloisita ($Al_2Si_5O_5(OH)_4$) edo alofanen



Kaoliniten ATD kurba.

(Al Si O H_2O) kasuan, baina ba dirudi ez dela agertzen beste mineraleetan.

Somatzen den bigarren efektu endotermikoa (600°C) unitate-gelaren (OH) taldeen galtzeari dagokiona da eta kaolinita guztietan ematen da, alofanetan izan ezik. Bigarren efektu hau, beharbada, interesgarrienetarikoa da minerale hauk identifikatzerakoan. Hala ere, bigarren pikuaren forma, simetria, tenperatura eta intentsitatea ondoko faktore hauen funtzioan daude :

- berotze-abiadura (v).
- partikulen tamainua eta forma.
- labearen atmosfera.
- etabar.

Geratzen den materiale deshidratatua, METAKAOLINA deitzen da eta honen estruktura BRINDLEY eta NAKAHIRA jaunek aztertua izan zen 1.959. urtean.

Hirugarren efektu endotermikoa 900-950°C tartean agertzen da, 980°tan agertzen den efektu exotermikoaren aurretik. Honen jatorria oso eztabaidatua izan da eta ba liteke beraren kausa hemen egotea :

- azken ur-trazen desagerpenean.

edo - minerale horren unitate-gelaren berregituraketan.

Azkenez, 980°tan gutxi gorabehera agertzen den efektu exotermikoa, oso adierazgarri izaten da kaolinita guztietan. Honen jatorria oraindik ez dago argi.

Ikertzaile batzuren eritziz, mullita-ren $(Al_2O_3)_3(SiO_2)_2$ agerpenarengatik sortua da. Beste batzuren eritziz, γ- Al_2O_3 eta mullitaren agerpenengatik. Efektu horren intentsitatea aldatu egiten da kontsideragarriro kristaltasun-graduarekin edo kaolinitaren kapen paketamenduaren desordenarekin.

WAHL-ek (1.962) ikertu egin du azken efektu hau eta honen ustez 975°tan mullita primarioa eratzen da eta gero beste mullita osagarria 1.200°tan gutxi gorabehera.

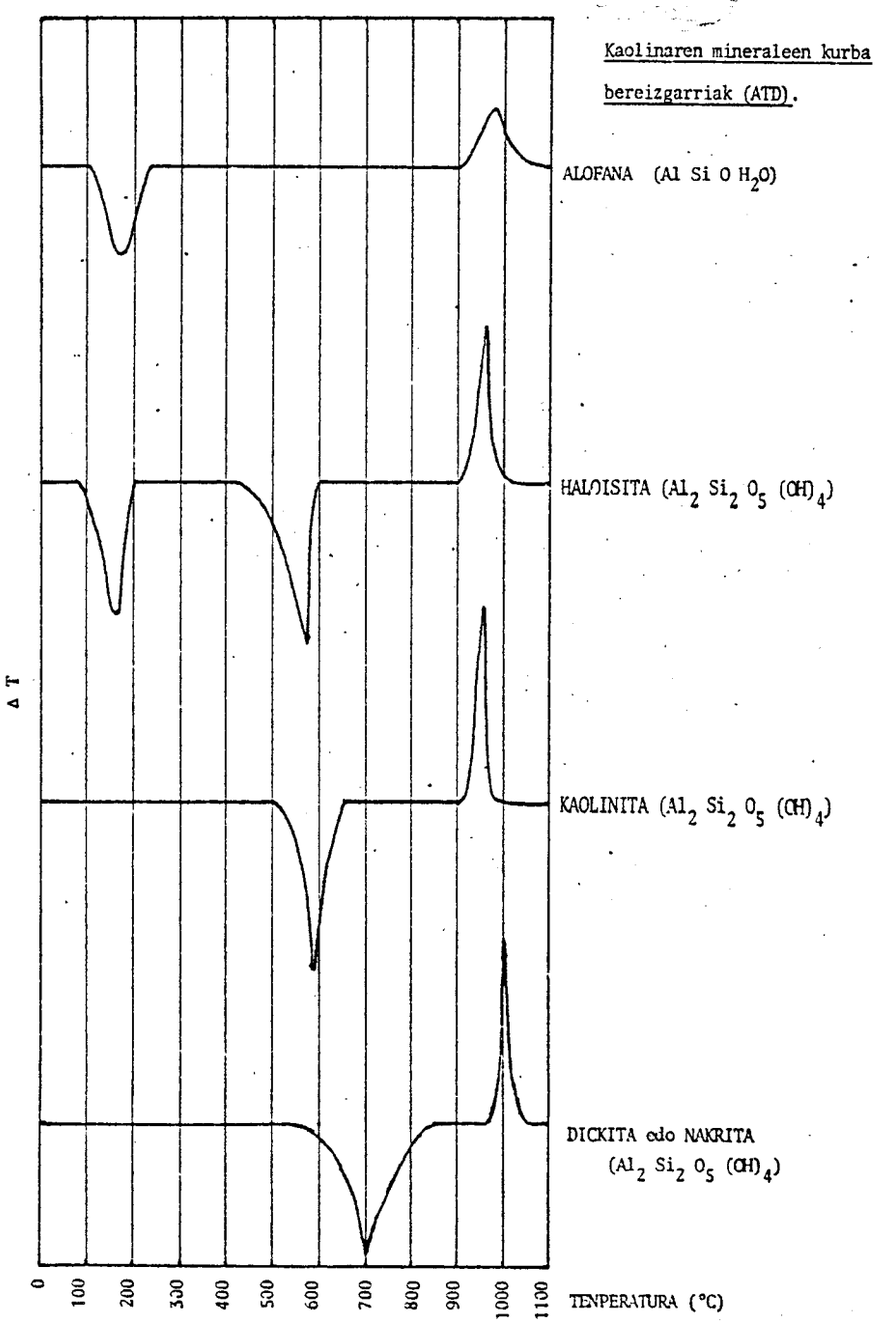
Zenbat eta kaolinita ordenatuago egon, hainbat eta mullita primario gehiago formatzen da. Bo, Ca, Pb, Fe, Mg elementuen trazek lagundu egiten dute mullitaren agerpena eta alkaliek atzeratu egiten dute.

BRINDLEY eta NAKAHIRA (1.959) autoreen ustez, metakaolinetiko transformazioak honela gertatzen dira :

- 950°tan metakaolina γ-alumina (Al_2O_3) bihurtzen da (piku exotermikoa).
- -aluminak espinela erako egitura eta silize apur bat dauka.
- 1.050°tan aurreko egitura mullita $(3Al_2O_3,2SiO_2)$ bihurtzen da eta silizea desagertuz doa eta 1.100°tan kristobalita (SiO_2-goi-tenperaturan) moduan agertzen da. 1.200° - 1.400°tartean mullita eta kristobalitaren formazioa aurrera doa.

Lagin batetan materia organikoa edota pirita agertzen denean, eta atmosfera oxidakor batetan berotzen denean, efektu exotermikoak agertu ohi dira 200°- 500°C artean. Efektu hauek lagundu egiten dute materia horik detektatzen, baina beste aldetik oztopo bihurtzen dira kaolinita determinatzeko orduan. Hau gertatzen denean eta zelan edo halan efektu exotermiko hori desager erazteko berriro egiten da saioa, baina oraingo honetan atmosfera inertean edo materiale organikoak desager eraziz disolbatzaileen bitartez eta ur oxigenatuaren tratamenduz.

Hurrengo irudian, kaolin desberdinei dagozkien ATD-ren kurba karakteristikoak agertzen dira :



Kaolinitarekin egindako hainbat azterketaren ondorioz zera esan liteke :

1 - 100 -200°C arteko efektu endotermiko handi batek haloisita eta alofanaren agerpena adierazten du. Efektu hau txikia bada, haloisita partzialki deshidratatuagatik izan daiteke. Efektu honen ez-agertzeak, nakrita, dickita edo kaolinitaren agerpena adierazten du.

2 - 550 - 600°C arteko intentsitate handiko efektu endotermikoa kaolinitak eta haloisitak presentatzen ohi dute. Nakritak eta dickitak tenperatura apur bat altutxoago batetan (600-700°) aurkezten dute.

Pikuaren asimetriak eta tenperatura apur bat beheratxoagoan agertzeak, haloisita edo kaolinitaren agerpena adierazten du. Piku honen ez-agertzea bakarrik, alofanaren karakteristika da.

3 - 900 - 1000°arteko efektu exotermikoa kaolinita guztietan agertzen da, minerale guztietan intentsitate berdinekoa ez bada ere. Intentsitate hori partikularen tamainuaren funtzioan zein minerale horren kapa estrukturalen desordenaren funtzioan dago.

X - IZPIEN ESPEKTROSKOPIA

SARRERA

Argi arrunta bezala, X-izpiak ere uhin elektromagnetikoak dira, atomoek igorritakoak , atomo horietako egitura elektronikoan gertatzen diren aldaketen ondorioz.

Argi arruntaren eta X-izpien arteko desberdintasuna, frekuentzian datza, hau da, erradiazioaren uhin-luzeran.

Espektro elektromagnetikoan X-izpiek betetzen duten aldea γ-izpi (uhin-luzera laburra) eta ultramore (uhin-luzera luzea) urrunen artean aurkitzen da. Mugak ondo zehaztuak ez badira ere, X-izpien uhin-luzeran, erradiazioaren eredua 0.1-10 Å artean aurkitzen dela esan dezakegu. Hala ere, gaurregun garrantzi handikoak izaten dira X-izpi ultrabigunak, zeinek 100 Å eta gehiago ere hartzen duten.

X-IZPIEN LORPIDEA

Ikuspuntu analitiko batetik X-izpiak hiru modutan lor daitezke :

A) antikatodo metaliko bat energia altuko elektroiez bonbardatuz (X-izpi primarioak).

B) sustantzia bat X-izpi primario-xorta batez bonbardatuz; horrela, sustantzia horrek X-izpi sekundarioak (edo fluoreskentziazkoak) igortzen ditu.

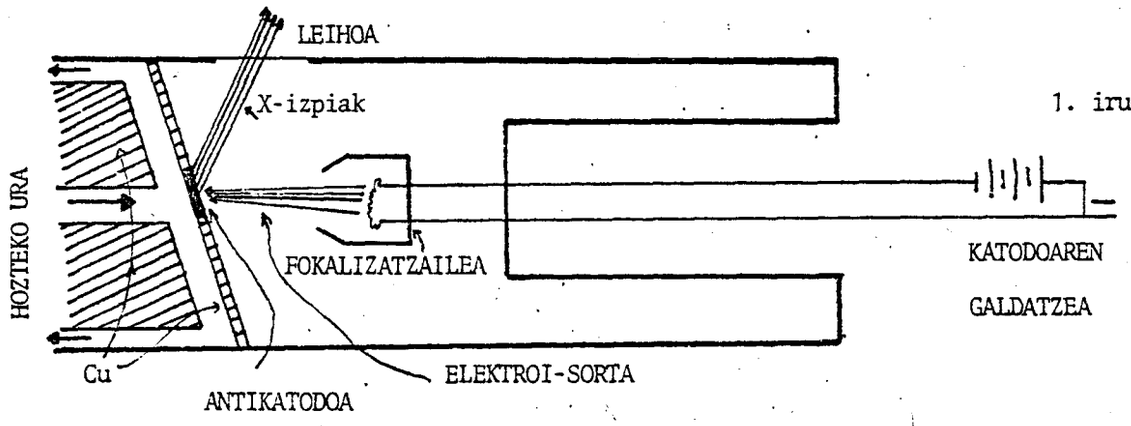
C) iturri erradiaktibo bat erabiliz. Iturri horren bilakabide erradiaktiboak X-izpiak igorri behar ditu.

X-izpien iturriek, beste edozein erradiazio-igorle bezala, erradiazio-espektro jarraia zein desjarraia sortzen dituzte. Horiek biok ba dute garrantzirik analisian.

X-izpi primarioak Coolidge motako hodi batetan lortu ohi dira. Hodi horrek katodo bezala (elektroi-emailea) jokatzen duen haritxo gori bat dauka. Eta beste aldetik anodo bat (edo plaka edo antikatodoa) edozein metalez egina izan daite-

keena (W, Mb, Cu, Cr...). Hodi hauk huts altu batez aritzen dira, horrela haritxo goriak elektroi-iturri antzera jokatzen duelarik.

Katodo eta antikatodoaren artean potentzial elektriko altua aplikatuz, haritxo goriak (katodoa) igorritako elektroiak antikatodorantz azeleratuak izaten dira, non talkaren ondorioz, haien energia transformatu egiten den. Elektroien energia zinetiko gehiena bero bihurtzen da eta parte txiki bat baino ez da X-izpi primarioen igorpen-moduan agertzen dena.



1. irudia

$$P = V \cdot I$$

non :

V = X-izpien hodiari aplikatutako boltaia.

P = X-izpien hodian gastatutako potentzia.

I = X-izpien hodiari aplikatutako korrontearen intentsitatea.

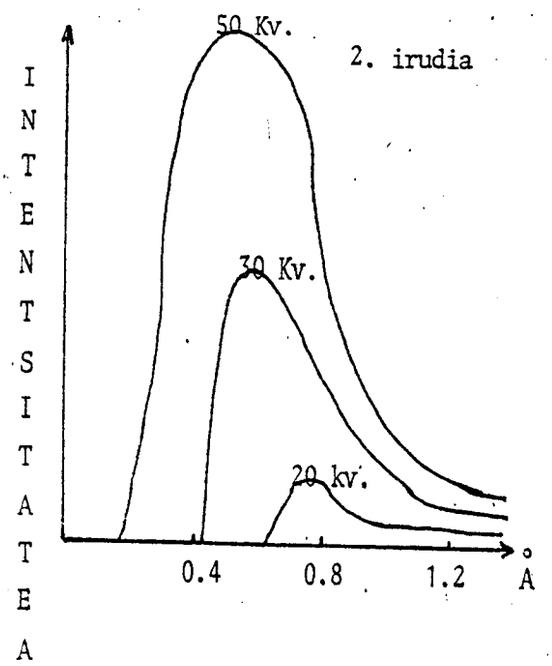
Demagun : V = 50 Kv. I = 40 mamp.

orduan $P = V \cdot I = 2$ Kw.

Honen arauera, denboraldi txiki batetan antikatodoak tenperatura altua hartuko du; horregatik, ez bakarrik antikatodoa hoztu beharra dugu (normalean, urez), baizik eta antikatodoa egitean fusio-puntu altuko materialea eta bero-eroale oneko materialea ere erabili beharko da (Pt, W, Mo, Cu, Cr...).

Hodi batek igorritako X-izpien espektroa aztertzen bada, uhin-luzera desberdinetako erradiazioak dituela ikusiko dugu. Horregatik, espektro jarraia deitzen

dugu. Zenbat eta hodiari aplikatutako boltaia handiago izan, espektro horren energia hainbat eta altuago izango da. Hortik ateratzen dugun espektroaren kurba, uhin-luzera laburrenaren eredurantz mugitzen da.



2. irudia

X-izpien espektroaren uhin-luzera laburrena, aplikaturiko boltaiaren funtzioan baino ez dago eta " *uhin-luzera laburreko limitea* " deitzen dugu.

Elektroi baten energia zinetikoa :

$$E_c = 1/2\ mv^2 = eV = h\ c/\lambda_0 = h\nu$$

non :

e = elektroiaren karga

v = hodiaren boltaia

c = argiaren abiadura

h = Plank-en konstantea

$$\lambda_0 = \frac{h\ .\ c}{e\ .\ V}$$

hau Douane-Hunt-en expresioa da.

V kilovolt-etan eta λ amströng-etan expresatzen bada, goiko formula ondoko hau bihurtzen da :

$$\lambda_0\ \mathring{A} = \frac{12.42}{V}$$

Espektro jarraiaren sorrera antikatodoaren kontra jotzen duten elektroien bat-bateko desazelerazioan datza. Talka horretan elektroiak daukan energiaren parte bat erradiazio elektromagnetiko moduan igortzen da, teoria kuantikoaren arauera. λ_0-ren existentziak talka batetan energia zinetiko osoa ematen duen elektroi baten egoera seinalatzen du; energia hori kuantu ($h\nu$) bat bihurtzen da.

Elektroien frakzio txiki batek baino ez du jasaten talka-mota hori. Elektroi gehienek energiaren parte aldakor kuantizatuak galtzen dituzte, antikatodoaren

erdian mugitzean, jotze jarraituak jasanez. Honen ondorioz, uhin-luzeren espektro jarraia gertatzen da.

Igorritako energia guztia, kurbaren azpian dagoena, gehitu egiten da boltaia eta antikatodoaren zenbaki atomikoarekin. Energia horren balorea formula honen bitartez azaltzen da :

$$E = K \cdot i \cdot z \cdot v^2$$

non :

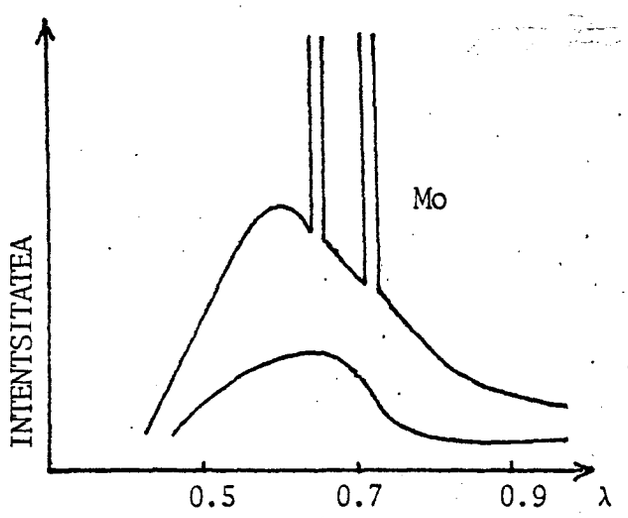
K = konstantea

i = korrontearen intentsitatea (amperetan)

z = antikatodoko elementuaren zenbaki atomikoa

v = hodiari aplikaturiko boltaia

Antikatodoko elementu konkretu baten kasuan, X-izpien hodiari aplikaturiko boltaia handitu egiten denean, erradiazioaren espektro jarraia agertzen da, lehen ikusi dugunez. Baina, antikatodoko elementu bakoitzaren kasuan, ba dago aplikaturiko boltaiaren balore bat, zeinetik aurrerantz espektro jarraiaren gainetik intentsitate-maximo nabarmen batzu agertzen diren.



Elementu berberarentzat maximo hauk beti agertzen dira balore determinatu batzutan, λ_0-ren balore finko eta ezagunei dagozkielarik. Maximo horiei " *lerro karakteristikoak* " deitzen diegu eta globalean " *espektro karakteristikoa* ".

Lerro horik agertzen direneko boltaiari " *kitzikapen-boltaia kritikoa* " deitzen diogu. Lerro karakteristikoen lehenengo taldea agertu ondoren boltaia goratzen segitzen badugu, beste boltaiaren balore determinatu batetan, bigarren taldea agertzen da eta horrela el-

karren segidan.

Ager daitezkeen taldeen kopurua antikatodoan dagoen elementu igorlearen zenbaki atomikoaren funtzioan dago. Talde guztien multzoa " *serie espektrala* " deitzen dugu, nomenklatura hau izanik : K, L, M, N, O....

Elementu berberaren kasuan zera igartzen da : uhin-luzerak gutxitu egiten dira zentzu honetan $\lambda_N > \lambda_M > \lambda_L > \lambda_K$.

K lerroak batera agertzen dira antikatodoko elementuaren kitzikapen-boltaia kritikora iristean.

L lerroak ez dira batera agertzen, hiru azpitaldetan baizik, boltaia kritikoak elkarren ondoan izanik (L_1, L_2, L_3).

M lerroak bost azpitaldetan agertzen dira (M_1, M_2, M_3, M_4, M_5).

K espektroa bost lerroz osoturik dago : $K\alpha_1$, $K\alpha_2$, $K\beta_1$, $K\beta_2$, $K\beta_3$.

Hauetatik $K\alpha_1/K\alpha_2$ eta $K\beta_1/K\beta_2$ pareek λ antzekoa daukate eta " *bikoteak* " $K\alpha$ eta $K\beta$ deitzen ditugu.

L espektroa, K-rena baino konplexuago da eta gehiago oraindik M espektroarena.

Moseley-ek 1.914. urtean, elementuek igorritako (zenbaki atomikoaren funtzioan) $K\alpha$ eta $K\beta$ lerroen λ -ren aldaketa aztertuz, ondoko formula atera zuen :

$$\nu^{1/2} = K\ (Z - \sigma)$$

non :

σ eta K = konstanteak

ν = erradiazioaren frekuentzia (maiztasuna)

Z = zenbaki atomikoa

Hauxe izan zen Z zenbaki atomikoak esannahi fisikorik hartzen zuen lehen aldia, elementuen propietate fisiko eta kimikoak egitura atomikoarekin erlazionatuz.

Azken teoria hau Bohr-ek aztertua izan zen garai berberean. Bohr-ek dioenez, atomo batetan elektroiek nukleoa inguratzen dute era ordenatuan, ondoko geruzetan : K, L, M,....

Edozein atomotan nukleoaren ondoan dauden geruzetako elektroien energia txikiago izaten da. Energia hau gehitu egiten da nukleotik urruntzean : $E_K < E_L < E_M$ .....

E_K = K geruzaren energia

Egoera normal batetan, atomoak ahal duen energiarik txikiena edukitzen du. Egoera horri " *funtsezko egoera* " deitzen diogu. Atomoari energia hornitzen bazaio, kantitate konkretutan absorbitzen du, maila energetiko desberdinen energien arauera. Honela atomoa egoera kitzikatu batetan geratzen da, elektroi batzu goragoko maila energetiko batetara pasatzen direlako. Hornitutako energiak, nahiko handia bada, elektroi batzu haien geruzetatik atera ditzake.

K geruzako elektroi bat ateratzeko, energia oso handia behar da, zeren eta K geruzak energia potentzial txikiena baitu eta elektroia infinitora eramateko lana maximoa baita.

L geruzako elektroiak atera erazteko energia txikiagoa behar da eta horrela elkarren segidan.

Geruza batetan elektroi bat ateratzeko behar den potentziala, geruza horri dagokion kitzikatze-potentziala edo ionizatze-potentziala deitzen da.

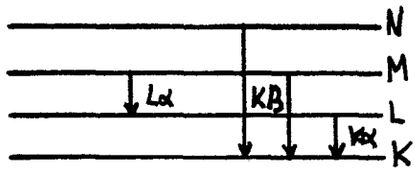
Hau dela eta, X-izpien hodi batetan kitzikatze-potentziala gainditzen denean, antikatodoko atomoen ionizazioa gertatzen da, barnealdeko elektroiak kanporatuz. Honela K edo beste edozein geruzatan hutsune bat gerta daiteke, elektroi erasotzailearen energiaren arauera. Funtsezko egoera suspertzeko, kanporagoko geruza batetako elektroi bat hutsune hori betetzera pasatzen da; kanporagoko beste geruza batetako elektroi bat aurrekoak utzitako hutsunea eta horrela elkarren segidan.

Saltu elektroniko bakoitzean X erradiazio karakteristikoa igortzen da :

$E_2 - E_1 = h\nu$ formularen arauera.

L-tik K-ra pasatzean, $K\alpha$ lerroak agertzen dira.

M-tik K-ra
N-tik K-ra] $K\beta$ lerroak agertzen dira



M-tik L-ra pasatzean, Lα lerroak agertzen dira.

Igorritako lerro karakteristikoen zenbakia, ondoko bi gauzaren funtzioan dago :

1 - aztertutako atomoaren geruza elektroniko desberdinen elektroien zenbakia.

2 - saltu elektroniko guztiak ez dira zilegi. Selekzio-arauak betetzen dituztenak baino ez dira posible :

$\Delta n \neq 0$	n = translaziozko zenbaki kuantikoa
$\Delta l = \pm 1$	l = zenbaki kuantiko elektronikoa
$\Delta j = \pm 1.0$	j = biraketazko zenbaki kuantikoa.

Geruza batetako elektroi bat ateratzeko behar den energia " *kitzikatze-energia kritikoa* " deitzen da; energia kritiko hori espektroaren lerro bakoitzaren karakteristikoa da. Igorritako lerro berbererako, kitzikatze-energia kritikoa elementu igortzailearen zenbaki atomikoaren funtzioan dago eta beronekin gehitzen da.

Elementuen K serieen kitzikatze-energiak, beti dira L serieei dagozkienak baino handiagoak. Horregatik, oso zenbaki atomiko altua daukaten elementuekin, X-izpien hodiari aplikatzen zaion boltaiaren muga kontutan harturik, espektroaren L lerroak erabiltzen dira analisietan.

Adibidez :

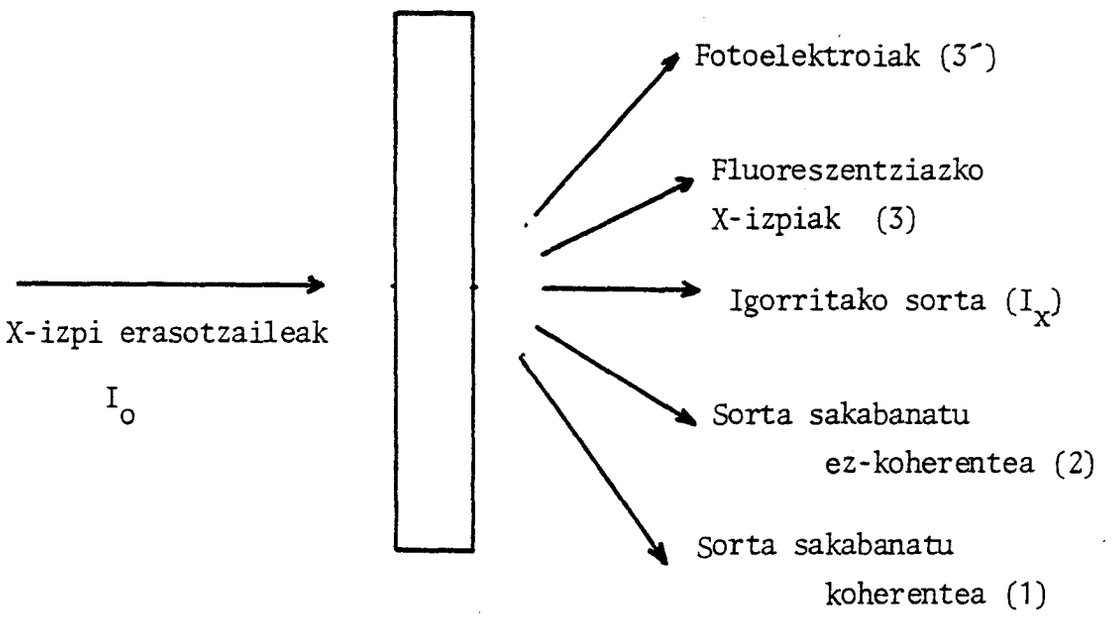
URANIOA Z = 92

Kasu honetan K lerroak ezin dira kitzikatu, nahiz eta 100 kV-etara aritzeko gai den X-izpien hodia erabili. Hala eta guztiz ere, Uranioaren L lerroak 22 kV baino gutxiagorekin kitzikatu ahal dira.

K seriearen erabilpenak ba du abaintalarik L seriearenarekin konparatuz, zeren eta K seriea azkoz ere sinpleago baita, lerroen arteko interferentzi posibilitateak gutxitu egiten direlarik. Normalean, interferentzia horik arraroak gertatzen dira X-izpien espektroan. Hala ere, sistema batzutan kontutan hartzeko dira, lur arraroen kasuan, adibidez, sistema horietan goi mailako lerroak agertzen baitira. Lerro hauk erradiazioen eredu sakabanatuaren barnean daude, inplizitoki.

X-IZPIEN ETA MATERIAREN ARTEKO INTERAKZIOA

Materia zeharkatzean, X-izpiek interakzio konplexu batzu jasaten dituzte.

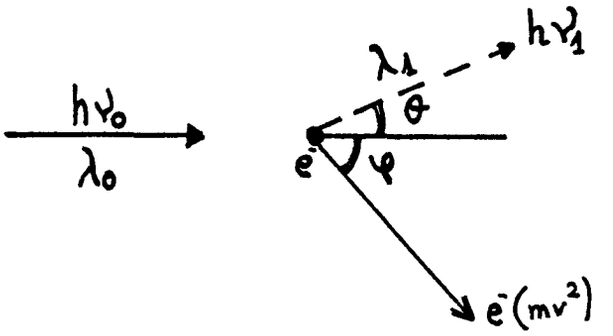


X-izpiak erasotze-direkziotik desbidera daitezke energia galdu gabe, hau da, uhin-luzera aldatu gabe, " *sakabanatze koherentea* (1) " izeneko prozesuan. Sakabanatze honen agertzea oso inportantea da, bertan oinarritzen baita X-izpien difrakzioa.

Izan ere, kristal batetako atomoak espazioan era erregular eta periodiko batetan agertzen badira,kristale hori X-izpien bitartez irradiatzean irtendako sakabanatze koherenteak, anulazio eta errefortzuak jasaten ditu direkzio batzutan. Horrela formatzen dira X-izpi difraktatuak.

Bestalde, atomoaren elektroiek beste forma batetan ere dispertsa dezakete X erradiazioa. Forma honi " *Compton efektua* " edo " *sorta sakabanatu ez-koherentea* " esaten zaio. Efektu hau, X-izpiek,atomoari indarrik gabe lotuta dauden elektroien gainean edo elektroi askeen gainean erasotzen dutenean gertatzen da (2).

X-izpien fotoia elektroi baten gainean erasotzean, talka guztiz elastikoa da. Talkaren ondorioz, elektroia kanporatu egiten da erasotze-direkzioarekin φ angelua formatzen duen direkzioan, eta fotoia bera ere, desbideratu egiten da erasotze-direkzioarekin θ angelua formatuz.



Fotoiaren hasierako energiaren parte bat elektroia kanporatzeko erabiltzen da (mv^2). Hau dela eta, fotoi horren talkaren ondoko energia aurretikoa baino txikiagoa da. Horregatik, erradiazio sakabanatuaren uhin-luzera, X erradiazio erasotzailearena baino handiagoa izango da :

$$h\nu_1 < h\nu_0 \qquad h\frac{c}{\lambda_1} < h\frac{c}{\lambda_0} \qquad \lambda_1 > \lambda_0$$

$h\nu_1$ erradiazio sakabanatua, Compton-en erradiazioa edo ez-koherentea deitzen da.

Efektu hau,atomoari indarrik gabe lotuta dauden elektroiekin gertatzen denez, erradiazio sakabanatu ez-koherentearen intentsitatea gehitu egiten da, elementu irradiatuaren zenbaki atomikoa txikitu egiten denean.

X-izpien fotoi erasotzaileak nahiko energia izango balu, atomoaren barneragoko maila elektronikoetan sartu ahal izango luke eta ondorioz K, L, M, N.. geruzetako elektroiak atera. Orduan, X-izpien hodian ematen zenaren antzeko fenomenoa gertatzen da hemen eta elementu irradiatuaren X erradiazio karakteristikoaren agerpena da. Hau da, X-izpiak, elektroi azeleratuen antzera konportatzen dira, elektroi hauk X-izpien hodi batetan daudenean.

Lagina,X-izpien bitartez kitzikatzen denean, igorritako X erradiazioa " fluoreszentziazko X erradiazioa (3) " deitzen da. Igorpen horrekin batera beti gertatzen da foto-elektroien igorpena ere (3´).

X-izpi eta materiaren arteko interakzioaren beste aspektu interesgarri bat " benetako absortzioa " da, berau erradiazio karakteristikoen igorpen-prozesuarekin beti lotuta dagolarik..

Experimentalki frogatu egiten da, I intentsitateko X-izpien sorta batek sustantzia homogeneoa zeharkatzen duenean, intentsitate horren gutxitzea zeharkatutako distantziaren (dx) proportzionala dela :

$$-\frac{dI}{I} = \mu\, dx$$

non :

I = intentsitatea (X-izpien sortarena).

μ = absortzio linealaren koefiziente.

Aurreko ekuazioa integratuz :

$$I_x = I_o \cdot e^{-\mu x}$$

Absortzio-koefizientea (μ) sustantziaren dentsitatearen (ρ) proportzionala da eta horregatik, $\mu_o = \mu/\rho$ sustantzia bakoitzaren koefiziente karakteristikoa da, egoera fisikotik aparte.

μ_o = absortzio masikoaren koefizientea

hau da praktikan gehienbat erabiltzen dena:

$$I_x = I_o \cdot e^{-(\mu/\rho)\rho x} = I_o \cdot e^{-\mu_o \rho x}$$

μ_o koefizientea aldatu egiten da erabilitako erradiazioaren uhin-luzerarekin.

(μ_o-λ) kurba, elementu konkretu baten kasuan aztertzen badugu, μ_o-ren aldaketa, jarraia ez dela konturatuko gara.

λ-ren balore finkorentzat absortzio-diskontinuitate bat edo gehiago agertzen dira. Hauk, absorbitutako intentsitatearen inkrementu gogorrak dira,

erradiazio erasotzailearen uhin-luzeraren balore finkorentzat. Elementu bakoitzak bere inkrementuak ditu, egoera fisikoa aparte utziz.

Elementu ezagun baten kasuan, uhin-luzera txikiena duen absortzio-diskontinuitatea,"K absortzio-diskontinuitatea" edo " K absortzioaren limitea " deitzen da.

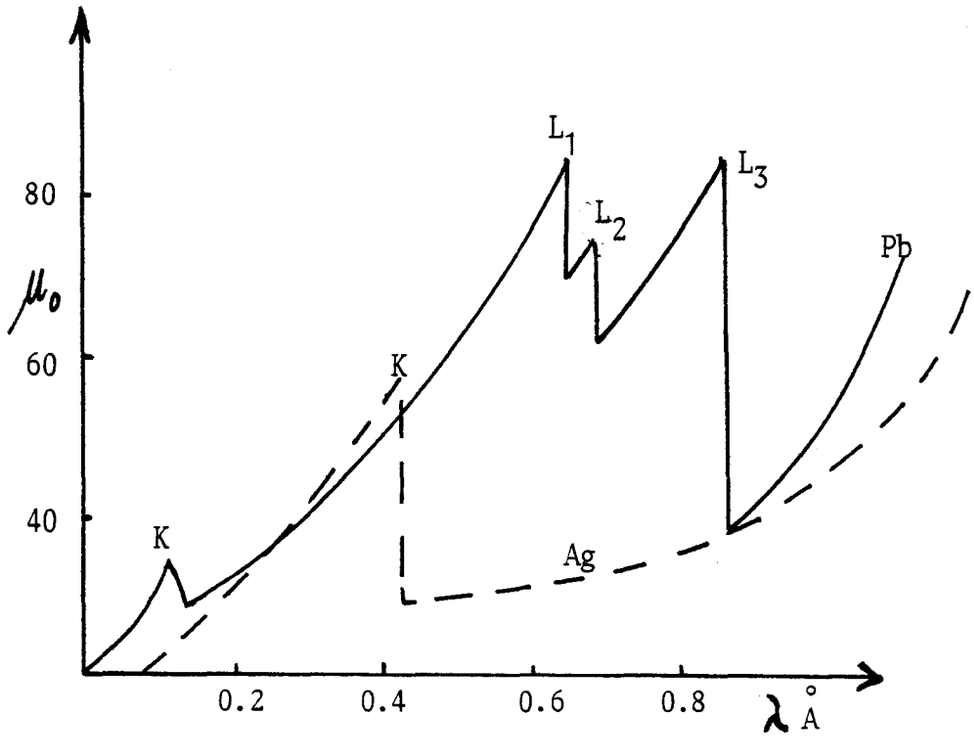
K baino uhin-luzera handiagoetan agertzen diren absortzio-diskontinuitateak, L (L_1, L_2, L_3) deitzen dira, eta horrela elkarren segidan.

Elementu ezagun batetan, absortzio-diskontinuitate batek, diskontinuitate beronen uhin-luzera kritikoa baino uhin-luzera txikiago duten X-izpi erasotzaileak elementu horrek gogorki absorbitzen dituela seinalatzen du. Uhin-luzera kritikoa baino uhin-luzera handiagoa dutenek, berriz, zeharkatu egiten dute lamina, beren intentsitatea apur bat beheratzen delarik.

Absortzio-diskontinuitateekin batera beti agertzen dira fotoelektroiak, zeintzu elementu absorbitzailearen geruza elektronikoetatik X-izpi erasotzaileen eraginez atereak izan diren, zeren eta X-izpi hauen energia,diskontinuitatearen frekuentzia kritikoa baino handiagoa baita. Hau da, K,L,M..... diskontinuitateak, atomoaren geruza elektroniko desberdinetatik elektroiak ateratzeko behar diren energiei dagozkienak dira. Aldi berean, igorritako atomoak bere fluoreszentziazko erradiazio karakteristikoak igortzen ditu. X-izpien kuantu baten absortzioak, atomo absorbitzailearen barneragoko geruzetatik elektroi baten ateratzea eta ondorioz ioi kitzikatu baten agertzea eragiten du.

Prozesuan zehar, fotoi erasotzailearen energia osoa ($h\nu$) banatu egiten da, alde batetik, igorritako elektroiaren energia zinetikoan, eta bestetik, ioi kitzikatuaren energia potentzialean.

Absortzio-posibilitaterik handiena, fotoi erasotzailearen energia eta atomoaren elektroia azken geruzara eramateko energia berdin-berdinak direnean gertatzen da, hau da, elektroiaren energia zinetikoa zerora hurbiltzen denean.



Goiko irudian ikusten denez, berunaren (Pb) lehenengo absortzio-diskontinuitatea 0.14 Å-etan agertzen da. Uhin-luzera honen fotoiaren energia da, hain zuzen, berunaren K geruzaren elektroi bat ateratzeko behar dena. λ-ren balore honen gainetik, fotoiaren energia ez da aski ateratze hori burutzeko eta absortzio-gutxitze bat gertatzen da. λ- ren balore honen azpitik, elektroi eta erradiazioaren arteko talka-posibilitatea gutxitu egiten da eta ondorioz, absortzioaren gutxitzea ere gertatzen da. Zona honetan, fotoelektroiaren energia zinetikoa gehitu egiten da erradiazio erasotzailearen uhin-luzeraren gutxitzearekin.

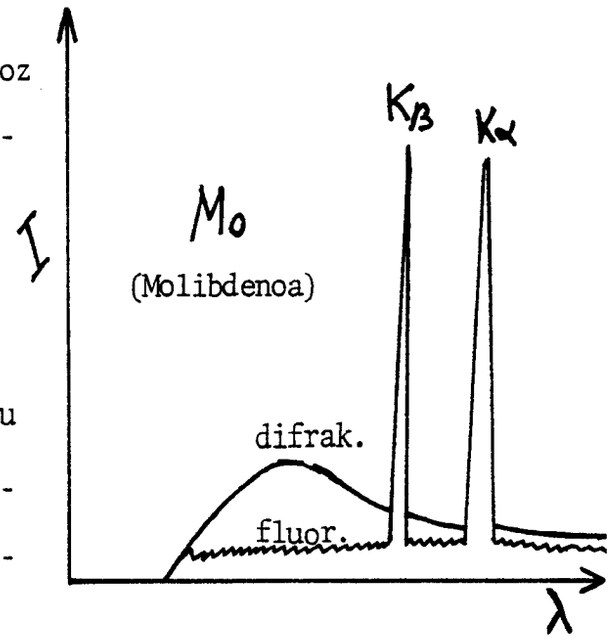
Irudi berberean nabaritzen diren beste diskontinuitateak, berunaren L geruzaren elektroien ateratzeari dagozkio.

X-izpien hodian kitzikatze zuzenak, fenomeno primarioa izateagatik, intentsitate handiko lerro karakteristikoak igortzen ditu. Fluoreszentziazko X-izpietan, fenomeno sekundarioa, lerro horien intentsitatea txikiago gertatzen ohi da, baldintza berberetan.

Hala ere, " *lerroaren intentsitatea - fondoaren intentsitatea (espektro*

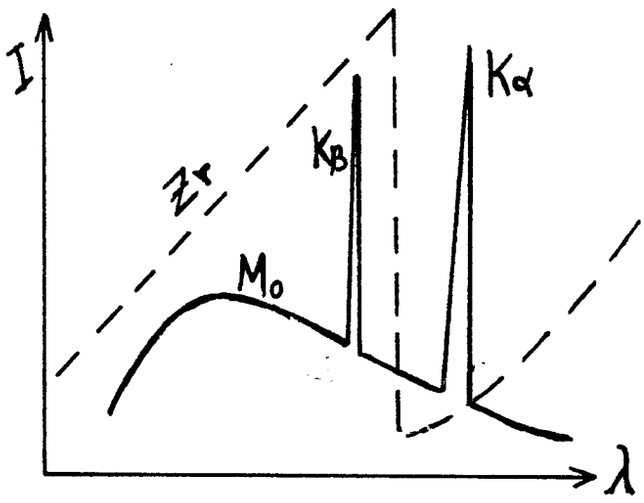
jarraia) " erlazioa lerro karakteristikoen intentsitatearen balore absolutua bezain garrantzizkoa da.

Intentsitateen erlazio hori, askoz faboragarriagoa da fluoreszentzian difrakzioan baino. Hau dela eta, ikuspuntu analitiko batetik, fluoreszentziak sentikortasun txikiagoa ematen du, difrakzioak baino. Baina ikuspuntu instrumental batetik, fluoreszentziazko espektrometroak sinpleagoak ohi dira, igorpen zuzenezkoak baino.



Fluoreszentziazko lerro hauen intentsitate gutxiagoa, AUGER efektuaren funtzioan dago : irradiatutako atomo batek igorritako K fotoiak (L geruzatik K geruzaren hutsunerako iragapenean sortutakoa), beste geruzaren (L,M,N..) elektroien gainean eragin dezake, bertatik atera eraziz. Elektroi hauek energia txikia daukate eta " *Auger elektroiak* " deitzen ditugu. Efektu hau agertzen da, batez ere, zenbaki atomiko txikia daukaten elementuetan.

Askotan, X-izpien sorta monokromatikoa erabili behar izaten da. Horretarako,iragazki eta monokromadoreak erabili ohi dira. Iragazkia, ezabatu nahi den zonan absortzio-diskontinuitatea daukan elementu (Zr) baten pelikula batez egin daiteke.



Irudian ikusten denez, Molibdenozko antikatodoaren igorpen baten K eta espektro jarraiaren parte gehiena, eliminatu egin daitezke, hodiaren irteeran 0.01 cm-tako lodiera duen Zirkoniozko pelikula bat ipiniz.

" Antikatodoa-iragazkia " biko-

te asko erabiltzen dira, uhin-luzeraren gama handiak isolatzeko.

Monokromadoreak : hurrengo zatian ikusiko ditugu.

X-IZPIEN ESPEKTROMETROA

X-izpien uhin-luzerak eta berauen intentsitateak neurtzeko erabiltzen den tresneria da espektrometroa. Helburu analitikoz erabilita, elementuen X erradiazio karakteristikoak erabiltzen dira neurketan.

Uhin-luzerak (Bragg-en angelua, hobe) elementu igortzailea identifikatzeko balio du eta lerroen intentsitateak, berriz, atomo igortzaileen kopuruaren funtzioan daude. Horrela ditugu, analisi kualitatiboa eta kuantitatiboa.

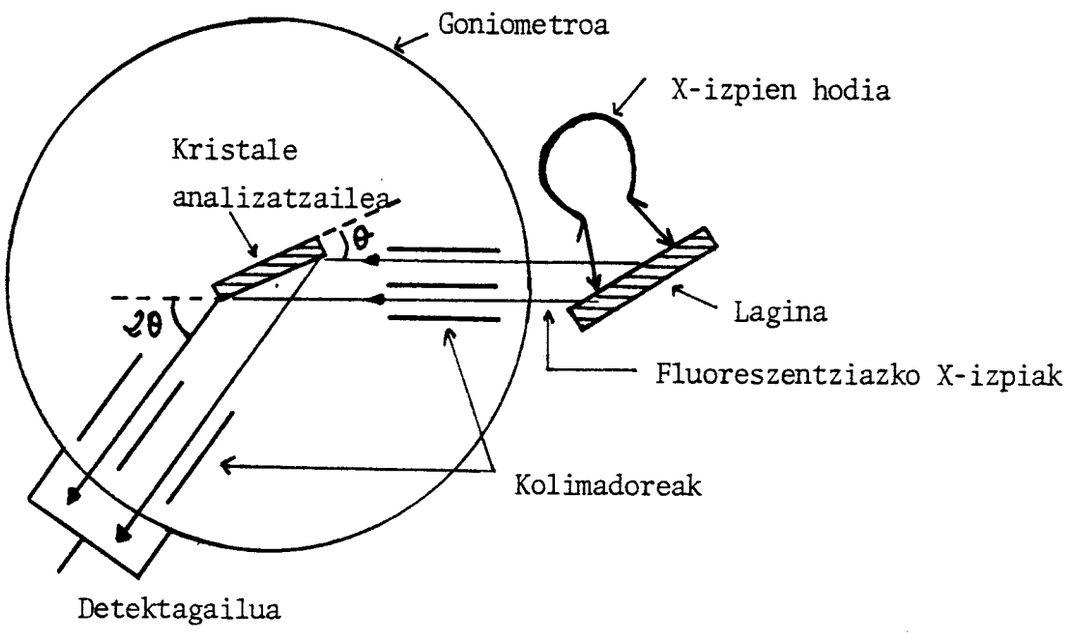
Espektromatroaren azterketarako, berau hiru zatitan bana dezakegu :

1 - kitzikatze-sistema.

2 - sistema optikoa.

3 - erradiazioen detekzio, erregistro eta neurketa-sistema.

1 - Kitzikatze-sistema



Kitzikatze zuzen primarioa burutzeko, X-izpien hodi aterakorra behar da, bertan lagina antikatodotzat jartzen delarik. Horrela, laginak aldaketa ba-

tzu jasan ditzake, bonbardaketa elektronikoagatik igorpenaren intentsitatea aldatzen delarik. Fluoreszentziazko kitzikatzean, ostera, laginaren kokapenak ez du ardura berezirik exigitzen eta X-izpien hoditik kanpo ezarrita dagoenez gero errazki eta arinki alda daiteke. Horrexegatik, gaurko espektrometroak fluoreszentziazkoak dira.

X-izpien kitzikatze-hodi primarioaren burua, erradiazioaren kontra babesturik dagoen kamara batetan ezartzen da, kamara hori behar bezala hozturik dagoelarik.

Laginaren eta X-izpien fokuaren arteko bidea ahalik eta txikiena izan behar da, kitzikatzea ahalik eta efizienteena izateko. Hala ere, distantzia hori tresneria egiteko teknikak mugaturik dago. Antikatodoaren igorpen-azalera handia izan behar da, lagin irradiatuaren azalera ere handia izan dadin.

X-izpien erradiazioaren arriskua dela medio, sistema osoa babesturik dago eta seguritate-sistemaz gainera. Erradiazio-intentsitatearen aldaketak ekiditzeko, bai hornitutako korrontea, bai hornitutako boltaia ere, behar diren bezain errektifikatuak eta egonkortuak dira.

Irradiazioaren kamarak lagina kokatzeko sarrera batzu ditu. Sarrera horik prestaturik daude, laginak sartzean erradiazioaren fugarik egon ez dadin, X-izpien hodia martxan egon arren.

Elementu baten fluoreszentziazko kitzikatze-erradiazioa buru daiteke, bai X-izpien hodiak igorritako espektru jarraiaren bitartez eta bai, daudenean, espektru jarraia eta erradiazio karakteristikoen bitartez, batera.

Ba dakigu elementu baten lerro karakteristikoa kitzikatzen dela, batez ere, bere absortzio-diskontinuitatearen uhin-luzeraz beherako uhin-luzerak dauzkaten erradiazioak absorbitzen dituenean. Hemendik, zera esan dezakegu : " kitzikatzerako aldeko baldintza, X-izpien hodiak igorritako lerro karakteristikorik intentsoenak erabiltzea da , lerro horien uhin-luzerak kitzikatu nahi den elementuaren absortzio-diskontinuitatearenak baino laburragoak izan behar direlarik."

Hau, oso gutxitan lortzen da, zeren eta, X-izpien hodi asko beharko liratekeenez gainera, edo hodi desmuntakorrez gainera, elementu asko ezin baitira erabili antikatodo bezala helburu praktikoetan.

Ti^{22} eta Th^{90} arteko elementuen lerro karakteristikoak kitzikatzeko gehiago erabiltzen den antikatodoa W-zkoa da, beronen espektro jarraiak oso intentsitate handia duelako. Ti^{22} baino arinagoko elementuen lerro karakteristikoak kitzikatzeko, uhin-luzera luzeen alderantz hedatzen den espektro jarraia daukan antikatodozko hodia erabili behar da, zeren eta, elementu astunezko antikatodoak dituzten hodiak (Mo, W, Pt, Au.....), zona honetan oso gutxi kitzikakor baitira. Kasu hauetan, Cr^{24} edo Al^{13}-zko antikatodoak erabili behar dira.

2 - Sistema optikoa

Hauxe da X-izpien espektrometroaren zatirik garrantzitsuena eta bertan datza ezaugarririk nabarmenenak. Sistema honetan ondoko parte hauk ditugu :

- kolimadoreen sistema
- Kristal analizatzailea (edo sistema sakabanatzailea)
- goniometroa

Kristal analizatzailea, goi-presioko goniometro baten ardatzean ezarrita, sarrerako kolimadore primarioaren eta irteerako kolimadore sekundarioaren artean dago. Eraketa hau Bragg-en legeak mugatuta dago; lege hau bete dadin, erradiazio-detektagailuak 2θ angelua giratu behar du, θ kristal analizatzaileak giratutako angelua izanik.

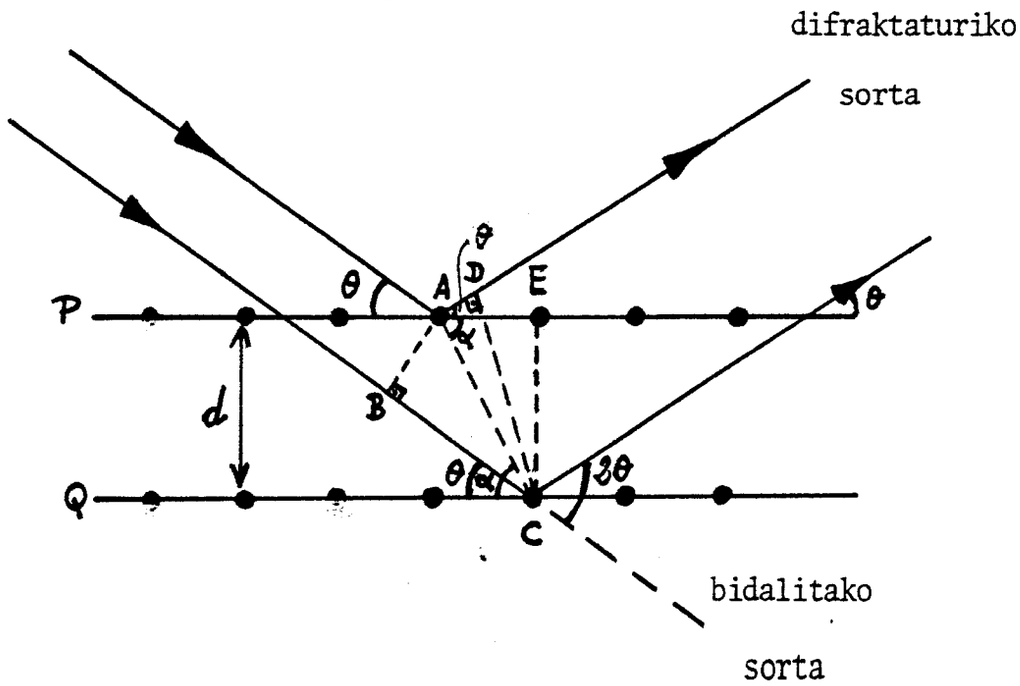
X-izpien ezaugarririk nabarmenetariko bat, erretikulo kristalinoetan errefraktatzea da. Kristal batetan, atomoak era ordenatu eta periodiko batez eraturik daude espazioan, plano kristalinoak eratuz. Plano hauen elkarren arteko distantzia konstantea da eta kristalaren espaziadoa deitzen dugu. Espaziado honen magnitud-ordena eta X-izpien uhin-luzerarena berdinak dira eta honexegatik, X-izpiak errefraktatu ahal dira sare kristalinoetan. Difrakzioa burutzeko baldintza, sakabanaturiko izpi guztiak fasetan egotea da; hau gerta dadin, izpien arteko bidearen diferentzia, uhin-luzeraren multiplo osoa izan behar da.

Demagun, X-izpien sorta bat "d" espaziado daukan kristal baten P eta Q planoetako A eta C atomoen gainean erasotzen dela θ angelu batez. Difraktaturiko izpiak fasetan egon daitezen baldintza hauxe da :

$$BC - AD = n\lambda$$

non :

n = zenbaki osoa



$$AC = \frac{d}{\text{sen}\,\alpha}$$

$$BC = AC \,.\, \cos\,(\alpha - \theta)$$

$$AD = AC \,.\, \cos\,(\alpha + \theta)$$

eta hemendik :

$$BC - AD = AC\left[\cos\,(\alpha - \theta) - \cos\,(\alpha + \theta)\right] = n\lambda$$

$$= AC\,(\cos\alpha \,.\, \cos\theta + \text{sen}\,\alpha \,.\, \text{sen}\,\theta - \cos\alpha \,.\, \cos\theta + \text{sen}\,\alpha \,.\, \text{sen}\,\theta)$$

$$= AC \,.\, 2\,\text{sen}\,\alpha \,.\, \text{sen}\,\theta = \frac{2d}{\text{sen}\,\alpha}\,\text{sen}\,\alpha \,.\, \text{sen}\,\theta = 2d \,.\, \text{sen}\,\theta$$

$$\boxed{n\lambda = 2d \,.\, \text{sen}\,\theta}$$ <u>Bragg-en legea</u>

Lege honek, λ uhin-luzera daukan erradiazio erasotzailea "d" espaziado daukan plano-sorta batetan difraktatuko dela adierazten du, baina hau, soilik, Bragg-en legea betetzen duen θ-ren baloreen kasuan. Era honetan, "d" edo "λ"-ren

baloreak determina daitezke. X-izpien espektrometrian, "d" iraunkorra da eta , normalean, θ determinatzen da.

Azkenengo irudian ikus daitekeenez, difraktaturiko izpia θ angeluz irteten da kristaletik, berau,erasoturiko izpiaren angelua bera izanik. Hau guztiau, kristal analizatzailearen gainazalearen gainean. Eta 2θ angeluz, erasoturiko izpiaren funtzioan.

Hau dela eta, goniometroa ajustatuta dago detektagailuaren abiadura angeluarra kristal analizatzailearen abiaduraren bikoitza izateko. Horrela, detektagailua beti dago prest erradiazioa hartzeko, hau da, kristal analizatzaileak 0°-tik 90°-ra giratzen duen bitartean, detektagailuak 0°-tik 180°-ra giratuko du.

Erreflexioaren "n" ordenak edozein balore oso har dezake, senθ-ren balorearekin konpatiblea ba da. Eta kontutan harturik "nλ" aldameneko plano birek dispertsaturiko izpi biren arteko bide-diferentzia dela, uhin-luzera $\lambda/2$ daukan bigarren ordenako erreflexioak (n=2) eta uhin-luzera λ daukan lehenengo ordenako erreflexioak (n=1), θ angeluaren balore berbera izango dute.

Sen θ-ren balorea 1 baino gehiago ezin izan daitekeenez, λ-ren balorea 2d-ren baloretik behera egon behar da.

$$\frac{\lambda}{2d} = \text{sen}\,\theta \leqslant 1$$

Horregatik, "d" espaziado daukan kristalak ezin difraktatu dezake 2d-ren balorearen goitiko uhin-luzera daukan erradiaziorik.

Bragg-en ekuazioa diferentziatzen badugu :

$$\frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{n}{2d\cos\theta}$$

$\frac{d\theta}{d\lambda}$, kristal analizatzailearen ahalmen erresolutiboa da.Ekuazio honek zera esaten digu : " erradiazio berbera difraktatzeko erabilitako kristal biren artean, "d"-ren balore txikiago daukan kristalak ahalmen erresolutibo handiago izango du, erreflexioa 2θ-ren balorerik handienean gertatuko delako."

Gainera, kristalak erreflexio-efizienzia altua izan behar du erradiazio desberdinetarako eta hau,askotan, kristalaren gainazal erreflektanteak jasaniko tratamenduaren funtzioan dago.

Litio fluoruroaren (Li F) kristala erabiliena da, zeren eta :

- erreflexio-efizientzia altua baitu (Cu Kα -rako 100%)
- ahalmen erresolutibo altua baitu.

Bragg-en legea, kristal planoetan bete dadin, X-izpi erasotzaileak elkarren artean paraleloak izan behar dira. Hau lortzeko kolimadoreak erabiltzen ditugu, zeren eta hauk gabe, eta θ-ren balore konkretu batetan, kristal berak uhin-luzera desberdinak dituzten X-izpiak aldiberean erreflejatuko dituen.

Gehiago erabiltzen den kolimadorea, Soller motatakoa da eta horri metaliko (Ni edo Mb) batzuren bitartez eginda dago, horri horiek elkarren arteko distantzia kontserbatzen dutelarik. Horri horien luzera eta espaziadoa aldakorrak dira eta erabili ahal dira, bai bat (kristalaren aurrean edo atzean) eta bai bi (bata aurrean eta beste atzean) ere.

" Kristal analizatzailea - kolimadoreak " multzoak X-izpien espektrometroaren erresoluzio osoa baldintzatzen du.

Erradiazio-flujoa altua gerta dadin, kolimadoreek zeharkako sekzio handia izan behar dute; kristal analizatzailearen zabalera kolimadorearena bezain handia izan behar da eta kristal analizatzaileak,θ-ren balorerik bajuena denean, kolimadoretik pasatzen den erradiazio osoa interzeptatzeko behar den luzera izan behar du.

X-izpientzako detektagailuak

X erradiazioaren intentsitatearen direkzio eta determinazioa hiru bide desberdinetatik buru ditzakegu :

1- detekzio fotografikoa

2- gas-ionizazioaren detektagailuak :

a - ionizazio-kamara

b - Geiger-Muller detektagailua

c - kontagailu proportzionala

3- izarniadura-kontagailua

1-Detekzio fotografikoa :

X-izpiek emultsio fotografikoak belzten dituzte, argi arruntak egiten duen antzera.

Adibideak : Debye, Laue, Weissenberg, Guinier, giratorioak.....filmeak.

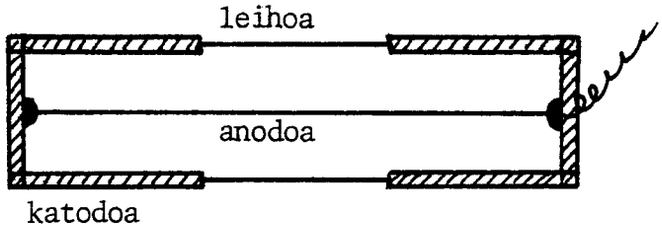
2-Gas-ionizazioaren detektagailuak :

Hauxek dira gehiago erabiltzen direnak, bai X-izpien determinaziorako eta bai desintegrazio erradiaktiboaren prozesuetan sortutako erradiazioetan ere.

Honen funtzionamendua gasen eroankortasun elektrikoan oinarritzen da gasek eraturiko pare ionikoen ondorioz.

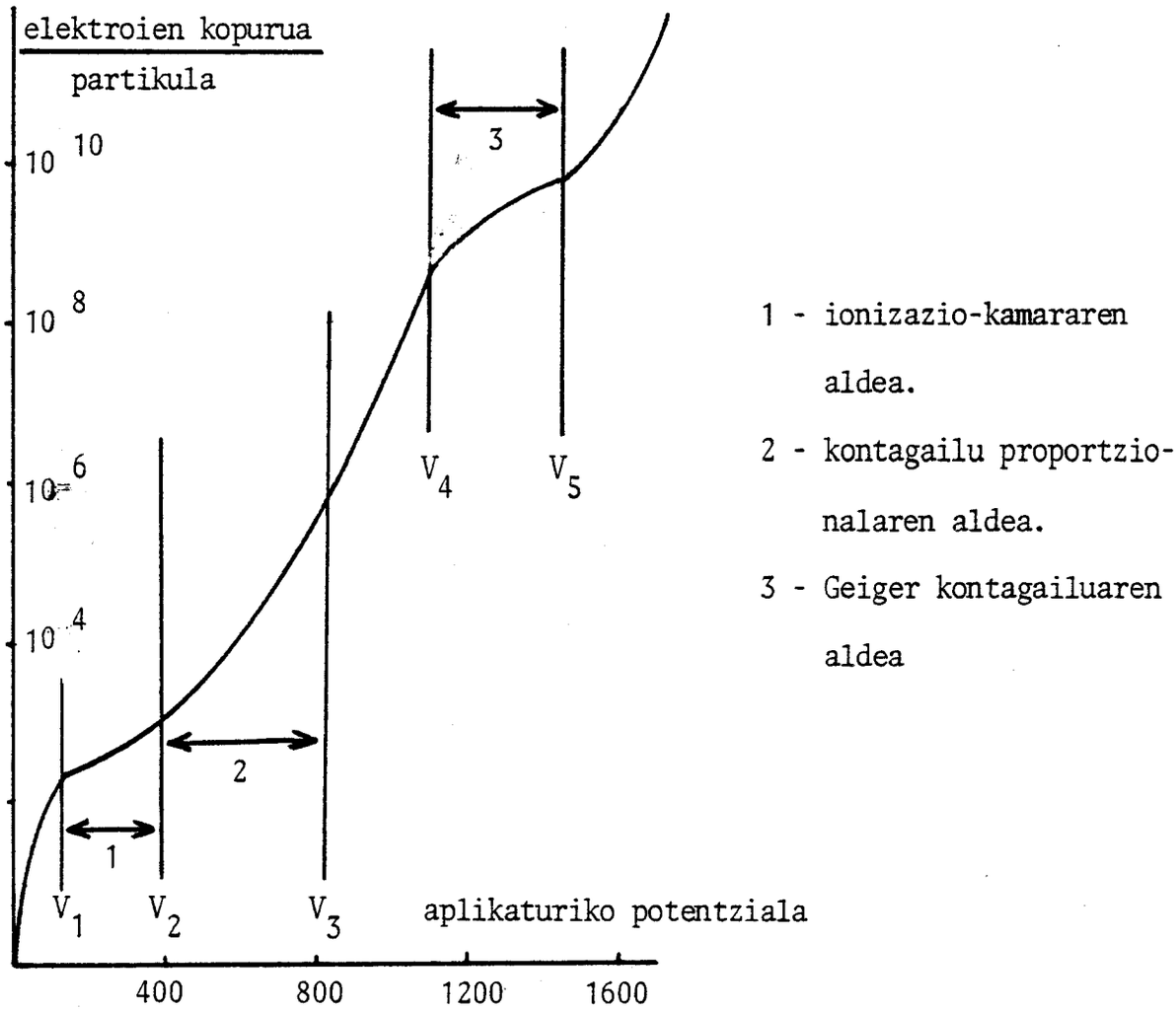
Gehiago erabiltzen direnak : ionizazio-kamara; Geiger-Muller detektagailua eta kontagailu proportzionala.

Denak dira ionizazio-kamarak, funtzionamenduan diferentzia batzu badituzte ere. Holako kamara batek erradiazioa absorbitzen ez duen materialezko (Mika, Be, Al...) leiho bat dauka. Erradiazio-partikula bakoitzak interakzionatu egiten du kamararen barruko gasearekin ehunkada batzu pare ioniko sorteraziz. Elektrodoen artean aplikaturiko eremu elektrikopean, elektroiak migratu egiten dira, arinki, anodorantz (elektroien hartzailea), katioiak, lentoagoak, katodo zilindriko metalikorantz migratzen diren bitartean.



Hurrengo horrialdeko irudian ikus daitekeenez, kamaran aplikaturiko potentziala abzisatan eta kamaran sartzen den X fotoiko, anodora heltzen diren elektroien kopurua ordenadatan agertzen dira.

V_1 baino potentzial txikiagoren kasuan, pare ionikoaren gaineko azelerazio-indarra txikia da eta elektroiaren eta katioiaren arteko banantze-abiadura ez da



nahikoa, berauen konbinatze partziala ekiditzeko. Honen ondorioz, anodora heltzen diren elektroien kopurua, hasiera batetan erradiazio erasotzaileak sortutako kopurua baino txikiagoa da.

V_1-V_2 arteko aldean, anodora ailegatzen diren elektroien kopurua iraunkorra da, beronek fotoi edo partikula batez eraturiko elektroien kopuru osoa seinalatzen duelarik.

V_2-V_3 arteko aldean, berriz, elektroien kopurua gehitu egiten da, arinki, aplikaturiko boltaia gehitzen den neurrian. Gehitze hau,agertzen diren pare ioniko sekundarioen ondorioz gertatzen da; pare hauk agertutako elektroien eta gasen molekulen arteko talketan gertatzen dira. Azken efektua korronte ionikoaren gehitzea da.

V_4-V_5 arteko aldean, bultzadura edo inpultso primarioaren gehitzea oso handia da eta sortutako espazio positiboaren funtzioan dago. Espazio hau, anodoranzko bidean elektroiek hartzen duten abiadura biziaren ondorioa da katioiak atzeratuagoak geratzen diren bitartean.

Hau dela eta, anodora ailegatzen diren elektroien kopurua,hasierako erradiazioaren energia-motatik aparte dago eta, soilik, hodiaren geometriaren eta hodiaren barruan gasak daukan presioaren funtzioan dago.

Ionizazio-kamara

V_1-V_2 arteko aldean egiten du lana kamara honek. Sortutako korrontearen intentsitateak gutxienezkoak dira : 10^{-13} - 10^{-16} anper, horregatik, anplifikatu egin behar dira zirkuito elektroniko baten bitartez, horrela, neurketak egin ahal izateko.

Zirkuito elektronikoaren erantzun-denboraren arauera, sistemak, korronte jarraiak (ionizazio-abiadura erantzun-denbora baino handiagoa denean)edo korronte-bultzadurak (inpultsoak) (ionizazio-abiadura erantzun-denbora baina txikiagoa denean) neurtuko ditu. Bigarren kasu honetan, zirkuitoaren aktibitatea jakin dezakegu bultzadura edo inpultso horien kopurua neurtzen. Bultzadura baten magnitudeak, berau ematen duen erradiazio indibidualaren energiaren neurketa jakin erazten digu.

Detektagailu proportzionala

V_2-V_3 arteko aldean operatzen duen ionizazio-kamara da detektagailu-mota hau. Anodo-katodoen arteko boltaia 600-900 Volt-en bitartean dago, horrela, X-izpien fotoi batek eragindako bultzadura 500-tik 10.000-ra doan faktore batez anplifikatzen da. Ioi positiboen kopurua, berriz, nahiko txikia da eta horrela, denbora "hila" mikrosegundo batekoa da. Hemen ere, sortutako bultzadura elektronikoak anplifikatu behar dira neurketak burutu aurretik.

Bultzadurako elektroien kopurua (bultzaduraren garaiera deitua), V_2-V_3 arteko aldean sortutakoa, detektagailuan barrenean sartzen den erradiazioaren ener-

giaren funtzioan dago zuzenki. Bultzaduren garaieraren analizagailu bat erabiliz (aurretik ezagunak diren mugen arteko intentsitateak dauzkaten bultzadurak soilik kontatzen dituena), kontagailu proportzional batek aurretik ezagunak diren mugen arteko X-izpien maiztasunei (edo frekuentziei) erantzun dezaieke.

Geiger-Muller kontagailua :

V_4-V_5 arteko aldean operatzen du.

Bultzadura fotonikoaren handiagotzea 10^{10} edo gehiago da. Holako kontagailu batetako eroankortasun elektrikoa ez da jarraia, zeren eta, betetze-gasean sortutako katioien abiadura, elektroiena baino askoz ere txikiagoa baita. Hau dela eta katioi-multzo bat eratzen da anodo inguruan, pantaila antzekoa, honek anodoranzko elektroien flujoaren abiadura determinatzen duelarik.

Azken efektua, korrontearen bapateko bultzadura bat da eta gero denboratarte bat non hodiak ez baitu eramaten. Eroate hori berriro ager dadin, pantaila hori desagertu behar da, elektroiak detektagailuaren katodo zilindrikorantz migratuz. Denbora "hila" honetan, kontagailuak ez du erradiazio berriren seinalerik admititzen.

Geiger-Muller hodien denbora "hila" 50-200 mikrosegundoen artekoa izaten da. Hodi hauk, Argon-ez beterik egoten dira, beroni gas indargekor bat (etanol-metanol) eransten zaiolarik, elektroi sekundarioen agerpena gutxienezkoa izan dadin, denbora "hila" gutxituz.

Geiger-Muller kontagailua oso erabilia izan da arazo hauengatik :

1- goi mailako sentikortasuna

2- hondo-zarataren maila baxua

3- sorturiko bultzaduraren garaiera altua

Gaur egun kontagailu proportzionalak eta izarniadurazko kontagailuak ere erabiltzen dira gehienbat.

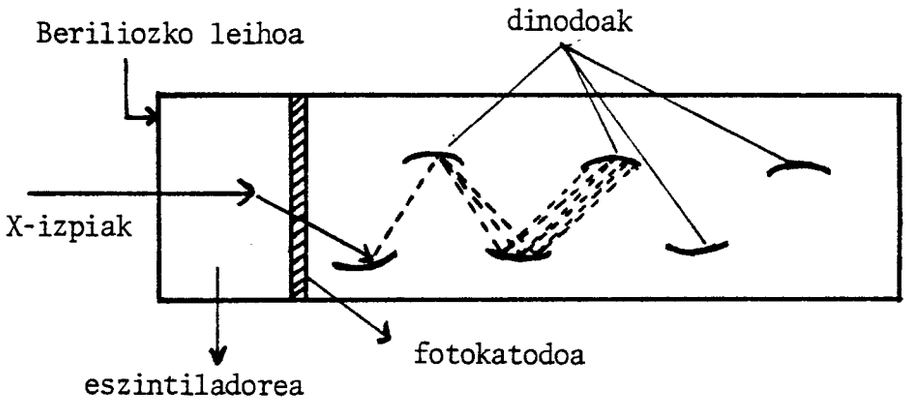
3-Izarniadurazko kontagailuak :

Hauen funtzionamendua X-izpiek (edo α, β, γ partikulek) sustantzia batzu-

tan erradiazio ikuskorra emateko daukaten propietatean oinarritzen da.

Sustantzia aktiboak bezala (eszintiladoreak) hauk erabiltzen dira: antrazenozko kristalak ;Litio-iodurozko kristalak, Estañoren bidez aktibatuak [LiI(Sn)] ; Zesio-iodurozko kristalak, Talioren bidez aktibatuak [CsI(Tl)] ; Zink-sulfurozko kristalak, Zilarraren bidez aktibatuak [ZnS(Ag)] ; eta maizago, Sodio-ioduroa Talioren bidez aktibatua [NaI(Tl)] .

X erradiazioak,kristal eszintiladore batera heltzen denean, bere energia igortzen dio eta eszintiladorea, berriz, desaktibatu egiten da milaka fotoi igorriz (λ= 400 mm-takoa gutxi gorabehera) erasotako partikula edo fotoi bakoitzeko. Hau guztiau denbora txiki batetan (o,25 mikrosegundo) gertatzen da. Denbora hau txikia denez gero izarniadurazko kontagailuaren denbora "hila" laburra da gasezko ionizazio-kontagailuaren denbora hilarekin konparatuz.



Kristal eszintiladoreak igorritako fotoiak,hodi fotomultiplikatzailearen fotokatodora erreflejatuak izaten dira, bertan, handiagotu eta gero neurtu daitezkeen bultzadura elektriko bihurtzen direlarik.

Izarniadurazko kontagailuen beste ezaugarri bat hauxe da : kristal eszintiladoreak igorritako fotoien kopurua, erradiazio edo partikula erasotzailearen energiaren proportzionala da. Horregatik, "bultzaduraren garaieraren analizagailu" bat ipiniz gero, erradiazio erasotzaileak elkar banan daitezke, hauen uhin-luzera edo energiaren arauera. Hala eta guztiz ere, izarniadurazko kontagailuak hondo-zarata handi bat aurkezten du, honek intentsitate txikiko erradiazioa neurtzeko sentikortasuna mugatzen duelarik.

ANALISI KUALITATIBOETARAKO APLIKAZIOAK

Analisi kualitatiboa, espektro osoa goniometroaren bidez pasatuz (aurretik hartutako abiadura angeluarra konstantea izanik) burutzen da.

Analisiak eramaten duen denbora, goniometroaren abiadura angeluarraren funtzioan dago, berau bitarte zabal batetan alda daitekeelarik.

Espektrograman adierazitako maximoak, taulen laguntzaren bitartez identifikatzen dira, balore angeluar bakoitzari berori dagokion X-izpien igorpen-lerroa aplikatuz.

X-izpien fluoreszentziaz egindako analisi kualitatiboaren ezaugarririk interesgarriena analisi hau berau ez-suntsitzaile dela da.

Laginaren fluoreszentzia kitzikatzeko espektro sinpleko X-izpien hodi bat erabili behar da, esate baterako, Molibdenozko antikatodo duen hodia. Espektro konplexuagoko hodiekin, interferentziak sor daitezke fluoreszentziaren eta espektro primarioaren lerroen artean.

Erreflexio-efizientzia handiko kristal analizatzailea erabili behar da (LiF, kasu). Interferentzi-problemarik egotekotan, Topaziozko kristal bat jartzen da bestearen ordez.

Detektagailu moduan, izarniadurazkoa erabili ohi da, zeren espektro osoan daukan sentikortasuna uniformea baita.

Elementu arinen ($Z<22$) analisirako, detektagailu proportzionala erabili beharko da. Elementu arinen analisietan espektrometroaren sistema optiko osoan huts egin behar da edo, bestela, Helio edo Hidrogenozko korronte bat pasatu. Honen kausa hauxe da : uhin-luzera luzearen erradiazioen airearen bidezko absortzioa ekiditzea.

ANALISI KUANTITATIBOETARAKO APLIKAZIOAK.

Elementu baten analisi kuantitatiboa, aurretik hartutako igorpen-lerro baten intentsitatea neurtuz eta intentsitate hau berau aurretik prestaturiko kalibrado-kurba (kontzentrazio ezaguneko lagin standarren bidez egindako kurba)

batekin konparatuz burutzen da.

Goniometroa, aztertzen ari garen elementuaren kasurako hartutako lerro karakteristikoaren Bragg-en erreflexioari dagokion angeluaren posizioan bertan kokatzen da finko. Hau guztiau, erabilitako kristal analizatzailearen espaziadoaren funtzioan dago. Laginak bariatzean, hondo-erradiazioaren intentsitatea ere aldatzen bada, lerroari dagokion intentsitateari hondoaren intentsitatea kendu behar zaio. Hondo-intentsitate hau determinatzeko, goniometroa,determinatutako posizio angeluar batetan(eta interferentzia gabekoa) ezartzen da, laginaren espektroa egin ondoren hautatua. Posible bada, espektroaren lerrorik intentsoenak (K , L) hartuko dira lerro analitiko moduan, batzutan, elementoaren kontzentrazio altuen kasuan, intentsitate txikiagoko lerroak hartzen badira ere.

Kalibrado-kurban, ordenadatan lerro karakteristikoaren intentsitatea (bultzadura/segundo) eta abzisatan kontzentrazioaren neurria errepresentatzen dira.

X-izpien espektrometro modernoetan, hautatu ahal da edo denbora finko batetan bultzadurak neurtu edo bultzadura finko batzu neurtzeko denbora neurtu.