Universidad del País Vasco
Euskal Herriko Unibertsitatea

UPV/EHU OCW 2019
JATORRI FOSILEKO ERREGAIEN
KARAKTERIZAZIO ETA LOGISTIKA

OCW OpenCourseWare

1. GAIA: ERREGAI SOLIDOAK

IKASMATERIALAK

Maite de Blas Martín
Aitziber Iriondo Hernández
Blanca Mª Caballero Iglesias

Bilboko Ingeniaritza Eskola
Ingeniaritza Kimikoa eta Ingurumenaren Ingeniaritza

CC BY NC SA

ERREGAI SOLIDOAK

1.1. Ikatza

1.1.1. Ikatz motak

1.1.2. Karakterizazioa

1.1.3. Ikatzaren sailkapena

1.2. Ikatzaren garraioa

1.3. Ikatzaren biltegiratzea

1.3.1. Errekuntza espontaneoa. Faktoreak

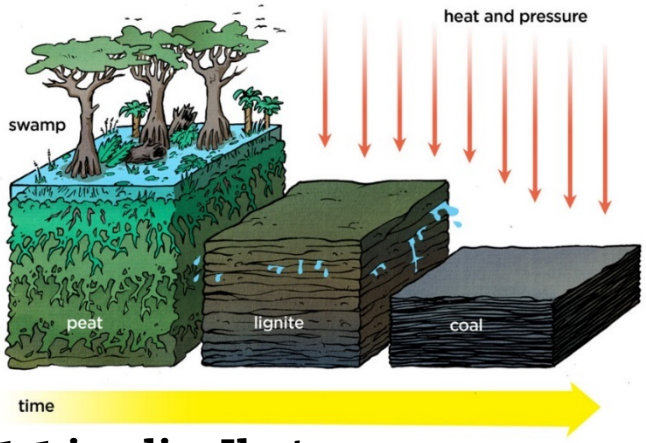
1.3.2. Arauak eta gomendioak

cc BY NC SA

IKATZA

JATORRIA ETA SORRERA

Ikatza **landare-substantzietatik** sortu zen, bai zona zingiratsuetan zuzenean jalkitakoak edota atmosferara zabalik (estali gabe) zeuden zona urtsuetara garraiatuak eta bertan jalkitakoak. Bertan, landare-substantziak **deskonposizio-**, **degradazio-** eta **trinkotze-**prozesu desberdinen bidez fisikoki eta kimikoki eraldatu ziren, milioika urtetan zehar, gaur eguneko ikatzak sortuz. 1.1 irudian ikatzaren sorreraren eskema bat adierazten da.



1.1 irudia. Ikatzaren sorrera. Siyavula Gr 7-9 Natural Sciences-en erabilitako eta Flickr-en BY 2.0 lizentziapean argitaratutako irudia [1]

Ikatzaren sorrarazleak izan litezkeen **landare-osagaiak** ondokoak dira: zelulosa, proteinak, argizaria, erretxinak, terpenoak, ligninak, taninoak, alkaloideak, flabonoideak, eta abar.

CC BY NC SA

IKATZA

JATORRIA ETA SORRERA

Ikatzen sorrerari dagokionez **teoria** desberdinak daude, horien artean bi nabarmentzen dira:

a) **Zelulosaren karbonizazioa**. Zelulosa $(C_6H_{10}O_5)_n$, polisakaridoa eta landareen osagai nagusia da.

b) **Ligninaren egituretatik** eratutakoa. Lignina landareen zelulosa-zuntzak lotzen dituen materiala da, eraztunen kondentsazioz eratuta dagoena.

Azken ikerkuntzen arabera, zelulosak biodegradazio azkarra jasaten du, ikatzaren aitzindari nagusia izateko moduan. Ligninak, taninoak, flabonoideak eta, beharbada alkaloideak ere, bakterioen erasoaren aurrean iraunkorragoak dira zelulosa baino. Beraz, litekeena da **ligninak** ikatzen osagai nagusietakoak izatea.

cc BY NC SA

IKATZA

JATORRIA ETA SORRERA

Ikatzaren sorrera-prozesuan bi etapa kontuan har daitezke (1.2 irudia):

1. Etapa biokimikoa edo **turbaren etapa:**

Landare-hondakinak pilatzea eta **turba** eratzea barne hartzen ditu. Mikroorganismoen eraginez, landare-materiak deskonposizio partziala jasan zuen, bai prozesu aerobio zein anaerobioen bidez. Produktu moduan azido humikoak eta azido humikoen gatzak eta, geroago turba lortu ziren.

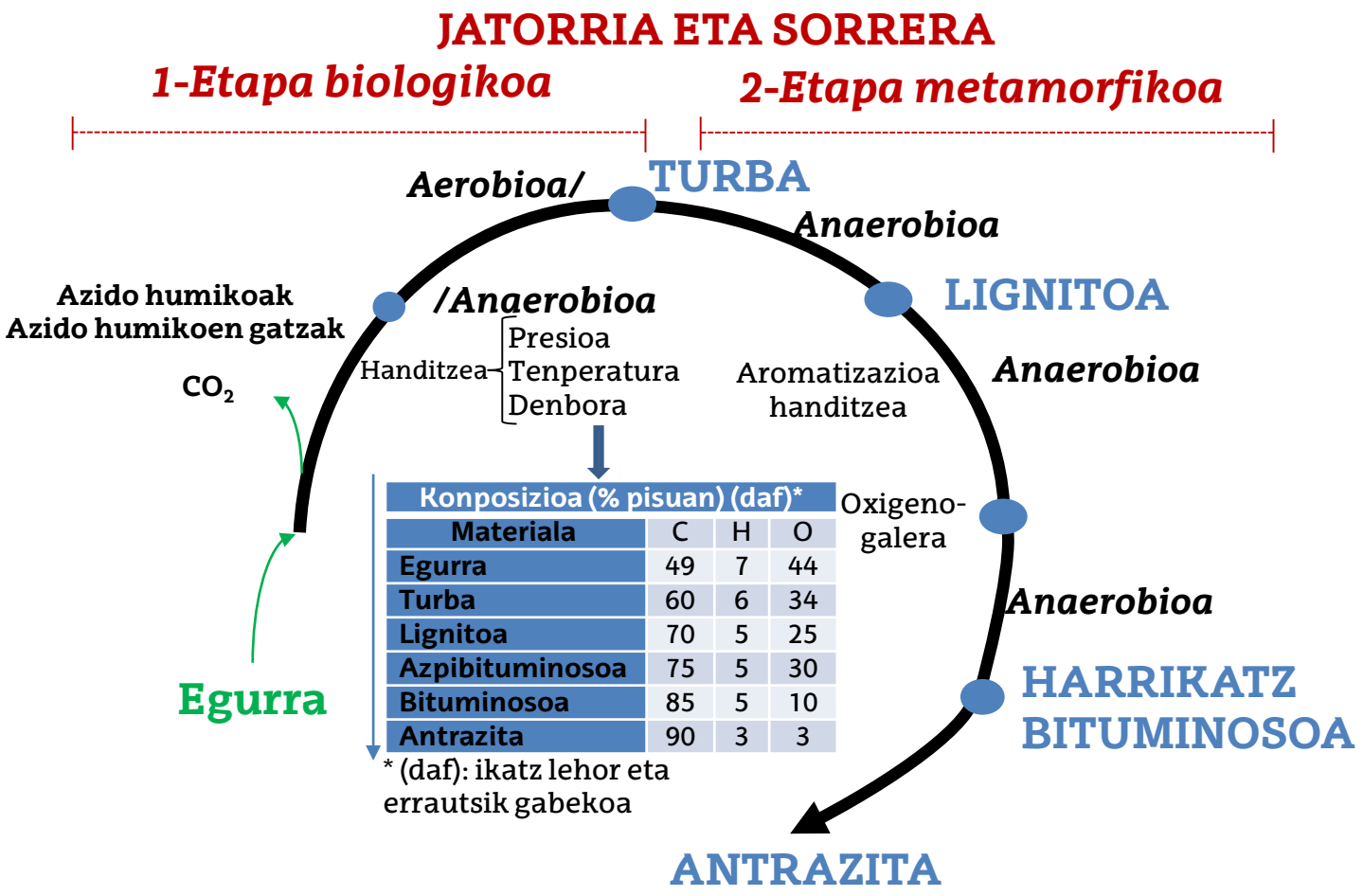
Etapa hau turba sedimentuz estali zenean eten zen. Ondoren, turba trinkotuz joan zen, denbora luzean zehar tenperatura eta presio altuak jasanez.

2. Etapa geokimikoa edo **metamorfikoa:**

Fase honetan turba-biltegiaren heltzea gertatzen da, milioika urteetan zehar hainbat metamorfosi pairatuz eta progresiboki ikatzen seriea sortuz: **lignitoa, harrikatz azpibituminosoa, harrikatz bituminosoa** eta **antrazita**.

cc BY NC SA

IKATZA



1.2 irudia. Ikatzaren sorrera-prozesuaren eskema. Egileek bibliografian oinarrituz egindako irudia (J. G. Speight, 1983)

cc BY NC SA

IKATZA

JATORRIA ETA SORRERA

Ikatzaren heltze-, metamorfosi- edo transformazio-graduari **MAILA** deritzo. Ikatzaren maila hainbat faktoreren menpekoa da, ohantzearen tenperatura, presioa, sakontasuna eta baita askotariko baldintzatan gertatzen diren etapen iraupenaren araberakoa ere. Oro har, zenbat eta tenperatura, presioa, denbora, sakontasuna, eta abar handiagoa izan, ikatzaren maila ere handiagoa da.

*Ikatzaren sorrera-prozesua oso garrantzitsua da, eta bereziki etapa metamorfikoa. Izan ere, ikatzen konposizioa eta bestelako propietateak mailaren edo metamorfosi-graduaren araberakoak dira, 1.2 irudian ikus daitekeen bezala.

cc BY NC SA

IKATZA

IKATZ MOTAK

Mailaren arabera ikatzak mota desberdinetan sailka daitezke:

- **TURBA** → ikatz guztien artean berriena da (era berean, **ikatzaren aitzindari** moduan izendatzen da). Ezpurutasun-gradu altua, hezetasun-eduki altua (% 90era arte), goiko berotze-ahalmen baxua (GBA ‹4000 kcal/kg) eta karbono-eduki txikia (% 50a baino gutxiago) ditu. Interes txikikoa da industrian; erregai pobre modura erabiltzen da.
- **LIGNITOA** → metamorfosi gutxien jasan duen ikatza da. Ezpurutasun-gradu altua du, GBA txikia (≈ 5000 kcal/kg) eta bitarteko hezetasun-edukia (≈ % 30-70). Zentral termikoetan erabiltzen da, energia elektrikoa ekoizteko eta destilazio lehorraren bitartez azpiprodukuak lortzeko. Lignitoak ondoko multzoetan taldekatu daitezke:
  - Lignito nabarrak: lur-antzeko ikatzak, nabar ilun kolorekoak.
  - Lignito beltzak: ikatz gogorrak, beltz distiratsu kolorekoak.

cc BY NC SA

IKATZA

IKATZ MOTAK

- **HARRIKATZA** → ezpurutasun-eduki desberdineko ikatz anitz biltzen ditu, goiko bero-ahalmen (GBA › 7000 kcal/kg) eta karbono-eduki altukoak (≈ % 85). Garrantzia ekonomiko handiena duen ikatza da. Gaur egun zentral termikoetan eta metalen galdaketan (siderurgian) erabiltzen da. Harrikatzaren destilazio lehorraren bidez amoniakoa, alkaterna eta koke-ikatza lortzen dira; azken hau oso erabilia industrian, labe garaietan. Harrikatzak ondoko taldeetan sailka daitezke:
  - Harrikatz azpibituminosoak: maila txikieneko harrikatzak.
  - Harrikatz bituminosoak: maila handieneko harrikatzak.
- **ANTRAZITA** → ikatzen artean zaharrena edo maila altuenekoa. Haren karbono-edukia % 90a baino altuagoa da, ezpurutasun-eduki txikikoa da eta ikatzen artean GBA altuena (GBA › 8000 kcal/kg) duena da. Antrazitaren materia lurrunkorren edukia oso txikia da eta haren errekuntza oso garbia da. Gaur egun zentral termikoetan erabiltzen da.

cc BY NC SA

IKATZA

IKATZ MOTAK

Antrazitak, halaber, mailaren arabera sailka daitezke:

- Semiantrazita
- Antrazita
- Metaantrazita

1.3 irudian (a-d) ikatz moten itxura, mailaren arabera, ikus daiteke:

a)

b)

c)

d)

1.3 irudia a) Turba (Beatrice Murch-ek argitaratua, Flickr-en CC BY-SA 2.0 lizentziapean argitaratua [2]), b) Lignitoa (Emilian Robert Vico-k Wikimedia-n CC BY 2.0 lizentziapean [3]), c) Harrikatz bituminosoa (Chris73-ek Wikimedian argitaratua, EEBB-etan domeinu publikokoa [4]) d) Antrazita (Amycyrus-k Wikimedian argitaratuta, CC BY 4.0 lizentziapean [5]

CC BY NC SA

IKATZA

EGITURA ETA KONPOSIZIOA

Ikatza, substantzia naturalen artean, oso gutxi ezagutzen den substantzia bat da, egitura organiko konplexuari, konposizioari eta jasan ditzakeen erreakzio kimikoei dagokienez. Izan ere, haren sorreran hainbat aldagaik parte hartzen dutelako.

Ikatza arroka moduan defini daiteke, zati organiko batez (karbonodun makromolekula organikoak, mazeralak deiturikoak) eta beste zati inorganiko batez eratutako nahaste konplexua hain zuzen ere.

Zati organikoak C, H eta O ditu elementu nagusi eta basiko moduan eta N eta S gutxiengoan dauden osagai moduan.

*Egitura*ri dagokionez, karbono- eta hidrogeno-atomo gehienek egitura aromatiko eta hidroaromatikoak eratzen dituzte. Egitura horiei kate parafinikoak, talde funtzional oxigenatuak edo nitrogenatuak, heteroziklo batzuk, eta abar lotzen zaizkie.

cc BY NC SA

IKATZA

EGITURA ETA KONPOSIZIOA

Ikatzaren makromolekula organikoak ez dira errepikatzen diren unitate monomerikoak. Hori dela eta, ikatza era argiago batean deskribatzeko parametro batzuk erabiltzen dira, besteak beste:

- Ikatzaren aromatikotasuna.- Eraztun monoaromatiko eta diaromatikoak nagusitzen dira. Oso kondentsaturik dauden eraztunak ez dira nabarmenak. Litekeena da ikatzaren kondentsazio-gradua haren konbertsioan gertatutako prozesuen emaitza izatea.

  Ikatzaren aromatikotasuna ikatz batzuetatik besteetara aldatzen da eta, oro har, ikatzaren maila txikiagoa den heinean txikiagotzen da.

- Talde funtzionalak eta heteroatomoak.- Talde funtzional nagusiak hurrengoak osagai moduan dituztenak dira:

  O: fenolak eta alkoholak, karbonilo-taldeak, azido karboxilikoak eta eterrak.

cc BY NC SA

IKATZA

EGITURA ETA KONPOSIZIOA

S:

- inorganikoa: FeS_2 eta sulfatoak, uraren edo lurzoruaren gatz mineralenak
- organikoa: tiolak, sulfuroak, heterozikloak → Hasierako materia organikoa / Heltze-prozesuan gehitutakoa
- elementala

S elementuaren kantitatea tokian tokiko ikatzen artean nabarmenki aldatzen da.

N: aminak, amidak, eraztun heteroziklikoak, hasierako landare-materiatik eratorriak (proteina begetalak, alkaloideak, etab.). Nitrogenoa izaera organikoa duten konbinazioetan loturik dago. Hortaz, ikatz desberdinen arteko N elementuaren edukiaren aldaketa txikia izatea.

Funtzionaltasuna ikatz batzuetatik besteetara aldatzen da. Oro har, funtzionaltasuna maila txikitzean handitzen da.

cc BY NC SA

IKATZA

EGITURA ETA KONPOSIZIOA

Zati **inorganikoa**ri dagokionez, mineralak materia organikoarekin nahasturik daude eta gehienez ikatzean izan dezakeen proportzioa pisutan % 50a da. Haren jatorria, substantzia mineral desberdinei zor zaie: meatokikoak, ikatzari sorrera-prozesuan erantsitakoak edo jatorrizko landare-materian zeudenak.

Ikatzaren elementu guztiak, C, H, O, N eta S salbu, izaera inorganikotzat hartzen dira, konposatu organometalikoak, kelatoak eta adsorbaturiko espezieak barne. Kontuan hartu beharra dago C, H, O eta S karbonato, hidratazio-ur eta sulfuro moduan ere ager daitezkeela.

Materia mineralaren edukia determinatzeko metodoak: **X-izpien difrakzioa, espektroskopia infragorria, metodo mikroskopikoak,** eta abar.

cc BY NC SA

IKATZA

EGITURA ETA KONPOSIZIOA

1.1 taulan ikatzaren ohiko mineralak biltzen dira:

1.1 taula. Ikatzaren osagai diren mineralak. Egileek prestatutakoa

MINERALA	ADIBIDEAK
SILIKATOAK	montmorillonita, illita, kaolinita, muskobita, etab.
OXIDOAK	kuartzoa, hematiteak
SULFUROAK	pirita, markasita
SULFATOAK	anhidrita, igeltsua, jarosita, etab.
KARBONATOAK	kaltzita, siderita, dolomita, etab.

cc BY NC SA

IKATZA

KARAKTERIZAZIOA

Ikatz bat karakterizatzeko, beharrezkoa da laginak ahalik eta adierazgarrienak eta homogeneoenak izatea. Karakterizazioak zenbait analisi mota barne hatzen ditu:

- BEREHALAKO ANALISIA
- ANALISI ELEMENTALA
- MAZERALEN ANALISIA
- BEROTZE-AHALMENAREN DETERMINAZIOA

1.4 irudian mazeralen analisia egiteko mikroskopio petrografiko bat erakusten da.

1.4 irudia. Mazeralen analisirako mikroskopio petrografikoa. Wikimedian argitaratutako argazkia, domeinu publikokoa EEBB-etan [6]

cc BY NC SA

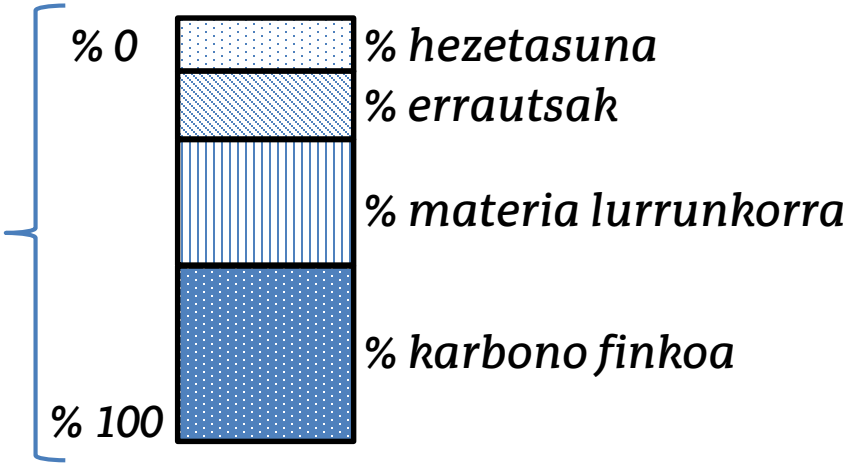
IKATZA

KARAKTERIZAZIOA

- **BEREHALAKO ANALISIA** → ikatzaren destilazio suntsikorrean lortutako produktuen banaketari dagokio.

  1.5. eta 1.6. Irudietan berehalako analisiaren eskema bat ikus daiteke:

1.5 irudia. Ikatz-lagina. Egileen argazkia



1.6 irudia. Berehalako analisia. Egileek prestatutako irudia

cc BY NC SA

IKATZA

KARAKTERIZAZIOA

- **BEREHALAKO ANALISIA - HEZETASUNA**

  Hiru hezetasun mota desberdindu daitezke:

  – **Hezetasun librea edo gainazalekoa:**
    - ✓ Meatze barnean ikatzarekin kontaktuan dagoen ura.
    - ✓ Garbiketa- eta kontzentrazio-prozesuetan bereganatutako ura.
    - ✓ Ikatzaren garraio eta biltegiratzean bereganatutako ura.

  – **Hezetasun atxikia edo higroskopikoa:**
    - ✓ Ikatzak haren gainazalean xurgatutako ura, poroetan hain zuzen ere.

  – **Hezetasun totala:**
    - ✓ Hezetasun librea edo gainazalekoa + hezetasun atxikia edo higroskopikoa.

cc BY NC SA

IKATZA

KARAKTERIZAZIOA

- **BEREHALAKO ANALISIA - ERRAUTSAK**

  Errekuntzaren ostean geratzen den hondakin inorganiko erregaitza:

$$\text{IKATZA} + \text{Q} \xrightarrow[700\text{-}950\ ^\circ\text{C}]{O_2} \text{HONDAKIN SOLIDOA (ERRAUTSAK)}$$

≈ *MATERIA MINERALETIK (MM) eratorria*

Errautsak kuantifikatzea aldatu gabeko materia minerala kuantifikatzea baino errazagoa da. Izan ere, azken prozedura hau neketsua eta zaila da. Beraz, ikatzaren datu bereizgarri moduan errautsena erabili ohi da, materia mineralaren edukiaren gutxi gorabeherako ustezko balioa adierazten baitu. Errautsen edukitik abiatuz materia minerala kalkulatzeko formulak daude. Horien artean, erabiliena Parr formula da:

$$\text{MM (\%)} = 1{,}08 \cdot A + 0{,}55 \cdot S$$

MM: % materia minerala
A: % errautsak
S: % S

CC BY NC SA

IKATZA

KARAKTERIZAZIOA

Ikatzen errautsen kantitateaz gain, horien konposizio eta urgarritasuna determinatzea izaten da beharrezkoa.

- **ERRAUTSEN KONPOSIZIOA**:
  - Ondoko elementuen oxidoak: Si, Al, Fe, Ca eta Mg (nagusiak).
  - Beste elementuen oxidoak: S, Ti, Na eta K (gutxiengo kantitatean).

Esandako elementuak, normalean oxido moduan determinatzen diren arren, errealitatean silikato, oxido eta sulfato nahaste konplexu bat osatzen dute, beste elementuen kantitate txikiekin batera.

Silikatoak materia mineralak dituen arbel eta buztinetatik datoz, kaltzio eta magnesio oxidoak dagozkien karbonatoen deskonposiziotik datoz eta burdin oxidoa nagusiki piritaren errekuntzatik dator. Sulfatoen jatorria sufre oxidoaren, oxigenoaren eta hainbat baseren arteko erreakzioak dira.

cc BY NC SA

IKATZA

KARAKTERIZAZIOA

- **ERRAUTSEN URGARRITASUNA:**

  Errautsen urgarritasuna, prozesuko tenperaturan, errekuntza-prozesuetan zarakarren formazioarekin erlazionaturik dago besteak beste. Zarakar hauek, errekuntza prozesua aurrera eramateko beharrezkoa den airearen sarbidea oztopa dezakete.

  Errautsen urgarritasuna horien konposizio kimikoaren araberakoa da eta minimoa da alumina silikatoarentzat ($2SiO_2 \cdot Al_2O_3$). Azken konposatu hau oxido basikoekin ordezkatuz gero, burdin oxidoarekin bereziki, errautsen fusio-puntua txikiagotzen da, silikato bikoitzak eratzen baitira.

  Errautsen fusio-tenperaturaren arabera, errautsak errefraktarioak (› 1400 ºC), bitartekoak (1200-1400 ºC) edo urgarriak (‹ 1200 ºC) izan daitezke.

cc BY NC SA

IKATZA

KARAKTERIZAZIOA

- **BEREHALAKO ANALISIA - MATERIA LURRUNKORRA (ML)**

  Ikatz lehorra bortizki aire gabezian berotzean (≈ 900 ºC) askatzen diren ikatzaren osagaiei dagokio.

IKATZA (lehorra) + Q $\xrightarrow[\text{900-1000°C}]{-O_2}$ **MATERIA LURRUNKORRA (ML)**

Pisu konstantea

- Konposatu erregaitzak (CO_2, SO_2, H_2O)
- Konposatu erregaiak (H_2, CO, CH_4, hidrokarburo aromatikoak, alkaterna)

- **BEREHALAKO ANALISIA - KARBONO FINKOA (CF)**

  Karbonodun hondakinari dagokio, errautsak salbu, lurrunkorra ez dena eta errekuntza osteko hondakinean irauten duena. Diferentziaz determinatzen da:

% CF = 100 - % hezetasun totala - % ML – % errautsak

cc BY NC SA

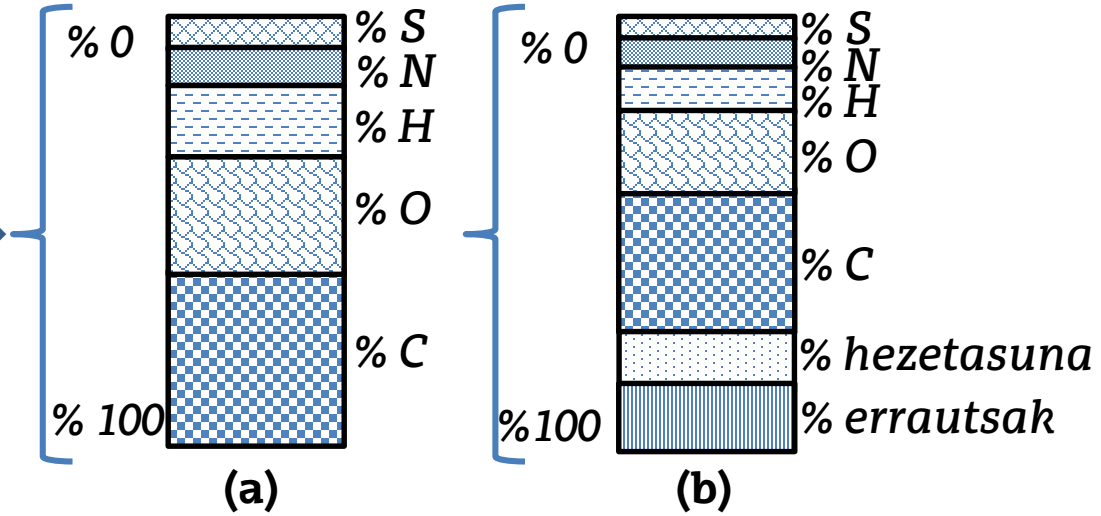
IKATZA

KARAKTERIZAZIOA

- **ANALISI ELEMENTALA** → ikatza osatzen duten elementuen konposizioari (% pisuan) dagokio: C, H, O, N eta S ikatz lehor eta errautsik gabekoan adierazita (1.5 eta 1.7 irudiak).

  Era berean, ikatzaren konposizioari dagokio (% pisuan): C, H, O, N, S, hezetasuna eta errautsak, baina kasu honetan ikatza jaso den moduan adierazita (1.5 eta 1.7 irudiak).

1.5 irudia. Ikatz-lagina. Egileen argazkia



1.7 irudia. Analisi elementala (a) ikatz lehor eta errautsik gabekoan adierazita; (b) ikatza jaso den moduan adierazita. Egileek prestatutako irudia

cc BY NC SA

IKATZA

KARAKTERIZAZIOA

Analisi elementala osatzen duten elementuak, ikatza jaso den moduan adierazita, modu desberdinetan ager daitezke:

- **C:** konposatu organikoak + karbonatoak (mineralak).
- **O:** konposatu organikoak + karbonatoak (mineralak) + ikatzaren konposizio-ura (mineralak).
- **H:** konposatu organikoak + hezetasuna + ikatzaren konposizio-ura (mineralak)
- **N:** konposatu organikoak.
- **S:** konposatu organikoak + pirita/markasita + sulfato inorganikoak.
- **Errautsak:** mineralak.
- **Hezetasuna**

cc BY NC SA

IKATZA

KARAKTERIZAZIOA

- **ANALISI ELEMENTALA - C , H** eta **N**

- **ANALISI ELEMENTALA- S**

  - S organikoa, jatorrizko landare-materiatik datorrena
  - S inorganikoa, haren jatorria ondokoa izanik:
    - Sulfuroak: FeS_2
    - Sulfatoak: $CaSO_4$, Fe_2SO_4

  ⇒ **S totala**

- **ANALISI ELEMENTALA - O**

  Diferentziaz determinatzen da

  % O = 100 - (% C + % H + % N + % S + errautsak + hezetasuna)

cc BY NC SA

IKATZA

KARAKTERIZAZIOA

- **MAZERALEN ANALISIA**

Mazeralak ikatzaren osagai mikroskopikoak, diskretuak eta optikoki homogeneoak dira. 1.2 taulan hauen talde, mota eta ezaugarriak bildu dira:

1.2 taula. Mazeral motak. Egileek prestatutako taula bibliografiako datuetan oinarriturik (J. G. Speight, 1983)

TALDEA	MAZERAL MOTA	JATORRIA ETA EZAUGARRIA
BITRINITA (V)	Kolinita (egitura zelularrik gabekoa)	Egurraren eta azalaren pareta zelularen hezeduraz eta metamorfosiz eratu zen. Kolore laranja argia, iluna eta zeharrargia transmitituriko argian; kolore gris argikoa islaturiko argian.
	Telinita (edonolako egitura zelularra du)	(Kolinita eta telinitaren arteko diferentzia, neurri batean, behaketa egiteko eraren araberakoa da).
EXINITA (liptinita) (E)	Resinita	H-eduki altukoa, landareen erretxina eta argizarietatik eratuta. Kolore laranja du, argitik ilunera transmititutako argian; gris argitik ilunera islaturiko argian.
	Esporinita	H-edukian aberatsa, espora eta polena du jatorri. Horia zeharrargia erreflektantzia txikia denean.
	Cutinita	Kutikuletan (hostoen gaineko materialak) jatorria du. Esporinitak baino kolore argiagoa du.
	Alginita	Alga fosilak.

cc BY NC SA

IKATZA

KARAKTERIZAZIOA

1.2 taula. Mazeral motak. Egileek prestatutako taula bibliografiako datuetan oinarriturik (J. G. Speight, 1983) (jarraipena)

TALDEA	MAZERAL MOTA	JATORRIA ETA EZAUGARRIA
INERTINITA (I)	Makrinita	Egiturarik gabekoa, jatorri ezezagunekoa. Opakua transmitituriko argian, zuria eta erreflektantzia handikoa islaturiko argian.
	Mikrinita	Karbonizazioa gertatu baino lehen mazeratutako landare-materia. Transmitituriko argian distira marroia eta marroi-horixka kolorekoa da, islaturiko argian gris ilun kolorekoa, maila txikiko ikatzetan. Opakua transmitituriko argian eta zuria islaturiko argian, maila handieneko ikatzetan.
	Fusinita	Fosilduriko ikatz begetala, pareta zelularren egitura duena. Oso gogorra da eta fusenoaren osagai nagusia da. Transmitituriko argian opakua da, baina argi erasotzailean zuria eta erreflektantzia handikoa.
	Semifusinita	Fusinitaren eta bitrinitaren bitartekoa, bata zein bestearen ezaugarriak ditu eta bitarteko kolorekoa.
	Esklerotinita	Onddoen hondakinetan du jatorri. Opakua eta erreflektantzia handikoa.

Mazeralen analisia *point-counter* batez egiten da. Puntuak, mikroskopioaz behatu, zenbatzen dira eta % bolumenean (zenbaki osoak) adierazten da.

cc BY NC SA

IKATZA

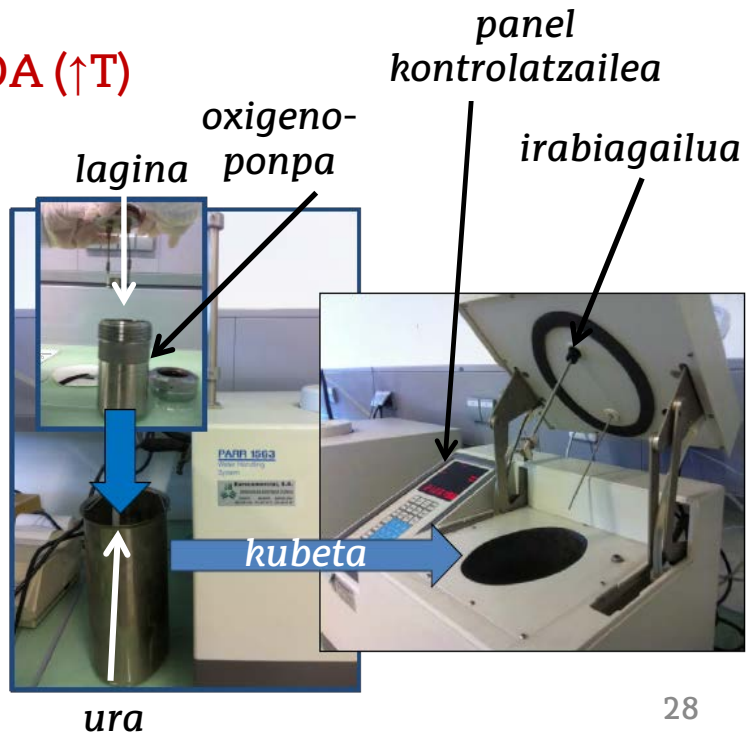
KARAKTERIZAZIOA

- **BEROTZE-AHALMENA** → ikatza erretzean, haren pisu unitateko askaturiko beroari egiten dio erreferentzia.
  - **Goiko berotze-ahalmena (GBA).** Zenbait metodo erabiliz determina daiteke:

    1) **Ponpa kalorimetrikoa** (1.8 irudia)

$$\text{IKATZA} + \text{Q} \xrightarrow[700\text{-}950\ ^\circ\text{C}]{O_2} CO_2\,(g) + H_2O\,(l) + \text{BEROA}\ (\uparrow T)$$

$H_2O\,(l)$ → kondentsazioa → Ur-lurruna → ur likidoa



1.8 irudia. Malher ponpa kalorimetrikoa. Egileen argazkietatik prestatutako irudia

BY NC SA

IKATZA

KARAKTERIZAZIOA

2) Dulong formula, analisi elementalean oinarriturik:

$$GBA = 81\ (\%\ C) + 340\left(\%\ H - \frac{\%\ O}{8}\right) + 22\ (\%\ S) \quad \text{(kcal/kg)}$$

- $\left(\%\ H - \frac{\%\ O}{8}\right)$: H erabilgarria
- % O: ur-molekulan hidrogenoari loturik dagoena
- % N: gas inertea
- * % C, % H, % S: ehunekoak ikatz "lehorrean"

3) Goutal formula, berehalako analisian oinarriturik:

$$GBA = 82\ (CF) + a \cdot (ML) \quad \text{(kcal/kg)}$$

* ML eta CF "ikatz lehorrean eta errautsik gabekoa", "a" koefizientea (1.3 taula)

1.3 taula. "a" koefizientearen balioak materia lurrunkorraren arabera (A. Vian Ortuño, 1994)

ML	5	10	15	20	25	30	35	40
a	145	130	117	109	103	98	94	80

cc BY NC SA

IKATZA

KARAKTERIZAZIOA

- **Beheko berotze-ahalmena (BBA):**

$$\text{IKATZA} + Q \xrightarrow[700\text{-}950\ ^\circ C]{O_2} CO_2\ (g) + H_2O\ (v) + \text{BEROA}\ (\uparrow T)$$

$$BBA = GBA - \lambda_{\text{kondentsazio}} \cdot \frac{9[H]+w}{100} \quad (\text{kcal/kg})$$

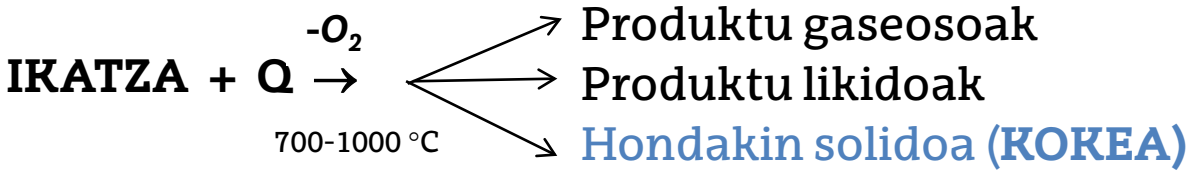
- $[H]$: % H ikatzan
- w: % w (hezetasuna) ikatzan
- $\lambda_{\text{kondentsazio}}$: 584 kcal/kg ur-lurrun (25 °C) (Collieu eta Powney, 1977)
- $\frac{9[H]+w}{100}$: kg ur-lurrun/kg ikatz

cc BY NC SA

IKATZA

KARAKTERIZAZIOA

- **PROPIETATE KOKIZATZAILEAK (AGLOMERATZAILEAK)** → ikatza **airerik gabe** berotzean, honek maila handiagoan edo txikiagoan urtzeko gaitasuna du. Esandako gaitasunetik eratorriak diren propietateei ikatzaren propietate kokizatzaileak deritze.



Propietate kokizatzaileak ikatzaren mailaren araberakoak dira eta horiek determinatzeko laborategian saiakuntza batzuk egin behar dira. Emaitzek propietate kokizatzaileei buruzko informazioa ematen dute. Horiek determinatzeko saiakuntza, besteak beste, ondokoak dira:

- Arragoaren puzte-indizea
- Roga indizea
- Gieseler plastimetroa
- Arnu dilatometroa
- Gray-King saiakuntza

cc BY NC SA

IKATZA

KARAKTERIZAZIOA

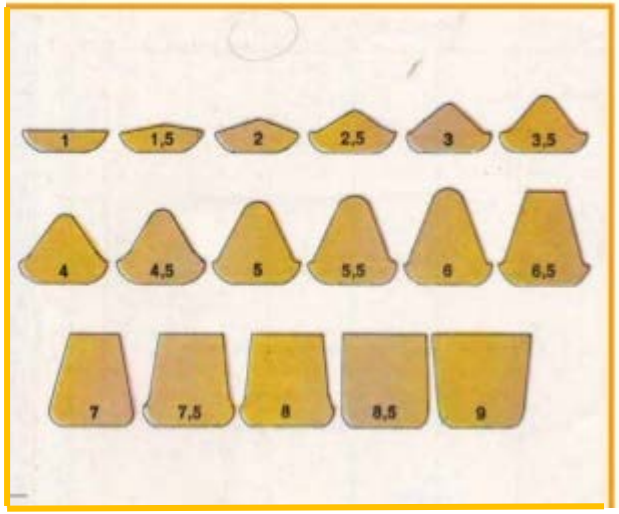
- **PROPIETATE KOKIZATZAILEAK (AGLOMERATZAILEAK)**

ARRAGOAREN PUZTE-INDIZEA - ikatzak, baldintza estandarizatuetan **airerik gabe** berotzean, jasaten duen bolumen-gehikuntzaren neurriari dagokio:

Ikatz lehor eta birrindua + Q $\xrightarrow{-O_2}$ **HONDAKIN SOLIDOA (KOKEA)**

Saiakuntza ondoren hondakin solidoaren botoi batzuk (kokea) lortzen dira. Horien itxura eta profila botoi estandar batzuekin konparatzen da, 1-9 bitarteko balioekin sailkatzen direnak (1.9 irudia). Azkenik, antzekotasun handieneko zenbakia esleitzen zaio.

7,5-8 balioek ikatza koke ona lortzeko egokia dela adierazten dute (propietate aglomeratzaile onak)



1.9 irudia. Arragoaren puzte-indizearen saiakuntza. Alejandro Requena-ren eskematik moldatua (25. diapositiba), CC BY-NC-SA-4.0 lizentziapean [7]

IKATZA

KARAKTERIZAZIOA

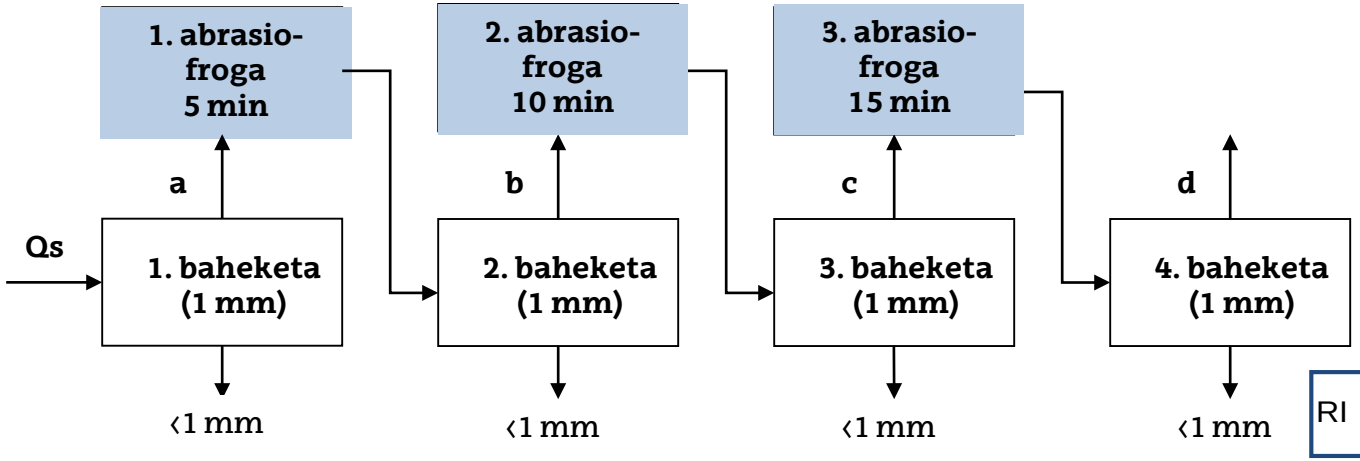
- **PROPIETATE KOKIZATZAILEAK (AGLUTINATZAILEAK)**

ROGA INDIZEA (RI). Zenbait herrialdeetan saiakuntza hau erabiltzen da (aglutinazio-froga):

Ikatz lehor eta birrindua + Antrazita + Q $\xrightarrow{-O_2}$ HONDAKIN SOLIDOA (Qs)

Baheketa: saredun bahe batean zehar (1 mm)
Abrasio-froga: danbor biratzailea

(1.10 irudia)



$$RI = \frac{1/2\,(a + d) + b + c}{3 \cdot Qs} \cdot 100$$

1.10 irudia. Roga indizearen saiakuntzaren eskema. Egileek prestatutako irudia

(RI-ren balioak: 0-70)

Balio altuek ikatzak propietate aglutinatzaile onak dituela adierazten dute

cc BY NC SA

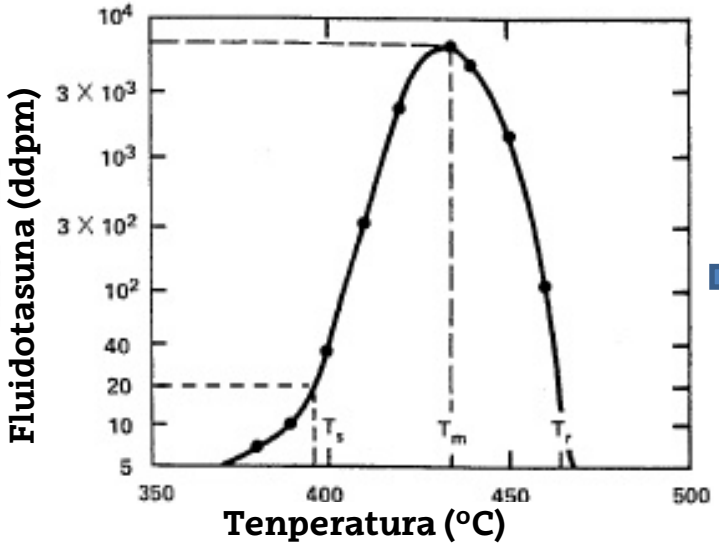
IKATZA

KARAKTERIZAZIOA

- **PROPIETATE KOKIZATZAILEAK (AGLOMERATZAILEAK)**

GIESELER PLASTIMETROA. Paletadun irabiagailu baten abiadura-aldaketek sortzen duten fluidotasun maila determinatzeko. Irabiagailua, labe batean **airerik gabe** berotzen den ikatz-lagin batean sarturik dago.

Ikatz lehor eta birrindua + Q $\xrightarrow{-O_2}$ HONDAKIN SOLIDOA



1.11 irudian lortutako kurbaren eta datuen adibide bat ikus daiteke

T_s: biguntze-tenperatura
T_m: fluidotasun maximoaren tenperatura
T_r: birsolidotze-tenperatura
T_r-T_s: fluidotasun-tartea

** Paletak biratzen hasten dira, edo behin betiko gelditzen dira 10 ddpm (dial zatiketa minutuko, ingelesez: dial divisions per minute) abiadura lortzen dutenean*

1.11 irudia. Gieseler plastimetroan lortutako kurbaren adibidea. Alejandro Requenaren eskematik moldatuta (27. diapositiba) CC BY-NC-SA-4.0 lizentziapean [7]

CC BY NC SA

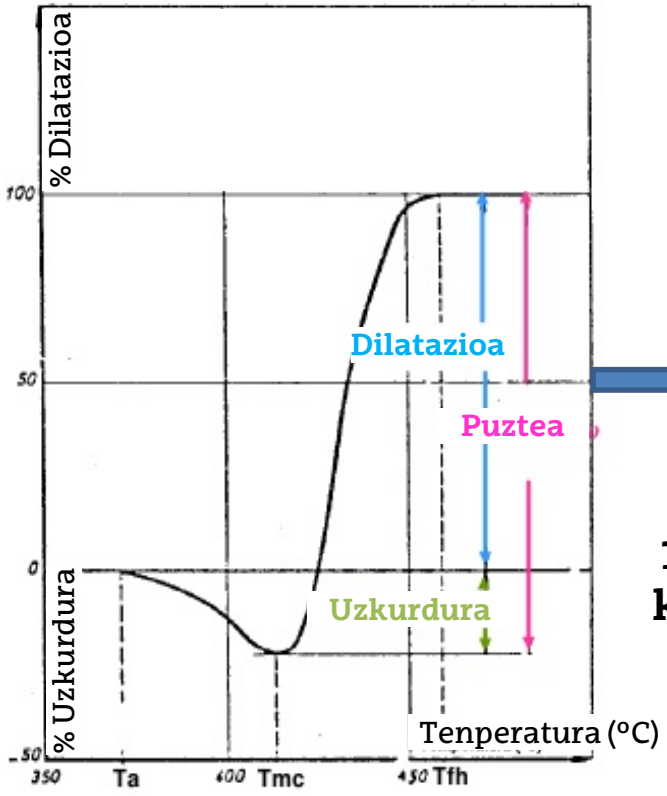
IKATZA

KARAKTERIZAZIOA

- **PROPIETATE KOKIZATZAILEAK (AGLOMERATZAILEAK)**

ARNU DILATOMETROA. Ikatzak tarte plastikoak jasaten dituen bolumen-aldaketak determinatzeko, airerik gabe berotzen den heinean.

Ikatz lehor eta birrindua (arkatza L= 60 mm, D=6,5 mm) **+ Q** $\xrightarrow{-O_2}$ **HONDAKIN SOLIDOA**



1.12 irudian lortutako kurbaren eta datuen adibide bat ikus daiteke.

T_a: biguntze-tenperatura
T_{mc}: uzkurdura maximoko tenperatura
T_{fh}: puzte bukaerako tenperatura

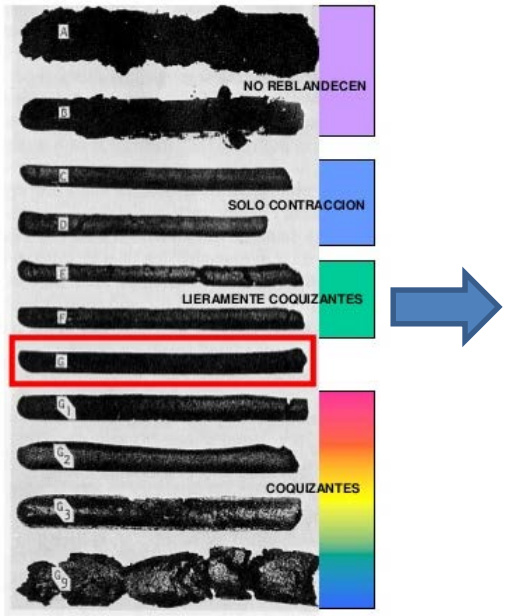
1.12 irudia. Arnu dilatometroan lortutako kurbaren adibidea. Alejandro Requenaren eskematik moldatuta (28. diapositiba) CC BY-NC-SA-4.0 lizentziapean [7]

IKATZA

KARAKTERIZAZIOA

- **PROPIETATE KOKIZATZAILEAK (AGLUTINATZAILEAK).-**
  GRAY-KING SAIAKUNTZA. Ikatz baten ahalmen kokizatzailea neurtzen du (aglutinazio-froga).

Ikatz lehor eta birrindua (kuartzo-hodia L= 150 mm, D=23 mm) **+ Q** $\xrightarrow{-O_2}$ **HONDAKIN SOLIDOA**



Saiakuntza ondoren, eratutako koke-barratxoa ateratzen da. Barratxoaren luzera eta itxura letra desberdinekin identifikatzen diren patroiekin konparatzen dira (1.13 irudia). Antzekotasun handiena duen kokearen letra esleitzen zaio. Barratxoaren luzera › 150 mm bada, saiakuntza errepikatzen da, ikatzari aldez aurretik eta proportzio egokian, substantzia inerte bat gehituz, (kokearen "x" parte, ikatzaren "20-x" parte). Horrela lortutako barratxoa G patroiaren (koke mota) antzekoa izango da.

Kokeari gehitutako "x" proportzioaren arabera ≈ G mota → (Gray-King saiakuntza G_x mota)

1.13 irudia. Gray-King saiakuntza. Alejandro Requenaren eskematik moldatuta (31. diapositiba) CC BY-NC-SA-4.0 lizentziapean [7]

cc BY NC SA

IKATZA

IKATZAREN SAILKAPENA

1.14 irudia. Karakterizazioaren emaitzak adierazteko ikatzaren erreferentzia-oinarriak. Egileek prestatutako irudia

cc BY NC SA

IKATZA

IKATZAREN SAILKAPENA

Existitzen diren ikatzen aniztasuna, ikatz bakoitzaren propietate eta konposizio desberdinak direla eta, ezinbestekoa da ikatzak izendatzeko eta sailkatzeko prozedura bat zehaztea. Hortaz, ikatz bakoitzaren ezaugarriak eta portaera ezarri eta jatorri desberdineko ikatzak alderatu daitezke. Sailkapenen **helburua** ikatz desberdinak modu logiko batean ordenatzea da, erabilgarria den parametroren baten arabera.

Ikatzak sailkatzeko zenbait metodo garatu dira, parametro desberdinen arabera, hala nola:

- Maila (1.1. atalean ikusi den bezala),
- Analisi elementala (dmmf) Seyler sailkapena,
- Materia lurrunkorraren edukia, ML (dmmf) eta goiko berotze-ahalmena, GBA (mmf) ASTM D388 sailkapena*,
- Materia lurrunkorraren edukia, ML (daf), goiko berotze-ahalmena, GBA (daf) eta beste zenbait propietate Nazioarteko sailkapena*,

*Ikus jarduera praktikoak.

cc BY NC SA

IKATZAREN GARRAIOA

Ikatza era desberdinetan garraia daiteke, bai meatzean bertan eta baita kontsumitzailearengana heldu arte:

Zinta garraiatzaileak: ikatza erauzi den tokitik, meatzean bertan, xehatze-, birrintze- edo garbiketa-instalazioetaraino garraiatzeko erabiliak (1.15 irudia).

"Slurry" moduko hodiak: gaur egun ez dira erabiltzen, baina lehen *slurry* edo ikatz-lohia (birrindutako ikatza + ura) garraiatzeko maiz erabiltzen ziren.

Kamioiak: txiki samarrak diren tarteetan ikatza garraiatzeko erabiliak, bai meatzean bertan zein meatzetik biltegiratze-tokietara edo kontsumitzailearengana (1.16 irudia).

1.15 irudia. Ikatzaren garraioa *slurry* moduko hodietan (Arizona, EEBB). Flickr webgunean CC0 lizentziapean argitaratutako argazkia [8]

1.16 irudia. Kamioiaren bidezko ikatzaren garraioa. Pxhere webgunean CC0 lizentziapean argitaratutako argazkia [9]

cc BY NC SA

IKATZAREN GARRAIOA

Distantzia luzeagoetan, trenbide bidezko garraioa (1.17 irudia) eta baita itsasoko garraioa ere (1.18 irudia) erabiltzen dira: gabarrak eta itsasontziak

Trena: lurreko garraiobidetatik, gehien erabiltzen denen artean dago. Estatu Batuetan ikatzaren % 70a trenbidez garraiatzen da.

Itsasontziak: itsasoko garraiorako, distantzia luzeetara ikatza garraiatzeko erabili ohi dira.

1.17 irudia. Ikatzaren garraioa trenbidearen bidez. Pixabay-en argitaratutako argazkia [10]

1.18 irudia. Ikatzaren garraioa gabarraren bidez. Domeinu publikopean argitaratutako argazkia [11]

CC BY NC SA

IKATZAREN GARRAIOA

Ikatzaren garraioa erauzketa-prozesua bera baino garestiagoa izan daiteke. Hori dela eta, **zentral termikoak** kokatzen dira:

a) **Ikatz-meatzetatik gertu**. Adibidez, Asturias eta León inguruko meatze-arroetan (Compostilla II eta La Robla zentralak, biak León probintzian) edo Aragoiko lignito-arroan (Andorra, Teruel).

b) **Kostako kokapenetan,** portuetatik gertu, ikatzaren itsasoko garraioa errazten duelako. Iberiar Penintsularen hegoaldeko eta Levanteko zentralen kasua da (Los Barrios, Cádiz; Carboneras, Almería).

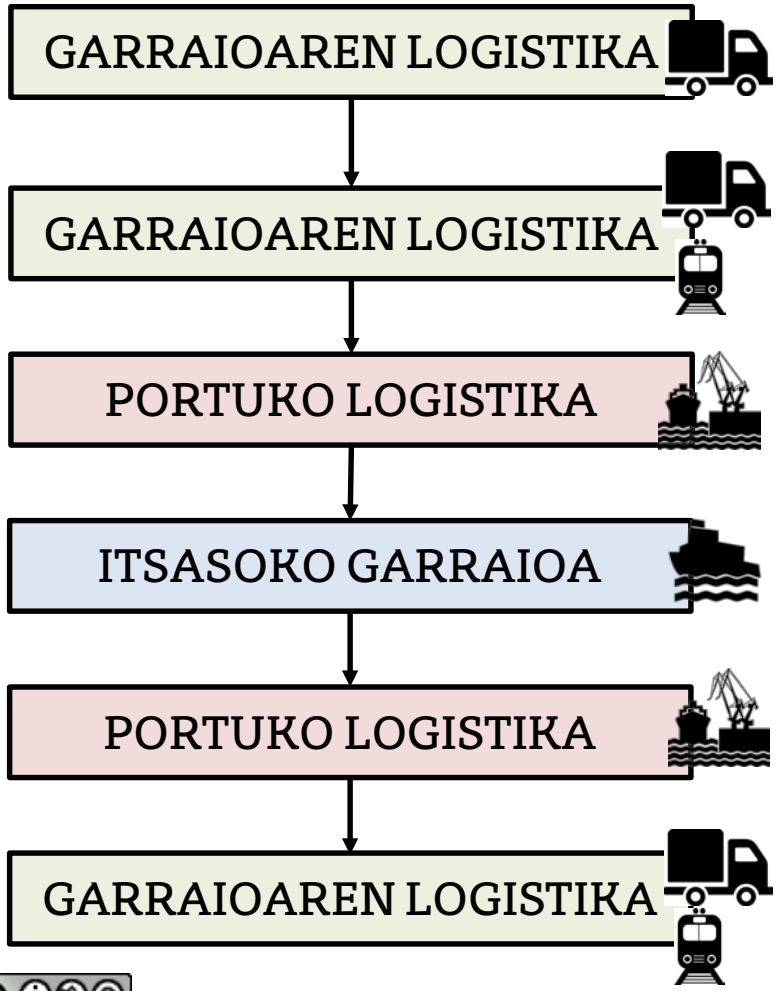
Paradoxikoki, gaur egun espainiar zentral termiko batzuetan kontsumitzen den ikatza, handik milaka kilometrotara erauzten da (1.19 irudia).

1.19 irudia. Ikatzaren zentral termikoa (Andorra, Teruel). Luis Zamora (eldelinux) egileak Flickr-en argitaratutako argazkia CC BY 2.0 lizentziapean [12]

CC BY NC SA

IKATZAREN GARRAIOA

IKATZAREN KATE LOGISTIKOA. Adibidea: ozeanoan zeharreko garraioa



1.20 irudia. Karga-nasa (Belfast, Irlanda). Rennett Stowe-ren argazkia, Wikimedian argitaratua CC BY 2.0 lizentziapean [13]

CC BY NC SA

*Pixabay webgunean eskuragarri dauden bektoreak

IKATZAREN BILTEGIRATZEA

BILTEGIRATZE MOTAK

Ikatza sistema irekietan (aire librean) edo itxietan biltegiratu daiteke.

Biltegiratzea sistema irekietan (aire librean): forma desberdineko (konikoa, luzetarakoa, eraztun-itxurakoa, etab.) pilatan egin daiteke, betiere ikatza aire librean andeatzeko arriskua txikia bada (1.4 taula, abantailak eta desabantailak).

Sistemetan kontuan hartu beharreko faktoreak:

- Drainatze- eta euri-ura batzeko sistemak,
- Fenomeno meteorologikoak: haizea eta euria,
- Hiriguneen, intereseko zonen edo baliabide hidrikoen gertutasuna.

1.4 taula. Ikatza aire librean biltegiratzearen abantailak eta desabantailak

Abantailak	Desabantailak
- Ikatz-bolumen handiak biltegiratu daitezke. - Sistema itxiak baino merkeagoak dira.	- Haizeak eta euriak eragindako higaduraren ondorioz materialaren galerak gerta daitezke. - Partikulek beste materialak/ikatzak kutsatu ditzakete - Ureztatu beharrak sistema garestitu dezake.

cc BY NC SA

IKATZAREN BILTEGIRATZEA

BILTEGIRATZE MOTAK

Biltegiratzea sistema irekietan: sistema mota hauetan (1.21 irudia) ikatzaren errekuntza espontaneoa gertatzeko arriskua handitzen da (1.22 irudia).

1.21 irudia. Ikatzaren biltegiratzea aire librean, pxhere webgunean domeinu publikopean argitaratutakoa [14]

1.22 irudia. Ikatz goria, errekuntza espontaneoaren adierazgarria. Flikr-en domeinu publikopean argitaratutakoa [15]

cc BY NC SA

IKATZAREN BILTEGIRATZEA

BILTEGIRATZE MOTAK

Biltegiratzea sistema itxietan: kalitatearekin edo ingurugiro-arazoekin zerikusia duten arrazoiengatik ikatza aire librean biltegiratzea posiblea ez bada, ikatza sistema itxietan biltegiratzen da. 1.5 taulan sistema itxien abantailak eta desabantailak biltzen dira.

1.5 taula. Ikatza sistema itxietan biltegiratzearen abantailak eta desabantailak

Abantailak	Desabantailak
- Higadurak eta euriak eragindako galerak hobeto kontrolatzen dira. - Ingurumen-inpaktuak minimizatzen dira. - Sistema batzuetan, domoetan esaterako, klimatizazioa erabil daiteke.	- Aire librean egiten den biltegiratzea baino garestiagoa da. - Domoak, siloak eta kalapatxak, normalean, produktu bakarra biltegiratzeko erabil daitezke. - Produktuaren aglomerazioa kontrolatzea beharrezkoa izaten da, bereziki silo eta kalapatxetan.

cc BY NC SA

IKATZAREN BILTEGIRATZEA

BILTEGIRATZE MOTAK

Biltegiratzea sistema itxietan. Biltegiraturiko ikatz-kantitatearen arabera, sistema desberdinak erabiltzen dira:

- Siloak (1.23 irudia) eta kalapatxak: kantitate txiki samarrak, kontsumitu aurretik.
- Domoak (1.24 irudia) eta hangarrak: kantitate handiak.

1.23 irudia. Ikatzaren biltegiratzea siloetan Pixabay webgunean domeinu publikopean argitaratutako iruditik moldatua [16]

1.24 irudia. Biltegiratzea domo batean. Pxhere webgunean argitaratutako argazkia CC BY 2.0 lizentziapean [17]

IKATZAREN BILTEGIRATZEA

IKATZAK BILTEGIRATZEAN JASATEN DITUEN ALDAKETAK

Biltegiratzen den bitartean, bereziki sistema irekietan, airea eta eragile atmosferikoen (haizea eta euria) eraginez, erreakzio exotermikoak gerta daitezke. Hala nola, **oxidazio geldoa** eta **hezetasunaren adsortzioa**.

Aurreko prozesuetan askatutako beroa ez bada egokiro disipatzen, **errekuntza espontaneoa** gerta daiteke, ikatzaren tenperatura haren autopizketa gertatzen den tenperatura kritikora heltzen bada (≈ 50 ºC lignitoak eta harrikatz azpibituminosoa).

Errekuntza espontaneoan eragina duten faktoreak:

- Oxidatzeko joera handiagoa da ikatzaren maila txikiagoa den heinean.
- Errekuntza espontaneoa jasateko sentikortasun handieneko ikatzak, duela gutxi erauzitakoak dira (4-6 aste).
- Errekuntza espontaneoa gertatzen den abiadura tenperaturarekin eta ikatz-partikulen tamainarekin handitzen da.

cc BY NC SA

IKATZAREN BILTEGIRATZEA

IKATZAK BILTEGIRATZEAN JASATEN DITUEN ALDAKETAK

Ikatzaren ezaugarrien bestelako aldaketak:

- Pisua handiagotzea
- O_2-edukia handiagotzea
- Higroskopikotasuna handitzea
- Sutze-tenperatura handiagotzea
- Berotze-ahalmena txikiagotzea
- Hidrogeno-edukia txikiagotzea
- Propietate kokizatzaileak murriztea
- Ikatzaren batezbesteko granulometria txikiagotzea.

cc BY NC SA

IKATZAREN BILTEGIRATZEA

IKATZAK BILTEGIRATZEAN JASATEN DITUEN ALDAKETAK

Pilen berokuntzan eragina duten faktoreak (bereziki sistema irekietan):

1) Biltegiratutako ikatzaren **hezetasun-edukia** orekan dagokiona baino txikiagoa bada, ikatzak hidratazio-ura xurgatzen du (prozesu exotermikoa). Hurrengo kasuetan gerta daiteke:

- Ikatz oso lehorrek, denboraldi lehor eta beroen ostean, euria jasatean.
- Partzialki lehorturiko ikatzaren gainean ikatz hezea botatzen bada.

2) Ikatza hoztu baino azkarrago berotzen denean. Kontaktu-gainazala handia denean gertatzen da, batez ere **granulometria xeheko** ikatzekin.

3) Faktore kimikoak, erreakzio exotermikoak eragiten dituztenak:

- Lignito edo harrikatz gazteen **azido humikoek** oxigenoa erraztasunez finkatzen dute, bero-kantitate handia askatuz.
- Zenbait **bakteriok** bero-guneak sortarazi dezaketen erreakzio biokimikoen aitzindariak dira.
- **Sufrea**ren presentzia, batez ere pirita (FeS_2) moduan, zeinaren oxidazioa exotermikoa den: $2\,FeS_2 + 7\,O_2 + 2\,H_2O \rightarrow 2\,FeSO_4 + 2\,H_2SO_4 + Q$

BY NC SA

IKATZAREN BILTEGIRATZEA

ARAUAK ETA GOMENDIOAK

1) Ikatz-pilen euskarri den **lurzorua** nibelatuta egotea. Gainera, lurzorua sendoa, arrailik gabekoa eta drainatze onekoa izan behar da.

2) Ikatz-pilen altuera egokia izatea, ahalik eta txikiena (1.6 taula):

- Beroa errazago disipatzeko. Izan ere, hutsuneetatik zirkulatzen duten korronteak kontrolatzen dira.
- Pilaren behealdeko ikatz-partikulak zapaltzearen ondorioz zatitzea saihesteko. Partikula hauek partikula txikiagoetan desegiteko joera dute, gaineko partikulen pisua eutsi behar dutelako.

1.6 taula. Ikatz-pilen altueren gomendioak

Materia lurrunkorra (%)	Partikula-tamaina, Encyclopedia Britannica [18]	Pilen altuera (m)
≥ 18	Finak (< 12,5 mm)	< 3,5 m
	Gizenak (≥ 12,5 mm)	< 5 m
< 18	Finak (< 12,5 mm)	< 5 m
	Gizenak (≥ 12,5 mm)	< 6,5 m

cc BY NC SA

IKATZAREN BILTEGIRATZEA

ARAUAK ETA GOMENDIOAK

3) **Tamainaren araberako banaketa naturala saihestea**.

   Partikula-tamaina handieneko zonatan aireztapen-tximiniak eratzen dira, partikula-tamaina txikieneko zonetan, ordea aireztapena urria da.

4) **Denboraldi oso beroetan ez da ikatza metatu behar.** Izan ere, ikatz-piletan gertatzen diren zenbait sute aipatutakoaren ondorio omen dira.

5) **Hezetasun handiko ikatza lehortasun handiagoa duen ikatzarekin ez da metatu behar.**

6) **Ikatz-pilen tenperatura aldizka behatzea** termometroen bidez (termometroen arteko tartea: 2-4 m). Guneren batek 60 ºC-ko tenperatura gainditzen badu, baliteke errekuntza espontaneoa gertatu izatea. Sutea amatatzeko ureztatze-ura erabili ohi da. Ondorioz, ikatzak hezetasun-gradu altua izango du eta neurri egokiak hartu beharko dira oso lehorra den beste ikatz batekin ez nahasteko.

cc BY NC SA

IKATZAREN BILTEGIRATZEA

IKATZAREN BILTEGIRATZE ETA MANEIATZEAREN ONDORIOZKO INGURUMEN-INPAKTUAK

- Partikulen bidezko **kutsadura atmosferikoak** aurkako eraginak sortaraz ditzake arnas-aparatuan. Izan ere, bertako langileriak edo instalazioetatik gertu bizi diren pertsonek partikula horiek arnastu ditzakete.
- **Uraren kutsadura**. Euri-urak ikatz-finak herrestan eraman ditzake, uraren solido totalen, konposatu azidoen eta metal astunen kantitatea handituz.
- **Lurzoruaren kutsadura**, lurzoruaren erabileraren aldaketen ondorioz. Izan ere, ikatza biltegiratzeko azalera handiak behar dira. Noiz behinka, isuriren bat edota lixibiatuen infiltrazioa gerta daiteke.

Efektu hauek minimizatzeko biltegiratze-sistema itxiak erabili ohi dira.

cc BY NC SA