



1. GAIA

INGENIARITZA KIMIKOAREN KONTZEPTUA ETA PRINTZIOAK

GAI HAU IKASTEAN GAITASUN HAUEK LORTU BEHARKO DITUZU:

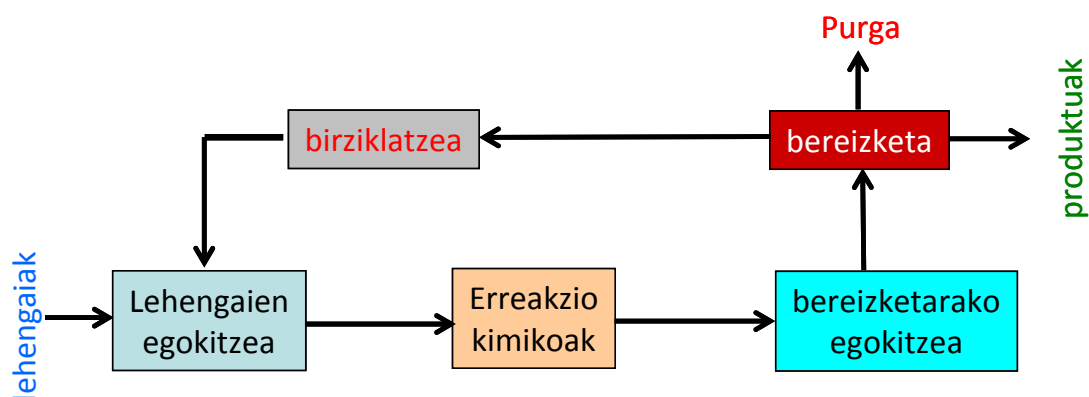
1. Prozesu kimikoen fluxu-diagramak egitea eta interpretatzea.
2. Prozesu kimikoan Oinarrizko eragiketak identifikatzea eta bereiztea.
3. Eragiketa edo prozesua jarraitua, ez-jarraitua ala tartekoa den identifikatzea.
4. Eragiketa edo prozesua geldikorra den ala ez identifikatzea.

Ingeniaritza Kimikoa materiaren egoera fisikoa edo konposizio kimikoa edo eduki energetikoa aldatzen duten prozesu industrialez arduratzen da, AIChEren esanetan ([American Institute of Chemical Engineers](#)). Ingeniari kimikoa, beraz, prozesu horien sorreraz, diseinuaz, saiakuntzez, eskala-aldaketaz, gauzatzeaz eta kontrolaz arduratzen da.

Ingeniaritzaren arlo guztien artean, ingeniaritza kimikoa izan zen lehena, oinarrizko zientziaren, diseinuaren eta fabrikazioaren arteko erlazio sakona ulertu zuena.

1.1 INDUSTRIA-PROZESU KIMIKOA

Industrian, konposatu kimikoak (lehengaiak) beste konposatu kimiko batzuetara (produktuak) eraldatzen dituzten eragiketa fisiko eta kimikoen sekuentzia ordenatuari industria-prozesu kimikoa deritza. Adibidez, [azido nitrikoaren fabrikazioa](#), [petrolio gordinaren zatikatzea](#) edo [ikatzaren gasifikazioa](#) industria-prozesu kimikoak dira. 1.1 irudian instalazio kimiko baten eskema orokorra agertzen da.



1.1 irudia. Instalazio kimiko baten eskema orokorra.

1.1 irudian ikusten den bezala, lehengaiak produktu bihurtzeko, tarteko hainbat eragiketa egiten dira. Lehenik eta behin, erreaktoreko baldintzetara egokitu behar dira lehengaiak, besteak beste, presio, tenperatura, konposizio eta fase egokiak izateko. Horretarako, "lehengaien egokitzea" izeneko eragiketa sortak egin behar dira (konpresoreekin presioa eman, berogailuekin berotu eta abar). Behin lehengaiak egoera egokian egonik, erreaktorea (edo erreaktore sorta) elikatzen da, han prozesu osoko eraldaketa nagusia egiteko: produktuak sortzeko, alegia. Zoritxarrez, erreaktoreetan ez da lehengai guztia bihurtzen; horren ondorioz, bihurtu gabeko lehengaiak, produktuak eta azpiproduktuek osatutako nahastea irteten da erreaktoretik.

Produktua purutasun handikoa nahi bada, nahaste hori bereizi egin behar da. Modu berean, bihurtu ez den lehengai berreskuratu eta berriro prozesura sartzeak, hau da, birziklatzeak onura ekonomikoa dakarkio prozesuari. Hori dela eta, nahastea bereizi aurretik, bereizteko eragiketak egingo diren baldintzetara egokitu behar da. Bereizteko eragiketetan, alde batetik, produktuak lortuko dira (azken burukoak, merkatuan saltzeko); beste aldetik, bihurtu gabeko lehengaiak, birziklatu egingo dena.

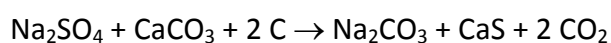
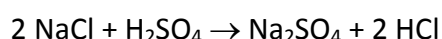
Sarri, lehengaiak ezpurutasunak izaten ditu, biak bereiztea zaila delako. Ezpurutasuna konposatu geldoa edo inerte bada, erreaktorean ez da bihurtzen eta nahastearekin irtengo da. Produktuak bereizteko orduan, ezpurutasunak lehengaiarekin batera daude, baita birziklatze-korrontean ere. Prozesua ezpurutasun geldoz elikatzen ari da, eta ezpurutasunak ez dira inondik kanporatzen: horrela lan egingo balu, prozesuko hodi eta ekipoetan ezpurutasunak metatuko liriateke, eta eragiketa oker gauzatuko litzateke. Hori saihesteko,

purga izeneko garbitze-korronte bat kanporatzen da, bertatik ezpurutasun geldoak kanporatzeko.

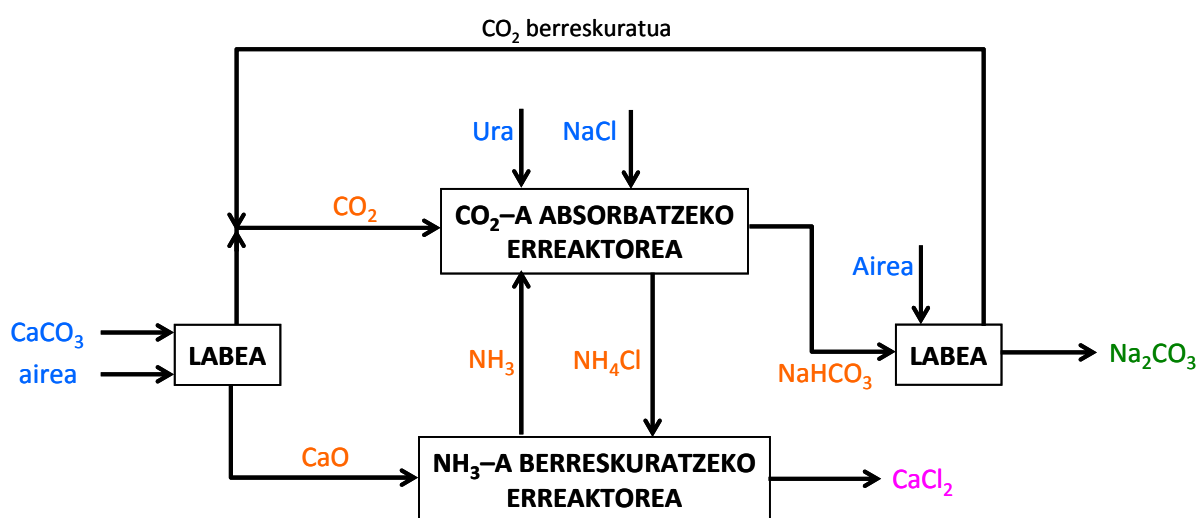
1.2 INDUSTRIA KIMIKOAREN EBOLUZIOA

Industria kimikoaren hasiera zehatza jakitea zaila den arren, jakina da Kristo aurreko 7000. urtean beira egiten zela. Egiptoarrek iragazketa erabiltzen zuten K.a. 200. urtean. Feniziarrek xaboia ekoizten zuten K.a. 500. urtean. Ikusten denez, industria kimikoaren hasiera aspaldikoa da, nahiz eta ezaguera zientifikoak ez ziren aplikatzen hasi XVII. mendera arte. Ezaguera zientifikoaz garatu zen lehen prozesua [Leblanc prozesua](#) izan zen, sodio karbonatoaren ekoizpena, alegia, 1783. urtean patentatua.

Leblanc prozesuak gatza, azido sulfurikoa, ikatza eta kareharria erabiltzen ditu lehengai gisa, eta bi urratsetan gauzatzen da:

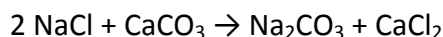


Prozesu horretan lehengai garestiak erabiltzen direnez (azido sulfurikoa) eta, batez ere, HCl kutsatzailea sortzen denez, 1860. urtean asmatutako Solvay prozesuak alboratu egin du.

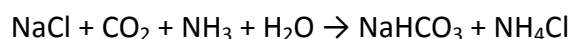


1.2 irudia. Na_2CO_3 -a ekoizteko Solvay prozesuaren bloke-diagrama.

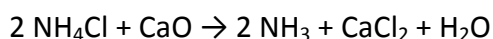
[Solvay prozesuak](#) lehengai merkeak erabiltzen ditu (NaCl eta kareharria), eta prozesu orokorra hau da:



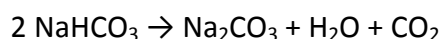
Lehen urratsean, CO_2 gasa (CaCO_3 airean kiskaltzean CaO-rekin batera sortzen dena) gatz-ura eta NH_3 -a ur-disoluzio urtsuan burbuilatzen da, eta sodio bikarbonatoa prezipitatzen da:



Iragaziaz, NH_4Cl -aren ur-disoluziotik NaHCO_3 -a bereizten da. Ur-disoluzioa, kareharria kiskaliz lortzen den CaO-arekin erreazionarazten da, NH_3 sortzeko:



Prozesu horretan sortutako amoniakoa birziklatu egiten da gatz-uretan burbuilatuz. Sodio bikarbonatoa tenperatura baxuan airean lehortu eta kiskali ondoren, sodio bikarbonatoa lortzen da:

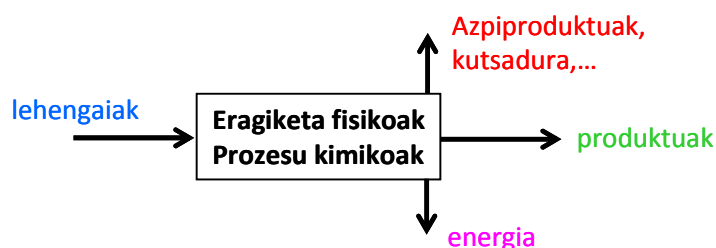


Karbono dioxidoa berreskuratu eta birziklatu egiten da. 1.2 irudian agertzen da prozesuaren fluxu-diagrama. Prozesu horretan kaltzio kloruroa lortzen da sasiproduktu gisa.

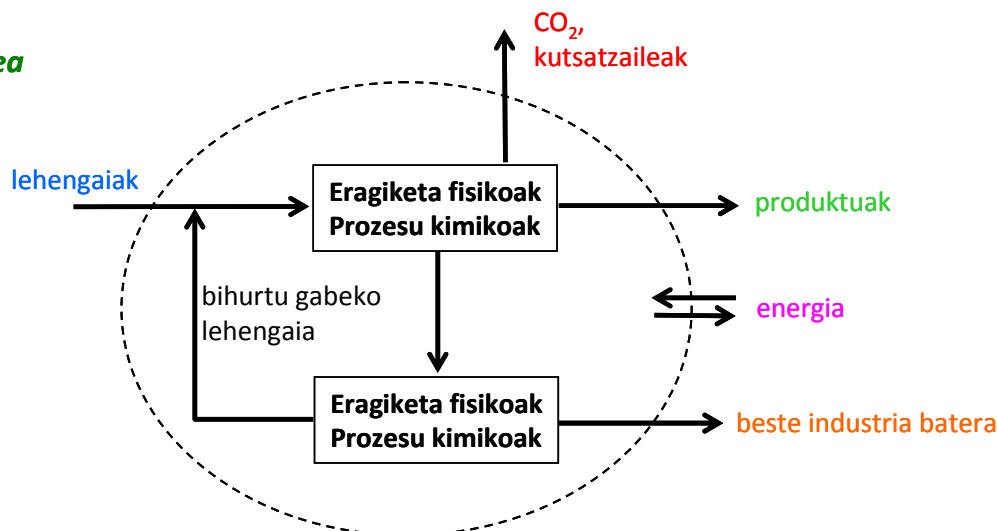
Azken bi mendeetako industria kimikoaren eboluzioak bi ardura nagusi izan ditu, garaien arabera (1.3 irudian): prozesuen eraginkortasuna eta jasangarritasuna, alegia.

XIX. mendearen hasierako industriek ez zuten izan inolako ardurarik azken produktuen ekoizte-prozesuan sor zitezkeen kutsatzaileekin, eta energiaren erabilera mugagabea zuten. Energiaren erabilera ez-eraginkorreko eta kutsadura-maila handiko industriak ziren (Leblanc prozesua, lekuko).

XIX. mendea



XX. mendea



XIX. mendea

CO₂, kutsatzaileak. Sortzea minimizatu, tratatu
Energia beharrak: minimizatu, aprobetxatu

1.3 irudia. Azken bi mendeetako eboluzioa industria kimikoan.

XX. mendeko industria kimikoan, bihurtu gabeko lehengaiak birziklatzeak eta energiaren erabileraren optimizazioak prozesuen eraginkortasun eta errentagarritasun hobea ekarri du. Prozesuan sor daitezkeen azpiproduktuei etekin ekonomikoa ateratzen zaie, beste industria batzuen lehengai gisa salduz. Energiaren erabilera minimizatzeko prozesu eraginkorragoak asmatu dira, eta prozesuko korronteen arteko bero-trukea gauzatzen da. Mende horretako ekonomia petrolioan oinarritu da, lehengai eta erregai gisa erabiltzen baita (gasolinak, lekuko). Industriek erabiltzen duten energia gehiena erregai horien errekuntzaz sortua denez, CO₂-a igortzen da. Gas horren igorpenaren eta Lurraren berokuntza-prozesuaren arteko lotura zuzena ez da XX. mendeko azken aldera arte ikusi.

XX. mendearen amaieran, jasangarritasunaren kontzeptua errotu da gizartean eta prozesu kimikoen berritze eta egokitzean. Garai horretan diseinatu diren prozesu kimikoak,

aurrekoak ez bezala, kutsatzaileen igorpen minimoa dute helburu, eta ahalik eta eskaera energetiko txikienaz dihardute (kutsatzaileak sortzea ekiditea, sortutakoan tratatzea baino onuragarriagoa delako printzipioan oinarrituta). Jasangarritasunean oinarriturik, etekin atomiko handieneko prozesuak diseinatu dira (etekin atomikoa, EA, produktuan dauden lehengaien atomo kantitate gisa definitzen da):

$$EA(\%) = 100 \cdot \frac{\text{helburu-produktuen pisu molekularra}}{\text{produktu guztien pisu molekularra}} \quad (1.1)$$

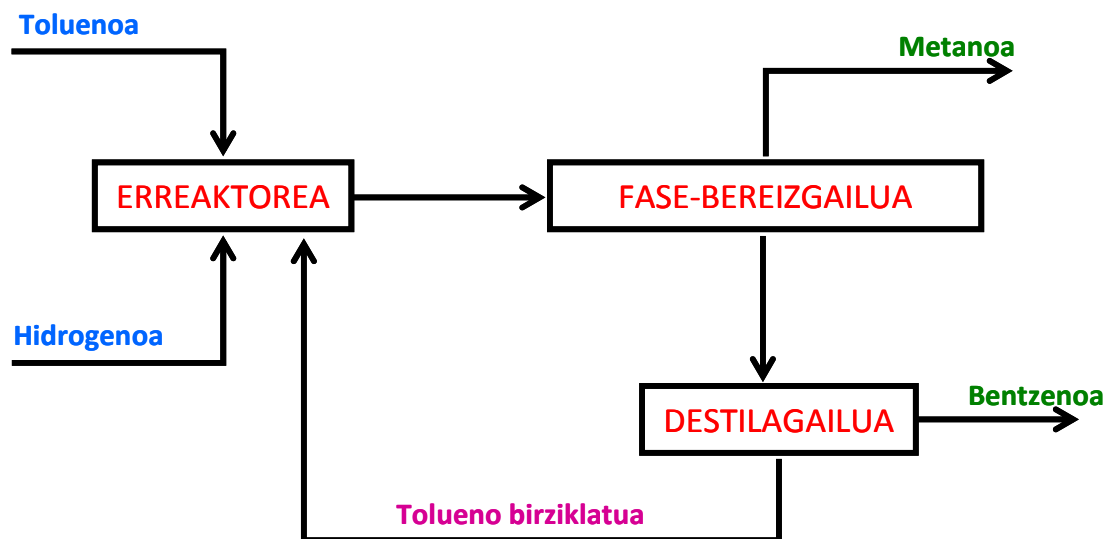
Gaur egun, petrolioan —agortzen ari da— oinarritutako ekonomia hidrogenoan —agortezina eta jasangarria— oinarritutako ekonomia bihurtzeko trantsizio-garaian gaude; betiko prozesu kimikoen ordez, jasangarritasunean oinarritzen diren prozesu berriagoak sortzen ari dira.

1.3 PROZESU KIMIKOEN ADIERAZPEN GRAFIKOA: FLUXU-DIAGRAMAK

Prozesu kimikoak azaltzeko era simple eta eraginkorra fluxu-diagramen bidezkoa da. Diagramen sinpletasunaren arabera, bi motako fluxu-diagramak erabiltzen dira: bloke-diagramak eta prozesu-diagramak. Lehenengoetan, nahitaezko informazioa besterik ez da ematen, prozesuaren funtzionamendua ulertzeko nahikoa dena. Bigarrenak, ordea, prozesuaren xehetasun guztiak emateko erabiltzen dira. Diagramako lerroek, prozesuko materia-fluxua edota energia-fluxua adierazten dute.

1.3.1 Bloke-diagramen bidezko prozesu kimikoen adierazpena

1.4 irudian toluenoaren hidredealkilazio bidezko bentzeno-ekoizpenaren bloke-diagrama azaltzen da. Ikusten denez, ekipo bakoitza bloke edo lauki batean sartzen da, eta prozesuaren adierazpen laburtua besterik ez du ematen.



1.4 irudia. Toluenoaren hidredealkilazioaren bidez bentzenoa ekoizteko prozesuaren prozesu-diagrama.

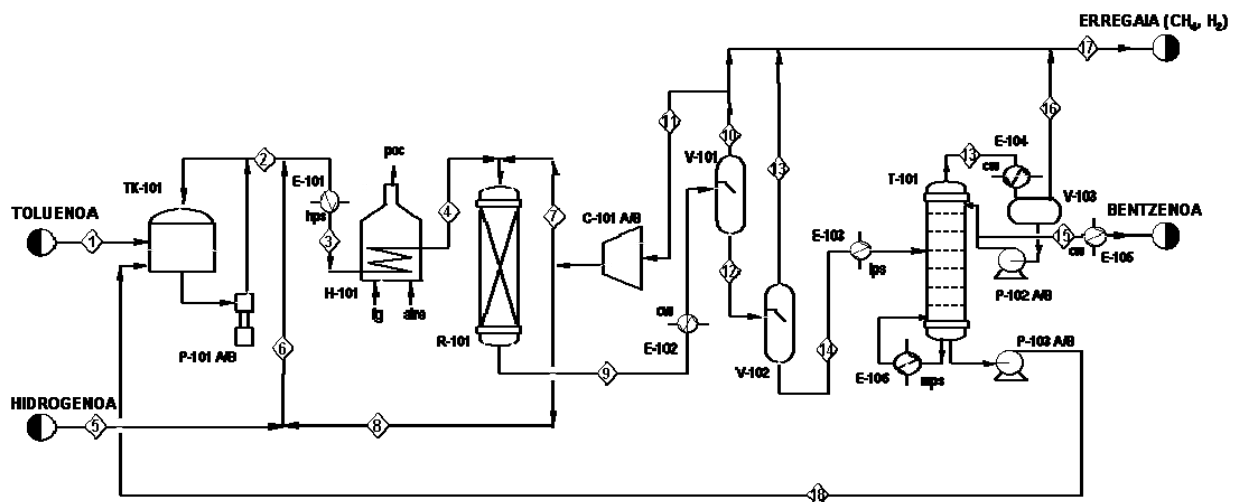
1.4 irudiko bloke-diagramaren arabera, toluenoaren eta hidrogenoaren arteko erreakzioan metanoa eta bentzenoa sortzen dira. Produktuak eta bihurtu gabeko lehengaiak bereizteko, lehenik eta behin, lurrina, (metanoa) eta likidoa (bentzenoa eta toluenoa) bereizten dira. Azken bi horiek destilazioz bereizi ondoren, bihurtu gabeko toluenoa erreaktorera birziklatzen da.

Bloke-diagramak marrazteko arau eta gomendioak:

- Eragiketa edo prozesua lauki batean sartzen da, eta barruan eragiketaren edo ekipoaren izena jarri behar da.
- Instalazioan duten kokapen fisikoa ez da nahitaz jarri behar.
- Korronteen noranzkoa gezienez bitartez adierazten da.
- Geziak horizontalak zein bertikalak dira, inoiz ez makurtuak.
- Gezienez gurutzaketa saihestu behar da (horizontalak du lehentasuna).
- Bereizketa-eragiketetan gutxienez 2 irteera-gezi jarri behar dira.
- Diagramaren noranzko orokorra ezkerretik eskuinera eta goitik beherakoa da, ahal den neurrian (lehengaiak ezkerretik sartzen dira, eta produktuak eskuinetik irtetzen dira).

1.3.2 Prozesu-diagramen bidezko prozesu kimikoen adierazpena

Diagrama hauetan prozesuaren informazio zehatza ematen da. Ekipoak marrazteko, benetako formaren berri ematen duten irudi estandarrak erabiltzen dira. 1.5 irudian azaltzen da bentzenoaren ekoizpena azaltzen duen prozesu-diagrama.



1.5 irudia. Toluenoaren hidrodealkilazioaren bidez bentzenoa ekoizteko prozesuaren prozesu-diagrama.

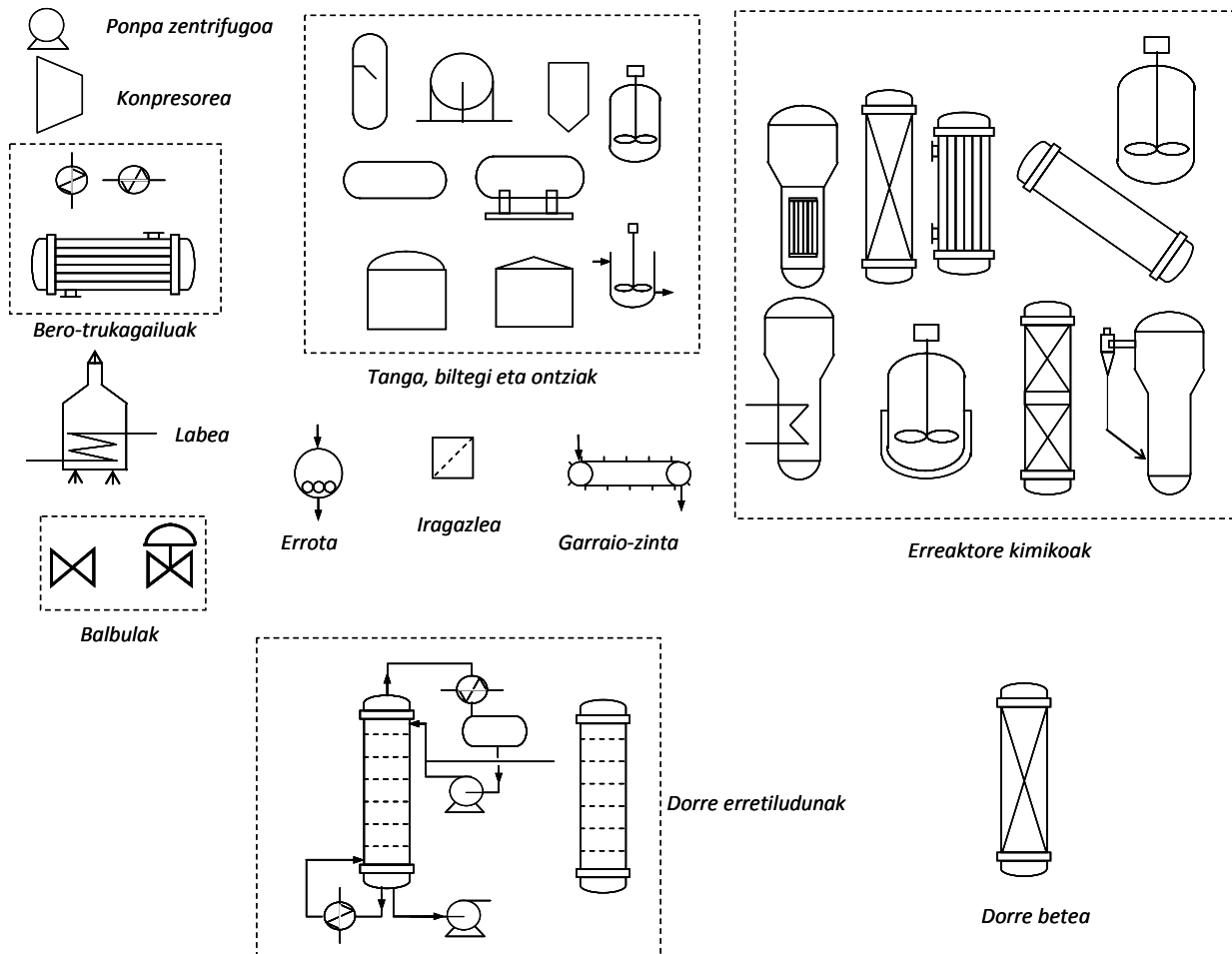
1.5 irudiko prozesu-diagraman, aztertutako prozesuaren xehetasun ugari azaltzen da, bloke-diagraman azaltzen ez direnak. Adibidez, ikusten da fase-bereizketa bi etapatan egiten dela likidoaren eta gasaren bereizketa (hidrogenoa eta metanoa) erabatekoa izan dadin (V-101 eta V-102 ekipoak). Era berean, ikusten da labea behar dela toluenoa berotzeko (H-101 ekipoa) eta destilazioa dorre erretiludunegian egiten dela.

Prozesu-diagramak marrazteko irudi estandarrak 1.6 irudian azaltzen dira. Ekipo horien arteko materia-fluxua gezienez bitartez adierazten da, bloke-diagraman azaldu den bezala.

1.4 OINARRIZKO ERAGIKETAK ETA PROZESUAK

XX. mendea arte ez zen ikusi industria-prozesu kimikoen arteko erlaziorik. H_2SO_4 -aren industria, urearen industria, $NaOH$ -aren industria, gatzaren industria... bakoitza bere aldetik

aztertzen zen, beren artean ezer komunik edukiko ez balute bezala. Ingeniaritza kimikoaren garapenak eta oinarriko zientziaren garapenak industria kimiko gehien eragiketa komunak argitu dituzte. Hala, etanolaren ekoizpenean, petrolio-findegietan, disolbatzaileen ekoizpenean, oxigenoaren ekoizpenean... destilazioa egiten da, eta aipatutako prozesuek lehengai eta produktu guztiz desberdinak erabiltzen dituzte. Ingeniaritza kimikoaren garapenak destilazio-eragiketaren azterketa sistematikoa ekarri du. Berdin gertatu da beste hainbat eragiketarekin: absortzioa, erauzketa, lixibiazioa, iragazketa eta abar.



1.6 irudia. Prozesu-diagraman erabiltzeko irudi estandarrak.

Lehengaiak eta produktuak edozein izanda ere, sistematikoki azter daitezkeen eragiketak **oinarriko eragiketak** dira. **Prozesu kimikoa**, berriz, oinarriko hainbat eragiketaren batuketara eta erresultantea da. Adibidez, Solvay prozesua erreakzio kimikoek, absortzioak, iragazketak, kiskaltzeak..., hots, oinarriko eragiketek osatzen dute. Prozesu kimikoek (beti horrela ez den arren) erreakzio kimikoak izango dituzte. Eragiketa bakoitza ekipo batean gauzatzen denez, prozesua gauzatzeko, hainbat ekipo behar dira, modu egokian lotuta.

1.5 ERAGIKETEN ETA PROZESUEN LAN EGITEKO MODUA

Eragiketek zein prozesuek muturreko bi modutan dihardutenez, honela sailkatzen dira:

(1) Eragiketa edo prozesu jarraitua:

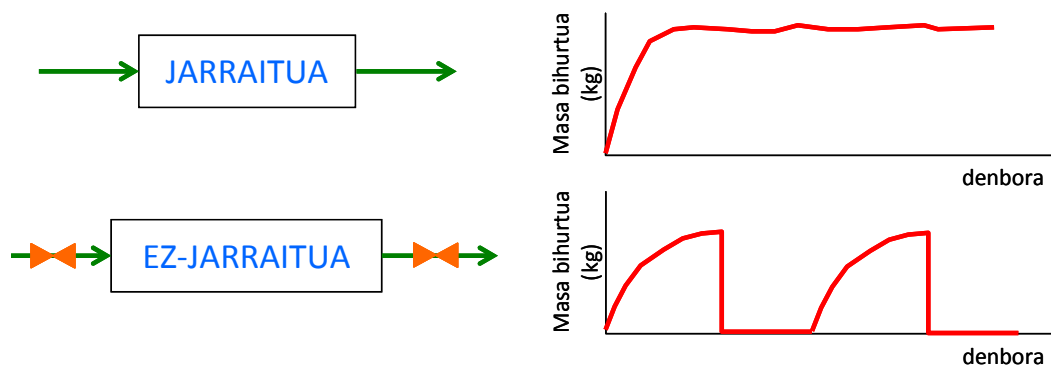
Ekipoa edo prozesua etengabe elikatzen da, eta bihurtutako korrontea etengabe irteten da ekipo edo prozesutik. Denbora guztian ekipoak lanean dihardu. Ekipoaren tamaina elikatzen den emariaren arabera eta eragiketaren abiaduraren arabera da. Azken hori jakitea

ezinbestekoa da ekipoen diseinua egiteko orduan. Aurrerago datozen gaitan, eragiketen abiadura jakiteko oinarriak azalduko dira, gehienak lege zinetikoetan oinarrituak:

$$\text{Prozesuaren abiadura} = \frac{\text{Indar eragilea}}{\text{Erresistentzia}} \quad (1.2)$$

Lege zinetikoaren arabera, prozesuko aldagai hedagarrien (masa kantitatearen arabera diren masaren, energiaren eta mugimendu kantitatearen) abiadura orekarekiko duen diferentziaren (indar eragilearen) arabera da, eta erresistentziarekiko (sistemak berak duen eragozpenarekiko) alderantziz proportzionala da.

Era jarraituan diharduten ekipok eta prozesuak ekoizpen-maila handiak lortzeko erabiltzen dira; energetikoki, eragiketa ez-jarraituak baino eraginkorragoak eta garbiagoak dira, eta bihurtutako produktua uniforme da. 1.7 irudian azaltzen dira ekipo horien sinboloen ezaugarriak eta denboran zeharreko funtzionamendua.



1.7 irudia. Eragiketa jarraitu eta ez-jarraituen sinboloen ezaugarriak eta ekoizpenaren denboran zeharreko eboluzioa.

(2) Eragiketa edo prozesu ez-jarraitua:

Zikloka diharduen ekipoa edo prozesua da. Denbora-tarte batean ekoitzi egiten (eragiketa gauzatzen) du (ekoizpen-denbora), eta, beste denbora-tarte batzuetan, ez du ezer ekoizten (ekipoa bete, hustu, garbitu eta abar egiteko denbora; guztien batura denbora hila da). Ziklo osoaren iraupena denbora hila eta ekoizpen-denboraren baturaz lortzen da, eta denbora da aldagai nagusia. Horrelako eragiketak edo prozesuak ekoizpen-maila txikiko baina balio erantsi handiko produktuak ekoizteko erabiltzen dira. Era jarraituan diharduten ekipok baino sinple eta merkeagoak dira, eta malgutasun handia eskaintzen dute, ziklo bakoitzean lehengaia aldatzean produktu desberdina lor baitaiteke. 1.7 irudian azaltzen da ekipo horien sinboloen ezaugarriak eta denboran zeharreko funtzionamendua. Ikusten denez, denbora-tarte batzuetan ekoitzi egiten da, eta beste denbora-tarte batzuetan, berriz, ez da ezer ekoizten.

Azaldu diren lan egiteko moduak muturrekoak dira. Hainbat ekipok lan egiteko tarteko modua dute, hau da, korrante batzuek era jarraituan eta beste batzuek ez-jarraituan dihardute. Adibidez, olioaren hidrogenazioz margarina ekoiztean, hidrogenoa era jarraituan elikatzen da erreaktorean, baina olioak kargaka elikatzen da; eta margarina ere era ez-jarraituan lortzen da.

1.6 ERAGIKETEN ETA PROZESUEN EGOERA

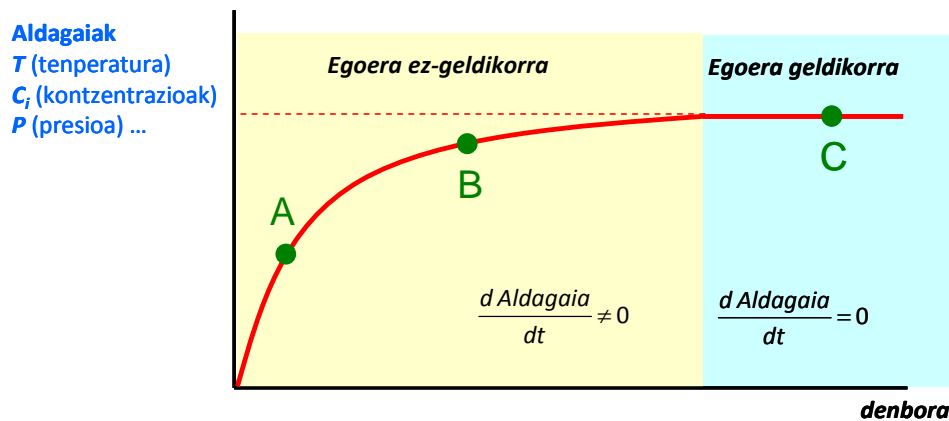
Eragiketak gauzatzeko, ekipok denboran zehar berdintsu edo modu desberdinean lan egin dezakete. Hori adierazteko, bi egoera bereizten dira:

(1) Egoera geldikorra

Aldagaiak ez dira aldatzen denborarekin. Horren ondorioz, denbora ez da aldagaia, eta, eragiketa aztertzeko orduan, ez dio axola azterketa noiz egiten den, beti berdin lan egiten baitu. Era jarraituan diharduten ekipoek horrela egiten dute lan, abian jartzeko lehen unean eta amaierako azken unean izan ezik. Adibidez, zentral nuklear bateko nukleoaren erreakzioa hasten denean, egun batzuk behar ditu egoera geldikorra lortzeko, temperatura egokia lortzeko. Behin egun horiek igarota, urteak eman ditzake egoera geldikorrean.

(2) Egoera ez-geldikorra

Aldagaiak aldatu egiten dira denboran zehar. Horren ondorioz, denbora da aldagai nagusia, diseinuan kontuan hartu behar den aldagai nagusia. Era ez-jarraituan diharduten ekipoek horrela egiten dute lan.

**1.7 irudia. Egoera geldikorra eta ez-geldikorra.**

Har dezagun gela bateko berogailua pizten dela eta gelako airearen tenperatura neurtzen dela denboran zehar, eta 1.7 irudia lortu dela. Irudiaren arabera, A egoera ez-geldikorra da, A baino lehenagoko eta geroxeagoko denboretan gelako tenperaturaren balioak desberdinak direlako. Kontuan izan tenperatura (aldagaia) denboran zehar zer abiaduratan aldatzen den adierazten duela marraztutako kurbaren maldak. Halaber, B ere egoera ez-geldikorrean dago, baina denborarekin motelago aldatzen dira aldagaiak. Behin C egoera lortu ondoren, tenperaturak (aldagaiak) konstante dirau denboran, egoera geldikorra lortu den seinale.