



10. GAIA

FASEEN ARTEKO MASAREN GARRAIOA. BEREIZTE- ERAGIKETAK

GAI HAU IKASTEAN GAITASUN HAUEK LORTU BEHARKO DITUZU:

1. Mintz bikoitzaren teoria aplikatu.
2. Fasearteko konposiziak kalkulatu.
3. Masaren garraiorako koefiziente globalak kalkulatu.

Fase homogeen bateko osagai guztiek ez dute erraztasun berdina jatorrizko fasearekin ukipenean jartzen den beste fase berri batera igarotzeko. Hala, erraztasun handieneko osagaiak bigarren fasean aberasten diren heinean, zailtasun handiena daukan osagaia jatorrizko fasean aberastuko da. Faseen arteko masaren garraioan oinarritzen dira, besteak beste, destilazioa (likido-fasearen eta lurrun-fasearen arteko garraioa), absortzioa (likido-fasearen eta gas-fasearen arteko garraioa) eta erauzketa (bi likido disolbaezinen arteko garraioa).

Fase bakarrean ez bezala, fase anitzeko sisteman oreka lortzen denean, osagai guztien kontzentrazioek ez dute zertan berdinak izan fase guztietan. Oreka lortzean potentzial kimikoak berdintzen direnez, gerta daiteke konposatu kimikoek fase bakoitzean kontzentrazio desberdinak izatea. Nahaste homogeenok bereizteko eragiketa asko faseen arteko masaren garraioan oinarritua dago.

10.1 FASEEN ARTEKO MASAREN GARRAIOA: MINTZ BIKOITZAREN TEORIA

Teoria honen arabera, fase bakoitzak geldikor dagoen mintz mehe bat osatzen du beste fasearekin kontaktuan dagoen eremuan (azpigeruza fluidodinamiko laminarraren inguruan) eta mintz horrek masaren garraioari erresistentzia osoa jartzen dio. Teoria garatzeko, hurbilketa hauek egingo dira:

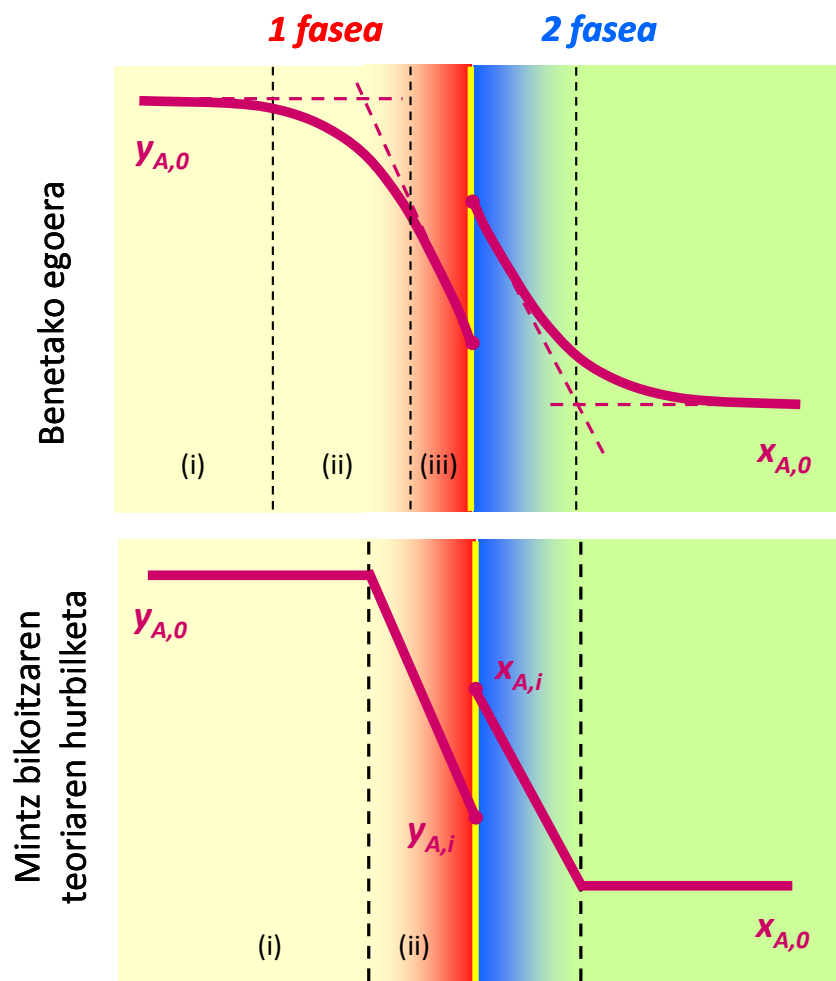
- (1) Egoera geldikorra lortu da.
- (2) Solutu bakarra dago, A osagaia (hau da, osagai bakarra garraiatzen da bi faseen artean)
- (3) Fase bakoitzeko mintzak erresistentzia egiten dio haren barnetik doan A osagaiaren jarioari. Mintz horretan, nahastea geldikor dago.
- (4) Fase bakoitzaren muinean osagaien kontzentrazioa uniforme da, baina, mintzaren barruan, kontzentrazio-gradiente dago.
- (5) Fase artean oreka lortzen da, eta, ondorioz, fasearteak ez du erresistentziarik eskaintzen. Behin faseartera helduta, molekula inolako eragozpenik gabe pasatzen da beste fasera.
- (6) Ez da erreakzio kimikorik gertatzen. Ondorioz, fase batetik irteten diren molak beste fasera sartzen dira.

Demagun oreka kimikoan ez dauden bi fase (adibidez, absortzio-eragiketa bateko gasa eta likidoa, edo erauzketa-eragiketako bi likidoak) kontaktuan jartzen direla eta, horren ondorioz, A osagaiaren transferentzia gertatzen dela (10.1 irudian 1 fasetik 2 faserako norabidean).

$y_{A,0}$ eta $x_{A,0}$ A osagaiaren mol-frakzioak (edo kontzentrazioak) dira 1 eta 2 faseen muinean, hurrenez hurren (nahaste uniforme den eremuan, geldikor dagoen mintzaren kanpoaldean). Transferentzia gertatzen den noranzkoan A ren mol-frakzioa (edo kontzentrazioa) neurtuko balitz, 10.1 irudian bezalako profila izango litzateke. Ohar gaitezen fasearte bi faseen aldetik A ren kontzentrazioak ez direla berdinak (kasu bakoitzean, dagokion orekak ematen du kontzentrazioen orekako banaketa).

10.1 irudiaren arabera, 1 fasean kontzentrazio-gradiente nabari da, batez ere 2 fasearekin kontaktuan dagoen mintz mehe baten barnean (10.5 atalean azaldu den kontzentrazioen

muga-geruza, alegia). 2 fasearen aldean, beste hainbeste gertatzen da. Fase bakoitzean, hiru eremu bereiz daitezke:



10.1 irudia. Faseartean benetako egoera (goian) eta mintz bikoitzaren teoriaren hurbilketaz kalkulaturako egoera (behean).

(i) kontzentrazio homogeneoko eremua, muga-geruzatik kanpo, (ii) trantsizio-eremua eta (iii) muga-geruza laminarreko eremua (10.1 irudia goian). Sistema horren eredu matematikoa mintz bikoitzaren teoriak ematen du.

Teoria horren arabera, kontzentrazio-profila 10.1 irudikoa (behekoa) bezalakoa da. Bertan, bi eremu bereiz daitezke fase bakoitzean: (i) kontzentrazio homogeneoko eremua eta (ii) mintza geldikor dagoen eremua.

Faseen arteko oreka sistema bakoitzaren arabera aldatzen da. Absortzio- eta desortzio-eragiketetan likido-gas oreka gertatzen da (adibidez, Henry-ren legea bete dezakete); destilazioan, likido-lurrun oreka beteko da (ideala bada, Raoult-en legea); likido-likido erauzketan, banaketa-koefizienteak ematen duen oreka beteko da (ikusi 14. gaia).

Mintz bakoitzaren muineko nahastea geldikor dagoenez, masaren garraioa barreiapen molekularrez gertatzen da. Hala ere, mintzaren lodiera ezezaguna eta neurtezinaenez, masaren garraioarako konbekzio-koefizienteak erabiltzen dira:

$$N_A = k_y \cdot A \cdot \Delta y_A \quad (10.1)$$

10.1 irudiaren arabera, A solutuak seriean dauden bi erresistentzia zeharkatu behar ditu fase baten muintetik beste fasearen muinera igarotzeko.

Lehenik eta behin, 1 faseko mintza zeharkatu behar du, eta horretarako indar eragilea $(y_{A,0} - y_{A,i})$ da; gero, 2 faseko muinera heldu aurretik, fase horri dagokion mintza zeharkatu behar du, eta horretarako indar eragilea $(x_{A,i} - x_{A,0})$ da. Egoera geldikorrean, bi abiadurak berdinak dira:

$$N_A = k_y \cdot A \cdot (y_{A,0} - y_{A,i}) = k_x \cdot A \cdot (x_{A,i} - x_{A,0}) \quad (10.2)$$

k_y eta k_x 1 eta 2 faseetako mintzetan masaren garraiorako konbekzio-koefiziente indibidualak dira, hurrenez hurren; A fasearteko azalera da. Zirkuitu elektrikoan analogia eginda, A molekulak ondoz ondoko bi erresistentzia zeharkatu behar ditu 1 fasearen muintetik 2 fasearen muinera heltzeko:

$$R_1 = \left(\frac{1}{k_y \cdot A} \right) \text{ eta } R_2 = \left(\frac{1}{k_x \cdot A} \right)$$

10.2 FASEEN ARTEKO MASAREN GARRAIOARAKO KOEFIZIENTE GLOBALAK

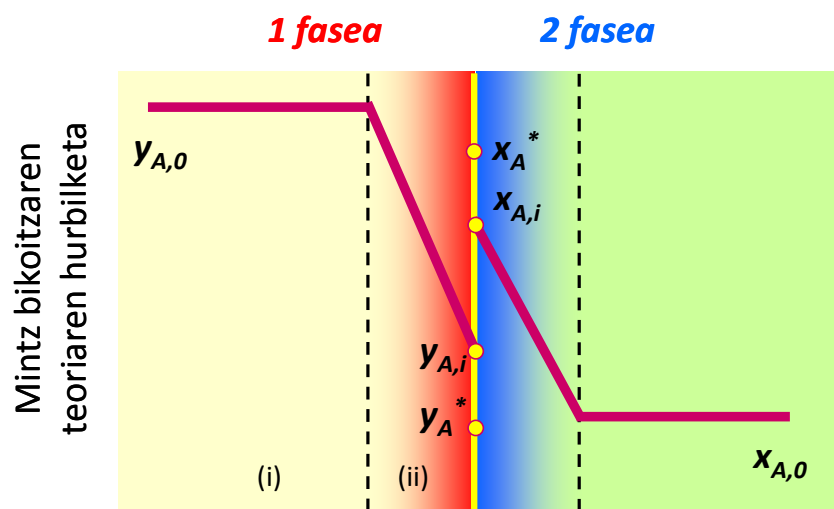
Fasearteko kontzentrazioen ($y_{A,i}$ eta $x_{A,i}$) neurketa esperimentala egitea zaila da, mintza mehea baita. Hori saihesteko, masaren garraiorako koefiziente globalak erabiltzen dira.

$$N_A = \bar{K}_y \cdot A \cdot (y_{A,0} - y_A^*) = \bar{K}_x \cdot A \cdot (x_A^* - x_{A,0}) \quad (10.3)$$

\bar{K}_y eta \bar{K}_x masaren garraiorako koefiziente globalak dira 1 eta 2 faseetarako, hurrenez hurren. Erresistentzia globalaren berri ematen dute (bero-transmisioan definitzen zen U-ren antzera).

y_A^* , 2 faseko muinarekin orekan dagoen A-ren kontzentrazioa, 1 fasearen aldean.
 x_A^* , 1 faseko muinarekin orekan dagoen A-ren kontzentrazioa, 2 fasearen aldean.

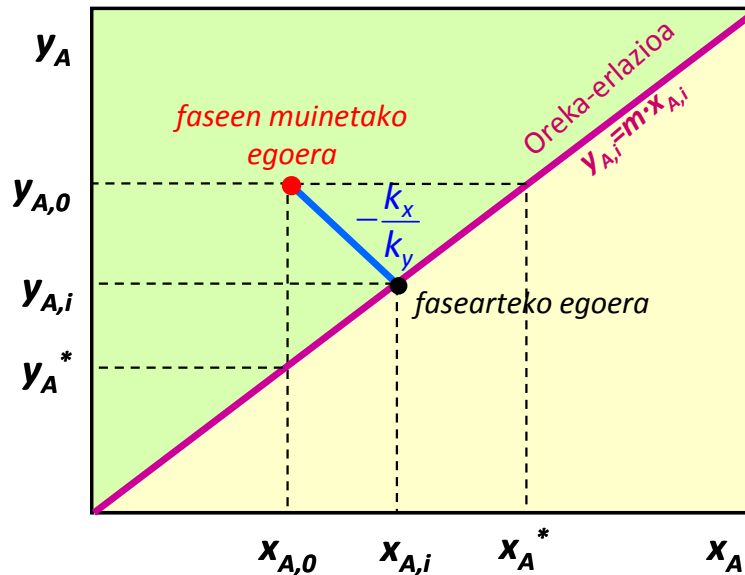
Masaren garraiorako indar eragileak $(y_{A,0} - y_A^*)$ eta $(x_A^* - x_{A,0})$ dira 1 eta 2 faseetarako, hurrenez hurren. 10.2 irudian, y_A^* eta x_A^* agertzen dira faseartean.



10.2 irudia. Mintz bikoitzaren teoriaren hurbilketa bidezko fasearteko konposizioen kalkulua.

10.2 irudiko kontzentrazioak 10.3 irudian agertzen dira $y_A - x_A$ diagraman marraztuta. Azalpena argiagoa izan dadin, oreka-erlazio lineala $y_{A,i} = m \cdot x_{A,i}$ hartu da (Henry-ren legea betetzen den sistema, adibidez). Fase bakoitzaren muinetako kontzentrazioak $y_{A,0}$ eta $x_{A,0}$ badira, masaren garraioa 1 fasetik 2 faserako noranzkoan gertatzen da (ohartu gaitezen faseen muinetako egoera orekaren azpitik egongo balitz, masaren garraioa kontrako noranzkoan gertatuko litzatekeela). Fasearteko kontzentrazioa oreka-lerroan dago.

Bi puntuak lotzen dituen malda $-(k_x/k_y)$ da. Sisteman nolako masaren garraioa gertatzen den adierazten du lerro horrek. 1 faseko mintzaren erresistentzia 2 fasekoa baino askoz ere handiagoa bada ($k_y \ll k_x$) lerroa bertikala izango da, eta $k_y \gg k_x$ bada, berriz, lerroa horizontala izango da.



10.3 irudia. Mintz bikoitzaren teoriaren hurbilketa bidezko fasearteko konposizioen kalkulu grafikoa.

10.1.1 Koefiziente globalak lortzea koefiziente indibidualetatik abiatuz

Egoera geldikorra lortu ondoren, 1 faseko mintza zeharkatzen duten solutuaren molekulen 2 faseko mintza zeharkatuko dute.

$$N_A = k_y \cdot A \cdot (y_{A,0} - y_{A,i}) = \bar{K}_y \cdot A \cdot (y_{A,0} - y_A^*) = k_x \cdot A \cdot (x_{A,i} - x_{A,0}) = \bar{K}_x \cdot A \cdot (x_A^* - x_{A,0})$$

1 faserako:

$$k_y \cdot A \cdot (y_{A,0} - y_{A,i}) = \bar{K}_y \cdot A \cdot (y_{A,0} - y_A^*) \tag{10.4}$$

$$\frac{1}{\bar{K}_y} = \frac{(y_{A,0} - y_A^*)}{k_y \cdot (y_{A,0} - y_{A,i})} \tag{10.5}$$

10.3 irudian ikusten den bezala, indar eragile osoa

$$(y_{A,0} - y_A^*) = (y_{A,0} - y_{A,i}) + (y_{A,i} - y_A^*) \text{ da.}$$

Beraz,

$$\frac{1}{K_y} = \frac{\cancel{(y_{A,0} - y_{A,i})}}{k_y \cdot \cancel{(y_{A,0} - y_{A,i})}} + \frac{(y_{A,i} - y_A^*)}{k_y \cdot (y_{A,0} - y_{A,i})} \quad (10.6)$$

$k_y \cdot A \cdot (y_{A,0} - y_{A,i}) = k_x \cdot A \cdot (x_{A,i} - x_{A,0})$ izanik, 10.6 ekuazioan ordezkatzeko da. Oreka-erlazioaren malda

$$m = \frac{(y_{A,i} - y_A^*)}{(x_{A,i} - x_{A,0})} \quad (10.7)$$

badu, hau da koefiziente globala 1 fasea oinarritzat harturik:

$$\frac{1}{K_y} = \frac{1}{k_y} + \frac{m}{k_x} \quad (10.8)$$

Modu berean, 2 faseko egin balitz:

$$\frac{1}{K_x} = \frac{1}{k_x} + \frac{1}{m \cdot k_y} \quad (10.9)$$

Argi dago bi faseen erresistentzia indibidual erlatiboak disolbagarritasunaren (m) eragin nabarmena duela.

Likidoan oso disolbagarria den solutu baten kasuan (m oso txikia), erresistentzia osoa gas-faseko mintzak duenaren antzekoa da. Sistema hauetan, masaren garraioa hobetu nahi denean, gas-faseko mintzak egiten duen erresistentzia murriztu behar da. Bestalde, likidoan disolbaezinak diren gasetan (m oso handia), erresistentzia osoa likido-faseko mintzaren oso antzekoa da. Kasu gehienetan, ordea, bi faseetako mintzen erresistentziak esanguratsuak dira, eta haien eragina kontuan hartu behar da erresistentzia osoaren kalkuluan.

Oreka-erlazioa lineala ez denean, m malda konposizioen arabekoa da, eta puntuz puntu aldatuko litzateke.

Koefiziente globalak lortzeko mol-frakzioak erabili diren arren, kontzentrazioak adierazteko edozein modu erabil zitekeen. 10.1 taulan agertzen dira kontzentrazioa adierazteko moduei dagozkien koefizienteak, era honetako adierazpenetarako:

$$N_A \left(\frac{\text{mol}}{\text{hm}^2} \right) = k \cdot A \cdot I E \quad (10.10)$$

10.1 Taula. Masaren garraioarako koefizienteak, indar eragilearen arabera (N_A -ren unitateak: mol/hm^2).

	Indar eragilea	unitateak	koefizientea	unitateak
Gas-fasean	ΔP_A	atm	k_G	$\text{mol}/\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{atm}$
	ΔC_A	mol/l	$k_{C,g}$	$\text{l}/\text{h} \cdot \text{m}^2$
	Δy_A	mol/mol	k_y	$\text{mol}/\text{h} \cdot \text{m}^2$
Likido-fasean	ΔC_A	mol/l	k_L	$\text{l}/\text{h} \cdot \text{m}^2$
	Δx_A	mol/mol	k_x	$\text{mol}/\text{h} \cdot \text{m}^2$

Hauetara gas-faseko mintzaren koefizienteen arteko erlazioak:

$$k_G = \frac{k_C}{RT} = \frac{k_y}{P} \quad (10.11)$$

Hau da likido-faseko mintzaren koefizienteen erlazioa:

$$k_L = \frac{k_X}{C} \quad (10.12)$$

Adibidea 10.1 adibidea

Hauek dira gas-likido fasearte baterako koefiziente indibidualen balioak, 288 K-ean eta 2 atm-ko presioan:

$$k_y = 8000 \text{ mol/h m}^2(\text{mol/mol}) \quad \text{eta} \quad k_L = 340 \text{ mol/h m}^2(\text{mol/l})$$

$$\text{Oreka-erlazioa: } P_A \text{ (mmHg)} = 645 \cdot x_A$$

$$\text{A osagaia oso diluitua dago likidoan (ura).}$$

Kalkula ditzagun (a) gas-faseko mintzaren k_G , k_C , eta \bar{K}_Y , (b) likido-fasearen mintzaren k_X eta \bar{K}_X , (c) faseen arteko masaren garraiorako erresistentzia globalean fase bakoitzak egiten duen ekarpena.

Ebazpena

(a) Gas-faseko mintzaren koefizienteen arteko erlazioa $k_G = \frac{k_C}{RT} = \frac{k_y}{P}$ izanik:

$$k_G = 8000/2 = 4000 \text{ mol/atm h m}^2(\text{mol/mol})$$

$$k_C = (8000/2) \text{ mol/atm h m}^2(\text{mol/mol}) \cdot 0,082 \text{ atm}\cdot\text{l/Kmol}\cdot 288 \text{ K} = 9,44 \cdot 10^4 \text{ l/h m}^2.$$

Mementoz, ez da \bar{K}_Y kalkulatu.

(b) Likidoa ura denez eta uretan A solutua oso diluitua dagoenez,

$$C \approx \frac{1000 g_{ur}}{1 l_{dis}} \left(\frac{18 g_{ur}}{1 mol_{ur}} \right) = 55,56 \text{ mol/l}$$

$$k_L = \frac{k_X}{C} \text{ denez, } k_X = 340 \cdot 55,56 = 1,89 \cdot 10^4 \text{ mol/h m}^2.$$

Oreka-erlazioaren maldaren kalkulua (m):

$$P_A \text{ (mmHg)} = P \cdot y_A = 1520 \cdot y_A = 645 \cdot x_A. \text{ Hortik, } y_A = 0,424 \cdot x_A \text{ eta } m = 0,424 \text{ (dimentsiogabea).}$$

Orain, \bar{K}_Y eta \bar{K}_X kalkula daitezke:

$$\frac{1}{\bar{K}_Y} = \frac{1}{k_y} + \frac{m}{k_X} = \frac{1}{8 \cdot 10^3} + \frac{0,424}{18,9 \cdot 10^3} = \frac{1}{8 \cdot 10^3} + \frac{1}{44,58 \cdot 10^3} \quad ; \quad \bar{K}_Y = 6,78 \cdot 10^3 \text{ mol/hm}^2$$

$$\frac{1}{\bar{K}_X} = \frac{1}{k_X} + \frac{1}{m \cdot k_y} = \frac{1}{1,89 \cdot 10^4} + \frac{1}{0,424 \cdot 8 \cdot 10^3} = \frac{1}{18,9 \cdot 10^3} + \frac{1}{3,39 \cdot 10^3} \quad ; \quad \bar{K}_X = 2,87 \cdot 10^3 \text{ mol/hm}^2$$

(c) Erresistentzia indibidualak aztertzen badira, ohartzen gara gas-faseko mintzak erresistentzia osoaren % 84,7 egiten duela.

Adibidea 10.2 adibidea

10.1 adibidearekin jarraituz, sistemako puntu batean gas-faseko muinean solutuaren presio partziala $P_{A,0} = 4,5 \text{ mmHg}$ da, eta likidoaren muineko kontzentrazioa $C_{A,0} = 0,083 \text{ mol/l}$ da. Kalkula ditzagun, egoera horretan, (a) $x_{A,i}$ eta x_A^* , (b) $y_{A,i}$ eta y_A^* .

Ebazpena

y_A vs x_A grafikoa erabiliz lortuko da. Oreka-erlazioa irudikatzeko, 10.1 adibidean lortutako erlazioa erabiliko da:

$$y_A = 0,424 \cdot x_A$$

Gas-fasearen muina: $y_{A,0} = \frac{P_{A,0}}{P} = \frac{4,5}{1520} = 0,0030$

Likido-fasearen muina: $x_{A,0} = \frac{C_{A,0}}{C} = \frac{0,083}{55,56} = 0,0015$

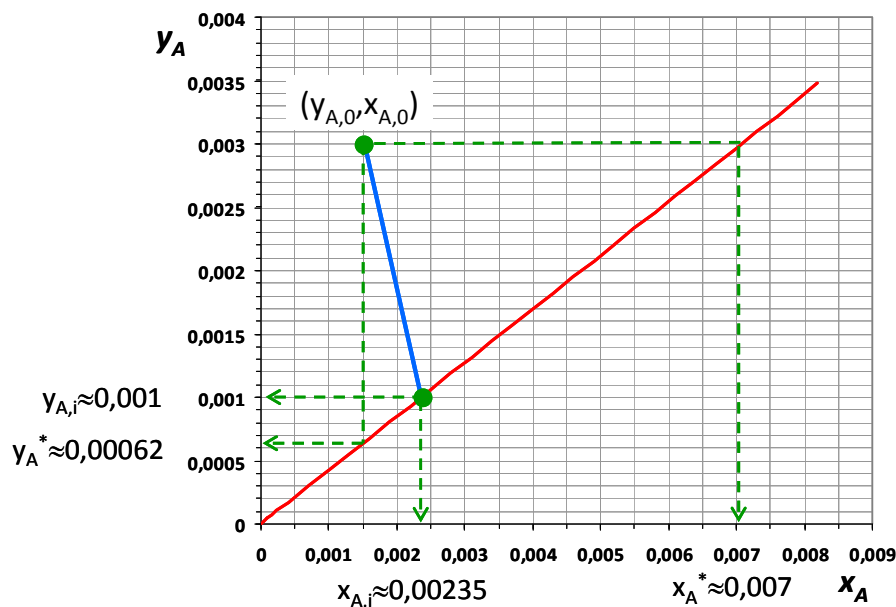
Sistema karakterizatzen duen puntua marrazten da y_A vs x_A diagraman.

10.1 adibidean kalkulatu diren balioekin, $-(k_x/k_y) = -2,36$ malda lortzen da.

Behin malda marraztuta, fasearteko konposizioak neurtzen dira:

$y_{A,i} \approx 0,001$ eta $y_A^* \approx 0,00062$ gas-fasearen alderako, eta

$x_{A,i} \approx 0,00235$ eta $x_A^* \approx 0,007$ likido-fasearen alderako.



10.3 FASEARTEKO OREKA

Bereizte-eragiketa gehienak bi fasez (gehienetan) edo gehiagoz osatutako sistemak dira. Fase guztiak orekan egongo balira, ez litzateke egongo masaren garraiorako indar eragilerik. Fasearteko masaren garraioan oinarritutako bereizte-eragiketak orekatik aldentuta lan egiteko diseinatzen dira, ahalik eta indar eragile handienaz, ekipoen tamaina txikia izan dadin. Masaren garraioan zenbait oreka mota agertzen dira, kontaktuan dauden faseen arabera. Eragiketa gehienetan bi fase erabiltzen dira: likido-gas (edo lurrun) faseak, likido-likido faseak, likido-solido faseak, gas-solido faseak.

Sistema osoan tenperatura, presioa eta kontzentrazioak homogeneoak izatea da fase bakarreko sisteman oreka lortzeko baldintza, hau da, propietate hedagarrien gradientek zero izatea. Sistema homogeneo batean osagaiaren baten kontzentrazio-diferentzia badago, indar eragile bat dagoelako, osagai horren transferentzia sortuko da kontzentrazio-diferentzia deuseztatzeko.

Fase anitzeko sisteman (har dezagun sistema sinpleena eta ugariena, bi fasez osatutako sistema), osagaiak bi faseetan kontzentrazio bera eduki arren, fasearteko masaren garraioa gerta daiteke. Gainera, oreka lortzean, osagaien kontzentrazioak desberdinak izan daitezke bi faseetan. Fase anitzeko sistema orekan egon dadin, fase bakoitza bere aldetik orekan egoteaz gainera, bi faseen tenperaturek, presioek eta osagai guztien potentzial kimikoek berdinak izan behar dute:

Sistema itxi baten (ingurunearekin masarik trukutzen ez duen sistema) potentzial kimikoa konposatuaren molaldaketarekiko Gibbs-en energia aske gisa definitzen da:

$$\mu_i = \left(\frac{\partial G}{\partial N_i} \right)_{T,P,N_{j \neq i}} \quad (10.13)$$

Zoritxarrez, potentzial kimikoaren erabilera ez da zuzena, zaila delako esperimendu bidez neurtzea. Horregatik, *iheskortasun* (f_i) parametroa erabiltzen da:

$$(d\mu_i)_T = (RT \cdot d \ln f_i)_T \quad (10.14)$$

Era berean, *iheskortasun-koefizientea* (v_i) da iheskortasunaren eta gas ideala balitz izango zukeen presio partzialaren arteko erlazioa, eta gas idealaren portaerarekiko duen desbideraketaren berri ematen du:

$$v_i = \frac{f_i}{P_i} \quad (10.15)$$

Nahastean konposatuaren iheskortasunaren eta osagai puruari legokiokeen iheskortasunaren arteko erlazio gisa definitzen da *aktibitatea* (a_i):

$$a_i = \frac{f_i}{f_i^0} \quad (10.16)$$

Nahastean i osagaiak idealtasunarekiko duen desbideratze-mailaren berri ematen du aktibitate-koefizienteak, eta honela definitzen da:

$$\gamma_i = \frac{a_i}{x_i} \quad (10.17)$$

Nahaste ideala denean (hau da, i konposatuaren eta nahasteko beste konposatuaren arteko elkarrekintza nulua denean), $\gamma_i = 1$ da.

10.3.1 Fasearteko masaren garraioan oinarritutako bereizte-eragiketen oreka-erlazioak

C konposatuz osatutako nahaste homogeneoa bereizi nahi bada, jatorrizko fasearekin nahastezina den bigarren fasea behar da. Bereizi ahal izan dadin, osagaien bi faseetako mol-frakzioek desberdinak izan behar dute.

i osagaiaren oreka-erlazioa (K_i) honela definitzen da:

$$K_i = \frac{y_i}{x_i} \quad (10.18)$$

Hau da, i osagaiak bi faseetan dituen mol-frakzioen arteko erlazioa da, x_i jatorrizko faseko mol-frakzioa eta y_i bigarren faseko mol-frakzioa.

Bereiztea gerta dadin, jatorrizko nahastea osatzen duten konposatu guztien oreka-erlazioek desberdinak izan behar dute; bi osagairenak berdinak izango balira, biak hein edo proportzio berean banatuko liriteke bi faseetan.

Bereiztea gerta dadin:

$$K_1 \neq K_2 \neq \dots \neq K_c \quad (10.19)$$

eta

$$\frac{y_1}{x_1} \neq \frac{y_2}{x_2} \neq \dots \neq \frac{y_c}{x_c} \quad (10.20)$$

bete behar da.

i eta j konposatuen *hautakortasun-erlatiboa* (α_{ij}) i eta j konposatuen oreka-erlazioen arteko erlazio gisa definitzen da; i eta j konposatuak bereizteko, $\alpha_{ij} \neq 1$ izan behar du nahitaez.

$$\alpha_{ij} = \frac{K_i}{K_j} = \frac{\left(\frac{y_i}{x_i}\right)}{\left(\frac{y_j}{x_j}\right)} \quad (10.21)$$

10.3.2 Faseen erregela: Gibbs-en erregela

Oreka kimikoak sailkatzeko eta oreka definitzeko zenbat aldagai behar diren jakiteko (askatasun-graduak), Gibbs-en erregela erabiltzen da. ψ fasez eta C konposatuz osatutako sistemaren askatasun-graduak (AG) honela kalkulatzen dira:

$$AG = C - \psi + 2 \quad (10.22)$$

Bi fasez osatutako sistemetan, $AG = C$ da. Askatasun-graduak sistemaren oreka definitzeko finka daitezkeen aldagai intentsiboen (T , P , x_i) kopurua adierazten du. Aldagai intentsiboak masa kantitatearen mendekoak ez diren aldagaiak dira. Adibide gisa, destilazioan (L-V oreka), absortzioan (G-L oreka) eta erauzketan (L-L oreka) erabiliko diren orekak aztertuko dira.

L-V oreka: destilazioa

Nahaste bitarrean bi konposatu eta bi fase badaude, askatasun-graduak bi dira.

Aldagai intentsiboak P , T , x_1 eta y_1 dira ($x_2 = 1 - x_1$ eta $y_2 = 1 - y_1$ direlako). Sistema horien orekak irudikatzeko, bi aldagai finkatu behar dira. Normalean, tenperatura eta x_1 edo presioa eta x_1 finkatzen dira. 12. gaian azaltzen dira (T vs x_1 , isobarikoa) eta (x_1 vs y_1 , isobarikoa) erako erlazioak.

L-G oreka: gasen absortzioa

Sistema hauetan bi fase eta hiru konposatu agertzen direnez, askatasun-graduak hiru dira.

Sistema horretako aldagai intentsiboak P , T , x_1 , x_2 , y_1 , y_2 dira. Absortzio-eragiketaren gehienetan, osagai bakarra (solutua) banatzen da bi faseetan, eta likido-faseko muina eta gas-faseko muina inertetzat hartzen dira, beste fasean disolbaezinak badira (gehienetan). Orduan, konposatu bakarrez eta bi fasez osatutako sistema bihurtzen denez, aldagai intentsiboak P , T , x_1 eta y_1 dira.

Tenperatura, presioa eta x_1 aldagaiak finkatuta erabiltzen dira oreka-erlazioak. 13. gaian ikusiko dira y_i vs x_i erlazio isotermikoak.

L-L oreka: likido-likido erauzketa

Sistema hauetan bi fase eta hiru konposatu agertzen direnez, askatasun-graduak hiru dira.

Aldagai intentsiboak T , P eta x_1 , x_2 , y_1 eta y_2 dira. Normalean, diagrama isoterma eta isobarikoak aukeratzen dira, eta x_1 - x_2 - x_3 motako diagrama triangeluarrak erabiltzen dira (14. gaian azaltzen den moduan).

L-G orekaren eta L-L orekaren askatasun-graduak kalkulatzeko, hiru konposatuz osatutako sistemak direla hartu da. Benetan, osagai gehiago egon daitezke, baina horietako gehienak fase bakarrean mantentzen direnez, analisi zuzena egin da. Industria kimikoan, asko erabiltzen dira osagai anitzeko (bi baino gehiago) destilazioak, eta horrelako sistemetan askatasun-graduak ere handitu egiten dira osagai kopuruak handitu ahala.