



## 4. GAIA

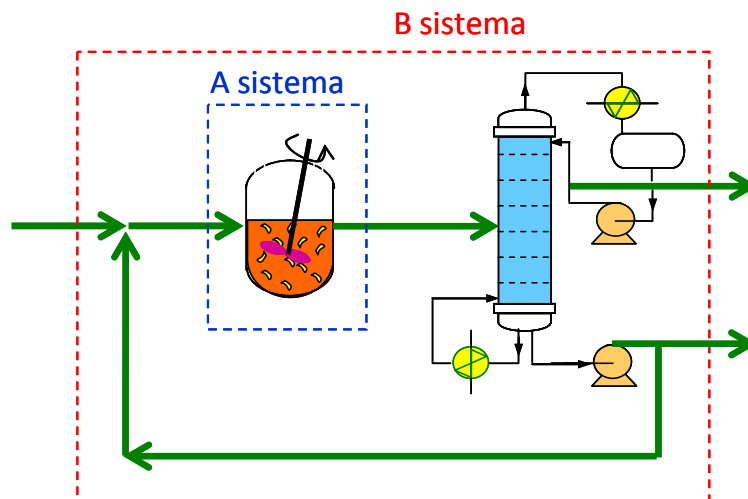
### MASAREN IRAUPENAREN LEGEA: MASA-BALANTZEAK

GAI HAU IKASTEAN GAITASUN HAUEK LORTU BEHARKO DITUZU:

1. Sistema ireki eta itxien artea bereiztea.
2. Masa-balantze sinpleak egitea.
3. Taula estekiometrika eraikitzea.
4. Erreakzio kimikoak dauzkaten sistemen masa-balantzeak egitea.
5. Birziklazioak eta saihesbideak dauzkaten sistemen masa-balantzeak egitea.
6. Egoera ez-geldikorreko sistemen masa-balantzeak egitea.

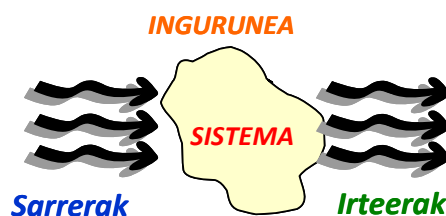
## 4.1 MASAREN IRAUPENAREN LEGEA

Natura-zientzietan eta ingeniariatza kimikoan, masaren iraupenaren legea oinarritzko legea da. Lege horren arabera, sistema kimiko batean "masa ez da sortzen ez desagertzen, eraldatu baino ez da egiten", Lavoisier-ek zioen moduan. Erreakzio nuklearrik gertatzen ez den sistema batean, masaren inbentarioa egin daiteke, eta analisi horri masa-balantzea deritzo. Sistema baten masa-balantzea egitean, sistema zein den zehaztu behar da, eta haren inguruetik bereizi.



**4.1 Irudia: Elikadurak eta birziklazioak bat egin ondoren, erreaktore kimikoa elikatzen dute. Irteerako nahastea destilatu ondoren, bihurtu gabeko lehengaiak birziklatu egiten da.**

**Sistema** honela definitzen da: analisirako bereziki aukeratu den prozesu oso baten zatia (edo prozesu osoa). Haren muga sistema eta ingurunea bereizten dituen irudizko gainazal batek (edo ekipoaren hormak) osatzen du. Sistemak **itxiak** (ez dago masa-trukerik ingurunearekiko) edo **irekiak** (ingurunearekiko masa-trukea dago: sistematik irten edo sistemara sar daiteke) izan daitezke. 4.1 irudiko adibidean, erreakzio kimikoa gertatzen den prozesu bat dago, birziklazio-korronte batekin. Irudian, 2 sistema desberdin agertzen dira: A sistema, erreaktorea besterik ez duena, eta B sistema, erreaktoreak eta destilagailuak osatua. Bi sistemak irekiak dira (bakoitzak bere ingurunearekin masa trukutzen du, sarrera eta irteerako hodiak baitaude). A sistemaren mugak ekipoaren hormek ezartzen dituzte, eta B sistemaren mugak irudizkoak dira. B sistemaren kasuan, birziklazio-korrontea sistema barruan dago, ez ditu sistemako mugak gainditzen.



**4.2 irudia: Berdin dio sistema barruko xehetasunak zeintzuk diren. Masa-balantzeen helburua sistemak eta inguruneak trukutzen duten masa kantitatea aztertzea da, eta sistema barruan zenbat masa eraldatu den aztertzea.**

Beraz, edozein sistema defini daiteke, eta aztertzen ari garen kasu bakoitzean, komenigarriena aukeratzeko da. Oro har, 4.2 irudiko eskemak azaltzen du sistemaren eta Ingurunearen arteko erlazioa.

Sistema baten masaren iraupenaren legea honela adieraz daiteke (masa edo mol kopurua denbora-unitateko adierazita):

$$\begin{pmatrix} \text{Sistemara} \\ \text{SARTZEN den} \\ \text{masakantitatea} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{Sistematik} \\ \text{IRTETEN den} \\ \text{masakantitatea} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \text{Sisteman} \\ \text{ERALDATZEN den} \\ \text{masakantitatea} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \text{Sisteman} \\ \text{METATZEN den} \\ \text{masakantitatea} \end{pmatrix}$$

Simplifikatuz,  $S = I + E + M$  idatz daiteke, batugai bakoitzaren lehen hizkiak erabiliz.

Sartu eta Irten batugaiak sistemak eta inguruneak trukatzeko duten masa adierazten dute; Eraldatu batugaiak, berriz, erreakzio kimikoengatik sortu edo desagertzen den masa kantitatea (erreakzio-abiaduraren arabera), eta Metatu terminoak, azkenik, sisteman metatzen den masa kantitatea zenbatzen du.

Masa-balantzeak masa zein mol unitatetan egin daitezke (kg/h, mol/s, T/egun), eta gaiei dagokienez, sistema osoari ( $H_2O + NaCl$ ), konposatu kimiko bati ( $NaCl$ ), espezie atomiko bati ( $Na^+$ ), elementu atomiko bati ( $H, O$ ) eta abarri egin dakieke balantzea.

Egoera geldikorrean, Metatu batugaia zero da (sisteman ez dago masa-irabazi edo -galerarik). Erreakzio kimikorik ez dagoen sistemetan (destilazioa, adibidez), Eraldatu batugaia zero da. Sistema itxia bada, Sartu eta Irten batugaiak zero dira.

Masa-balantzea egiteko masa aukeratu bada, eta gai gisa sistema osoa aukeratu bada, erreakzio kimikoak egon arren, Eraldatu batugaia zero izango da (erreakzio kimiko baten masa osoa konstante mantentzen baita). Molak aukeratu badira, ordea, eta gai gisa sistema osoa aukeratu bada, erreakzio kimikoren bat badago, Eraldatu terminoa zero izan daiteke, edo ez, erreakzioko mol-aldaketaren arabera:

$$\Delta n = \sum \left( \begin{matrix} \text{produktuen} \\ \text{koef. estekiometrikoak} \end{matrix} \right) - \sum \left( \begin{matrix} \text{erreaktiboen} \\ \text{koef. estekiometrikoak} \end{matrix} \right) \quad (4.1)$$

$aA + bB + \dots \rightleftharpoons rR + sS + \dots$  erreakzio kimiko orokorrarentzako  $\Delta n = (r + s + \dots) - (a + b + \dots)$  da. Adibidez,  $A + B \rightarrow 2C$  erreakzioa gertatzen bada, erreakzioko mol-aldaketa  $\Delta n = 2 - 2 = 0$  denez, Eraldatu terminoa zero izango da; erreakzioa  $A + B \rightarrow 2C + D$  bada, Eraldatu terminoa positiboa izango da ( $\Delta n = 3 - 2 = 1$  baita); erreaktore-irteeran, sartu diren baino mol gehiago dago, guztira.

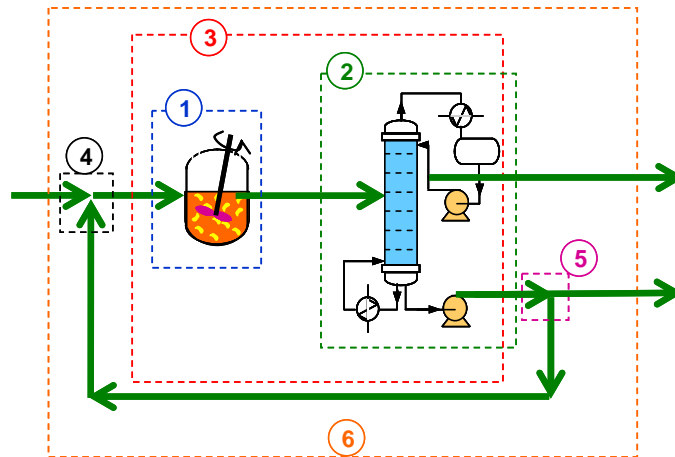
Hainbat kasutan (konposatu kimiko asko dauden erreakzio kimikoez osatutako sistemetan, edo lehengaiak zeintzuk diren jakin gabe analisi elementala ezagutzen denean), **elementuei eginiko masa-balantzeak** oso erabilgarriak dira. Adibidez, ikatzaren errektuntzan, C elementuaren mol kantitateak konstante irauten du,  $CO$ ,  $CO_2$  edo errauts gisa egon arren.

Ekipo gehienetan, masa hodian bidez elikatzen da, eta, eragiketa egin ondoren, hodiedatik irteten da. Adibidez, bat-bateko destilagailu batera hodi baten bidez sartzen da elikadura, eta ekipotik bi hodiren bidez irteten dira sortutako bi faseak. Hodi batetik igarotzen den jariagaiaren emari masikoa hodian duen batezbesteko abiadurarekin erlazioa daiteke.

Sartu edo Irten terminoak  $v \cdot S \cdot \rho$  eran jar daitezke,  $v$  jariagaiak hodian duen batezbesteko abiadura,  $S$  hodiaren sekzioa ( $\frac{\pi}{4} D^2$  hodi zirkularra bada) eta  $\rho$  jariagaiaren dentsitatea izanik.

## 4.2 MASA-BALANTZEAK

Masa-balantzea masaren inventarioa da, eta edozein sistemari egin daskioke (labea, hodi-zatia, destilagailua, findegia, Lurra planeta...). 4.3 irudian, lerro ez-jarraituez inguratutako 6 sistema posible adierazten dira.



### 4.3 irudia. Prozesuaren masa-balantzea ebazteko aukera daitezkeen sistemak.

Ez dago irizpide bakar bat ekipo anitzeko prozesu baten masa-balantzea egiteko (ikus 4.3 Irudia). Iradokizun gisa, hauek eman daitezke:

- (1) Sistema identifikatu, eta ezagunak diren datuak (emariak, kontzentrazioak eta abar) zerrendatu.
- (2) Prozesuaren fluxu-diagrama marraztu (bloke- zein prozesu-diagrama); korrante guztiak izendatu edo zenbakitu. Lehen urratsean identifikatu diren datu ezagunak diagraman idatzi. Era berean, ekiporen batean erreakzio kimikoren bat gertatzen bada, erreakzio doitua idatzi dagokion ekipoen inguruan.
- (3) Taula bat eraiki. Taula prozesuko korrante guztien emariez bete behar da. Korranteak adina zutabe eta konposatuak adina lerro izan behar ditu taulak.
- (4) Kalkulurako oinarri bat aukeratu. Korrante guztien emariak kalkulurako oinarri horrekiko kalkulatu behar dira. Kalkulurako oinarri hauek hautatu ohi dira: prozesuko korrante baten emari masikoa (edo molarra); denbora-tarte bat (prozesu ez-jarraituetan); konposatu inerten baten emaria.
- (5) Erreakzio kimikoak daudenean, estekiometria molen arabera denez, molak zenbatzea komeni da.

Masa-balantzeetan, terminologia berezia erabiltzen da hainbat gauza adierazteko. Bestek beste, hauek dira termino horietako batzuk:

**-Oinarri lehorra** (Orsat analisia): nahaste baten konposizioa, ura baztertuta utziz (errekuntza-gasen konposizioa adierazteko erabiltzen da).

**-Oinarri bustia**: nahaste baten konposizioa, ura kontuan hartuz.

-**Soberakina**: estekiometrikoki behar dena baino gehiago sartzen den errektiboa (errekuntzetan ohikoa izaten da).

-**Elikadura freskoa edo berria**: prozesura sartzen den elikadura.

-**Purga-korrontea**: prozesutik kanpora ateratzen den korronte bat, normalean konposatu inerteak edo zikinkeriak kanporatzeko.

-**Birziklazio-korrontea**: prozesuan atzera bidaltzen den korrontea, aurretik igarotako ekiporen batera itzul dadin edo eragiketa bat berriro jasan dezan. Erreakzio kimikoak daudenean, bihurtu gabe dirauen errektiboa birziklatu egiten da.

-**Saihets-korrontea**: ekipo edo eragiketaren bat alboratuta uzten duen korrontea. Konposizioen kontrola egiteko erabiltzen da.

-**Bihurtze-maila**: erreakzio kimikoen aurrerapena adierazteko zenbakia; 0-1 arteko balioa du (0: ez da erreakziorik gertatu; 1: errektibo guztia desagertu da).

#### 4.2.1 Bihurtze-mailaren erabilera, erreakzio kimikoa gertatzen den sisteman

Erreakzio kimikoak gertatzen diren sistemetan, **osagai mugatzailea** erabiltzen da erreakzioaren bihurtze-maila emateko. Estekiometria kontuan harturik lehenengo desagertuko litzatekeen osagaia (erreaktiboa) da osagai mugatzailea; osagai mugatzaileak guztiz erreakzionatu duenean, erreakzioa amaitu egiten da, erreakzionatu gabeko beste errektiboak egon daitezkeen arren. Erreakzio baten osagai mugatzailea A errektiboa bada, eta hasieran erreaktorera  $N_{A,0}$  mol sartu badira, eta denbora baten ondoren oraindik erreakzionatu gabe  $N_A$  molekulak jarraitzen badute, Aren bihurtze-maila ( $X_A$ ) honela definitzen da:

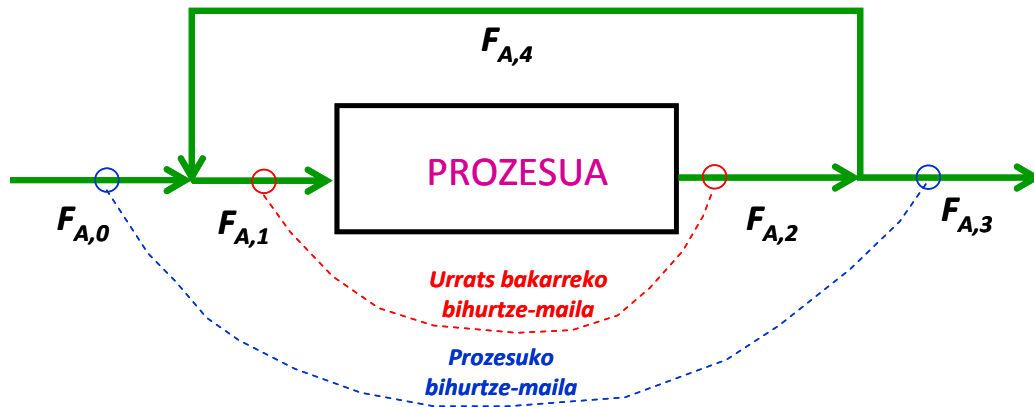
$$X_A = \frac{\text{Erreakzionatutako molak}}{\text{Hasierako molak}} = \frac{N_{A,0} - N_A}{N_{A,0}} \quad (4.2)$$

Beste era batera esanda, ( $N_{A,0} \cdot X_A$ ) terminoak A osagaitik zenbat molekulak erreakzionatu duten adierazten du. Estekiometria kontuan harturik, beste errektibo guztien eta sortutako produktu guztien molak kalkula daitezke.

Erreaktorea etengabe elikatzen bada A osagaiaz eta produktu-korrontea erreaktoretik etengabe irteten bada, jario molarrekin lan egiten da.  $F_{A,0}$  eta  $F_A$  izango dira Aren sarrerako eta irteerako emari molarrek (mol/t). Orduan, bihurtze-maila honelakoa da:

$$X_A = \frac{\text{Erreakzionatutako molak}}{\text{Hasierako molak}} = \frac{F_{A,0} - F_A}{F_{A,0}} \quad (4.3)$$

Era berean, birziklazioak egiten diren prozesuetan, bi bihurtze-maila erabiltzen dira, 4.4 irudian azaltzen den bezala.



4.4 irudia. Urrats bakarreko bihurtze-maila eta prozesuko bihurtze-maila.

Urrats bakarreko bihurtze-maila:

$$X_A = \frac{F_{A,1} - F_{A,2}}{F_{A,1}} \tag{4.4}$$

Prozesuko bihurtze-maila:

$$X_A = \frac{F_{A,0} - F_{A,3}}{F_{A,0}} \tag{4.5}$$

Demagun errektore ez-jarraitu batean  $aA + bB \rightarrow cC + dD$  erreakzioa gertatzen dela. Erreaktorea A, B, C, D eta osagai inerte edp geldo baten  $N_{A,0}, N_{B,0}, N_{C,0}, N_{D,0}$  eta  $N_{In,0}$  molez bete da hasiera batean, eta osagai mugatzailea A dela hartuko da. Denbora bat igaro ondoren,  $X_A$  bihurtze-maila lortu denean, erreaktoreko molen banaketa **taula estekiometrikoa** izeneko 4.1 taulako azken lerroan agertzen da:

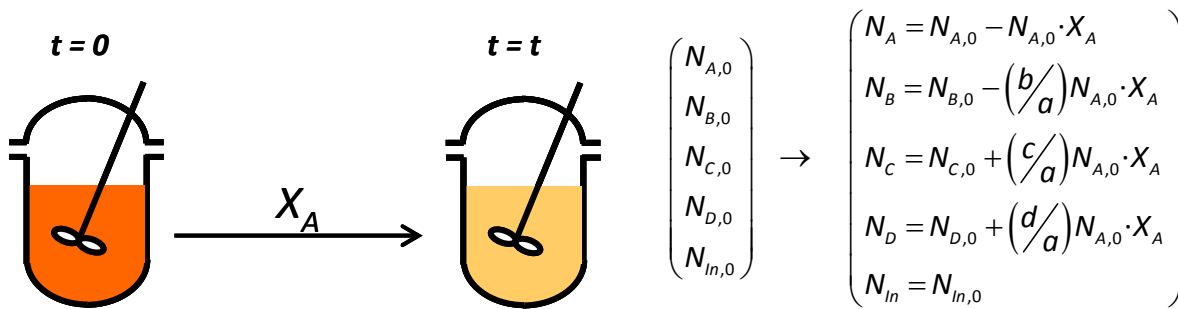
4.1 Taula. Taula estekiometrikoa: errektore barruko molak osagai mugatzailearen bihurtze-mailaren funtzioan.

molak →	A	B	C	D	In	Guztira
t = 0	$N_{A,0}$	$N_{B,0}$	$N_{C,0}$	$N_{D,0}$	$N_{In,0}$	$\sum_i N_{i,0} = N_0$
t = t D (-) edo So (+)	$-N_{A,0} \cdot X_A$	$-(b/a) \cdot N_{A,0} \cdot X_A$	$+(c/a) \cdot N_{A,0} \cdot X_A$	$+(d/a) \cdot N_{A,0} \cdot X_A$	0	$\left(\frac{\Delta n}{a}\right) \cdot N_{A,0} \cdot X_A$
t = t	$N_{A,0}$ $- N_{A,0} \cdot X_A$	$N_{B,0}$ $-(b/a) \cdot N_{A,0} \cdot X_A$	$N_{C,0}$ $+(c/a) \cdot N_{A,0} \cdot X_A$	$N_{D,0}$ $+(d/a) \cdot N_{A,0} \cdot X_A$	$N_{In,0}$	$N_0 + \left(\frac{\Delta n}{a}\right) \cdot N_{A,0} \cdot X_A$

D: erreakzio kimikoagatik desagertutakoak (erreakzionatutakoak)

So: erreakzio kimikoagatik sortutakoak

$\Delta n$ : produktuen eta erreaktiboaren koefiziente estekiometrikoen diferentzia =  $(c+d+\dots) - (a+b+\dots)$



**4.5 irudia:** Erreaktorean gertatzen den molen aldaketa, bihurtze-mailaren funtzioan.

Jarraian, masa-balantzeen adibide batzuk azalduko dira.

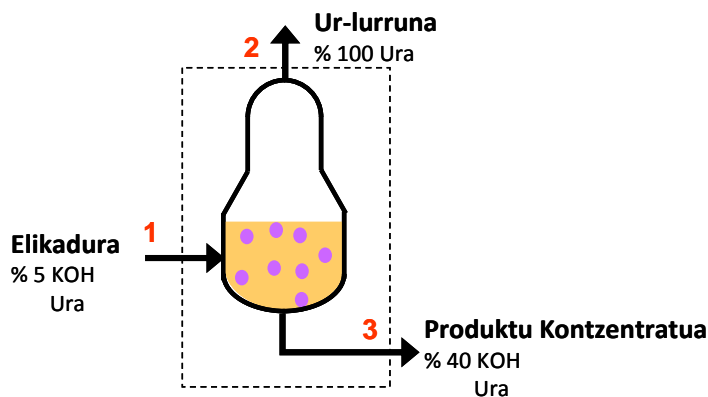
**4.2.2 Masa-balantzea erreakzio kimikorik gabeko sisteman**

Egoera geldikorrean dagoen erreakzio kimikorik gabeko sisteman, Eraldatu eta Metatu terminorik ez da agertzen, eta Sartu eta Irten terminoak besterik ez da agertuko. Sarrera eta irteera bi hoditatik baino gehiagotatik egin daiteke, 1 adibidean bezala.

**Adibidea**

**4.1 adibidea**

Lurrungailu batean, KOH-aren disoluzio urtsu bat pisutan % 5 izatetik % 40 izan arte kontzentratzen da, ura lurrunduz. Kalkula dezagun zenbat ur lurrundu behar den produktu-kg bakoitzeko.



*Ebazpena*

$$S = I + E + M$$

Erreakzio kimikorik ez dagoenez, E = 0. Era berean, ekipoak egoera geldikorrean lan egiten badu, M = 0 da. Beraz, masa-balantzea S = I adierazpenera laburtzen da (Sarrera: 1 korrontea; Irteera: 2 eta 3 korrontek). Inbentarioa kg/h-tan egingo da aukeratutako KOH, ura eta sistema osoa gaiei dagokienez.

Kalkulurako oinarria (K.O.):  $F_1 = 100 \text{ kg/h}$  (sistema osoa uraren + KOH-aren batura izanik)

Beraz, hiru masa-balantze egin daitezkeen arren (KOH, ura eta sistema osoa), bi besterik ez dira erabilgarriak (hirugarrena, beste bien konbinazio lineala baita):

<u>Gaia</u>	<u>Sartu</u>	<u>Irten</u>
Ura:	$[100 \cdot 0,95]$	$= [F_2 \cdot 1] + [F_3 \cdot 0,60]$
KOH:	$[100 \cdot 0,05]$	$= [F_2 \cdot 0] + [F_3 \cdot 0,40]$
Sistema osoa:	$[100]$	$= [F_2] + [F_3]$

Hiru ekuazioko sistema izan arren, haietako bat beste bien konbinazio lineala denez (adibidez, uraren eta KOH-aren ekuazioak batzean sistema osoarena lortzen da), erabilgarriak bi besterik ez dira. Hau da, ekuazio erabilgarriak konposatuak adina dira.

Uraren eta KOH-aren masa-balantzeak aukeratzen badira, bi ekuazio eta bi ezezaguneko sistema ebatzi behar da:

$F_2 = 87,5 \text{ kg/h}$  eta  $F_3 = 12,5 \text{ kg/h}$ . Laburtuz:

kg/h	1	2	3
NaOH	5	0	5
Ura	95	87,5	7,5
Sistema	100	87,5	12,5

Aukeratu den kalkulurako oinarriarekin, taulako emariak kalkulatu dira. Taulako datuen arabera, 12,5 kg/h produktu lortzeko 87,5 kg/h ur lurrundu behar bada, 1 kg/h produktu lortzeko, 12,5 aldiz gutxiago lurrundu beharko da, hau da, 7 kg/h ur lurrundu beharko da. Taulako zenbaki guztiak 16,67 zenbakiaz zatitu beharko dira.

#### 4.2.3 Masa-balantzea erreakzio kimikoak gertatzen diren sisteman

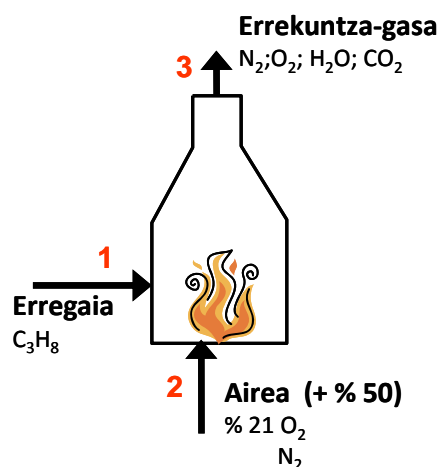
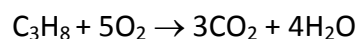
Egoera geldikorrean erreakzio kimikoak gertatzen direnean, Eraldatu terminoa erabili behar da masa-balantzea konposatuei egiten bazaie; bestalde, masa-balantzea elementuei egiten bazaie, Eraldatu terminoa desagertu egiten da, eta, hala, Sartu eta Irten terminoak geratzen dira.

### Adibidea 4.2 adibidea

Labe batean propanoa erretzen da, estekiometrikoki behar dena baino % 50 aire gehiago erabiliz. Kalkula dezagun errekuntza-gasen konposizioa.

#### Ebazpena

Demagun propanoa  $\text{CO}_2$ -a emanaz guztiz erretzen dela (ohikoa oxigenoa soberan badago):



Errekuntza erreakzio kimikoa denez, masa-balantzea moletan egingo da. Egoera geldikorrean lan egiten duenez,  $M = 0$ . Beraz, masa-balantzeko batugaiak  $S = I + E$  izango dira (S: 1 eta 2 korrontek; I: 3 korrontea). Inbentarioa mol/h-etan egingo da. Gai hauek aukeratu dira:  $\text{C}_3\text{H}_8$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}_2$  eta  $\text{H}_2\text{O}$ .



Kalkulurako oinarria:  $F_1 = 100 \text{ mol/h}$

Beraz, hiru masa-balantze idatz daitezkeen arren, bi besterik ez dira erabilgarriak (hirugarrena beste bien konbinazio lineala baita):

<b>Gaia</b>	<b>Sartu</b>	=	<b>Irten</b>	+	<b>Eraldatu</b>
$C_3H_8$ :	$[100 \cdot 1]$	=	0	+	$E_{C_3H_8}$ ;
$O_2$ :	Estekiometrikoa: $100 \cdot 5 = 500$ ; Sartutakoa = $500 \cdot 1,5 = 750$ (2 korrortean)	=	$[F_{O_2,3}]$	+	$[E_{C_3H_8} \cdot 5]$
$N_2$ :	$[3571 \cdot 0,79]$	=	$[F_{N_2,3}]$ ;		
$CO_2$ :	0	=	$[F_{CO_2,3}]$	-	$[E_{C_3H_8} \cdot 3]$
$H_2O$ :	0	=	$[F_{H_2O,3}]$	-	$[E_{C_3H_8} \cdot 4]$

$E_{C_3H_8} = \text{desagertzen diren propano molak/h} = 100 \text{ mol/h}$

Airearen konposiziotik:  $750 = [F_2 \cdot 0,21]$ ;  $F_2 = 3.571 \text{ mol/h}$

$O_2$ -ren balantzetik:  $F_{O_2,3} = 250 \text{ mol/h}$

$N_2$ -ren balantzetik:  $F_{N_2,3} = 2.821 \text{ mol/h}$

$CO_2$ -ren balantzetik:  $F_{CO_2,3} = 300 \text{ mol/h}$

Uraren balantzetik:  $F_{H_2O,3} = 400 \text{ mol/h}$

Laburtuz:

mol/h	1	2	3
$C_3H_8$	100	0	0
$O_2$	0	750	250
$N_2$	0	2.821	2.821
$CO_2$	0	0	300
$H_2O$	0	0	400
Sistema osoa	100	3.571	3.771

Ikusten denez, sistema osoa zenbatzean, ez dira berdinak sartzen diren eta irteten diren mol kopuruak ( $\Delta n \neq 0$  baita). Ondorioz, ehunekoak kalkulatu badira, konposizio hau lortzen da:

Oinarri bustian (%):  $O_2/N_2/CO_2/H_2O = 6,63/74,80/7,97/10,60$

Oinarri lehorrean (%):  $O_2/N_2/CO_2 = 7,41/83,68/8,91$

Emitza bera lortzen da C, H, O eta N elementuen masa-balantzeak egiten badira.  $D = 0$  denez, Sartu = Irten geratzen da:

<b>Gaia</b>	<b>Sartu</b>	=	<b>Irten</b>
C:	$100 \cdot 3$	=	$[F_{CO_2,3}] \cdot 1$
H:	$100 \cdot 8$	=	$[F_{H_2O,3}] \cdot 2$
O:	$750 \cdot 2$	=	$[F_{O_2,3}] \cdot 2 + [F_{H_2O,3}] \cdot 1 + [F_{CO_2,3}] \cdot 2$
N:	$2821 \cdot 2$	=	$[F_{N_2,3}] \cdot 2$

Banan-banan ekuazioak ebatziaz ondokoa lortzen da:  $F_{CO_2,1} = 300 \text{ mol/h}$ ;  $F_{H_2O,3} = 400 \text{ mol/h}$ ;  $F_{O_2,3} = 250 \text{ mol/h}$ ;  $F_{N_2,3} = 2.821 \text{ mol/h}$ .

## 4.3 adibidea

Erreaktore jarraitu baten gas-fasean, erreakzio hau egiten da:  $\text{SO}_2 + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_3$

$\text{SO}_2$ -aren 0,8 bihurtze-maila lortzen da. Hau da erreaktoreko elikaduraren konposizioa (kmol/h):  $\text{N}_2/\text{O}_2/\text{SO}_2 = 82,8/11/8$ . Kalkula dezagun erreaktoretik irteten den nahastearen konposizioa.



## Ebazpena

Kalkulurako oinarria: 1 korrontean 100 kmol/h.

Gaia	Sartu	=	Irten	-	Eraldatu	Ekuazioa
$\text{SO}_2$	$F_{\text{SO}_2,2}$	=	$F_{\text{SO}_2,1}$	-	$F_{\text{SO}_2,1} \cdot X_{\text{SO}_2}$	1
$\text{N}_2$	$F_{\text{N}_2,2}$	=	$F_{\text{N}_2,1}$	-	0	2
$\text{O}_2$	$F_{\text{O}_2,2}$	=	$F_{\text{O}_2,1}$	-	$0,5 \cdot F_{\text{SO}_2,1} \cdot X_{\text{SO}_2}$	3
$\text{SO}_3$	$F_{\text{SO}_3,2}$	=	0	+	$F_{\text{SO}_3,1} + F_{\text{SO}_2,1} \cdot X_{\text{SO}_2}$	4

1 ekuaziotik  $F_{\text{SO}_2,2} = 8 - 8 \cdot 0,8 = 1,6$  kmol/h; 2 ekuaziotik  $F_{\text{N}_2,2} = 82,8$  kmol/h; 3 ekuaziotik  $F_{\text{O}_2,2} = 11 - 0,5 \cdot 8 \cdot 0,8 = 7,8$  kmol/h; 4 ekuaziotik  $F_{\text{SO}_3,2} = 0 + 8 \cdot 0,8 = 6,4$  kmol/h.

Beraz, erreaktoretik irteten den nahastearen konposizioa (mol % eran adierazita) ondokoa da:

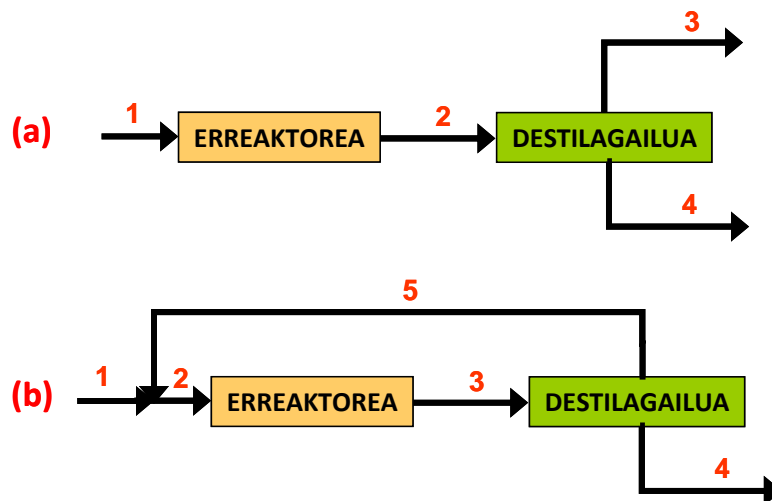
$$\text{N}_2/\text{O}_2/\text{SO}_2/\text{SO}_3 = 83,9/7,9/1,6/6,6$$

## 4.2.4 Masa-balantzea birziklazioak dauden sisteman

Erreakzio kimikoetan bihurtze-maila % 100 ez denean (gehienetan) erreaktore-irteeran bihurtu gabeko erreaktiboa geratzen da. Horrelako kasuetan, erreakzionatu ez duen erreaktiboa nahastetik bereiz badaiteke, bereizi egiten da, eta berriro erreaktorera eramaten da; **Birziklazioa** deritzon korrontea osatzen da, beraz. Besteak beste, prozesuaren etekin osoa handitzeko erabiltzen da.

## 4.4 adibidea

$A \rightarrow 2B$  dimerizazio-erreakzioa egiten da, eta A-ren bihurtze-maila % 75 da. Erreaktoretik irteten den nahastea destilazioz bereizten da, eta, hala, B produktu purua lortzen da. Kalkula dezagun: (a) prozesuaren etekina (mol B)/(mol A) eran adierazita; (b) destilagailutik irteten den A-ren korrontea erreaktorera birziklatzen bada, prozesuaren etekina (mol B)/(mol A) eran adierazita; (c) (b) egiturako prozesuaren bihurtze-maila.

Ebazpena

Egoera geldikorrean lan egiten duenez,  $M = 0$  da.

- (a) Kalkulurako oinarria Elikadura berria hartuko da:  $F_1 = 100$  mol/h (guztia A osagaia). Masa-balantzea erreaktorean egiten bada, 2 korronteko emariak jakin daitezke, eta, masa-balantzeak destilagailuan eginez gero, 3 eta 4 korrontetakoak. Laburtuz:

mol/h	1	2	3	4
A	100	25	0	25
B	0	150	150	0
Sistema osoa	100	175	150	25

Beraz, prozesuaren etekina  $150/100 = 1,5$  mol B/mol A da.

- (b) Kalkulurako oinarria erreaktorerako elikadura hartuko da:  $F_2 = 100$  mol/h (guztia A osagaia). Masa-balantzea erreaktorean egiten bada, 3 korronteko emariak ezagut daitezke, eta, destilagailuan eginez gero, 4 eta 5 korrontetakoak. Elikadura berria eta birziklazioa elkartzen diren puntuan eginez gero, elikadura freskoaren emaria kalkula daiteke:

Laburtuz:

mol/h	1	2	3	4	5
A	75	100	25	0	25
B	0	0	150	150	0
Sistema osoa	75	100	175	150	25

Beraz, prozesuaren etekina  $150/75 = 2$  mol B/mol A da, hau da, birziklatzen den A erreaktiboari esker, prozesuaren etekin osoa handitu egiten da.

- (c) Prozesuko bihurtze-maila  $= 100 \cdot (75-0)/75 = \% 100$  da.

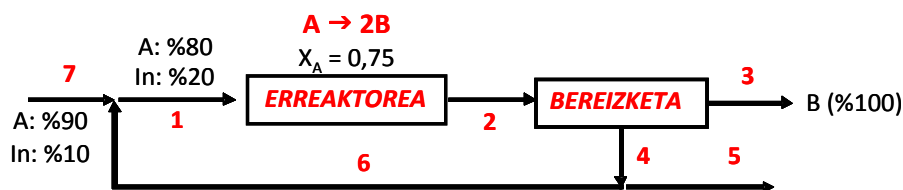
Hainbat kasutan, erreakzioan inerteak diren ezpurutasunak edukitzen ditu elikadura berriak, ezin izaten delako lehengai purua lortu. Lehengai birziklatzen denean (3 adibidea), horrekin batera inerte birziklatzen da, ezin izaten baitira bereizi. Lehengaiarekin nahasita elikadura sartu diren inerteak prozesutik kanporatu behar dira, prozesuan metatu ez daitezten. Hori lortzeko, birziklazio-korrontea banatu egiten da, hots, zati bat **Purga** gisa kanporatzen da. Purga-korronte horretatik, prozesura sartu den inerte-emari berak irten behar du.

Adibidea

4.5 adibidea

Erreaktore batean  $A \rightarrow 2B$  dimerizazio-erreakzioa egiten da, eta Aren bihurtze-maila % 75ekoa da. Aren eta inerte (In) baten nahastea (moletan,  $A/\text{inerte} = 9$ ) eta birziklazioz datorrena sartzen dira erreaktorera, eta erreaktore-sarreran, inerte/A molen erlazio onargarri maximoa 0,25 da (inerte gehiago balego, erreakzioa egiteko katalizatzailea desaktibatu egingo litzateke). Erreaktorearen irteerako nahastea bereizi egiten da: batetik, B produktu purua lortzen da; eta, bestetik, Aren eta inertearen nahastea birziklatu egiten da, eta zati bat purga moduan kanporatzen da. Kalkula dezagun:

- (a) Birziklatu behar den emaria, elikadura berriaren unitateko (mol birziklazio/mol elikadura berri).
- (b) Purga-korrontearen emaria, birziklatzen den emariaren unitateko (mol purga/mol birziklazio).



Ebazpena

Kalkulurako oinarria:  $F_1 = 100 \text{ mol/h}$  (bertako konposizioa eta emari guztiak ezagunak dira).

<b>Gaia</b>	<b>Sartu</b>	<b>Irten</b>	<b>Eraldatu</b>	<b>ekuazioa</b>
<b>Erreaktorean</b>				
A	$100 \cdot 0,8$	$= F_{A,2}$	$+ D_A$	1
In	$100 \cdot 0,2$	$= F_{In,2}$		2
B	0	$= F_{B,2}$	$- D_A \cdot 2$	3
<b>Bereizgailuan</b>				
A	$F_{A,2}$	$= (F_{A,4} + 0)$	$+ 0$	4
In	$F_{In,2}$	$= (F_{In,4} + 0)$	$+ 0$	5
B	$F_{B,2}$	$= (F_{B,3} + 0)$	$+ 0$	6
<b>Korronte-bereizketan</b>				
Sist. osoa	$F_4$	$= (F_5 + F_6)$	$+ 0$	7
<b>Korronte-elkarketan</b>				
A	$(F_6 \cdot 0,5 + F_7 \cdot 0,9)$	$= 80$		8
Sist. osoa	$F_6 + F_7$	$= 100$		9
<b>Prozesu osoan</b>				
In	$0,1 \cdot F_7$	$= F_{In,5}$		10

Ohar gaitezen 4, 5 eta 6 korronteek konposizio berdina daukatela.

Bihurtze-mailaren definizioa kontutan hartuta:  $D_A = 80 \cdot 0,75 = 60 \text{ mol/h}$ ; ( $D_A$ : erreakzio kimikoa dela eta desagertzen diren Aren molak). Ondorioz, 1 ekuaziotik  $F_{A,2} = 20 \text{ mol/h}$ .

2 ekuaziotik,  $F_{In,2} = 20 \text{ mol/h}$ ; 3 ekuaziotik,  $F_{B,2} = 120 \text{ mol/h}$ , eta beraz,  $F_2 = 160 \text{ mol/h}$ .

4, 5 eta 6 ekuazioetatik,  $F_{A,4} = 20 \text{ mol/h}$ ,  $F_{In,4} = 20 \text{ mol/h}$ ,  $F_{B,4} = 120 \text{ mol/h}$ , eta  $F_3 = 120 \text{ mol/h}$ .

4 korrontean (eta ondorioz, 5 eta 6 korronteetan) inerte sistema osoaren molen %50 delako,  $F_{In,5} = 0,5 \cdot F_5$ .

8 eta 9 ekuazioak batera ebatziz,  $F_6$  eta  $F_7$  emariak kalkulatu dira. Amaitzeko, 7 eta 10 ekuazioak ebatzen dira.

Laburtuz:

mol/h	1	2	3	4	5	6	7
A	80	20	0	20	7,5	12,5	67,5
B	0	120	120	0	0	0	0
Inertia	20	20	0	20	7,5	12,5	7,5
Sistema osoa	100	160	120	40	15	25	75

(a)  $F_6/F_7 = 0,333$

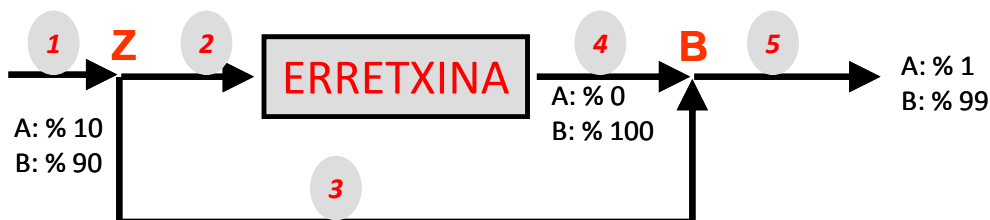
(b)  $F_5/F_6 = 0,6$

#### 4.2.5 Masa-balantzea saihestekorranteak dauden sisteman

Zenbait prozesutan, **saihestekorranteak** erabiltzen dira, ekipo baten irteerako konposizioa edo temperatura kontrolatzeko, adibidez. Ekipo bat elikatze korrantea banatu egiten da: zati batekin ekipoa elikatzen da dagokion eragiketa egiteko (erreakzioa, metaketa, destilazioa...), eta beste zati batek saihestu egiten du ekipoa eta, ondoren, ekipotik irtetzen den korrantearekin bat egiten du.

#### Adibidea 4.6 adibidea

Planta kimiko batean, A kutsatzailea azpiproduktu gisa sortzen da, B produktuarekin batera (mol B/mol A = 9 da). Merkatuan saldu ahal izateko, B osagaiak eduki dezakeen A ren edukiak % 1 eta % 10 artekoa (moletan) izan behar du. Konposizio hori lortzeko, erretxinaz betetako zutabe batetik igarotzen zaio A eta B ren nahasteari; erretxinak A guztia metatzen du, B metatu gabe, A osagaiarentzat hautakorra baita. Saltzeko konposizioa lortu ahal izateko, elikaduraren zati batek saihestu egiten du erretxina. Kalkula dezagun elikadura mol bakoitzeko saihestu behar den emaria.



Ebazpena

Kalkulurako oinarri gisa  $F_2 = 100$  mol/h hartuko da.

Gaia	Sartu	Irten	Eraldatu	Metatu	ekuazioa
<b>Korrante-bereizketan (Z)</b>					
Sist. osoa	$F_1$	=	$(100 + F_3)$	+ 0	+ 0 = 1
<b>Erretxinan</b>					
A	10	=	$F_{A,4}$	+ 0	+ $M_A$ = 2
B	90	=	$F_{B,4}$	+ 0	+ $M_B$ = 3
<b>Korrante-elkarketan (B)</b>					
Sist. osoa	$(90 + F_3)$	=	$F_5$		= 4
A	$(0 + F_3 \cdot 0,1)$	=	$F_5 \cdot 0,01$		= 5

$M_B = 0$  denez, 3 ekuaziotik  $F_{B,4} = 90$  mol/h ;  $F_4 = 90$  mol/h.

Erretxinak A guztia metatzen duelako,  $F_{A,4} = 0$ , eta 2 ekuaziotik  $M_A = 10 \text{ mol/h}$ .

4 eta 5 ekuazioak ebatziz,  $F_3 = 10 \text{ mol/h}$  eta  $F_5 = 100 \text{ mol/h}$ .

Bukatzeke, 1 ekuaziotik  $F_1 = 110 \text{ mol/h}$ .

Laburtuz:

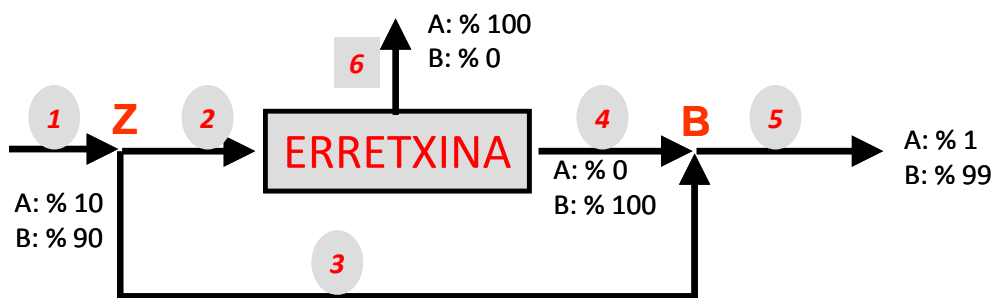
mol/h	1	2	3	4	5
A	11	10	1	0	1
B	99	90	9	90	99
Sistema osoa	110	100	10	90	100

Elikadura mol bakoitzeko saihestu behar den emaria =  $10/110$ .

**Adibidea**

#### 4.6 adibidearen beste modu bateko ebazpena:

Adibide honetan, A erretxinan metatzen da, eta masa-balantzean Metatu terminoa agertzen da. Masa-balantzetik Metatu terminoa kentzeko, korrante irudikari bat erabil daiteke; izan ere, korrante horretatik, A guztiak alde egiten du. Hala, M terminorik ez dago, eta Irteera bat gehitzen da Arentzat. Irudiko eskemak agertzen du prozesuaren bloke-diagrama. 6 korrante irudikaririk A osagai guztiak alde egiten du, eta erretxinan metaketarik ez balego bezala azter daiteke.



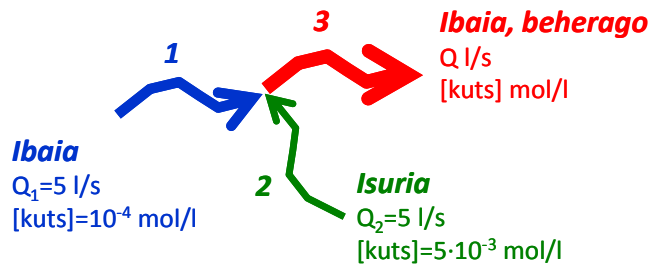
#### 4.2.6 Masa-balantzea kontzentrazioak erabilia

Orain arte azaldu diren adibideetan, masatan edo moletan adierazitako konposizioak erabili dira. Disoluzioekin lan egiten denean, konposizioa molen edo masaren % gisa adierazi ordez, disoluzio-bolumeneko solutuaren mol edo masa gisa adierazten da: mol/l, g/l eta abar. Konposizioak horrela ematen direnean, disoluzioa eta solutuak beste modu batean zenbatzen dira: disoluzioa bolumen/denbora eran zenbatzen den moduan, solutua masa/denbora edo mol/denbora eran zenbatzen da, kontzentrazioa masa/bolumen edo mol/bolumen eran dagoen.

**Adibidea**

#### 4.7 adibidea

Ibai batek 50 l/s-ko emaria du, eta ibaiko uretan disolbatutako kutsatzaileak  $10^{-4} \text{ g/l}$  kontzentrazioa du. Ibaiko puntu batean, inguruko instalazio kimiko batek ura isurtzen du 1 l/s emariaz, eta kutsatzailearen kontzentrazioa  $5 \cdot 10^{-3} \text{ g/l}$  da. Kalkula dezagun isurketa-puntutik behera, nahastea homogeneousatu ondoren, ibaiak duen emaria eta kutsatzailearen kontzentrazioa.



**Ebazpena**

Masa-balantzea bi gairi egingo zaie: disolbatzailea den urari (l/s-tan) eta kutsatzaileari (g/s-tan).

Kalkulurako oinarria  $\Delta t = 1s$  denbora-tartea hartzen bada:

Gaia	Sartu	Irten	Ekuazioa
Ura	$Q_1 + Q_2$	$= Q_3$	1
Kutsatzailea	$Q_1 \cdot C_{Kuts,1} + Q_2 \cdot C_{Kuts,2}$	$= Q_3 \cdot C_{Kuts,3}$	2

2 ekuazioa ebatziz:  $5 \cdot 1 \cdot 10^{-4} + 1 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 6 \cdot C_{Kuts,3}$  ;  $C_{Kuts,3} = 9,17 \cdot 10^{-4} \text{ g/l}$   
 1 ekuaziotik:  $Q_3 = 6 \text{ l}$

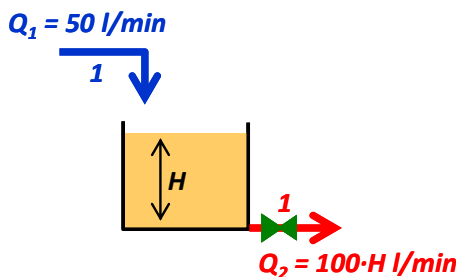
**4.2.7 Masa-balantzea egoera ez-geldikorrean**

Orain arteko adibide guztiak egoera geldikorrekoak izan dira. Prozesu askok egoera geldikorrean lan egiten dute, hasierako eta bukaerako uneak salbuetsita. Halere, zenbait sistema egoera ez-geldikorrekoak dira berez, eta Metatu terminoa kontuan hartu behar da.

**Adibidea**

**4.8 adibidea**

Irudiko tanga zilindrikoaren oinarriak  $1 \text{ m}^2$ -ko azalera du. Hasieran, 1000 l urez beteta dago, eta tangen  $H = 1 \text{ m}$  da. Une batean, 50 l/min emariaz betetzen hasten da eta tangaren azpialdeko 2 irteera zabaltzen da; bertan dagoen balbula batek  $100 \cdot H \text{ l/min}$ -ko emaria irteten uzten du. Kalkula dezagun 1 h igaro ondoren tangako urak zer maila (H) izango duen, eta sistema honek inoiz egoera geldikorrik lortuko duen.



**Ebazpena**

Ez denez uraren dentsitatea aldatzen, masa-balantzea bolumenean egingo da, l/min-tan.

$S = I + M$

Gaia	Sartu	Irten	Metatu	Ekuazioa
Ura	$Q_1$	$= Q_2$	$+ \frac{dV}{dt}$	1

Balioak ordezkatzuz,  $50 = 100 \cdot H + 10^{-3} \cdot \frac{dH}{dt}$

hasierako baldintzak:  $t = 0$ ,  $H = 1$  m izanik.

Integratu ondoren, adierazpen hau lortzen da:

$$H = 0,5 \cdot \left( 1 + e^{\left( \frac{t}{10} \right)} \right)$$

1 h igaro ostean,  $H = 0,501$  m.

H vs. t irudikatzen bada, denbora oso luzeetan  $H = 0,5$  m izatera hurbiltzen da; beste hitz batzuetan esanda, egoera geldikorrean,  $H = 0,5$  m izango da, eta, irudian ikusten den bezala, 100 minuturen ondoren egoera geldikorra lortu duela esan daiteke.

