

8. Gaia: BERO TRUKAGAILUAK

Oinarrizko Eragiketak Elikagaien Industrian I

OpenCourseWare
UPV/EHU OCW- 2017

Eva Epelde Bejerano
Miren Gallastegi Villa



8. Gaia: Bero trukagailuak

8.1. Sailkapena

Bero-trukagailuak dira bi fluidoren artean beroa, fluidoak bata bestearekin nahasi gabe, trukatzea ahalbidetzen duten gailuak.

Bero-trukagailu mota erabiliak:

1. Hodi bikoitzeko bero-trukagailuak
2. Karkasa eta hodi erako bero-trukagailuak
3. Bero-trukagailu trinkoak
4. Xafla eta bastidore (edo besterik gabe, xafla) erakoak

8. Gaia: Bero trukagailuak

8.1. Sailkapena

1. Hodi bikoitzeko bero-trukagailuak edo tubularrak:

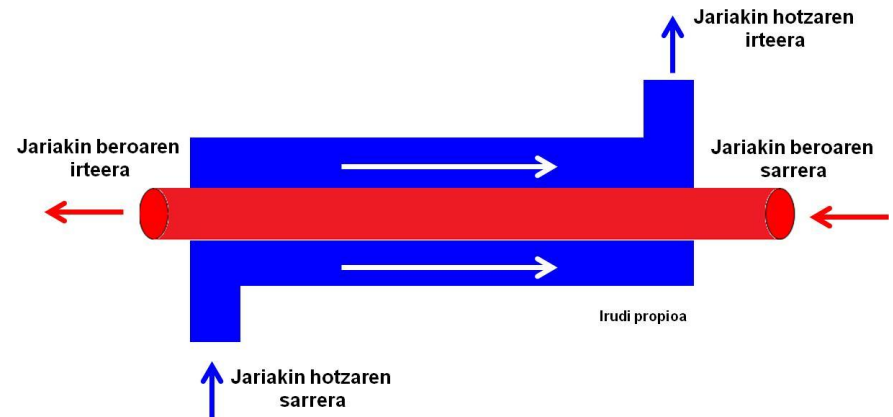
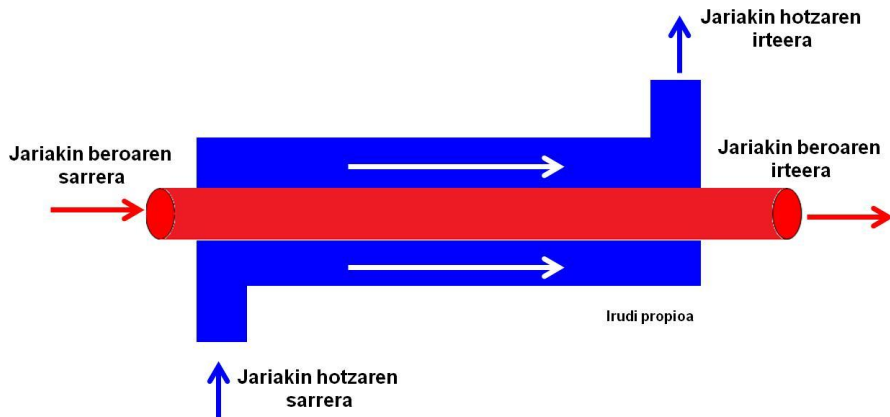
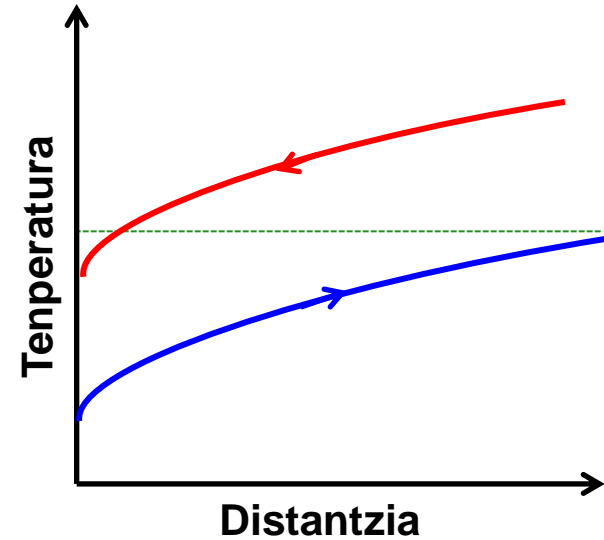
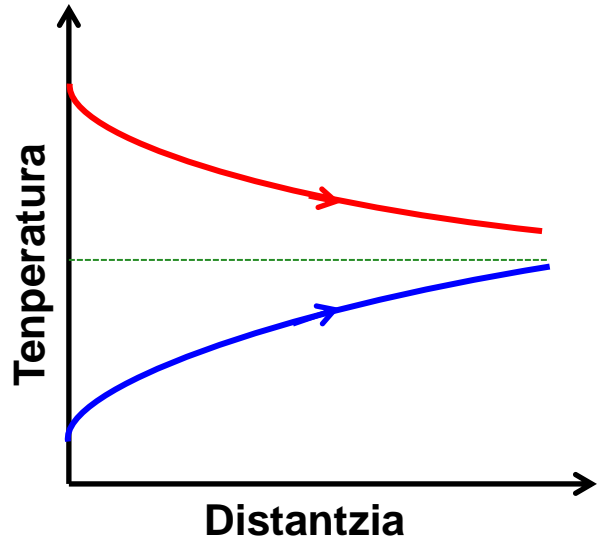
- ✓ Bi hodi zentrokidek osatutakoa da. Fluidoetako bat hodi txikienetik doa, eta beste fluidoa bi hodien arteko eraztun-formako tartetik higitzen da.

- ✓ Bi fluxu-antolaketa modu egon daitezke:
 - **Fluxu paraleloan:** fluido beroa eta hotza bero-trukagailuaren alde beretik sartzen dira, eta noranzko berdinean mugitzen dira.

 - **Kontrako fluxuan edo kontrakorrontean:** fluido beroa eta hotza bero-trukagailuaren kontrako aldeetatik sartzen dira, eta kontrako noranzkoetan mugitzen dira.

8. Gaia: Bero trukagailuak

1. Hodi bikoitzeko bero-trukagailuak edo tubularrak:



8. Gaia: Bero trukagailuak

8.1. Sailkapena

2. Bero-trukagailu trinkoa

- ✓ Berariaz diseinatutakoa bolumen unitateko bero-transferentziaren azalera handia lortzeko.
- ✓ Bero-trukagailu baten bero-transferentziako azaleraren eta haren bolumenaren arteko arrazoiari β **azalera-dentsitate** deritzo.
- ✓ Autoen erradiadoreak ($1000 \text{ m}^2/\text{m}^3$)
- ✓ Gas-turbinetako bitrozeramikazko bero-trukagailuak ($6000 \text{ m}^2/\text{m}^3$)
- ✓ Stirling motor bateko birsorgailua ($15000 \text{ m}^2/\text{m}^3$)
- ✓ Giza birrikak ($20000 \text{ m}^2/\text{m}^3$)

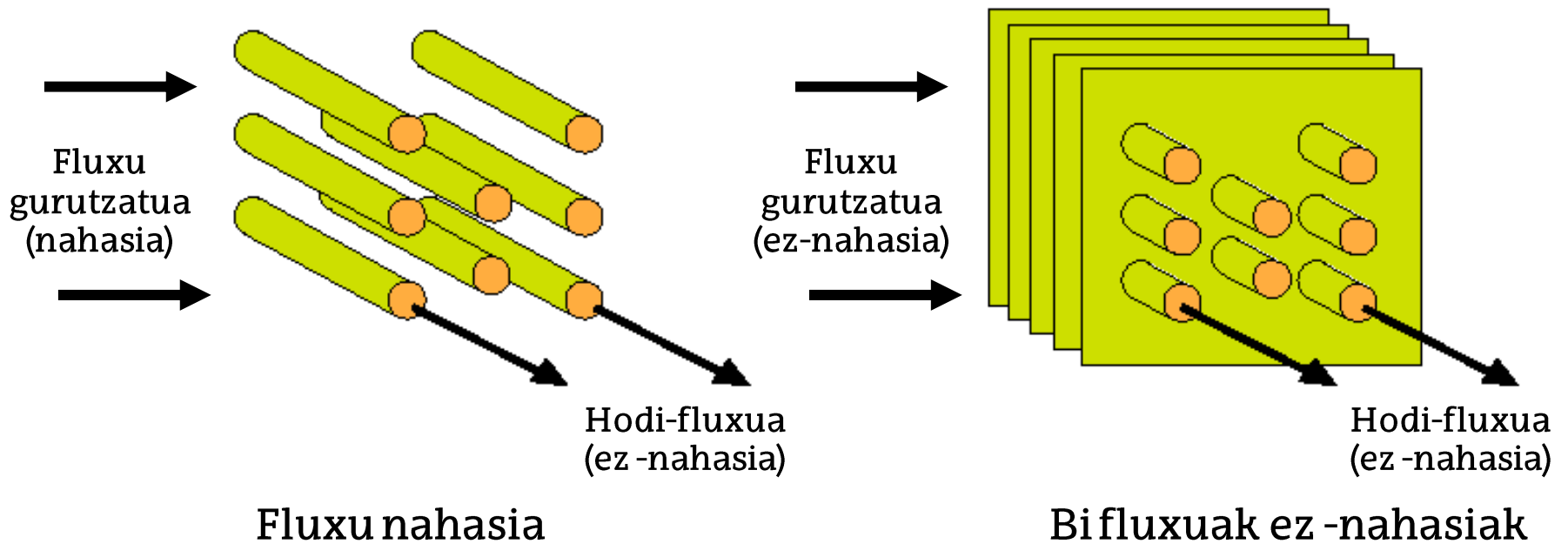
8. Gaia: Bero trukagailuak

2. Bero-trukagailu trinkoa

- ✓ Bolumen txikian, bero-transferentzia handiak lor daitezke bi fluidoan artean.
- ✓ Bero-trukagailuen pisu eta bolumen-muga estuak dituzten aplikazioetan erabili.
- ✓ Azalera handia lortzeko, elkarren artean tarte txikia duten **xafla meheak** edo **hegal izurtuak** itsasten zaizkio bi fluidoak banatzen dituen hormari.
- ✓ Bi fluidoak bata bestearekiko perpendikular mugitzen dira: **fluxu gurutzatua**.
 - ✓ **Fluxu ez-nahasia**: xafako hegalek fluidoak hegal-tarte jakin batean zehar mugiarazten dute eta zeharkako norabidean (hots-hodiekiko paralelo) mugitzea eragozten diote.
 - ✓ **Fluxu nahasia**: fluxuak zeharkako norabidean mugitzeko aukera dauka.

8. Gaia: Bero trukagailuak

2. Bero-trukagailu trinkoa



8. Gaia: Bero trukagailuak

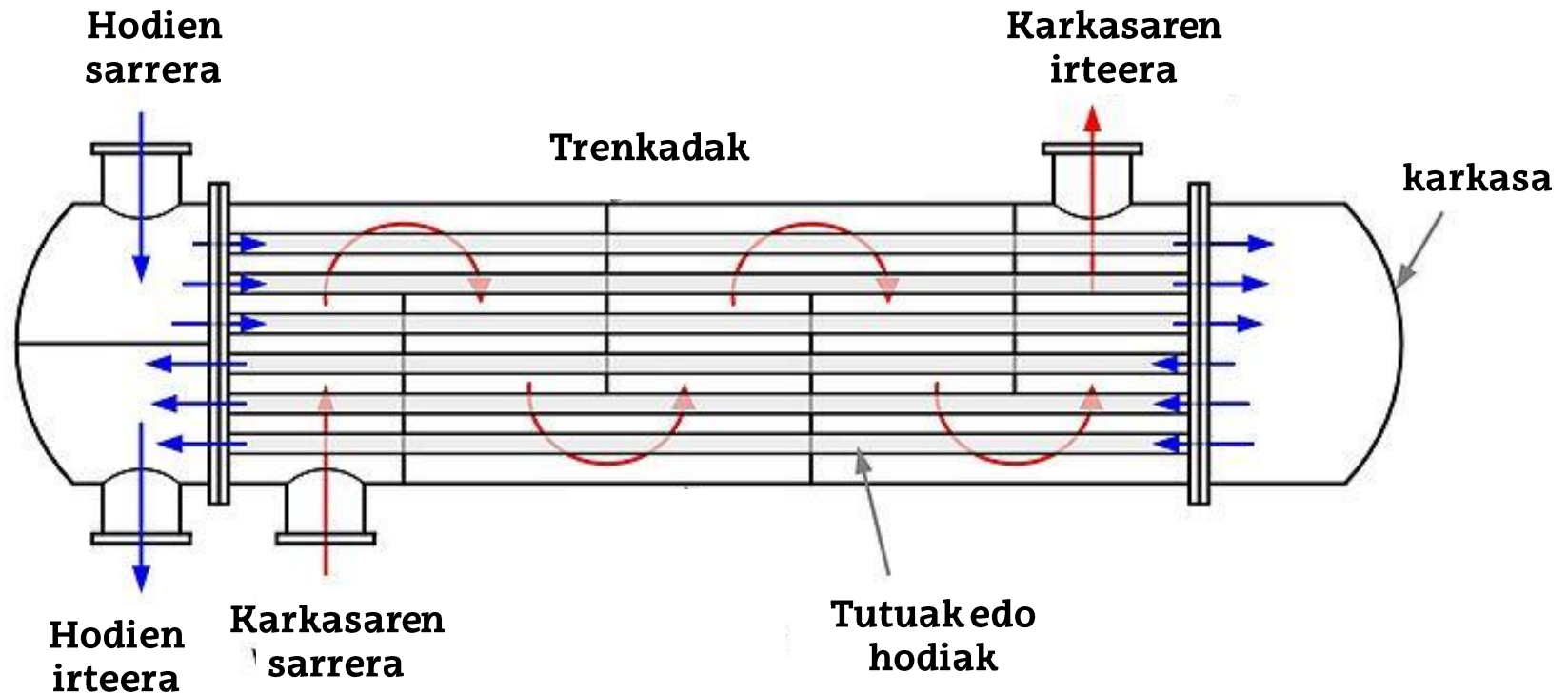
8.1. Sailkapena

3. Karkasa eta hodi erako bero-trukagailuak

- ✓ Industrian gehien erabiltzen den bero-trukagailu mota.
- ✓ Karkasa batean bildutako hodi ugari izaten dute, bere ardatzak estalkiarenera paralelo dituztenak.
- ✓ Bero-transferentzia gertatzen da fluidoetako bat hodietan barrena doala, eta bestea, hodian kanpoaldetik karkasaren barnetik.
- ✓ Ohikoa da karkasan **trenkadak** jartzea karkasaren aldeko fluidoak karkasan zehar higiarazteko, bero-transferentzia handitzeko, eta hodian arteko tartea uniformeak izan dadin.
- ✓ Fluidoak karkasatik eta hoditik zenbat aldiz pasatzen diren kontuan hartu (**iraganaldiak edo pausuak**): karkasa-iraganaldi bakarra eta bi hodi-iraganaldi, bi karkasa-iraganaldiko eta lau hodi-iraganaldiko bero-trukagailuak, etab.

8. Gaia: Bero trukagailuak

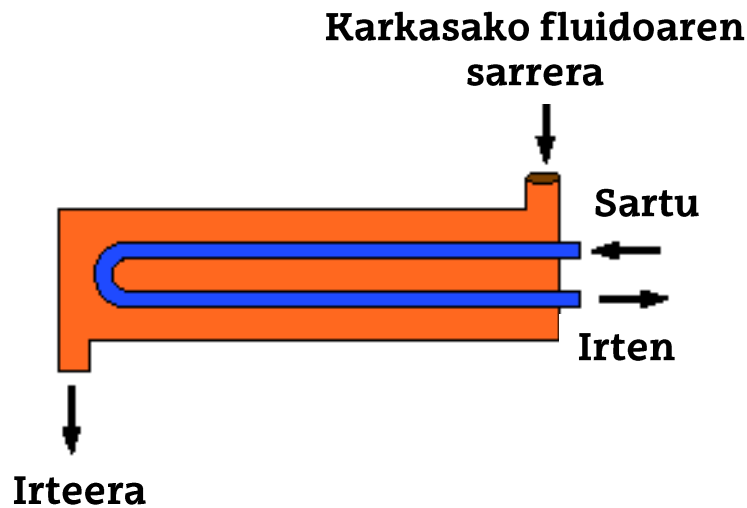
3. Karkasa eta hodi erako bero-trukagailuak



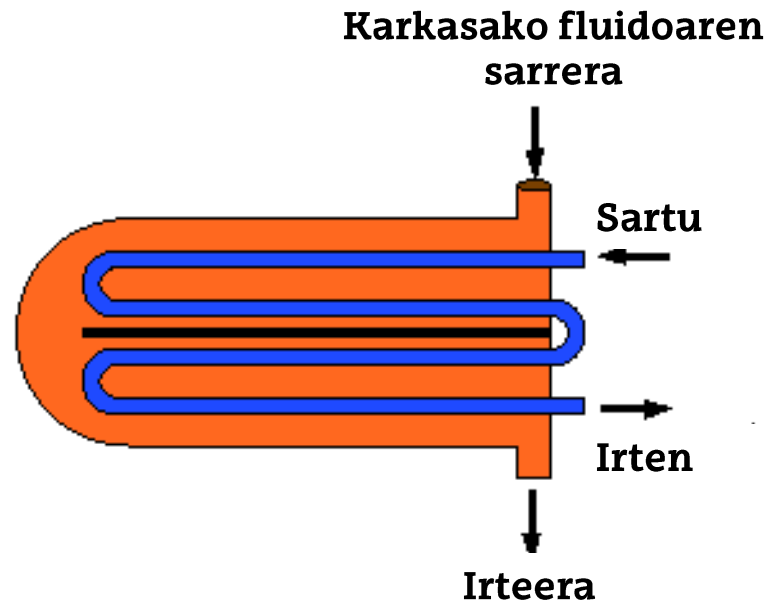
(Oschal-en argazkia ([wikimedia commons](#) argitaratuta CC BY-SA litzentziapean) (eraldatua))

8. Gaia: Bero trukagailuak

3. Karkasa eta hodi erako bero-trukagailuak



Karkasa-iraganaldi bakarra
eta bi hodi-iraganaldi



Bi karkasa-iraganaldi eta lau
hodi-iraganaldi

8. Gaia: Bero trukagailuak

8.1. Sailkapena

4. Xafla eta bastidore erako (plakazko) bero-trukagailua

- ✓ Fluxu-igarobide lau zimurrak eratzen dituzten zenbait **xaflako** bero-trukagailua. Fluido beroa eta hotza daramaten igarobideak txandaka antolatzen dira, eta, beraz, fluido hotzeko laster bakoitza fluido beroko bi lasterrez inguratuta dago, eta oso eraginkorra da bero-transferentzia.
- ✓ Likidotik likidorako bero-transferentziako aplikazioetan
- ✓ Esneki eta edarien industrian oso erabiliak.
- ✓ Likatasun txikiko jariakinekin.
- ✓ Plakak edo xaflak altzairu herdoilgaitzezkoa.

8. Gaia: Bero trukagailuak

4. Xafla eta bastidore erako bero-trukagailua



[Chriholmes24-ren argazkia \(wikimedia commons argitaratuta CC Domeinu publiko litzentziapean\)](#)

8. Gaia: Bero trukagailuak

8.1. Sailkapena

Beste batzuk...

- Ohantze fluidizatua
- Ohantze mugikorra
- Zinta garraiatzailea
- Kiribildua
- ...

8. Gaia: Bero trukagailuak

8.2. Bero-trukagailuen aukeraketa

- ✓ **Bero transferentziaren abiadura:** beroa abiadura jakin batean transferitzeko gai izan beharko luke bero-trukagailuak, lortu nahi den fluidoaren tenperatura-aldaketa masa-emari zehaztuan erdiesteko.
- ✓ **Kostua:** aurrekontu-mugak kontuan hartu behar dira. Seriean egindako bero-trukagailu baten abantaila da kostu finkoa duela, eskaerapean egindakoen aldean. Batzutan, ezinezkoa da eta hutsetik diseinatu behar da. Operazio- eta mantentze-lanen kostua.
- ✓ **Ponpatze-potentzia:** askotan bi fluidoak mugitzera behartu izaten dira, elektrizitatea kontsumitzen duten ponpa eta haizagailuekin.

8. Gaia: Bero trukagailuak

8.2. Bero-trukagailuen aukeraketa

✓ **Ponpatze-potentzia:** Operazio-kostua kalkulatzeko,

Operazio-kostua = (Ponpatze-potentzia, kW) x (Operazio-orduak, h) x (Elektrizitatearen kostua unitateko, €/kWh)

Adibidez,

Ponpa: 1 zp (0,746 kW)

Haizagailua: 1/3 zp (0,248 kW)

Egunean 8 ordu, astean 5 egun

Elektrizitate kontsumoa urtean: 2069 kWh

Elektrizitatearen kostua 8 zentimo/kWh bada,

Operazio-kostua: 166 €

8. Gaia: Bero trukagailuak

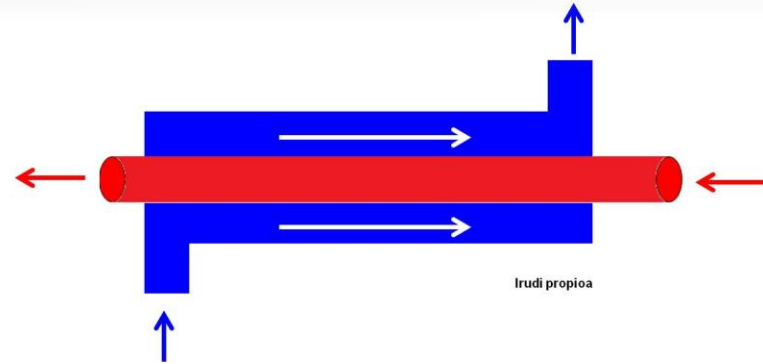
8.2. Bero-trukagailuen aukeraketa

- ✓ **Tamaina eta pisua:** Zenbat eta txikiagoa eta arinagoa izan bero-trukagailua, orduan eta hobe (automobilgintzan, hegazkigintzan, etab.). Elikagaien industrian handiagoak izan ohi dira. Batzuetan dagoen espazioak mugatzen du erabil daitezkeen hodien luzerak.
- ✓ **Mota:** Fluido mota, tamaina-, pisu-mugak eta fase-aldaketako prozesuak dauden edo ez dauden kontuan izan behar dira.
- ✓ **Materialak:** dilatazio termikorik dagoen, korrosioarekiko erresistentzia, ... altzairu herdoilgaitza, titanioa erabili.
- ✓ **Bestelako irizpideak:** hermetikoa, erabiltzeko erraztasuna, mantentze-kostu erkea, segurtasuna, isiltasuna,...

8. Gaia: Bero trukagailuak

8.3. DISEINUA: Hodi bikoitzeko bero-trukagailua

Behar den informazioa:



- Bero transmisiorako koefiziente globala (U)
- Jarioaren eredua: pistoi fluxua, nahaste perfektua, jariakina geldi....

Pistoi fluxua suposatuko da: elementu diferentzial batean propietate guztiak berdinak dira norabide erradialean.

8. Gaia: Bero trukagailuak

8.3. DISEINUA: Hodi bikoitzeko bero-trukagailua

Suposizioak:

- Bero fluxua egoera egonkorrean
- Bero trukerako koefiziente globala konstante da trukagailuaren luzera guztian.
- Bero espezifiko balio konstanteak hartu $\sim T$ menpekotasunik ez
- Ez dago kondukzio axialik.
- Trukagailua guztiz isolatua dago. Hau da, bero trukea jariakinen artean ematen da eta ingurunerako bero galerak arbuiagarriak dira.

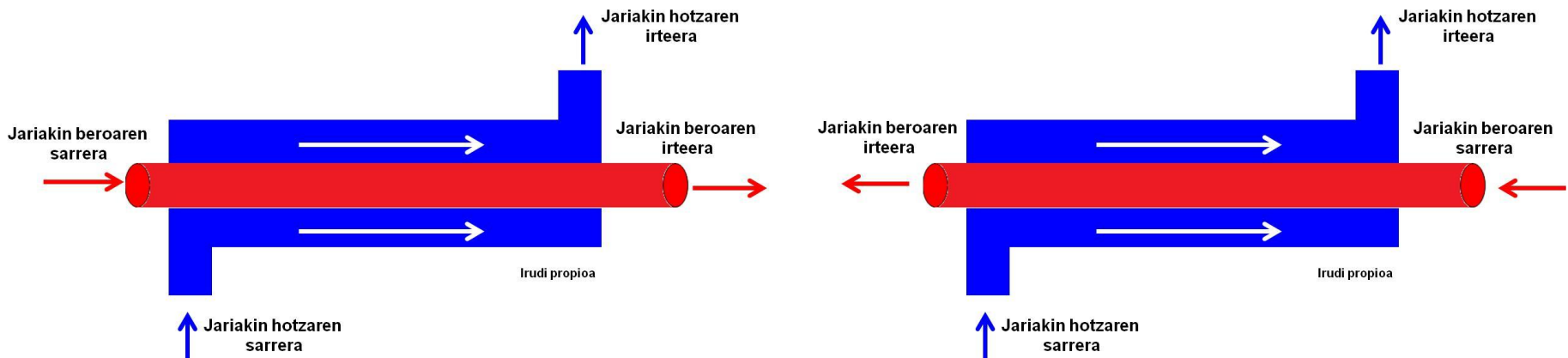
8. Gaia: Bero trukagailuak

8.3. DISEINUA: Hodi bikoitzeko bero-trukagailua

Termodinamikaren lehen legea: fluido bero baten bero-transferentziaren abiadura eta fluido hotz batena berdina da.

Bero galerak arbuigarriak suposatuz eta jariakin bakoitzean aplikatuz:

$$q = m_B C_{p,B} (T_{B,sarrera} - T_{B,irteera}) = m_H C_{p,H} (T_{H,irteera} - T_{H,sarrera})$$



8. Gaia: Bero trukagailuak

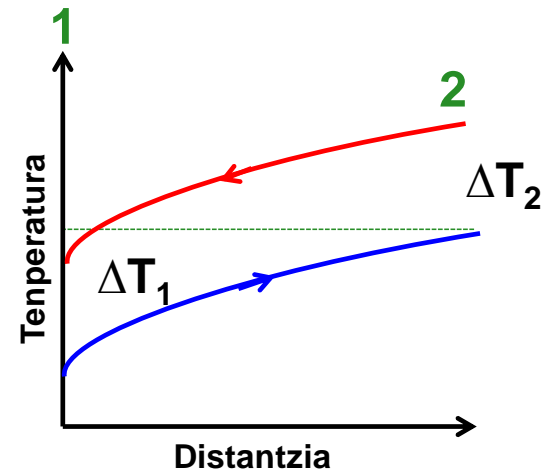
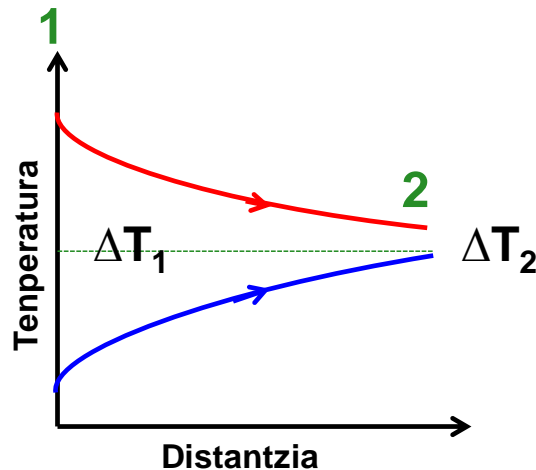
8.3. DISEINUA: Hodi bikoitzeko bero-trukagailua

U konstante kontsideratuz: $q = UA\Delta T_{ml}$

$$q = UA \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} \right)}$$

Bataz besteko tenperatura-diferentzia logaritmikoa (ΔT_{ml})

Fluido beroaren eta hotzaren arteko tenperatura-diferentzia handia da bero-trukagailuaren sarreran, baina txikitu egiten da, modu esponentzian, irteerara hurbiltzean.



8. Gaia: Bero trukagailuak

8.3. DISEINUA: Hodi bikoitzeko bero-trukagailua

Bataz besteko tenperatura-diferentzia logaritmikoa (ΔT_{ml})

Fluxu paraleloko bero-trukagailuetan:

$$\Delta T_1 = T_{B,sarrera} - T_{H,sarrera}$$

$$\Delta T_2 = T_{B,irteera} - T_{H,irteera}$$

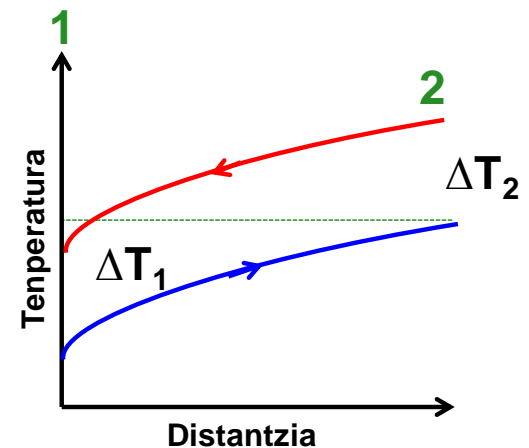
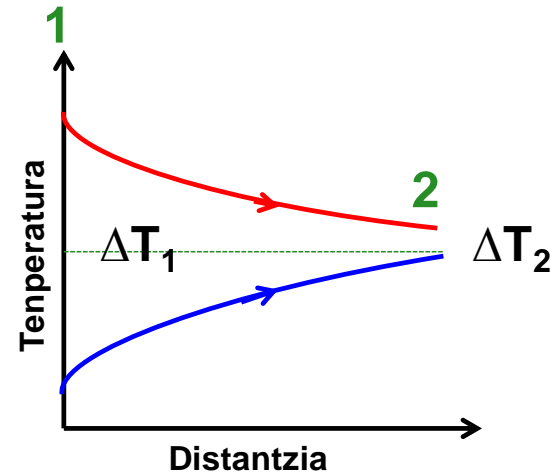
Fluido hotzaren tenperaturak inoiz ez du fluido beroarena gaindituko

Kontrako fluxuko bero-trukagailuetan:

$$\Delta T_2 = T_{B,sarrera} - T_{H,irteera}$$

$$\Delta T_1 = T_{B,irteera} - T_{H,sarrera}$$

Fluido hotzaren irteerako tenperaturak inoiz ez du fluido beroaren sarrerako tenperatura gaindituko



8. Gaia: Bero trukagailuak

ADIBIDEA 8.1

Jariakin likatsu bat (bero espezifikoa = $4,0 \text{ kJ}/(\text{kg } ^\circ\text{C})$) hodi bikoitzeko bero-trukagailu baten barneko hoditik dario. Jariakina $20 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan elikatzen da eta $60 \text{ }^\circ\text{C}$ arte berotzen da, bere emari masikoa $0,5 \text{ kg/s}$ izanik. Bi tutuen artekin ura dario kontrakorrantean 1 kg/s -ko emari masikoarekin. Ura $90 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan elikatzen da. Uraren batez besteko bero espezifikoa $4,18 \text{ kJ}/(\text{kg } ^\circ\text{C})$ kontsideratu. Egoera egonkorra suposatuz, kalkulatu:

- (1) Uraren tenperatura trukagailuaren irteeran.
- (2) Tenperatura diferentzia logaritmikoa.
- (3) Bero trukagailuaren luzera, bero trukerako barne koefiziente globala $2000 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C})$ bada eta tutueriaren barne diametroa 5 cm .
- (4) Errepikatu kalkuluak jariakinen fluxua paraleloa bada.

8. Gaia: Bero trukagailuak

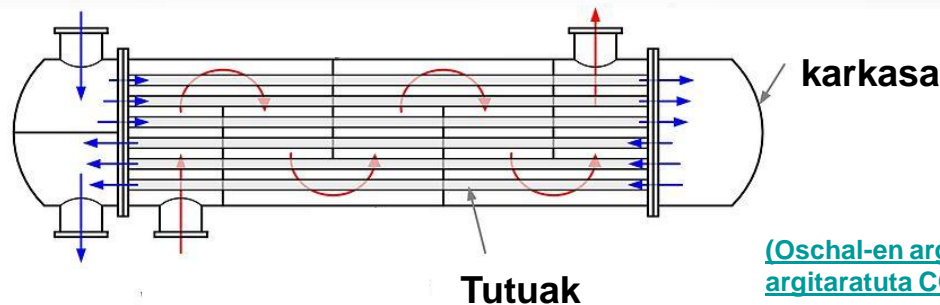
ADIBIDEA 8.2

%90 kalitatezko ur lurruna 143,27 kPa-eko presioan hodi bikoitzeko bero-trukagailu baten kanpoaldean (espazio eraztunean) kondentsatzen da. Bero trukagailuaren luzera 5 m-koa da eta barnealdetik elikagai bat dario 0,5 kg/s-ko emariarekin. Barne diametroa 5cm-koa da eta elikagaiaren bero espezifikoa 3,9 kJ/(kg °C)-koa da. Elikagaia 40 °C-tik 80 °C-tara berotzen bada, kalkulatu,

- (a) Bero transmisiorako koefiziente globalaren batez besteko balioa.
- (b) Barne tutueriak kondukzioari jartzen dion erresistentzia arbuiagarria bada eta ur lurrunaren konbekzio koefizientea oso handia bada (infinitura hurbiltzen da), estimatu elikagaiaren konbekzio koefizientea.

8. Gaia: Bero trukagailuak

8.3. DISEINUA: Karkasa -hodi erako bero-trukagailuak



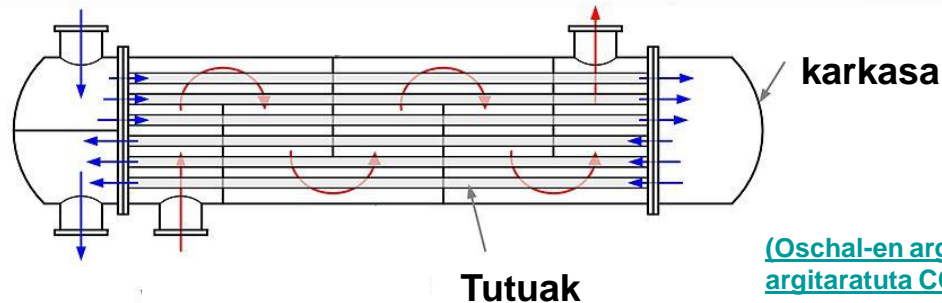
- Oso erabiliak.
- Fluxu konplexua eta ondorioz diseinu ekuazioa baita.
- Kontrakorronteko bero trukagailu tubularren diseinu ekuazioan oinarritzen da.

F: Zuzenketa faktorea (0-1) : bero-trukagailuaren geometriaren eta fluido-laster beroaren eta hotzaren sarrera- eta irteera-temperaturaren mendekoa da.

$$q = m_B C_{p,B} (T_{B,sarrera} - T_{B,irteera}) = m_H C_{p,H} (T_{H,irteera} - T_{H,sarrera}) = UA \Delta T_{ml} F$$

8. Gaia: Bero trukagailuak

8.3. DISEINUA: Karkasa -hodi erako bero-trukagailuak

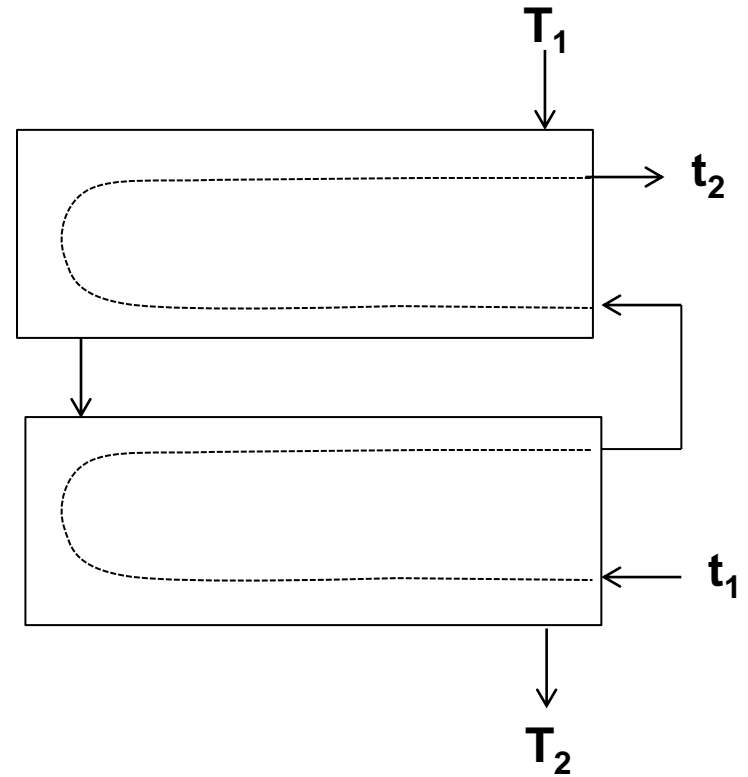
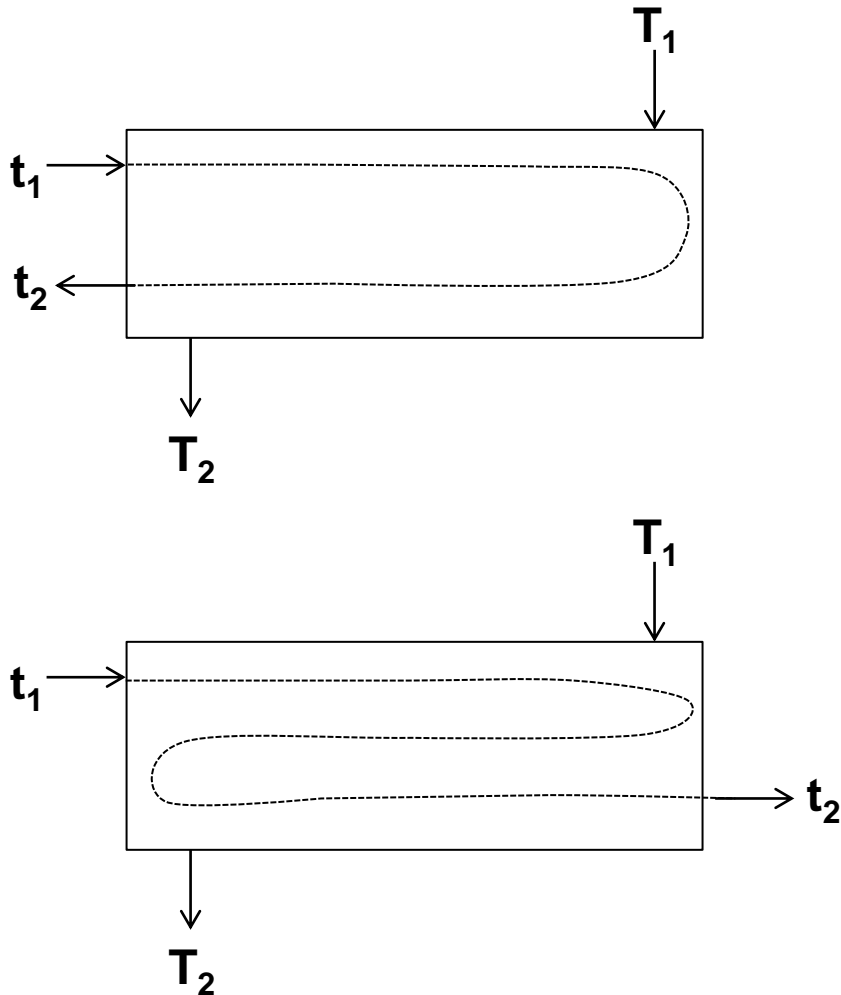


([Oschal-en argazkia \(wikimedia commons argitaratuta CC BY-SA litzentziapean\)](#) (eraldatua))

- Fluxuaren iraganaldi kopuruaren arabera, kontaktu azalera desberdina da, eta ondorioz, zuzenketa faktorea baita.
- Eredu desberdinak hurrengo eran izendatzen dira: 1-2, 1-4, 2-4, ...
 - 1. zenbakia: karkasatik darion jariakinaren iraganaldi (pauso) kopurua.
 - 2. zenbakia: hodiedtan zeharreko iraganaldi kopurua, pausua bero trukagailuaren noranzko bat ulertuz.

8. Gaia: Bero trukagailuak

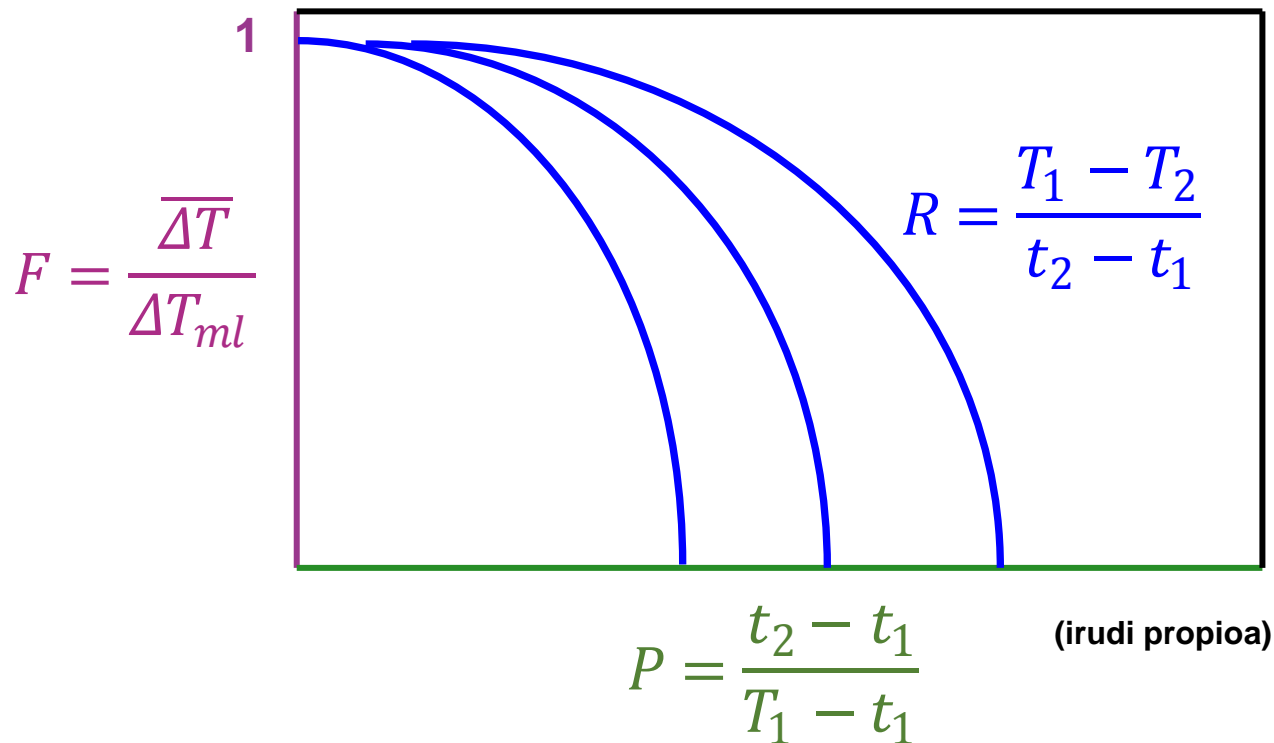
8.3. DISEINUA: Karkasa -hodi erako bero-trukagailuak



(irudi propioak)

8. Gaia: Bero trukagailuak

8.3. DISEINUA: Karkasa -hodi erako bero-trukagailuak



Cengel, Y. (2013). Bero- eta masa-transferentzia. Hurbilketa praktikoa. Euskal Herriko Argitalpen Zerbitzua.

Ikus 11-18 irudia (F balioak)

8. Gaia: Bero trukagailuak

8.3. DISEINUA: Karkasa -hodi erako bero-trukagailuak

- ❑ Tutueria barrutik beti, jariakinik zikinena edota korrosiboena. Garbiketa errazagoa duelako.
- ❑ Tutuetan presio galera karkasan baino handiagoa denez, likatasun baxuena duen jariakina tutuetan zehar.
- ❑ Normalean pausuak bikoitiak dira, kalkuluak errazteko.
- ❑ Fase biak kontaktuan jartzeko modu desberdin asko daude, beti kontrakorronteko fluxua hurbildu nahian (eraginkorrena).

8. Gaia: Bero trukagailuak

ADIBIDEA 8.3

Karkasa tutu erako bero trukagailu batean, olio beroa karkasaren aldetik elikatzen da ($c_p=2.09$ kJ/kg K) 0,63 kg/s-ko emariarekin eta 110 °C-tan. Trukagailuaren irteeran 50 °C-tan irteten da. 1 kg/s-ko emariarekin olio hotza berriz ($c_p=1.67$ kJ/kg K), 60 °C-tan irtetzen da trukagailutik.

- a) Zein jario mota da, paraleloa edo kontrakorrontea?
- b) Zein da behar den transferentziarako gainazala, barne erreferentziarekiko bero garraiorako koefiziente globala 0,7 W/(m²K) bada?
- c) Zein da transferentzia gainazala, olio beroak karkasatik pauso bakarra egiten duen bitartean, oilo hotzak tutuerietan zehar bi pausu ematen baditu?
- d) Errepikatu 2,4 trukagailu batentzat.