

INDUSTRIA TEKNOLOGIAREN INGENIARITZAKO GRADUA

GRADU AMAIERAKO LANA

***JARIAKIN TERMIKO BATEN HOZKETARAKO
HEGALDUN HODI BIKOITZEKO BERO
TRUKAGAILU BATEN DIMENTSIONAKETA***

Ikaslea: Dudagoitia Bollada, Markel

Zuzendaria: Urbicain Pelayo, Miren Karmele

Curso: 2018-2019

Data: Bilbon, 2019ko ekainaren 27an

Aurkibidea

NOMENKLATURA	5
ALDAGAIK	5
AZPIINDIZEAK	6
LABURPENA.....	9
1. SARRERA.....	11
2. TESTUINGURUA	12
2.1 ERREFRIGERAZIO SISTEMAK	12
2.2 BERO TRUKAGAILUAK	12
2.3 BERO TRUKAGAILUAK ESKALA ERTAIN-TXIKIAN	13
2.4 HODI BIKOITZEKO BERO TRUKAGAILUAREN ERABILERA.....	13
3. HELBURUAK ETA IRISPENA.....	15
3.1 HELBURUAK.....	15
3.2 IRISPENA	15
4. PROIEKTUAREN ABANTAILAK	17
5. ALTERNATIBEN ANALISIA	18
5.1 ALTERNATIBA TEKNIKOAK	18
5.1.1 BERO TRUKAGAILU MOTA.....	18
5.1.2 HODI MOTA.....	22
5.1.3 GAINAZAL HEDATUA	22
5.2 SOFTWARE ALTERNATIBAK.....	23
5.3 METODOLOGIA ALTERNATIBAK	24
5.4 ALTERNATIBEN HAUTAKETA	25
6. METODOLOGIA.....	27
6.1 DATUAK	27
6.2 PROZEDURA	27
6.2.1 DIMENTSIONAKETA	27
6.2.2 KARGA GALERAK.....	34
6.3 DISKRETIZAZIOA	38
6.4 OLIO TERMIKOA.....	38
7. EMAITZAK	39
7.1 DATUAK	39
7.2 EMAITZAK.....	39
7.2.1 HEGALEN ANALISIA	42

7.2.2 URKILAK PARALELOAN	44
8. GANTT DIAGRAMA	46
9. AURREKONTUA	48
ONDORIOAK	50
INFORMAZIO ITURRIAK	51
ERANSKINAK: EMAITZAK	52

NOMENKLATURA

ALDAGAIK

A	Azalera. [m^2]
A_B	Hodiaren kanpoko aurpegian dagoen azalera erabilgarria. Hots, hegalek estaltzen ez duten zatia. [m^2]
A_E	Hegalen azalera. [m^2]
C_p	Bero espezifikoa. [$\frac{J}{kg \cdot K}$]
D	Kanpo hodiaren diametroa. [m]
d	Barne hodiaren diametroa. [m]
D_h	Diametro hidraulikoa. [m]
ΔP	Frikzioari dagozkion presio-galerak. [Pa]
$\Delta P'$	Presio galera lokalak. [Pa]
ε	Hegalen eraginkortasuna. [-]
f	Frikzio koefizientea. [-]
h	Konbekzio koefizientea. [$\frac{W}{m^2 \cdot K}$]
η	Konbekzio koefizientearentzako zuzenketa faktorea. [-]
j_h	Bero transferentzia faktorea. [-]
$k(T)$	Eroankortasun termikoa T temperaturara. [$\frac{W}{m \cdot K}$]
L	Luzera. [m]
$LMTD$	Bataz besteko temperatura diferentzia logaritmikoa. [$^{\circ}C$]
\dot{m}	Emari masikoa. [$\frac{kg}{s}$]
$\mu(T)$	Biskositatea T temperaturarako. [$\frac{kg}{m \cdot s}$]
N	Kopurua. [-]
$\nu(T)$	Biskositate zinematikoa T temperaturarako. [$\frac{m^2}{s}$]

Pr	Prandtl-en zenbakia. [-]
\dot{Q}_{truk}	Trukatutako beroa. [W]
Re	Reynolds-en zenbakia. [-]
R_{zikin}	Zikinkeriak eragindako erresistentzia termikoa. $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$
$\rho(T)$	Dentsitatea T temperaturarako. $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$
St	Stanton-en zenbakia. [-]
T	Tenperatura. [$^{\circ}C$]
U	Bero transferentzi koefiziente orokorra. $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$
V	Abiadura. $\left[\frac{m}{s}\right]$
w	Lodiera. [m]
y	Re zenbakiaren araberako berretzailea. [-]

AZPIINDIZEAK

0	Hasierako balioa.
1	Olio termikoari dagokiona.
2	Urario dagokiona.
e	Sarrera.
ef	Efektiboa.
ext	Kanpo.
int	Barne.
$hegal$	Hegalari dagokiona.
$hodi$	Hodiari dagokiona.
i	Barne kanalari dagokiona.
m	Bataz bestekoa.
o	Kanpo kanalari dagokiona.
oi	Kanpo kanaleko balio zuzendua.

<i>s</i>	Irteera.
<i>tot</i>	Totala.
<i>urk</i>	Urkila.
<i>w</i>	Pareta

LABURPENA

Laburpena: Gailu elektronikoen hozketa sistema baten parte den jariakin termiko baten hozketarako bero trukagailu bat diseinatu nahi da. Diseinu prozesuan zehar zehaztu beharko diren hainbat gauzen artean korronteen antolamendua edota bero trukagailuaren luzera daude. Beharrezkoak diren kalkulu guztiak kasu hauetan maiz erabiltzen den EES software-aren laguntzarekin burutuko dira.

Diseinua burutu eta gero beste kasu batzuk jorratuko dira hartutako erabakiak egokiak diren edo aldaketaren bat egin beharko litzatekeen jakiteko asmoz, betiere prezioaren, zailtasun teknikoaren eta jarduera egokiaren arteko oreka ziurtatuz.

Abstract: The design of a heat exchanger is needed in order to cool a thermal fluid flow that is part of a electrical device cooling system. Some of the things to determinate will be the flow arrangement or the length of the heat exchanger depending on the amount of power that will be exchanged. These calculus will be done using the EES software, which is commonly used in these sort of problems.

After the design some extra calculations will be done with other values in order to analyze if the chosen option is the optimal one or there are some modifications that would improve the heat exchanger, always looking for the perfect balance between prize, technical complexity and performance.

Resumen: Se quiere diseñar un intercambiador de calor para el enfriamiento de un fluido térmico que forma parte de un sistema de enfriamiento de dispositivos electrónicos. Algunas de las cosas a determinar en el diseño son la disposición de las corrientes o la longitud del intercambiador. Para realizar los cálculos necesarios se usará el software EES, muy utilizado en este tipo de casos.

Una vez diseñado el intercambiador se procederá a analizar otros caso con el fin de determinar si las decisiones tomadas han sido las adecuadas o si habría que hacer alguna modificación, siempre buscando el equilibrio entre precio, complejidad técnica y desempeño del equipo.

IRUDIEN AURKIBIDEA

- IRUDIA 1 ORDENAGAILU BATEN HOZTE SISTEMARAKO BERO TRUKAGAILUA. ITURRIA: [3]
- IRUDIA 2 ENERGIA SORKUNTZA PLANTA BATEKO BERO TRUKAGAILUA. ITURRIA: [9]
- IRUDIA 5 HODI BIKOITZEKO BERO TRUKAGAILUAREN OHIKO ANTOLAMENDUA. ITURRIA: [7]
- IRUDIA 6 HODI BIKOITZEKO BERO TRUKAGAILUA. ITURRIA: [7]
- IRUDIA 7 EKIKORRONTEAN ZEIN KONTRAKORRONTEAN EMATEN DEN TENEPRATURA PROFILA. ITURRIA: [11]
- IRUDIA 8 FLUXU NAHASTUA (ESKUINA) ETA FLUXU EZ-NAHASTUA (EZKERRA) BERO TRUKAGAILU KONPAKTUETAN. ITURRIA: GOOGLE
- IRUDIA 9 XAFALDUN BERO TRUKAGAILUA. ITURRIA: [2]
- IRUDIA 10 BEROTUTAKO MATERIALA PARTIZIO GAINAZALA DENEKO KASUA. ITURRIA: []
- IRUDIA 11 BERO GURPILA. ITURRIA: GOOGLE
- IRUDIA 12 HEGAL LONGITUDINALAK. ITURRIA: [10]
- IRUDIA 13 HEGAL PERPENDIKULARRAK. ITURRIA: [12]
- IRUDIA 14 ETAPA BAKARREKO ETA ETAPA ANITZEKO ANTOLAMENDUA. ITURRIA: [5]
- IRUDIA 15 BI ZIRKUITU PARALELO DITUEN BERO TRUKAGAILUA, ZIRKUITU BAKOITZEAN BI JOAN-ETORRI EDO URKILA DAUDELARIK. ITURRIA: [16]
- IRUDIA 16 LAU URKILADUN HODI BIKOITZEKO BERO TRUKAGAILUA. ITURRIA: [6]

TAULEN AURKIBIDEA

- TAULA 1 BERO TRUKAGAILUA 1, 3 ETA 4 ZATITAN BANATZEAN LORTUTAKO LUZERA INDEPENDENTEAK ETA LUZERA TOTALA.
- TAULA 2 BARNE ETA KANPO KANALETAN EMATEN DIREN KARGA GALERAK.
- TAULA 3 BESTE HAINBAT DATU ESANGURATSU
- TAULA 4 HEGALIK GABEKO KASUAN LORTUTAKO EMAITZA ESANGURATSUENAK.
- TAULA 5 HEGALEN ERRENDIMENDUA ETA ERAGINKORTASUNA
- TAULA 6 HEGALEN ZUZENKETA SARTU BAINO LEHEN ETA OSTEAN KANPO KOBEKZIO KOEFIZIENTEA.
- TAULA 7 BI ZIRKUITUTAN BANATZERAKOAN LORTUTAKO EMAITZAK.
- TAULA 8 HIRU ZIRKUITUTAN BANATZERAKOAN LORTUTAKO EMAITZAK.
- TAULA 9 DIMENTSIONAKETA PROIEKTUAREN BARNE-ORDUEN KALKULUA.
- TAULA 10 DIMENTSIONAKETA PROIEKTUAREN AMORTIZAZIOEN KALKULUA.
- TAULA 11 DIMENTSIONAKETA PROIEKTUAREN GASTUEN KALKULUA.
- TAULA 12 DIMENTSIONAKETA PROIEKTUAREN AURREKONTUAREN KALKULUA.

1. SARRERA

Gailu elektronikoen kontrol termikoak hauen tenperatura fabrikatzaileak zehaztutakoaren azpitik mantentzea du helburu. Frogatuta dago osagai baten tenperatura fabrikatzaileak emandakoa baino 10°C gehiago bada zenbait sistemen fidagarritasuna %50 jeitsi daitekeela. Hortaz, funtsezko garrantzia dauka hauen hozteak. Dokumentu honetan gailu hauek hozten dituen jariakina hoztea helburu duen bero trukagailu baten diseinu prozesu osoa adierazten da. Lehen eskaera egiten denetik, bitartean beharrezko erabakiak hartuz eta azken emaitzen lorpena eta hauen analisisa egiten denera arte.

Aipatutako bero trukagailua gailu elektronikoen hozketa sistematik datorren jariakin termiko baten hozketarako egin nahi da. Bero trukagailu honen alde baten jariakin termikoa joango da, bestaldetik urak jarioko duelarik. Jariakin termikoa 70°C -tan sartu eta 25°C -tan irtetzea eta ura 15°C -tik 50°C -tara berotzea nahi da.

Hoztu nahi den jariakin termiko honek $0,38\text{ kg/s}$ -ko emari konstantea izango du, ur korrontearen beharrezko emaria kalkulatu beharko delarik. Bero trukagailuak beharrezko bero trukaketatik jeitsi ez dadin, eskatu da kalkuluak egiterako orduan $0,0002\text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ -ko zikinkeriatik erresistentzia termikoa suposatzeke bai jariakin termikoaren zein uraren aldean.

Aurreko datu horiek guztiak kontutan izanik, bero trukagailu mota zehaztea eta honen dimentsionaketa egitea eskatzen da, ekonomikoki zein teknikoki kasu optimoena aukeratuz. Honekin batera proiektua aurrera eramateko Gantt diagrama eta aurrekontua eskatzen dira.

2. TESTUINGURUA

2.1 ERREFRIGERAZIO SISTEMAK

Badaude gaur egun hainbat ekipo mota non haien eginkizunetan jarduten duten bitartean beroa ekoizten duten, hau haien heburua izan gabe. Edozein sistema mekaniko marruskaduraren eraginez sortutako beroak edota sistema elektronikoko batek jardutean sortutakoak hauen fidagarritasunean eragin negatiboa daukate eta errefrigerazio sistema baten beharra dago.

Errefrigerazio sistemetan, hoztu nahi den elementua jariakin hotzago batekin kontaktuan jarri eta gero jariakin hau kanporatu egiten da, elementuari beroa kenduz, honen tenperatura jeitsiz. Zenbat eta hotzago orduan eta handiagoa izango da errefrigerazioa. Jariakin hozgarria gas zein likido fasean egon daiteke. Gaur egungo errefrigerazio sistema gehienek inguruko airea erabiltzen dute hozgarri bezala. Hala ere, beste aplikazio batzuetan hozgarri bezala helburu horretarako diseinatutako likidoak erabiltzen dira. Likido hauek ziklo itxi baten barnean daude eta hoztu nahi den ekipoari beroa kentzeaz gain, gero berriz hozteko barnean daramaten beroa kanporatu behar dute, haiek baino hotzago dagoen jariakin batekin beroa trukatzuz, bero trukagailu batean, hain zuzen.

2.2 BERO TRUKAGAILUAK

Bero trukagailu bat, orokorrean, bi jariakin edo gehiagoren arteko bero trukaketa bat behar den edozein aplikaziotan erabil daiteke. Aplikazio maila horren zabala izanik, ez da harritzekoa gaur egun edozein eskalatarara erabiltzen diren ekipoak izatea. Izan ere, "bi jariakin edo gehiagoren arteko bero trukaketak" hainbat kasu ezberdin har ditzake barnean. Esaterako, jariakin bezala orokorrean edozein gas zein likido har daiteke, eta bero trukaketaz hitz egiterakoan hainbat helburu egon daitezke: jariakin baten berotzea, jariakin baten hoztea, likido baten irakitzea edota gas baten kondentsazioa, besteak beste. Hori dela eta, bero trukagailu bat 1000MW-eko energia sorkuntza planta baten zein ordenagailu baten hozte sisteman aurki daiteke. *Irudia 1 eta 2*

Gaur egun bero trukaketa handienak eman daitezkeen aplikazioak energia sorkuntza plantetan izaten dira. Izan ere, energiaren iturria edozein dela ere, energia sortzeko ziklo termodinamiko bat behar den edozein kasurako bero trukagailu baten beharra egongo da. Hau da, bero sarrera ikatzak, erregai fosilak, eguzki energiak zein erreazio

nuklearrak sortzen badu ere, mota honetako ekipo bat edo gehiago instalatuta egon beharko dira.



Irudia 2 Energia sorkuntza planta bateko bero trukagailuak.



Irudia 1 Ordenagailu baten hozte sistemarako bero trukagailua.

2.3 BERO TRUKAGAILUAK ESKALA ERTAIN-TXIKIAN

Potentzia aldetik erabilera handiena energia sorkuntzan dagoen arren, eskala ertain eta txikian bero trukagailu kantitate askoz gehiago aurki daitezke gaur egun. Izan ere, kilmalizazio edo errefrigerazio sistemetan, aire girotuan eta prozesamendu kimikoan beharrezkoak diren osagaiak dira. Hori dela eta, edozein igerileku, hozkailu, eraikin eta motore ibilgailutan aurki ditzakegu.

Industria prozesuetan ere maiz erabiltzen dira. Janari ekoizpen industrian, esaterako, olioak, esnekiak, kontserbak, konpotak eta saltzak produzitzeko prozesuan barneratuta daude. Bodega askotan ere, botilak hotz mantendu daitezen errefrigerazio sistema ugari erabiltzen dira.

2.4 HODI BIKOITZEKO BERO TRUKAGAILUAREN ERABILERA

Bero trukagailu mota honek gaur egun duen erabileraren zergaiti nagusia diseinuaren sinpletasuna da. Lehen bero trukagailuen beharra zegoenean diseina zitekeen modelu sinpleena. Hori dela eta, gaur egun eskala txikian asko erabiltzen den aukera da. Trukaketan parte hartzen duten jariakinean fase aldaketarik gertatzen ez denean aukera ohikoena izaten da. Aplikazio nagusien artean hondakin uren tratamendua, janarien prozesaketa, produktu farmazeutikoak edota industria petrokimiko daude.

Aurrerago ikusiko den bezala, bero trukagailu hauek eskala txikian bakarrik erabiltzearen beste zergaiti bat bero trukaketarekiko duen luzera erlazioa da. Hau da, bero trukaketa txikietarako egokia izan daiteke baina beroa gero eta gehiago handituz luzera oso handiak behar izaten dira.



Irudia 3 Hodi bikoitzeko bero trukagailuaren ohiko antolamendua.

3. HELBURUAK ETA IRISPENA

3.1 HELBURUAK

- Jariakin termikoa eskatzen den bezain beste hoztu ahal izatea.
- Bero trukagailuaren dimentsionaketa ahalik eta optimoena izatea.
- Hobekuntzen azterketa sakona egitea.

3.2 IRISPENA

Gradu Amaierako Lan honek irispen argi bat dauka: bero trukagailuaren dimentsionamendua eta presio galeren kalkulua egitea eta behin hau eginda honen aurrekontu bat burutzea. Hau da, dimentsionaketa problemaren emaitzak lortzea eredu matematikoen bidez.

Hori lortzeko, beharrezkoa den software-a erabili behar izango da, kalkulu matematiko guztiak burutzeko gai dena bai kasu honetarako bai beste kasu antzerakoetan. Honetarako *Engineering Equation Solver (EES)* programa erabiliko da.

Diseinu honen limitazio nagusia eredu matematikotik lortutako emaitzak kasu erreal batekin konparatzea ezinezkoa dela da. Izan ere, ez dago bero trukagailu modelo batekin esperimentera emaitzak lortzeko aukerarik. Hala ere, EES programa erabiliz nahi den bero trukagailuaren eredu matematikoa burutuz, bertan emandako gertakari fisiko guztiak kuantifikatzea posible izango da, nahi izanez gero. Gainera, behin eredu matematikorako beharrezko ekuazio guztiak planteatuta, beste kasu edo problema bat jorratu nahi izango balitz posible izango litzateke.

Behin hasierako kasu partikularreko beharrezko emaitzak lortu direla, hobekuntzak bilatzeko asmoz hainbat aldaketa egin daitezke, hauek azkeneko emaitzan duten aldaketa aztertuz. Azterketa hauek egin litezke bero trukagailua dimentsionatu eta gero, betiere aztertzen ari garen faktore hori alda badaiteke:

- Hegalak: hegalek bero transmisio azalera nabarmenki handitzen du eta, hortaz, beharrezko dimentsioak asko txikiagotzen ditu. Analisi interesgarri bat hegalek guztiz kentzea izango litzateke, bi hodi zentrukideren azterketa eginez. Kasu honetan ikus liteke ea hegalek guztiz beharrezkoak diren ala ez, zeren eta ez badu luzeran eragin handirik, ez litzateke kasu honetarako errentagarria izango, karga galerak eragiten baitituzte.

- Hodi bakarra edo sorta: analisi hau aurreko atalarekin erlazionatuta dago. Izan ere, emari konkretu bat hodi luze batetik pasarazi ordez emaria zatitu eta hodi ezberdinetatik pasaraziko balira, hodi bakoitzaren luzera txikiagoa izango litzateke. Helburuaren arabera honek eragin garrantzitsua izan lezake: alderdi ekonomikotik, izan liteke separazio honek beharrezko materialean aurrezpena ekartzea; konpaktasunaren aldetik ordea, izan liteke hormaren batetik garraiatu nahi bada separazio honek zailtasunak sortzea.

4. PROIEKTUAREN ABANTAILAK

Gailu elektronikoak haien erabileran zehar asko berotzen diren ekipoa dira. Izan ere, Joule efektuak eragindako bero galera guztiak batuz gailuak galtzen duen bero honek hau berotzea eragiten du.

Gailu elektronikoen tenperatura igotzean, hauen jardutea jeitsi egiten da. Hori dela eta, garrantzitsua da sistema hauek errefrigeratzeko moduren bat egotea. Errefrigerazio sistemaren eskala gailu elektronikoaren eskalak definituko du. Horrela, ordenagailu batek sistema txikiak erabiltzen dituzte, baina hainbat zerbitzari batera jarduten ari diren planta baten errefrigerazio sistema nabarmena beharko da.

Proiektu honi esker hozte sistemaren funtsezko parte bat diseinatzea posible izango da. Hoztu nahi diren gailuak tenperatura egokian mantenduz, haien jarduera jeitsi ez dadin.

Bero trukagailuaren diseinuari dagokionez, proiektu honen helburu den bero trukagailuaren diseinua egiteaz gain, hurrengo kasuetarako lagungarria izan daiteke ikerketa egitea. Izan ere, alternatiben analisia egin eta gero hartutako erabakiak oinarri bezala lagunduko duten arren, emaitzekin batera beste hainbat aukera aztertuko dira, kasu honetarako bero trukagailua ahalik eta optimizatuen egon dadin. Hori dela eta, amaierako erabakiak ere etorkizunerako oinarri bezala lagungarriak izango dira.

Etorkizunera begira ere, egundako programazioa proiektu honetarako erabiltzeaz gain, beste diseinu prozesu edota ikerketak egin ahal izango dira. EES programan ekuazio guztiak jada daudenez, beste kasu antzerako bat jorra liteke horren beharra egongo balitz.

5. ALTERNATIBEN ANALISIA

Hasiera baten egindako eskaeran emandako baldintzekin hainbat gauza ezarrita geratzen dira. Hala ere, proiektua aurrera eramateko hainbat erabaki hartu behar dira oraindik. Erabaki hauek hartzerako orduan bi irizpide edukiko dira kontutan.

- Irizpide teknikoa: izan daiteke aukera bat kasu zehatz honetarako oso egokia izatea. Hala ere, teknikoki oso zaila bada, ezin izango da aurrera eraman.
- Irizpide ekonomikoa: normalean gehien baldintzatzen duen faktorea da hau. Izan ere, ingeniartzako proiektu baten hainbat teknologia aurreratu aurki daitezke, aztertzen ari den kasurako oso ondo moldatzen direnak. Baina teknologia hauek orokorrean nahiko garestiak dira, eta erabaki ohikoena hauek baztertzea izaten da.

Hurrengo ataletan kalkuluekin hasi baino lehen hartzea nahitaezkoa den hainbat erabaki planteatzen dira. Behin aukera guztiak definituta, aurreko irizpideek gidaturik kasu bakoitzerako erabakia hartuko da.

5.1 ALTERNATIBA TEKNIKOAK

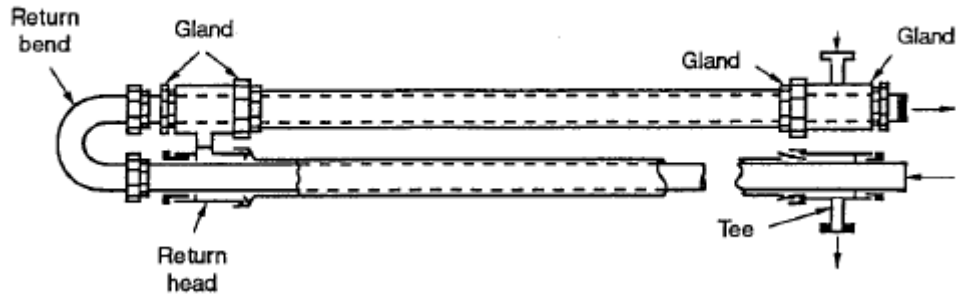
5.1.1 BERO TRUKAGAILU MOTA

Bero trukagailu motak sailkatzeko hainbat irizpide daude: bero transmisio prozesuaren arabera, korrante kantitateen arabera, konpaktasunaren arabera, eraikuntza ezaugarrien arabera edota fluxuen antolamenduaren arabera, besteak beste.

Aurretik emandako irizpide zerrendan oinarrituz, aukera bat baino gehiago egon daiteke zenbait kasutan.

5.1.1.1 HODI BIKOITZEKO BERO TRUKAGAILUAK

Mota hau bi hodi zentrukidek osotzen dute, hodi bat bestearen barnetik doalarik. Bero trukagailu mota honetan, orokorrean jariakin beroa barne hoditik joaten da beroa galduz, kanpoko jariakin hotzak beroa irabazten duelarik. Irudian ikus daitezkeen bezala, hodi bikoitzeko bero trukagailuek normalean urkila itxuradu hainbat sigi-saga dauzkate, konpaktasunaren aldetik optimoagoa delako. Urkila hauek bata bestearekin seriean zein paraleloan instala daitezke.

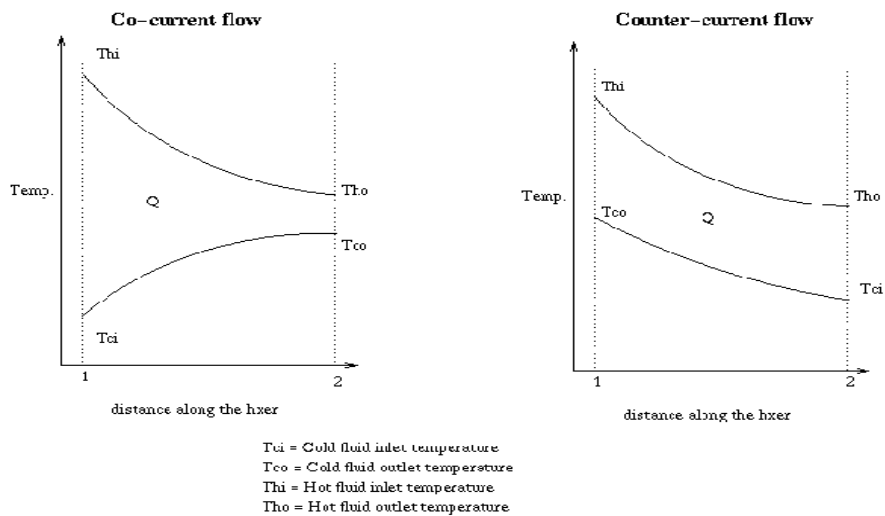


Irudia 4 Hodi bikoitzeko bero trukagailua.

Bero trukagailu honen erabilera arrazoi nagusia teknikoki oso sinplea dela da, beste mota batzuein konparatuz. Horrez gain, ekonomikoki beste aukera batzuk baino hobeto irtetzen da trukaturako beroa txikia izatea nahi bada. Aipatu bezala, honen desabantaila nagusia bero trukaketa eman dadin luzera nahiko handiak behar direla da. Hala ere, azaldutako urkila itxurako eran antolatuz hodi luzera nahiko handiak era nahiko konpaktu baten jar daitezke.

Hodi bikoitzeko bero trukagailuetan fluxuak bi modutan joan daitezke: ekikorrontean (fluxu paraleloa ere deritzona) edo kontrakorrontean. Diferentzia nagusia irteera tenperaturetan antzematen da. Ekikorrontean dagoen bero trukagailu baten, jariakin hotzaren irteera tenperatura jariakin beroaren irteera tenperaturak baldintzatzen du, hau ezin izango baitu gainditu. Kontrakorrontean, ordea, jariakin hotzaren irteera tenperatura korronte beroaren sarrera tenperaturak baldintzatuko du, hau handiagoa delarik.

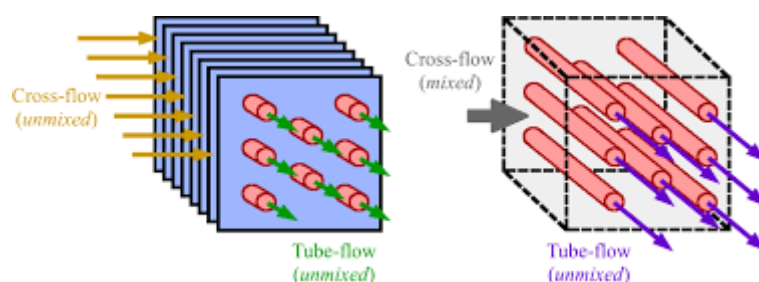
Orokorrean, likido-likido bero transferentzia kasu baten fluxuak paraleloan jarri ohi dira. Kontrakorrontean, aldiz, bietako korronte baten fase aldaketaren bat gertatzen denean. Irudian ikus daitezke bero trukagailuan izango dugun tenperatura profila.



Irudia 5 Ekikorrontean(ezkerra) zein kontrakorrontean(eskuina) ematen den tenperatura profila.

5.1.1.2 BERO TRUKAGAILU KONPAKTUAK

Mota honetako bero trukagailuak bolumen unitateko bero transferentzia azalera ahalik eta handiena lortzeko diseinatuta daude. Mota hauetarako, normalean korronteak bata bestearikiko ortogonalki mugitzen dira, fluxu antolamendu honi fluxu ebakia deritzo. Fluxu ebakiaren barnean alde batetik fluxu nahastua daukagu. Kasu honetan, bietako fluxu bat libreki jario du beste fluxuarekiko ortogonalki inongo murrizketarik gabe. Fluxu ebakiaren barnean fluxu nahastuak daude beste alde batetik. Kasu honetan, bi fluxuak ortogonalki dabilta bata bestearikiko, baina bietako bati xafla batzuk jartzen zaizko gida bezala. Aipatutako bi mota hauek hurrengo irudian antzeman daitezke.



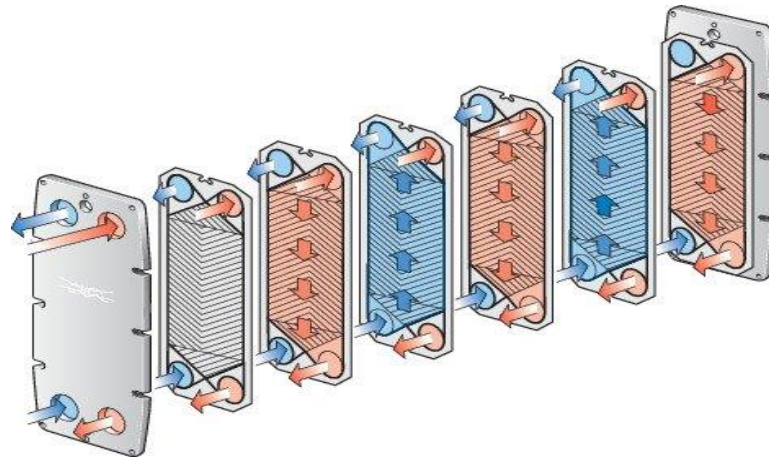
Irudia 6 Fluxu nahastua (eskuina) eta fluxu ez-nahastua (ezkerra) bero trukagailu konpaktueta.

5.1.1.3 XAFLADUN BERO TRUKAGAILUA

Mota honetan jariakinen arteko banatze gainazala horma lauak dira. Hainbat xafla lau elkarrengandik hurbil jartzen dira, eta korronteak aldizka bat edo beste pasarazten dira. Irudian ikus daitezkeen antolamenduan, xaflak gehitu edota kendu egin daitezke, ez baitute inongo soldadurarik. Hori dela eta, posible da bero transmisio azalera aldatzea, nahi izanez gero. Bero trukagailu mota hauek oso interesgarriak dira likido-likido bero trukaketarako, batez ere presio berean ari badira.

Jada aipatu bezala, bero trukagailuak malgutasun handia dauka transferentzia azalerari dagokionez, eta honek abantaila suposatzen du. Gainera, xaflak modu errazean atera daitezke mantenu lanak egin nahi badira. Hala ere, mantenu lanak trukagailu hauetan

ez dira beste kasu batzuetan bezan maiz egin behar, kasu honetan zikintasuna ez baita horrenbeste pilatzen.

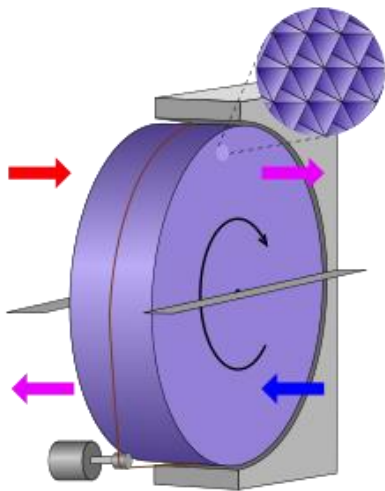


Irudia 7 Xafaldun bero trukagailua.

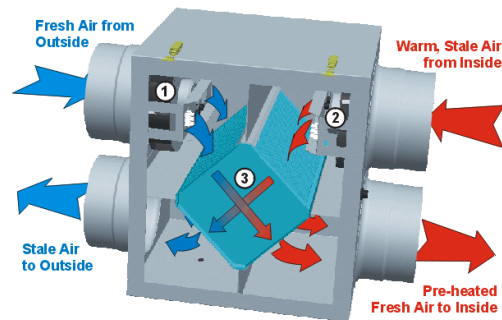
Desabantaila nagusietako bat xafletan gerta daitezkeen zuloak dira. Izan ere, honelako edozer gertatuz gero zaila izaten da zuloa detektatzea. Baina desabantaila nagusia prezioa da. Inbertsio nahiko handia eskatzen du nahiko teknologia modernoa baita. Hori dela eta, mota hau industria prozesuetan gero eta erabiliagoa da, amortizatzeko aukera izanda irtenbide egokia delako.

5.1.1.4 BERO BERRESKURATZAILEAK

Bero berreskuragailu batean korrante beroak material bati transmititzen dio beroa eta behin materiala berotu dela orduan jariakin hotz bat pasarazten da bertatik, hari beroa emanez. Aipatutako materiala bi korronteen banatze gainazala izan daiteke, baita material porotsu bat ere. Material porotsu honen kasuan jariakinak honen baretik pasarazten dira eta materiala korrante batetik bestera pasatzen da. Orokorrean kasu hau gurrpil batekin egiten da, bero gurrpila ere deritzona, non gurrpil erdia fluxu hotzarekin eta beste erdia fluxu beroarekin kontaktuan dagoen, irudian bezala.



Irudia 9 Bero gurpila.



Irudia 8 Berotutako materiala partizio gainazala deneko kasua.

5.1.2 HODI MOTA

Hodi mota bero trukaketa abiadura baldintzatzen duen faktorea da. Izan ere, garrantzitsua da eroankortasun termiko ona duen hodi bat lortzea, eroankortasuna handituz beroak erraztasun handiagoarekin zeharkatuko baitu hodiaren pareta. Hala ere, korrosioarekiko edota presioekiko materialak erakusten duen erresistentzia ere oso garrantzitsua da. Honez gain, kontutan izan behar da faktore ekonomikoa, ezaugarri onak erakusten dituzten material asko prezio aldetik oso garestiak dira-eta.

Hodi material ezberdinak ezagutzeko, LOINTEK S.L. enpresarekin kontaktuan jartzea posible izan da hegaldun hodian inguruko informazioa eskatuz. Emandako informaziotik abiatuz, hurrengo bi materialak erabiltzen dira gehienbat:

- Karbono altzairua
- Altzairu aleazio ferritiko eta austenitikoak

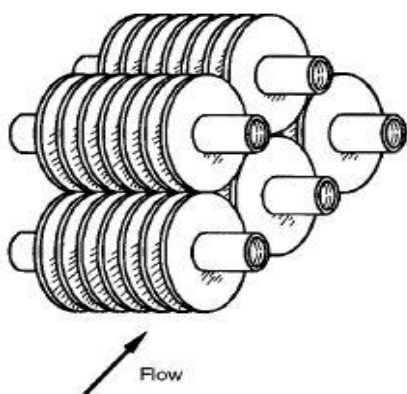
Bi altzairuek ezaugarri onak erakusten dituzte bai korrosioarekiko bai presio altuekiko. Hala ere, eroankortasunaren eta prezioaren azterketa bat egin behar da amaieran erabiliko den hodi materiala zehaztu ahal izateko

5.1.3 GAINAZAL HEDATUA

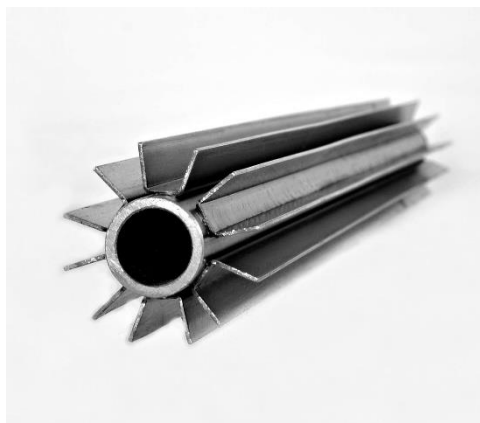
Hegalak bero trukaketa gainazala handitzeko instalatzen dira, trukaturako beroa handiagoa izateko asmoz. Bero trukagailuetan gerta daiteke eraginkortasuna ez izatea nahi bezain handia. Aplikazio batzutan izan daiteke gutxieneko eraginkortasun bat egotea edo masa eta bolumena mugatuta egotea. Gainera, gas edo likido batzuentzat gerta daiteke konbekzio koefizientea ez izatea oso handia. Honek guztiak azaleraren

handitze baten beharra dakar. Hau lortzeko bero trukagailuetako hodietan hegala instalatzen dira, hodiaren alde baten zein bietan jar daitezkeelarik. Hegalak gehitzeak transferentzia azalera 5-12 aldiz handitu dezake luzera unitateko, diseinuaren arabera.

Xafladun bero trukagailuetan hegalek hainbat forma ezberdin izan ditzakete eta hauek sailkatzea konplikatu izan liteke. Hala ere, bero trukagailu tubularretan, orokorrean bi hegal mota bereiz daitezke, hegal longitudinalak eta hegal perpendikularrak.. Hegal bakoitzaren erabilerarako arrazoi nagusi bat dago, zeren eta karga galerak kontutan izanik, hegalak kanal horretako fluxuarekiko paraleloak izan beharko dira. Hori dela eta, hegalak kanpoaldean jarrita egongo liratekeen kasu baterako, kanpoaldeko fluxua barnealdekoarekiko perpendikularra bada, hegal perpendikularrak erabili beharko dira. Kanpoko fluxua barnekoarekiko paraleloa bada, ordea, hegal longitudinalak erabili beharko dira. Fluxua paraleloa eta perpendikularra ez den kasu baterako, hegal bereziak ere diseinatzen dira, helikoidalak, adibidez.



Irudia 11 Hegal perpendikularrak.



Irudia 10 Hegal longitudinalak.

5.2 SOFTWARE ALTERNATIBAK

Bero trukagailuaren dimentsionaketarako beharrezko kalkuluak egiteko software baten beharra dago. Software honetan beharrezko ekuazio eta aldagai guztiak definituz, posible izango da hainbat kasu ezberdin jorratzea sarrera aldagaietan eta ekuazioetan aldaketa txikiak eginez. Hori dela eta, ekuazio hauek ebazteko gai den programa bat beharrezkoa izango da. Aurrekoa kontutan izanik eta ikaslearen ezagutzak baldintzaturik bi programa posible planteatzen dira:

- Engineering Equation Solver (EES): programa hau, izenak dioen bezala, ekuazioak ebazteko duen trebetasunagatik nabarmentzen da. EES programak duen beste abantaila handi bat hainbat jariakinen propietateak bere barnean

dituela da. Orokorrean termodinamikarekin zerikusiak dituzten kasuak aztertzeke programa erabilieta da.

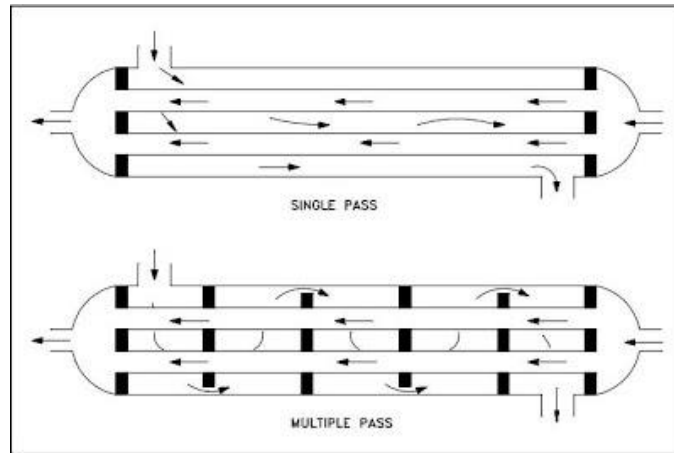
- Matlab: esan daiteke matlab kalkulu programen artean konpletuenetarikoa dela. Kasu konkretu honetan, programa honek EES-rekiko duen abantailetak bat prozesu iteratiboak definitzeko gaitasuna da. Izan ere, diseinua burutzeko beharrezkoa izango da prozesu iteratiboren bat erabiltzea, eta Matlab nahiko erraminta ona da horretarako.

5.3 METODOLOGIA ALTERNATIBAK

Bero trukagailu baten beharrezko kalkuluak egiterako orduan, helburua hau dimentsionatzea edo bertan ematen den bero trukaketa edota karga galeren kalkulua burutzea den kontutan izanik, hainbat prozedura jarrai daitezke nahi diren aldagaiak kalkulatzeko. Erabilgarriak izan daitezkeen bi metodo nagusien azalpen orokor bat emango da, abantaila nagusiak azalduz:

- ϵ -NTU metodoa: metodo honekin, bero trukaketa jakiteko lehenik bi zenbaki adimentsionalen balioa zehaztu beharko da. Metodo hau oso erabilia izan ohi da bero trukagailuaren irteera tenperaturak ezezagunak direnean. Izan ere, bero transmisioaren ekuazio orokorrak erabilia irteera tenperaturak kalkulatzeko iterazio prozesu baten beharra dago, metodo honekin ordea, ez.
- LMTD metodoa: Metodo hau tenperaturaren batz besteko logaritmikoaren kalkuluak oinarritzen da. Hori dela eta, metodo hau egokiagoa izan ohi da jariakinen sarrera zein irteera tenperaturak ezagunak badira. Hau honela ez bada, iterazio bidez irteera tenperaturak zein trukaturako beroaren kalkulua lor daiteke. Baina egoera horietan beste metodo batzuen erabilera egokiagoa izan liteke.

Metodo hau etapa bakarreko bero trukagailuetan baino ezin daiteke erabili. Hurrengo irudian etapa bakarreko eta etapa anitzeko bero trukagailuen arteko diferentzia antzeman daiteke.



Irudia 12 Etapa bakarreko eta etapa anitzeko antolamendua.

Bi kalkulu metodoek badituzte abantailak zein desabantailak. Hori dela eta, aztertu behar da gure kasua zein den eta horretan oinarriturik gure kalkuluak egiteko e proposena izango den metodoa erabiliko da.

5.4 ALTERNATIBEN HAUTAKETA

Behin diseinuarekin hasteko hartu behar diren erabakiak planteatuta eta atalaren hasieran definitutako irizpideak jarraituz, hurrengo hautaketak egin dira diseinuari hasiera eman ahal izateko:

- Alternatiba teknikoa: hegal longitudinaldun hodi bikoitzeko bero trukagailu bat egitea erabaki da, fluxuak kontrakorrantean joango direlarik. Honez gain, karbono altzairuzko hodiak erabiliko dira.

Hodi bikoitzaren aukeraketaren zergaiti nagusia irizpide ekonomikoak ezarri du. Hodi bikoitzeko bero trukagailuen sinpletasunak ekonomikoki oso aukera ona izatera eramaten du aplikazio txiki-txiki kasuetarako. Hori dela eta hodi bikoitza aukeratu da.

Fluxuaren antolamenduari dagokionez, jariakinen irteera temperaturek asko baldintzatu dute erabakia, olioak 25°C-tan eta ura 50°C-tan irteten baitira. Irteera temperatura hori ezinezkoa litzateke ekikorrotean jarriko balira fluxuak, olioaren irteera temperatura urarena txikiagoa ezin baita izan. Horregatik, aukera bakarra kontrakorrantean jartzea da.

Hodi bikoitzaren aukeraketak baldintzaturik, erabaki da bolumen murrizketa egiteko asmoz hegalak jartzea nahiko onuragarria izango dela. Gainera, aurreikusi da uraren bero transmisio koefizientea nahiko txikia izan daitekeela. Arrazoi horiengatik, hodi hegaldunak erabiltzea nahiko bideragarria iruditu da.

Hodi bikoitza erabiliko dela esan denez, hegal longitudinalak erabiltzea baino ez dago.

Azkenik, hodi motari dagokionez, karbono altzairuzko hodiak erabiliko dira. Izan ere, altzairu ferritiko eta austenikoekiko abantaila bikoitza erakusten du. Prezio aldetik askoz ere merkeagoa da eta eroankortasun termiko hobea erakusten du.

- Software alternatiba: bero trukagailuaren dimentsionaketa kalkuluak burutzeko programa egokiena EES dela ondorioztatu da. Erabaki honen arrazoi nagusiak ikaslearen esperientzia eta termodinamikako kasuak aztertzeko erraztasuna izan dira.
- Metodologia alternatiba: LMTD metodoarekin egingo da trukagailuaren dimentsionaketa. Esan bezala, lau tenperaturak ezagunak badira, LMTD metodoak bero trukaketa eta azalaren kalkulua errazten du.

6. METODOLOGIA

Atal honetan bero trukagailuaren parametro ezberdinen kalkulurako jarraitu beharreko prozedura zehazten da. Bertan, hasierako datuetatik abiatuz, trukaturako beroa eta amaierako luzera zehaztuko dira, besteak beste.

6.1 DATUAK

Hasiera batean eskuragarri dauden datuak hurrengoak dira:

- Jariakin termikoaren fluxu masikoa, \dot{m}_1 .
- Jariakin termikoaren sarrera eta irteera tenperaturak, T_{1e} eta T_{1s} .
- Uraren sarrera eta irteera tenperaturak, T_{2e} eta T_{2s} .
- Zikinkeriak eragindako barne eta kanpo erresistentzia termikoa R_{zikin} .
- Hodiaren sekzioaren datu geometrikoak:
 - o Kanpo hodia:
 - Kanpo diametroa, D_{ext} .
 - Barne diametroa, D_{int} .
 - o Barne hodia:
 - Kanpo diametroa, d_{ext} .
 - Barne diametroa, d_{int} .
 - o Aletak:
 - Luzera, L_{hegal} .
 - Zabalera, W_{hegal} .
 - Aleta kantitatea, N_{hegal} .

6.2 PROZEDURA

6.2.1 DIMENTSIONAKETA

Lehenik eta behin bero trukagailuaren osotarako kalkulua egingo da. Hots, bero trukagailu osoaren dimentsioak osorik kalkulatu dira. Behin hau eginda, bero trukagailua bero trukaketa bereko hainbat zatitan diskretizatuko da, zati bakoitzaren luzera independenteki kalkulatu eta gero luzera guztiak batuz.

Sarrera eta irteera tenperaturak ezagunak direnez eta bero trukagailuan zehar tenperatura linealki aldatzen denaren hurbilketa eginez, edozein zatiko sarrera eta irteera tenperaturak lortzeko interpolazioa erabiliko da. Gainera, jariakinen propietateak ezagunak direnez, puntu bakoitzean jariakinen propietateak jakin daitezke. Hau da,

dentsitatea, bero espezifikoa, biskositate dinamiko eta zinematikoak edota eroankortasun termikoa jakin daitezke.

Bero trukagailuaren luzera totalaren kalkulurako, trukaturako beroaren eta uraren emari masikoaren kalkulu arin bat burutuko da, suposatuz bero galerarik ez dagoela eta jariakin batetik bestera doala bero guztia:

$$\dot{Q}_{truk} = \dot{m}_1 \cdot C_{P1} \cdot (T_{1e} - T_{1s}) = \dot{m}_2 \cdot C_{P2} \cdot (T_{2s} - T_{2e}) \quad [1]$$

non

$\dot{Q}_{truk} [W]$ = trukaturako beroa.

$\dot{m}_1 \left[\frac{kg}{s} \right]$ = jariakin termikoaren emari masikoa.

$\dot{m}_2 \left[\frac{kg}{s} \right]$ = uraren emari masikoa.

$C_{P1} \left[\frac{J}{kg \cdot K} \right]$ = olio termikoaren bero espezifikoa.

$C_{P2} \left[\frac{J}{kg \cdot K} \right]$ = uraren bero espezifikoa.

$T_{1e}, T_{1s} [^{\circ}C]$ = olio termikoaren sarrera eta irteera tenperaturak, hurrenez hurren.

$T_{2e}, T_{2s} [^{\circ}C]$ = uraren sarrera eta irteera tenperaturak, hurrenez hurren.

Bero trukaketa hau batz besteko tenperatura diferentzia logaritmikoaren metodoarekin ere egin daiteke, hurrengo ekuazioa planteatuz:

$$\dot{Q}_{truk} = U_i \cdot A_i \cdot LMTD \quad [2]$$

non

$U_i \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$ = barne hodiaren barne azalean oinarritutako bero transferentzi koefiziente orokorra.

$A_i [m^2]$ = barne hodiaren barne azalera.

$LMTD [^{\circ}C]$ = batz besteko tenperatura diferentzia logaritmikoa.

Bero trukagailuaren fluxuak kontrakorrantean joatea erabaki denez, batz besteko tenperatura diferentzia logaritmikoaren kalkulua hurrengo espresioaz kalkulatu da:

$$LMTD = \frac{(T_{1e} - T_{2s}) - (T_{1s} - T_{2e})}{\ln \frac{(T_{1e} - T_{2s})}{(T_{1s} - T_{2e})}} \quad [4]$$

[2] ekuazioko U_i bero transferentzi koefiziente orokorraren kalkulurako, jaria kin baten zentru tik beste jaria kinaren zentru ra bero ak daukan erresistentzi termiko guzti ak kontutan eduki behar dira, hurrengo moduan planteatzen delarik:

$$\frac{1}{U_i} = \frac{1}{h_i} + R_{zikin} + \frac{d_{int}}{2 \cdot k_2(T_{2m})} \cdot \ln \frac{d_{ext}}{d_{int}} + R_{zikin} + \frac{d_{int}}{h_o \cdot d_{ext}} \quad [5]$$

non

$h_i \left[\frac{W}{m^2K} \right]$ = uraren konbekzio koefizientea.

$k_2(T_{2m}) \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$ = uraren eroankortasun termikoa T_{2m} temperaturara.

$T_{2m} [^{\circ}C]$ = uraren sarrera eta irteeraren arteko bat az besteko aritmetikoa.

$h_o \left[\frac{W}{m^2K} \right]$ = olio termikoaren konbekzio koefizientea $[W/m^2 \cdot K]$.

[5] ekuazioan U_i -aren kalkulurako beharrezkoa da h_i eta h_o konbekzio koefizienteen balioak kalkulatzea. h_i -ren kalkulurako lehenik eta behin beharrezkoa da Reynolds zenbaki adimentsionalaren kalkulua egitea, hurrengo espresioak erabiliz.

$$Re_1 = \frac{V_1 \cdot D_{h1}}{\nu_1(T_{1m})} \quad [6]$$

$$Re_2 = \frac{V_2 \cdot d_{int}}{\nu_2(T_{2m})} \quad [7]$$

non

$Re_1 [-]$ = olio termikoari dagokion Reynolds zenbakia.

$V_1 \left[\frac{m}{s} \right]$ = olio termikoaren abiadura.

$D_{h1} [m]$ = kanpo kanalaria dagokion diametro hidraulikoa. Izan ere, kanpo kanalak oso sekzio irregularra dauka eta ezin da diametroaz adierazi barruko kanalaren kasuan bezala. Honen kalkulurako diametro hidraulikoa erabiltzen da, hots, lau aldiz erradio hidraulikoa.

$\nu_1(T_{1m}) \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]$ = olioaren biskositate zinematikoa T_{1m} tenperaturarako.

T_{1m} = olioaren sarrera eta irteeraren arteko bataz besteko aritmetikoa [°C].

$Re_2 [-]$ = urari dagokion Reynolds zenbakia.

$V_2 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$ = uraren abiadura.

$\nu_2(T_{2m}) \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]$ = uraren biskositatea zinematikoa T_{2m} tenperaturarako.

Konbekzio koefizientearen kalkulurako hurrengo pausua bero transferentzia faktorea kalkulatzeko da, Reynolds-en zenbakiaren arabera ekuazio bat edo beste erabili behar delarik. Barne kanaletik doan urarentzat hurrengo hiru ekuazioak dauzkagu:

$$j_{h2} = \frac{1,86}{Re_2^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{L}{d_{int}} \right)^{\frac{1}{3}}} \quad Re_2 < 2100 \quad [8]$$

$$j_{h2} = \frac{0,116 \cdot \left(Re_2^{\frac{2}{3}} - 125 \right) \cdot \left(1 + \left(\frac{d_{int}}{L} \right)^{\frac{2}{3}} \right)}{Re_2} \quad 2100 < Re_2 < 10000 \quad [9]$$

$$j_{h2} = \frac{0,027}{Re_2^{0,2}} \quad Re_2 > 10000 \quad [10]$$

non

$j_{h2} [-]$ = barne hodiko bero transferentzia faktorea.

$L [m]$ = hodi luzera.

Ikus daitekeenez, Re_2 balio batzuetarako ezin daiteke bero transferentzia faktorea berehala kalkulatu. Beraz, gerta daiteke amaierako luzera hasiera baten suposatzea edo bestela amaierara arte bero transferentzia faktorea luzeraren menpe uztea.

Kalkuluekin jarraitzeko beharrezkoa da beste zenbaki adimentsional baten balioa, Prandtl-en zenbakia, hain zuzen ere.

$$Pr_2 = \frac{C_{p2}(T_{2m}) \cdot \mu_2(T_{2m})}{k_2(T_{2m})} \quad [11]$$

non

$Pr_2[-]$ = urari dagokion Prandtl-en zenbakia.

$\mu_2(T_{2m})$ = uraren biskositatea T_{2m} temperaturarako.

Uraren konbekzio koefizientearen kalkularen jarraituz, Stanton zenbaki adimentsionalaren kalkulurako beharrezko guztia badaukagu:

$$j_{h2} = St_2 \cdot Pr_2^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{\mu_{2w}(T_w)}{\mu_2(T_{2m})} \right)^{0,14} \quad [12]$$

non

$St_2[-]$ = urari dagokion Stanton-en zenbakia.

$\mu_{2w}(T_w) \left[\frac{kg}{m \cdot s} \right]$ = uraren biskositatea T_w temperaturarako.

$T_w[^\circ C]$ = barne hodiaren partaren tenperatura.

Hasierako hurbilketa baterako, suposatuko da uraren batzbesteko biskositateak eta paretako tenperaturarako biskositateak balio bera daukatela, gerora paretako biskositatearen balio erreala lortuko delarik.

Beraz,

$$\left(\frac{\mu_{2w}(T_w)}{\mu_2(T_{2m})} \right)^{0,14} = 1$$

Azkenik, behin Stanton zenbaki adimentsionalaren balio lortu dugula, barne kanaleko konbekzio koefizientearen balioa lor daiteke.

$$St_2 = \frac{h_i}{C_{P2}(T_{2m}) \cdot \rho_2(T_{2m}) \cdot V_2} \quad [13]$$

non

$\rho_2(T_{2m}) \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ = uraren dentsitatea T_{2m} temperaturarako.

Kanpo kanaletik doan olioaren kasuan, bero transferentzia faktorearen kalkulurako hurrengo ekuazioak daude:

$$j_{h1} = \frac{0,3161}{Re_1^{0,655}} \quad 100 < Re < 2000 \quad [14]$$

$$j_{h1} = 2,317 \cdot 10^{-5} \cdot Re_1^{0,655} \quad 2000 < Re < 4000 \quad [15]$$

$$j_{h1} = 0,001,6 \cdot Re_1^{0,141} \quad 4000 < Re < 10000 \quad [16]$$

$$j_{h1} = \frac{0,01407}{Re_1^{0,145}} \quad Re > 10000 \quad [17]$$

non

$j_{h1}[-]$ = kanpo hodiko bero transferentzia faktorea.

Uraren kasuan egin den bezala, olio termikoarentzako ere h_o konbekzio koefizientea era berean kalkulatu da, hurrengo espresioen bitartez:

$$Pr_1 = \frac{C_{p1}(T_{1m}) \cdot \mu_1(T_{1m})}{k_1(T_{1m})} \quad [18]$$

non

$Pr_1[-]$ = olioari dagokion Prandtl-en zenbakia.

$\mu_1(T_{1m}) \left[\frac{kg}{m \cdot s} \right]$ = uraren biskositatea T_{1m} temperaturarako.

$k_1(T_{1m}) \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$ = uraren eroankortasun termikoa T_{1m} temperaturara.

$$j_{h1} = St_1 \cdot Pr_1^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{\mu_{1w}(T_w)}{\mu_1(T_{1m})} \right)^{0,14} \quad [19]$$

non

$St_1[-]$ = olioari dagokion Stanton-en zenbakia.

$\mu_{1w}(T_w) \left[\frac{kg}{m \cdot s} \right]$ = olio termikoaren biskositatea T_w temperaturarako.

$T_w [^{\circ}C]$ = barne hodiaren paretaren tenperatura.

Kasu honetarako ere, paretaren tenperaturara olioaren biskositatearen balioaren hurbilketa bat egingo da geroago balio zehatza lortuko delarik.

$$\left(\frac{\mu_{1w}(T_w)}{\mu_1(T_{1m})} \right)^{0,14} = 1$$

Azkenik, kanpoko kanalerako ere konbekzio koefizientea lortzen da.

$$St_1 = \frac{h_o}{C_{P1}(T_{1m}) \cdot \rho_1(T_{1m}) \cdot V_1} \quad [20]$$

non

$\rho_1(T_{1m}) \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ = uraren dentsitatea T_{1m} temperaturarako.

Kasu honetan, h_o -ren kalkulua ez da guztiz zehatza izango, zeren eta hau egiteko ez dira hegalak kontutan hartu eta jariakinaren ibilbidea baldintzatzen dute. Hori dela eta, zuzenketa faktore baten bidez koefiziente berri bat lortu beharko dugu, hurrengo ekuazioaren bitartez.

$$h_{oi} = \frac{\eta \cdot A_E + A_B}{A_i} \cdot h_o \quad [21]$$

non

$h_{oi} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$ = kanpo kanaleko konbekzio koefiziente zuzendua.

$A_E [m^2]$ = hegalen azalera.

$A_B [m^2]$ = hodiaren kanpoko aurpegian dagoen azalera erabilgarria. Izan ere, hegalak hodiaren kanpoaldean egonda, azalera zati bat ez da olioarekin kontaktuan egongo.

$\eta [-]$ = koefizientearen zuzenketa faktorea.

$$\eta = \frac{\tanh \left(L_{hegal} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot h_o}{k_1(T_{1m}) \cdot Z_{hegal}}} \right)}{L_{hegal} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot h_o}{k_1(T_{1m}) \cdot Z_{hegal}}}} \quad [22]$$

Behin konbekzio koefizienteak lortu ditugula, barne hodiaren paretaren tenperaturaren lehen hurbilketa bat egin dezakegu, hasierako balio bezala lagungarria izango dena.

$$h_{oi} \cdot (T_{w0} - T_{2m}) = h_i \cdot (T_{1m} - T_{w0}) \quad [23]$$

non

$T_{w0} [^{\circ}C]$ = barne hodiko paretaren tenperaturaren lehen hurbilketa.

Behin paretaren tenperaturaren lehen balio bat lortu dugula, [12] eta [19] ekuazioetan balio zehatzago bat lor dezakegu, paretako tenperaturara dagoen jariakinaren biskositearen balioa izanda. Hau honela izanik, berriz ere burutu beharko dira [12] ekuaziotik [22] ekuaziora egindako kalkulu guztiak, h_i eta h_{oi} koefizienteen balio eguneratu eta zehatzago bat lortuz.

[5] ekuaziora buelta gaitezke orain U_i bero tranmisio koefiziente globala kalkulatzeko. Hau honela izanik, [2] ekuaziotik A_i askatuko dugu eta honekin bero trukagailuaren L luzeraren lehen balio bat lor daiteke. Hala ere, jakin beharra dago balio hauek paretaren lehen balio hurbildu batetik lortu direla. Beraz, lortutako luzera eta benetan beharrezkoa dena izan daiteke desberdinak izatea. Hau jakiteko, olioaren eta kanpo-paretaren artean dagoen bero fluxuaren espresioa erabil daiteke.

$$\dot{Q}_{truk} = \frac{(A_e + A_b) \cdot (T_{1m} - T_w)}{\frac{1}{h_{oi}} + R_{zikin}} \quad [24]$$

[24] ekuazioari esker, paretaren tenperaturaren balio berri eta zehatzago bat lor daiteke. Beraz, [23] eta [24] ekuazioetan lortutako T_{w0} eta T_w balioen arteko konparaketa bat eginik zehaztu dezakegu lortutako luzeraren balioa nahi bezain beste zehatza den ala ez. Izan ere, bi tenperatura hauen artean diferentzia ez bada txikia lortutako emaitzak ez dauka zehaztasun handirik izango. Kasu honetan, lortutako T_w balio eguneraturekin [12] ekuaziotik [22] ekuaziora bitartean egindako kalkulu guztiak berriz burutuko dira, oraingoan luzeraren balio zehatzago bat lortuko dugularik. Hau eginda, T_w tenperaturaren balio berri bat lortuko dugu, berriz konparaketa egiteko aukera izanik.

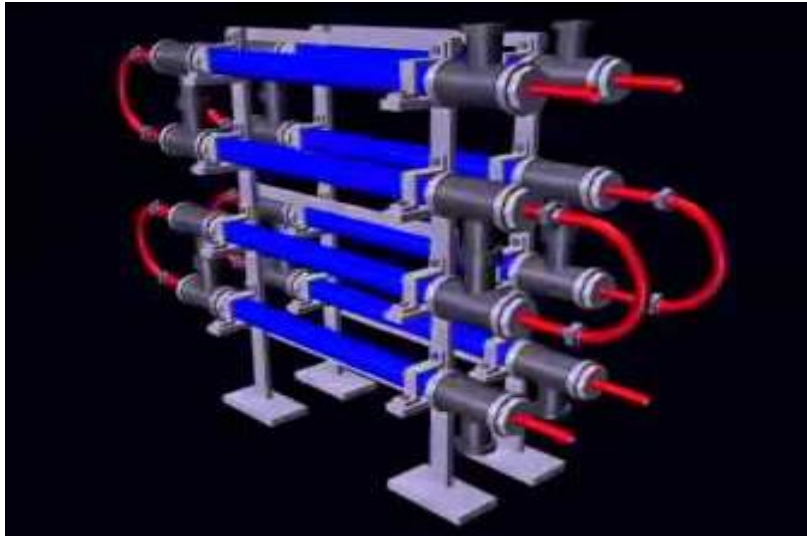
Ikus daitekeenez, kasu hau prozesu iteratibo bat da. Hori dela eta, kasu praktikoaren arabera eta pertsona bakoitzak ezarritako tolerantzia errespetatu arte errepika daiteke prozesu iteratibo hau. Zenbat eta iterazio gehiago egin, orduan eta zehatzagoa izango da bero trukagailuaren luzeraren balio. Hala ere, esan beharra dago zehaztasun handia lortzen dela 5 iterazio baino gutxiagorekin.

6.2.2 KARGA GALERAK

Gaur egun industrian bero trukagailuen diseinua baldintzatzen duten parametro garrantzitsuenetakoak presio galerak dira. Izan ere, galera hau ahalik eta txikiena izatea saiatzen da, galera honek diru-galera suposatzen duelako. Hori dela eta, normalean bezeroek karga galera datu bezala ematen dute, gero datu honen inguruan bero trukagailuaren dimentsionaketa has dadin. Kasu honetan ez da horrelako daturik ematen, baina beharrezkoa da jakitea ea bero trukagailuan zehar nolako galerak

emango diren. Esan beharra dago trukagailuko kanal bakoitzean, presio galera ezberdinak emango direla, zeren eta luzerak, sekzioaren geometriak eta jariakinaren ezaugarriek presio galerak baldintzaten dituzte. Hauen kalkulurako hurrengo pausuak jarraitu dira:

Aurreko kalkuletan lortutako luzeraren baliotik abiatuta, hodia merkatuan saltzen den luzera lotea zein den ikusi beharko da eta luzera honek baldintzatuta urkila kopuru zehatz bat lortuko da, hurrengo irudian ikusten den bezala.



Irudia 13 Bi zirkuitu paralelo dituen bero trukagailua, zirkuitu bakoitzean bi joan-etorri edo urkila daudelarik

Beraz, hodiak L_{hodi} luzeratan saltzen badira, hodi bakoitzak L_{ef} luzerako tarte efektibo bat baino ez du izango, ukondoek duten luzera ez baita kontutan hartzen bero trukaketarako. Urkila kopuruen kalkulurako hurrengo kalkulua burute beharko da:

$$N_{\text{urk}} = \frac{L}{2 \cdot L_{\text{ef}}} \quad [25]$$

non

$N_{\text{urk}}[-]$ = bero trukaketa osoa emateko beharrezkoa den urkila kopurua. Zenbaki hau osoa izatea beharrezkoa da, beraz, aurreko ekuazioan emandako balioaren hurrengo zenbaki osoaren balioa gorde beharko dugu.

$L[m]$ = bero trukagailuaren beharrezko luzera.

$L_{\text{ef}}[m]$ = hodi loteen luzera efektiboa.

[25] ekuazioan normalena zenbaki ez-oso bat lortzea izango da. Horregatik, behin N_{urk} balioa zenbaki oso batera hurbilduta, berriz kalkulatu beharko da bero trukagailuaren luzera efektibo totala.

$$L_{ef,tot} = 2 \cdot N_{urk} \cdot L_{ef} \quad [26]$$

$L_{ef,tot}[m]$ = bero trukagailuaren luzera efektibo totala.

Presio-galeren kalkuluekin hasteko [6] eta [7] ekuazioetan lortutako barne eta kanpo kanaleko Reynolds-en zenbakiaren balioa beharko dugu berriz ere. Balio honen arabera, bai barneko eta bai kanpoko kanalentzako frikzio-faktore bana kalkula daiteke. Barne kanalerako hurrengo ekuazioak daude Re zenbakiaren arabera:

$$f_2 = \frac{8}{Re_2} \quad Re < 1000 \quad [27]$$

$$f_2 = \frac{0.05256}{Re_2^{0.243}} \quad 1000 < Re < 100000 \quad [28]$$

$$f_2 = \frac{0.02117}{Re_2^{0.164}} \quad 100000 < Re < 1000000 \quad [29]$$

Frikzioaren balioarekin hodian barrena emandako presio galerak kalkula daitezke hurrengo formularen bidez:

$$\Delta P_2 = f_2 \cdot \left(\frac{\mu_{2w}(T_w)}{\mu_2(T_{2m})} \right)^y \cdot \left(\frac{L_{hodi}}{L_{ef}} \cdot \frac{L_{ef,tot}}{d_{ext}} \right) \cdot \frac{\rho \cdot V_2^2}{2} \quad [30]$$

non

$\Delta P_2[Pa]$ = barne hodian frikzioari dagozkion presio-galerak.

$L_{hodi}[m]$ = hodiaren salmenta luzera.

$y[-]$ = Re zenbakiaren araberako berretzailea.

$$y = 0.14 \quad 2100 < Re$$

$$y = 0.25 \quad 2100 > Re$$

Frikzioak eragindako karga galerak ez dira hodian zehar emango diren bakarrak. Izan ere, hodian ukondoetan ere jariakinak presioa galduko du. Hauek kuantifikatzeko lehenik eta behin ukondo kopurua zehaztu behar da.

$$N_{uko} = 2 \cdot N_{urk} - 1 \quad [31]$$

non

$N_{uko}[-]$ = Ukondo kopurua.

Beraz, ukondoetan eragindako presio galerak horrela kalkulatu dira:

$$\Delta P'_2 = N_{uko} \cdot \frac{\rho_2 \cdot V_2^2}{2} \quad [32]$$

non

$\Delta P'_2 [Pa]$ = barne hodiko presio galera lokalak.

Hortaz, presio galera totalak biak batuz lortuko dira:

$$\Delta P_{tot,2} = \Delta P_2 + \Delta P'_2 \quad [33]$$

Kanpo kanalerako burutu beharreko prozedura antzerakoa izango da. Lehenik eta behin frikzio-faktorea zehaztuko da:

$$f_1 = \frac{3,64}{Re_1^{0,881}} \quad 100 < Re < 2000 \quad [34]$$

$$f_1 = 1,765 \cdot 10^{-6} \cdot Re^{1,03} \quad 2000 < Re < 3000 \quad [35]$$

$$f_1 = \frac{0,04943}{Re_1^{0,248}} \quad 3000 < Re < 90000 \quad [36]$$

Frikzio faktorearekin karga galeren kalkulua burutu daiteke:

$$\Delta P_1 = f_1 \cdot \left(\frac{\mu_{1w}(T_w)}{\mu_1(T_{1m})} \right)^y \cdot \left(\frac{L_{ef,tot}}{d_{ext}} \right) \cdot \frac{\rho \cdot V_2^2}{2} \quad [37]$$

non

$\Delta P_1 [Pa]$ = barne hodian frikzioari dagozkion presio-galerak.

Kanpo kanalaren kasuan ez dago ukondorik. Horregatik, [37] ekuazioaren bidez lortutako balioa karga galera oso bezala hartuko da.

$$\Delta P_{tot,1} = \Delta P_1 \quad [38]$$

6.3 DISKRETIZAZIOA

Problema hau osorik ebatz daitekeen arren, emaitza zehatzagoak lortuko dira problemaren diskretizazio bat burutzen bada. Izan ere, bero trukagailuaren zati bakoitza independenteki lortuz, egindako hurbilketak geroz eta errore txikiagoa izango dute. Hala ere, hainbeste diskretizatzeak ez dauka eragin handirik izango puntu batetik aurrera, beraz, beste prozesu iteratibo baten kasua dela esan genezake. Arazoa N zatitan diskretizatzen badugu eta lortutako emaitzak N-1 diskretizaziorekin egindakoen oso antzekoak badira, esan dezakegu problemaren emaitza lortu dugula.

Metodo hau bero trukagailuen diseinurako eginda dauden software-etan erabiltzen da. Kasu horietan, problema luzera oso txikietan zatitzen da zirkuitua, horrela egiteko programatuta daude eta. Gure kasuan, geroago ikusiko den bezala, 4 zatitan banatzearekin nahikoa izango da emaitza geroz eta antzekoagoak lortzen direla ikusteko.

6.4 OLIO TERMIKOA

Bero trukagailuaren kanpo kanaletik jarioko duen olio termikoa izango da. Olio termiko honen espezifikazio orrietan honen hainbat propietate taularatuta agertzen dira temperaturaren arabera. Hala ere, EES programan propietateak propietateen balioak lortzerako orduan, espezifikazio orrietan ere ematen diren temperaturaren menpeko ekuazioak erabili dira, ekuazioak hurrengo hauek direlarik:

$$\rho_1(T) \left[\frac{kg}{m^3} \right] = -0,90979 \cdot T + 0,00078116 \cdot T^2 - 2,67 \cdot 10^{-6} \cdot T^3 + 1083,25$$

$$c_{p1}(T) \left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right] = 0,002414 \cdot T + 5,9591 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 - 2,9897 \cdot 10^{-8} \cdot T^3 + 4,4172 \cdot 10^{-11} \cdot T^4 + 1,498$$

$$k(T) \left[\frac{W}{m \cdot K} \right] = -8,19477 \cdot 10^{-5} \cdot T - 1,92257 \cdot 10^{-7} \cdot T^2 + 2,5034 \cdot 10^{-11} \cdot T^3 - 7,297 \cdot 10^{-15} \cdot T^4 + 0,13774$$

$$v(T) \left[\frac{mm^2}{s} \right] = e^{\left(\frac{544,149}{T(^{\circ}C)+114,43} - 2,59578 \right)}$$

7. EMAITZAK

7.1 DATUAK

Emandako datuak erabiliz eta hodiaren sekzioaren datuak kontutan hartuz, hauek izango dira diseinurako erabiliko diren sarrera balioak:

$T_{1e} = 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Olio termikoaren sarrera tenperatura
$T_{1s} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Olio termikoaren irteera tenperatura
$T_{2e} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Uraren sarrera tenperatura
$T_{2s} = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Uraren irteera tenperatura
$\dot{m}_1 = 0,38 \text{ kg/s}$	Olio termikoaren emari masikoa
$D_{ext} = 60 \text{ mm}$	Kanpo hodiaren kanpo diametroa
$D_{int} = 52 \text{ mm}$	Kanpo hodiaren barne diametroa
$d_{ext} = 25 \text{ mm}$	Barne hodiaren kanpo diametroa
$d_{int} = 17 \text{ mm}$	Barne hodiaren barne diametroa
$W_{hegal} = 1 \text{ mm}$	Hegalen lodiera
$N_{hegal} = 20$	Hegal kopurua
$L_{hegal} = 12 \text{ mm}$	Hegalen altuera
$R_{zikin} = 0,0002 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$	Zikinkeriak eragindako erresistentzia termikoa
$L_{hodi} = 3 \text{ m}$	Barne hodiaren lote bakoitzeko luzera totala
$L_{ef} = 2,7 \text{ m}$	Barne hodiaren lote bakoitzeko luzera efektiboa

7.2 EMAITZAK

Hasierako datu horiek EES programan sartuz hurrengo taulan antzematen diren emaitzak ikusten dira.

Taulan, kasu bakoitzean egindako diskretizazio kopurua eta inkrementu bakoitzean egindako iterazioak adierazten dira. Adibidez, 3 inkrementuko kasuan ab, bc eta cd inkrementuak zehaztu dira. Inkrementu bakoitzean, pareta tenperatura zehatza lortzeko egindako iterazio bakoitzeko balioak agertzen dira. Behin paretaren balioak oso

antzekoak direla, kalkulaturako luzera ontzat jo da eta hurrengo inkrementuaren kalkulua egin dira.

Inkrementu kopurua	Inkrementua	Iterazioa	T _{wed} (°C)	T _{wel} (°C)	inkrementuaren luzera(m)	L final (m)
1	ab	0	36,45	48,74		
		1	48,74	48,75		
		2	48,75	48,75	33,93	33,93
3	ab	0	48,71	64,9		
		1	64,9	64,91		
		2	64,91	64,91	8,24	
	bc	0	36,45	48,66		
		1	48,66	48,68		
		2	48,68	48,68	10,65	
cd	0	24,02	32,42			
	1	32,42	32,43			
	2	32,43	32,43	15,19	34,08	
4	ab	0	50,23	66,92		
		1	66,92	66,93		
		2	66,93	66,93	5,99	
	bc	0	41,06	54,74		
		1	54,74	54,76		
		2	54,76	54,76	7,154	
	cd	0	31,81	42,56		
		1	42,56	42,57		
		2	42,57	42,57	8,914	
df	0	22,45	30,37			
	1	30,37	30,38			
	2	30,38	38,55	11,856	33,91	

Taula 1 Bero trukagailua 1, 3 eta 4 zatitan banatzean lortutako luzera independenteak eta luzera totala.

Aurreko taulan, kasu bakoitzean egindako diskretizazio kopurua eta inkrementu bakoitzean egindako iterazioak adierazten dira. Adibidez, 3 inkrementuko kasuan ab, bc eta cd inkrementuak zehaztu dira. Inkrementu bakoitzean, pareta tenperatura zehatza lortzeko egindako iterazio bakoitzeko balioak agertzen dira. Behin paretaren balioak oso antzekoak direla, kalkulaturako luzera ontzat jo da eta hurrengo inkrementuaren kalkulua egin dira.

3 eta 4 inkrementurekin hodiaren luzeraren kalkulua egiterakoan 34,08m eta 33,91m luzerak lortzen dira, diferentzia honek urkila kopuruan ez duenik inongo eraginik luzeraren kalkulua amaitutzat eman da. Trukagailuaren kanpo gainazal azalera 18.27m²-takoa da. Azalera nahiko handia dirudien arren, hegalei esker nahiko konpaktatuta dago transmisio azalera. Izan ere, bero trukagailu metro bakoitzeko, 0,54m² gainazal daude. Kalkulaturako luzera urkila kopurutara pasatzen bada, bi kasuetan 7 urkila beharrezkoak izango dira, 13 ukondorekin. Hurrengo irudian bero trukagailuaren antolamenduaren itxura ikus daiteke.



Irudia 14 Lau urkiladun hodi bikoitzeko bero trukagailua

Karga galerei dagokienez, hurrengo taulan adierazten dira bai barnealdean bai kanpoaldean ematen direnak.

	$\Delta P_1(\text{bar})$	$\Delta P_2(\text{bar})$	$\Delta P_{\text{tot}}(\text{bar})$
Barne kanala	0,15	0,02	0,17
Kanpo kanala	0,062	-	0,062

Taula 2 Barne eta kanpo kanaletan ematen diren karga galerak.

Komenigarria da karga galeren kalkulua egitea zeren eta izan daiteke jariakinak hodieta barrera ibiltzeko presio gabe geratzea. Ondo legoke aztertzea ea bero trukagailuaren irteeran ponpa bat instalatu beharko litzatekeen, edo zirkuituko beste punturen batean, presioa berreskuratzeko asmoz.

Behin luzera lortu dela eta karga galeren datuak burututa, hurrengo taulan beste hainbat datu esanguratsu erakusten dira.

$Q_{\text{truk}}(\text{kW})$	$j_{h1} (-)$	$j_{h2} (-)$	$h_1 (\text{W}/\text{m}^2\text{K})$	$h_o (\text{W}/\text{m}^2\text{K})$
30,96	0,003	0,004	5055	1406

Taula 3 Beste hainbat datu esanguratsu

Dena dela, eranskinetan datu hauek eta beste guztien emaitzak adierazten dira.

Behin dimentsionaketa osoa eginda dagoela, beste kasuren bat ere aztertzea komenigarria izan daiteke. Izan ere, baliteke beste antolamendu baten edo faktoreren bat aldatuz emaitza optimoagoa izatea.

7.2.1 HEGALEN ANALISIA

Hegalak bero trukagailuaren alde hotzeko bero transferentzia gainazala handitzeko helburuarekin jartzen dira, bero trukagailuaren beharrezko luzera horren handia izan ez dadin. Hala ere, interesgarria izan daiteke aztertzea ea hegalak benetan errentagarriak diran ala ez, zeren eta hegalik beharrezko hodi luzera ez bada askoz handiagoa, bero trukagailua hegal gabe egitea izango da aukera honena.

7.2.1.1 HEGALIK GABEKO KASUA

Interesgarria izan daiteke hegalik gabeko bero trukagailu baten kasua jorratzea, eta honen beharra dagoen ala ez ondorioztatzea. Kasu honetan hodi bikoitz simple bat bezala hartuko da bero trukagailua, sarrera datu guztiak berdin mantenduz. Seguruenik hau izango da benetan hegalen inpaktuaren eskala ikusteko modu onena.

EES programetan sartutako ekuazioetan hainbat modifikazio eginez, hodi bikoitzeko kasua simulatuko da. Azterketa inkrementu bakar batekin egin da, emaitza esanguratsuenak hurrengoak dira.

L(m)	236,6	ΔP_{tot} (bar) (kanpo)	0,13481
$A_c(m^2)$	18,58	ΔP_{tot} (bar) (barne)	3,11
$h_o(W/m^2K)$	111,8	N_{urk}	47
$U_i(W/m^2K)$	149,7	N_{urko}	93

Taula 4 Hegalik gabeko kasuan lortutako emaitza esanguratsuenak.

Harritzekoa badirudi ere, soilik hodi bikoitza erabiliz ia 236.6m-ko bero trukagailu bat beharko litzateke bero trukaketa nahi dena izan dadin. Datu honekin oso argi erakusten da hegalak oso errentagarriak direla kasu honetan, material kantitatean eta beharrezko espazioan aurrezpen oso handiak egiten dira-eta. Kasu honetan, luzera horrekin, 47 urkilaren beharra egongo litzateke, eta 93 urkila seriean edukitzeko oso konplikatu izango litzateke espazio aldetik, espazio handia beharko balu.

Luzera hain handia izan arren, interesgarria da kanpo azaleraren balioa zein den ikustea kasu honetan. Izan ere, 18,58m²-ko balioa beharko litzateke kasu honetan, eta hegalen kasuan 18,27m². Hegalekin azalera aurrezpena egiten bada ere, balio nahiko antzekoak direla esan daiteke. Baina esan bezala, hegalen kasuan azalera askoz konpaktuagoa izatea lortzen da hodi bikoitz soilarekin konparatuz.

Karga galerei dagokienez, barne kanalak 3 bar baino gehiagoko karga galera jasaten du luzera osoan zehar, beste kasuarekiko askoz gehiago. Kanpo kanalean, ordea, ez da

asko aldatzen. Izan ere, luzera nabarmenki handitu arren, diametro hidraulikoa ere handitu egiten da, eta bi balio hauek alderantziz proportzionalak dira, metodologia ataleko [37] ekuazioan adierazten den bezala.

Taulan adierazitako dautetan oinarrituz, zalantzarik gabe esan daiteke hegalen instalazioa guztiz beharrezkoa izango dela, bestela ez liteke bideragarria izango.

7.2.1.2 KONPARAKETA

Hegalen analisi bat egiteko asmoz, hegalik gabeko eta hegala dituzten bero trukagailuen zenbait faktoreren konparaketa egingo da.

Hegalen jardutearen erakusleetako bat hegalen eraginkortasuna da, hau da, hegaletara kondukzioz sartzen den beroaren eta hegalik gabe gainazal zati horretatik konbekzioz emango litzatekeen beroaren arteko ratioa. Hurrengo taulan, kasu honetarako hegalen errendimendua zein eraginkortasuna erakusten dira.

	$\eta(-)$	$\varepsilon(-)$
Hegalak	0,78	18,65

Taula 5 Hegalen errendimendua eta eraginkortasuna

Eraginkortasunak (ε) balio nahiko ona ematen du. Hegalek, hodiaren gainazalean gain hartzen duten azalerako bero transferentzia 18,65 aldiz handitzen dutela esan nahi digu.

Beste ikuspuntu interesgarri bat konbekzio koefizienteak aztertuz izango litzateke. Izan ere, jariakin hotzek askotan ez dute oso konbekzio koefiziente handia, eta honek erresistentzi termikoa handitu egiten du. Aztertu egingo dugu hegalen errendimendua kontutan izan gabe eta hau kontutan izanda nola aldatzen den koefiziente hau. Hots, metodologia ataleko [21] ekuazioan zer nolako aldaketa ematen den.

$h_o(\text{kJ/kgK})$	$h_{oi}(\text{kJ/kgK})(\text{zuzendua})$
174	1406

Taula 6 Hegalen zuzenketa sartu baino lehen eta ostean kanpo konbekzio koefizientea.

Ikus daitekeenez, konbekzio koefiziente ia 10 aldiz handiagoa da hegalei esker. Honek eragina izango du bero transferentzia koefiziente orokorrean (U_i), honen balioa handituz 1044 W/m²K-ra arte, beharrezko azalera txikiagoa izango delarik.

Hegalik gabeko kasuan, ordea, kanpo konbekzio koefizientea 111,8 W/m²K da, eta balio honetan mantenduko da bero trukagailu osoan zehar. Hegaldun bero trukagailuan 12,58

aldiz handiago da koefiziente hau. Hau honela izanik, hegalik gabeko bero trukagailuaren luzeraren zergaitia ulertu daiteke

7.2.2 URKILAK PARALELOAN

Zirkutu bakarra seriean kokatu orde, batzutan, konpaktasunaren eta prezioaren aldetik, hobe izan daiteke hainbat zirkuitu paraleloan jartzea. Kasu honetan, seriean 4 urkilaren beharra dago. Baina baliteke bi korrante ezberdinetan banatuta urkila totala seriean baino txikiagoa izatea. Hori dela eta, azterketa hau egiteak pena merezi du. Hori egiteko egin beharko den aldaketa bakarra emaria aldatzea izango da, eta lortutako emaitzak zirkuituaren adar horretan beharrezkoak izango direnak izango dira.

7.2.2.1 BI ZIRKUITU PARALELOAN

Emaria bi adarretan zatituz gero, adar bakoitzean gehienez 3 urkila behar izatea izango da helburua, bestela ez da bideragarria izango. Horretarako, olioaren emari berria hurrengoak izango da:

$$\dot{m}'_1 = \frac{\dot{m}_1}{2} = 0,19 \frac{kg}{s} \quad [39]$$

2 zirkuitutan planteaturik hurrengo emaitzak lortuko genituzke zirkuitu bakoitzerako:

L(m)	21,56	ΔP_{tot} (bar) (kanpo)	0,037
N_{urk}	5	ΔP_{tot} (bar) (barne)	0,092

Taula 7 Bi zirkuitutan banatzerakoan lortutako emaitzak.

Antolamendu honetan, ondorioztatzen da adar bakoitzeko 5 urkila instalatu beharko direla, guztira 10 izanik. Beraz, ez da errentagarria izango ekonomikoki ezta teknikoki ere. Karga galeren aldetik, ordea, ikusi da hauek nahiko txikitu direla beste kasuarekiko. Hortaz, ahalik eta karga galera txikien eragitea bada helburu nagusietako bat, interesgarria izan liteke hau kontutan hartzea.

7.2.2.2 HIRU ZIRKUITU PARALELOAN

Azkenik, aurreko kasuan egindako gauza bera burutuko da baina kaus honetan emaria hiru adarretan zatituko da. Izan ere, adar bakoitzean urkila 1 edo 2 erabiltzea posible balitz, orduan totalen urkila gutxiago erabili behar izango lirateke, trukagailua merketuz. Beraz, lehenik eta behin adar bakoitzeko emariaren kalkulua burutuko da:

$$\dot{m}_1'' = \frac{\dot{m}_1}{3} = 0,127 \frac{kg}{s} \quad [40]$$

3 zirkuitutan banaturik, hurrengo emaitzak lortzen dira:

L(m)	15,727	ΔP_{tot} (bar) (kanpo)	0,015
N_{urk}	3	ΔP_{tot} (bar) (barne)	0,026

Taula 8 Hiru zirkuitutan banatzerakoan lortutako emaitzak.

Kasu honetan ere, ez da posible urkila kopurua 7-tik jeistea, 3 zirkuitu paraleloren kasuan 3 urkila behar baitira adar bakoitzeko, guztira 9 izanik. Hala ere, berriz ere kontutan hartzekoa da karga galeren murrizketa, zeren eta kasu honetan bi kanaletan oso karga galera txikiak topatzen ditugu.

8. GANTT DIAGRAMA

Hurrengo irudian dimentsionaketa prozesu osoa Gantt diagrama baten bidez aurkezten da. Bertan, 2018ko otsailaren 6an zuzendariarekin egindako lehen bileratik 2019ko ekainaren 25ean txostena bukatutzat eman arte emandako pausu esanguratsuenak aipatzen dira.

- Hasierako programazioan, behin zuzendariarekin gaia zein den argituta eta jarraitu beharko diren lehen pausuak zehazturik, EES programarekin egin nahiko diren kalkuluen programazioa hasi da. Lehenengo fasean, baro trukagailuaren luzera lortu da bero trukagailua osorik hartuz. Bigarren fasean ordea, diskretizazioa burutzen da eta karga galeren kalkulua egiten da.
- Behin emaitza garrantzitsuenak lortuta dokumentuaren garapena hasi da. Bertan, oinarritzko atal batzuk idatzi dira eta lehen programazio fasean lortutako emaitzak komentatu dira.
- Dokumentua guztiz idatzi gabe, bigarren programazio fase bat egin da. Kasu honetan, lortutako emaitzetan oinarrituz azetzea interesgarria iruditu diren kasuak joratu dira EES programarekin eta kasu hauetarako emaitzak lortu.
- Behin azken emaitza hauek lortuta, dokumentua amaitzeko beharrezko atalak bukatu dira. Atal honetan proiektu osoaren ikuspen global bat eduki denez, laburpena eta sarrera egin dira.
- Behin guztia eginik, proiektua eta honen dokumentuaren errepasuak burutu dira, akatsak zuzendu eta hobekuntzak gehitzeko asmoz.

9. AURREKONTUA

Atal honetan proiektu honen kostuen analisi bat egingo da. Horretarako, aurrekontu bat garatuko da beharrezkoak izango diren kostu guztiak kontutan hartuz.

Hasteko, barne orduen kalkulua eta hauek suposatzen duten kostuaren kalkulua egiten da. Hurrengo taulan, ikasleak zein zuzendariak behar izandako orduak edukiko dira kontutan

Barne orduak	Ordu kopurua(h)	Kostu unitarioa(€/h)	Kostua(€)
Ikaslea	200	30	6000
Zuzendaria	30	60	1800
GUZTIRA			7.800,00 €

Taula 9 Dimentsionaketa proiektuaren barne-orduen kalkulua.

Amortizazioen kalkulurako, gastua suposatu izan duten baina proiektutik kanpo ere erabilera emango zaien kostuen kalkulua egingo da, erabiliko den ordu totalen eta proiektuaren barnean izandako erabileran oinarriturik. Ordenagailuen erabileraren kostua edota software lizentzia, hala nola.

Amortizazioa	Bizitza erabilgarria(h)	Prezioa(€)	Kostu unitarioa(€/h)	Ordu kopurua(h)	Kostua(€)
Ordenagailua	10000	550	0,055	190	10,45
Microsoft Office	4400	69	0,016	80	1,254545
EES	4400	300	0,068	100	6,818182
GUZTIRA					18,52 €

Taula 10 Dimentsionaketa proiektuaren amortizazioen kalkulua.

Aurrekontuarekin jarraituz, proiektuaren garapenean izandako kostuak hartuko dira kontutan. Atal honen barnean egin behar izan diren fotokopien gastuak baino ez dira adierazten, hori izan baita gastu nabarmen bakarra.

Gastuak	Kostua(€)
Inprimaketa	20
GUZTIRA	20,00 €

Taula 11 Dimentsionaketa proiektuaren gastuen kalkulua.

Azkenik, atal bakoitzean egindako kostuen batura osoa egingo da. Horrez gain, kostu ez zuzenak ere ondorioztatuko dira, kostu zuzenen %5-eko balioarekin adieraziko delarik.

Kontzeptua	Kostua
Barne orduak	7.800,00 €
Amortizazioa	18,52 €
Gastuak	20,00 €
AZPITOTALA	7.838,52 €
Kostu ez zuzenak	391,93 €
TOTALA	8.230,45 €

Taula 12 Dimentsionaketa proiektuaren aurrekontuaren kalkulua.

Azkenean, proiektu honen garapenak duen kostuaren balioa ondorioztatu da, 8230,45€-koa delarik. Esan bezala, diseinu hau proiektu handiago baten parte da, gailu elektronikoen hozketa sistema baten proiektua, hain zuzen. Beraz, diseinu honetan kalkulaturakoa beste zati ezberdinen aurrekontuari gehitu beharko zaio, bero trukagailuaren eraikuntzaren aurrekontura, besteak beste.

ONDORIOAK

- Hodi bikoitzeko bero trukagailuak aplikazio txikietarako bakarrik erabil daitezkeela argi geratu da. Izan ere, alde baten 50°C eta bestean 35°C-ko tenperatura diferentzia baztuetarako, 34m-ko bero trukagailu bat behar izan da. Kontutan eduki behar da olioaren emari masikoa 0,38kg/s-koa baino ez dela. Hori dela eta, bai tenperatura diferentzian bai emarietan eskala handitu nahi izanez gero, beste aukera batzuk hobekak izan litezke.
- Karga galerei dagokienez, bero trukagailu mota hauek hain luzeak izateak karga galera nahiko handiak sortzera darama. Karga galera hauek ekiditea helburu nagusietakoa balitz. Bero trukagailu ezberdinak paraleloan instalatzea izango litzateke egokiena. Izan ere, adar ezberdinetan banatuz emariak zeharkatu beharreko luzera ez litzateke hain handia izango.
- EES software-ari esker egindako programazio guztia etorkizun baten aurrezteko posible liteke. Izan ere, lortutako emaitzak sarrera datuen menpekoak dira. Hori dela eta, beste kasu bat jorratu nahi izanez gero, sarrera datuak aldatuz emaitza berriak lortu ahalko lirateke. Aldaketa hauek jariakinen emarietan, hodiaren sekzioaren dimentsioetan, hegalen geometrian edota fluxuen antolamenduan egin litezke, besteak beste.

INFORMAZIO ITURRIAK

- [1] A. D. Kraus, A. A. (2001). *Extended Surface Heat Transfer*. United States of America: John Wiley & Sons Inc.
- [2] *Alfa Laval*. (s.f.). Obtenido de www.alfalaval.es
- [3] Antec. (s.f.). Obtenido de www.antec.com
- [4] Arveng. (2016). *Diseño de Intercambiadores de Carcasa y Tubos*.
- [5] *Construction Mechanical Engineering*. (s.f.). Obtenido de www.constructionmechanical-engineering.blogspot.com
- [6] *Equirepsa*. (s.f.). Obtenido de www.equirepsa.com
- [7] *HRS-Heat Exchangers*. (s.f.). Obtenido de www.hrs-heatexchangers.com
- [8] Kuppan, T. (2000). *Heat Exchanger Design Handbook*. New York: Marcel Dekker, Inc. .
- [9] *Lointek S.L.* . (s.f.). Obtenido de www.lointek.com
- [10] *Pars*. (s.f.). Obtenido de www.parsdecins.cz
- [11] *Quora*. (s.f.). Obtenido de www.quora.com
- [12] Ramesh K. Shah, D. P. (2003). *Fundamentals of Heat Exchanger Design*. Hoboken: John Wiley & Sons.
- [13] Schlunder, E. U. (1983). *Heat Exchanger Design Handbook (1st issue)*. United States of America: Hemisphere Publishing Corporation.
- [14] Serth, R. W. (2007). *Process Heat Transfer. Principles and Applications*. Kingsville: Elsevier.
- [15] Touloukian, Y. S. (1967). *Thermophysical Properties of High Temperature Solid Materials, vol.* New York: The Macmillan Company.
- [16] *YouTube*. (s.f.). Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=TfMzplP0-eM>

ERANSKINAK: EMAITZAK

Unit Settings: SI C kPa J mass deg											
Ab = 1.986 [m ²]	Ae = 16.28 [m ²]	Ai = 1.812 [m ²]	cp1 = 1630 [J/kg·K]	cp2 = 4179 [J/kg·K]	Δp1 = 11774 [Pa]	Δp11 = 11774 [Pa]	Δp2 = 44457 [Pa]				
Δp21 = 38775 [Pa]	Δp22 = 5682 [Pa]	ΔT = 16.37 [°C]	Dext = 0.06 [m]	Dh1 = 0.007718 [m]	Dint = 0.025 [m]	ε = 18.65 [-]	η = 0.7766 [-]				
η1 = 0.7772 [-]	fext = 0.008338 [-]	fint = 0.004684 [-]	h0 = 5000 [W/m ² ·K]	h0i = 40406 [W/m ² ·K]	h1 = 4845 [W/m ² ·K]	h11 = 5055 [W/m ² ·K]	h0 = 174.6 [W/m ² ·K]				
h0i = 1410 [W/m ² ·K]	h0i1 = 1406 [W/m ² ·K]	h01 = 174 [W/m ² ·K]	Hae = 0.012 [m]	jh1 = 0.003444 [-]	jh2 = 0.003691 [-]	k1 = 0.1332 [W/m·K]	k2 = 0.6181 [W/m·K]				
ku00 = 55 [W/m·K]	L = 33.925 [m]	Le1 = 2.7 [m]	Lehot = 37.8 [m]	Lext = 0.004 [m]	Lf = 42 [m]	Lint = 0.004 [m]	L000 = 3 [m]				
μ1 = 0.002122 [kg/m·s]	μ2 = 0.0007567 [kg/m·s]	μw1 = 0.002178 [kg/m·s]	μw2 = 0.0005585 [kg/m·s]	m1 = 0.38 [kg/s]	m2 = 0.2117 [kg/s]	v1 = 0.000002041 [m ² /s]	v2 = 7.606E-07 [m ² /s]				
Nale = 20 [-]	Naberezas = 13 [-]	Nhorg = 7 [-]	Pf1 = 25.96 [-]	Pf2 = 5.116 [-]	P1 = 110 [kPa]	P2 = 110 [kPa]	Qtruk = 30962 [W]				
Re1 = 992.3 [-]	Re2 = 20950 [-]	p1 = 1040 [kg/m ³]	p2 = 994.9 [kg/m ³]	R2kin = 0.0002 [m ² ·K/W]	St1 = 0.0003927 [-]	St11 = 0.0003913 [-]	St2 = 0.001243 [-]				
St21 = 0.001297 [-]	Sext = 0.001393 [m ²]	Sint = 0.000227 [m ²]	Ta = 75 [°C]	Tf0 = 58.33 [°C]	Ta = 75 [°C]	Tmab = 66.67 [°C]	Ts = 25 [°C]				
Ta = 50 [°C]	T2e = 38.33 [°C]	T2e = 15 [°C]	Tmab = 44.17 [°C]	T2s = 50 [°C]	Tb01 = 50 [°C]	Tb02 = 32.5 [°C]	Tmab = 110.8 [°C]				
Twe = 36.44523 [°C]	Twe0 = 48.75256 [°C]	Twet = 48.75257 [°C]	Ui = 1044 [W/m ² ·K]	Uext = 0.2625 [m/s]	Uint = 0.9373 [m/s]	Yext = 0.25 [-]	Yint = 0.14 [-]				
Zae = 0.001 [m]											

26 potential unit problems were detected.

[Check Units](#)

Calculation time = 33 ms

Emitzak 1 Bero trukagailuaren osotarako kalkuluaren emaitzak.

Unit Settings: SI C kPa J mass deg

Ab = 0.4825	Ae = 3.956	Ai = 0.4402	cp1 = 1676	cp2 = 4180	Ap1 = 2579	Ap11 = 2579	Ap2 = 12412	Ap21 = 11020	Ap22 = 1392
$\Delta T = 22.41$	Dext = 0.06	Dh1 = 0.007718	Dint = 0.025	e = 18.64	$\eta = 0.7759$	$\eta_1 = 0.7766$	fext = 0.0063	fint = 0.004406	hfo = 5000
hfoi = 40380	hi = 5591	hi1 = 5858	ho = 175.3	hoi = 1415	hoi1 = 1410	ho1 = 174.6	Hale = 0.012	jh1 = 0.002796	jh2 = 0.00351
k1 = 0.1314	k2 = 0.6338	Kubo = 55	L = 8.242 [m]	Left = 2.7	Leftot = 10.8	Lext = 0.004	Lf = 12	Lint = 0.004	Ltubo = 3
$\mu_1 = 0.001544$	$\mu_2 = 0.000605$	$\mu_{w1} = 0.001592$	$\mu_{w2} = 0.0004338$	$\dot{m}_1 = 0.38$	$\dot{m}_2 = 0.2176$	$v_1 = 0.000001505$	$v_2 = 6.107E-07$	Nale = 20	Ncabezales = 3
Nhorq = 2	Pr1 = 19.68	Pr2 = 3.99	P1 = 110	P2 = 110	Qfruk = 10613	Re1 = 1364	Re2 = 28942	p1 = 1025	p2 = 990.6
Rekin = 0.0002	Sh1 = 0.0003836	Sh11 = 0.0003819	Sh2 = 0.001395	Sh21 = 0.001462	Sext = 0.001393	Sint = 0.000227	T1a = 75	T1b = 69.44	T1e = 75
Tfamb = 72.22	Tfs = 58.33	T2a = 50	T2b = 46.11	T2e = 38.33	Tzamb = 48.06	T2s = 50	Tbt1 = 66.67	Tbz2 = 44.17	Tmab = 120.3
Twe = 48.71070	Twe0 = 64.91178	Twet = 64.91180	Uf = 1076	Uext = 0.266	Uint = 0.9679	Yext = 0.25	Yint = 0.14	Zale = 0.001	

10 potential unit problems were detected.

Check Units

Calculation time = 78 ms

Emaitzak 2. Bero trukagailua 3 inkrementutan zatitzean 1 zatiko emaitzak.

Unit Settings: SI C kPa J mass deg

Ab = 0.6236	Ae = 5.113	Al = 0.5689	cp1 = 1630	cp2 = 4179	Δp1 = 3365	Δp1 = 3365	Δp2 = 12391	Δp2 = 11080	Δp22 = 1311
ΔT = 17.38	Dext = 0.06	Dh1 = 0.007718	Dint = 0.025	ε = 18.65	η = 0.7766	η1 = 0.7772	fext = 0.008338	fint = 0.004684	hfo = 5000
hfoi = 40408	hi = 4844	hi1 = 5054	ho = 174.6	hoi = 1410	hoi1 = 1406	ho1 = 173.9	Hae = 0.012	jh1 = 0.003444	jh2 = 0.003691
k1 = 0.1332	k2 = 0.6181	Kubo = 55	L = 10.652 [m]	Let = 2.7	Letot = 10.8	Let = 0.004	L1 = 12	Lint = 0.004	Lubo = 3
μ1 = 0.002122	μ2 = 0.0007567	μw1 = 0.002182	μw2 = 0.0005592	m1 = 0.38	m2 = 0.2117	v1 = 0.000002041	v2 = 7.606E-07	Nale = 20	Ncabezales = 3
Nhorq = 2	P11 = 25.96	P12 = 5.116	P1 = 110	P2 = 110	Qtruk = 10320	Re1 = 992.3	Re2 = 20949	p1 = 1040	p2 = 994.9
Rakht = 0.0002	St11 = 0.0003927	St11 = 0.0003912	St2 = 0.001243	St21 = 0.001297	Sext = 0.001393	Sint = 0.000227	Ta = 58.33	Tb = 47.22	Ta = 58.33
Tinab = 52.78	T1s = 41.67	T2s = 38.33	T2b = 30.56	T2e = 26.67	T2nab = 34.44	T2s = 38.33	Tb1 = 50	Tbz2 = 32.5	T1a = 58.33
Twe = 36.44532	Twe0 = 48.67554	Twe1 = 48.67555	Ui = 1044	Uext = 0.2625	Uint = 0.9373	Yext = 0.25	Yint = 0.14	Zae = 0.001	T1ab = 87.22

10 potential unit problems were detected.

Check Units

Calculation time = 78 ms

Unit Settings: SI C kPa J mass deg											
Ab = 0.8891	Ae = 7.29	Ai = 0.8111	cp1 = 1584	cp2 = 4183	AP1 = 6994	AP11 = 6994	AP2 = 18919	AP21 = 16865	AP22 = 2054		
ΔT = 12.33	Dext = 0.06	Dh1 = 0.007718	Dint = 0.025	ε = 18.67	η = 0.7776	η1 = 0.7781	fext = 0.01172	fint = 0.005025	hfo = 5000		
hfoi = 40447	hi = 4108	hi1 = 4259	ho = 173.6	hoi = 1403	hoi1 = 1400	hoi1 = 173	Hale = 0.012	jh1 = 0.004437	jh2 = 0.003911		
k1 = 0.1348	k2 = 0.5995	Ktubo = 55	L = 15.187 [m]	Let = 2.7	Letot = 16.2	Lext = 0.004	Lf = 18	Lint = 0.004	Ltubo = 3		
ku1 = 0.003124	ku2 = 0.0009815	kuw1 = 0.003198	kuw2 = 0.0007578	m1 = 0.38	m2 = 0.2055	v1 = 0.000002965	v2 = 9.834E-07	Nale = 20	Ncalbezales = 5		
Nhorq = 3	P11 = 36.71	P12 = 6.849	P1 = 110	P2 = 110	Qhrnk = 10032	Re1 = 674	Re2 = 15684	p1 = 1054	p2 = 998		
Rzkhk = 0.0002	St11 = 0.0004017	St11 = 0.0004004	St2 = 0.001084	St21 = 0.001124	Sext = 0.001393	Sint = 0.000227	Ta = 41.67	Tib = 36.11	Tie = 41.67		
Tmab = 38.89	Tis = 25	T2a = 26.67	T2b = 22.78	T2e = 15	Tmab = 24.72	T2s = 26.67	Tb1 = 33.33	Tbz2 = 20.83	Tmab = 63.61		
Twe = 24.01627	Twe0 = 32.42679	Twet = 32.42680	Uf = 1003	Uext = 0.2589	Uint = 0.9073	Yext = 0.25	Yint = 0.14	Zale = 0.001			

10 potential unit problems were detected.

Check Units

Calculation time = 78 ms

Unit Settings: SI C kPa J mass deg											
Ab = 0.3507	Ae = 2.876	Ai = 0.32	cp1 = 1681	cp2 = 4180	Δp1 = 2504	Δp11 = 2504	Δp2 = 12420	Δp21 = 11018	Δp22 = 1402		
ΔT = 23.13	Dext = 0.06	Dh1 = 0.007718	Dint = 0.025	e = 18.64	η = 0.7758	η1 = 0.7765	fext = 0.006104	fint = 0.004375	hfo = 5000		
hfoi = 40377	hi = 5685	hi1 = 5959	ho = 175.4	hoi = 1415	hoi1 = 1410	ho1 = 174.7	Hale = 0.012	jh1 = 0.002731	jh2 = 0.003489		
k1 = 0.1312	k2 = 0.6365	kubo = 55	L = 5.991 [m]	Ler = 2.7	Lerhot = 10.8	Lext = 0.004	Lr = 12	Lint = 0.004	Ltubo = 3		
l1 = 0.001489	μ2 = 0.0005895	μw1 = 0.001536	μw2 = 0.0004215	m1 = 0.38	m2 = 0.2184	v1 = 0.000001455	v2 = 5.955E-07	Nale = 20	Nobezalea = 3		
Nhorq = 2	Pr1 = 19.08	Pr2 = 3.878	P1 = 110	P2 = 110	Qhuk = 7987	Re1 = 1414	Re2 = 27741	p1 = 1024	p2 = 990		
Rskin = 0.0002	St1 = 0.0003824	St11 = 0.0003807	St2 = 0.001414	St21 = 0.001482	Sext = 0.001393	Sint = 0.000227	Ta = 50	T1a = 75	T1b = 70.83		
Timb = 72.92	Tis = 62.5	Ta = 50	T2a = 47.08	T2e = 41.25	T2mab = 48.54	T2s = 50	Tb1 = 68.75	Tb2 = 45.63	Te = 75		
Twe = 50.23483	Twe0 = 66.93351	Twe1 = 66.93352	Uf = 1079	Uext = 0.2665	Uint = 0.9718	Yext = 0.25	Yint = 0.14	Zale = 0.001	Tmab = 121.5		

10 potential unit problems were detected.

Check Units

Calculation time = 78 ms

Unit Settings: SI C kPa J mass deg

Ab = 0.4188	Ae = 3.434	Al = 0.3821	cp1 = 1647	cp2 = 4179	Δp1 = 3027	Δp11 = 3027	Δp2 = 12390	Δp21 = 11048	Δp22 = 1341
ΔT = 19.38	Dext = 0.06	Dh1 = 0.007718	Dint = 0.025	ε = 18.65	η = 0.7763	η1 = 0.777	fext = 0.00746	fint = 0.004573	hfo = 5000
hfoi = 40396	hi = 5124	hi1 = 5365	ho = 174.9	hoi = 1412	hoi1 = 1407	ho1 = 174.2	Hale = 0.012	jh1 = 0.00317	jh2 = 0.003619
k1 = 0.1325	k2 = 0.6243	Ktubo = 55	L = 7.154 [m]	Le1 = 2.7	Lenot = 10.8	Lext = 0.004	L1 = 12	Lint = 0.004	Ltubo = 3
μ1 = 0.00187	μ2 = 0.0006932	μw1 = 0.001926	μw2 = 0.0005059	m1 = 0.38	m2 = 0.2139	v1 = 0.000001808	v2 = 6.978E-07	Nale = 20	Ncabezales = 3
Nhorq = 2	P11 = 23.24	P12 = 4.64	P1 = 110	P2 = 110	Qtrnk = 7823	Re1 = 1126	Re2 = 23113	p1 = 1034	p2 = 993.4
Rskin = 0.0002	St1 = 0.0003893	St11 = 0.0003877	St2 = 0.001301	St21 = 0.001359	Sext = 0.001393	Sint = 0.000227	T1a = 62.5	T1b = 58.33	T1c = 62.5
Tamb = 60.42	T1s = 50	T2a = 41.25	T2b = 38.33	T2e = 32.5	T2nab = 39.79	T2s = 41.25	T2b1 = 56.25	T2b2 = 36.88	T2c = 62.5
Twe = 41.06115	Twe0 = 54.75710	Twet = 54.75711	U1 = 1057	Uext = 0.2638	Uint = 0.9487	Yext = 0.25	Yint = 0.14	Zae = 0.001	T1ab = 100.2

10 potential unit problems were detected.

Check Units

Calculation time = 78 ms

Emaitzak 6. Bero trukagailua 4 inkrementutan zatitzean 2 zatiaren emaitzak.

Unit Settings: SI C kPa J mass deg											
Ab = 0,5218	Ae = 4,279	Al = 0,4761	cp1 = 1612	cp2 = 4180	Δp1 = 3773	Δp11 = 3773	Δp2 = 12409	Δp21 = 11128	Δp22 = 1281		
ΔT = 15,63	ΔT1 = 15,56	Dext = 0,06	Dh1 = 0,007718	Dint = 0,025	ε = 18,66	η = 0,7769	η1 = 0,7775	fext = 0,009398	fint = 0,004803		
h0 = 5000	h0i = 40422	hi = 4567	hi1 = 4755	ho = 174,3	hoi = 1408	hoi1 = 1403	ho1 = 173,6	Hae = 0,012	jh1 = 0,003764		
jh2 = 0,003768	k1 = 0,1338	k2 = 0,6115	Kubo = 55	L = 8,914 [m]	Le1 = 2,7	Lehot = 10,8	Le1 = 0,004	L1 = 12	Lint = 0,004		
Lubo = 3	μ1 = 0,002431	μ2 = 0,0008302	μw1 = 0,002496	μw2 = 0,0006226	m1 = 0,38	m2 = 0,2094	v1 = 0,000002326	v2 = 8,334E-07	Nae = 20		
Ngabazales = 3	Nhorq = 2	P11 = 29,29	P12 = 5,675	P1 = 110	P2 = 110	Qtruk = 7659	Re1 = 866,3	Re2 = 18890	p1 = 1045		
P2 = 996,2	Rskin = 0,0002	St11 = 0,0003961	St11 = 0,0003946	St2 = 0,001184	St21 = 0,001233	Sext = 0,001393	Sint = 0,000227	Ta = 50	T1b = 45,83		
T1e = 50	T1mab = 47,92	T1s = 37,5	T2a = 32,5	T2b = 29,58	T2e = 23,75	T2mab = 31,04	T2s = 32,5	Tb1 = 43,75	Tb2 = 28,13		
T1iab = 78,96	Twe = 31,80653	Twa0 = 42,57377	Twe1 = 42,57377	Ui = 1030	Uext = 0,2611	Uint = 0,926	Yext = 0,25	Yint = 0,14	Zae = 0,001		

10 potential unit problems were detected.

Check Units

Calculation time = 79 ms

Emaitzak 7. Bero trukagailua 4 inkrementutan zatitzean 3 zatiaren emaitzak.

Unit Settings: SI C KPa J mass deg											
Ab = 0.694	Ae = 5.691	Ai = 0.6332	cp1 = 1578	cp2 = 4184	Δp1 = 7324	Δp11 = 7324	Δp2 = 18947	Δp21 = 16909	Δp22 = 2038		
ΔT = 11.88	Dext = 0.06	Dh1 = 0.007718	Dint = 0.025	ε = 18.68	η = 0.7777	η1 = 0.7782	εext = 0.0123	fint = 0.005074	h0 = 5000		
hfoi = 40452	hi = 4017	hi1 = 4160	ho = 173.4	hoi = 1402	hoi1 = 1399	ho1 = 172.9	Hale = 0.012	jh1 = 0.004598	jh2 = 0.003942		
k1 = 0.135	k2 = 0.5969	kubo = 55	L = 11.856 [m]	Let = 2.7	Letot = 16.2	Levt = 0.004	Lr = 18	Lnt = 0.004	Lubo = 3		
μ1 = 0.003299	μ2 = 0.001017	μw1 = 0.003376	μw2 = 0.0007909	m1 = 0.38	m2 = 0.2048	v1 = 0.000003125	v2 = 0.000001019	Nale = 20	Ncafezas = 5		
Nhong = 3	Pr1 = 38.57	Pr2 = 7.13	P1 = 110	P2 = 110	Qcruk = 7497	Re1 = 638.3	Re2 = 15077	p1 = 1056	p2 = 998.3		
Rskin = 0.0002	St1 = 0.0004028	St11 = 0.0004015	St2 = 0.001064	St21 = 0.001102	Sext = 0.001393	Sint = 0.000227	T1a = 37.5	T1b = 33.33	T1e = 37.5		
T1mab = 35.42	T1s = 25	T2a = 23.75	T2b = 20.83	T2e = 15	T2mab = 22.29	T2s = 23.75	T2bt = 31.25	T2bz = 19.38	T1e = 37.5		
Twe = 22.44810	Twe0 = 30.38145	Twe1 = 30.38146	Uf = 997	Uext = 0.25885	Uint = 0.9036	Yext = 0.25	Yint = 0.14	Zae = 0.001	T1e = 37.5		

10 potential unit problems were detected.

Check Units

Calculation time = 78 ms

Unit Settings: SI C kPa J mass deg

Ae = 18,58	Al = 12,63	cp1 = 1630	cp2 = 4179	$\Delta p_1 = 13481$	$\Delta p_{11} = 13481$	$\Delta p_2 = 310556$	$\Delta p_{21} = 269911$	$\Delta p_{22} = 40645$	$\Delta T = 16,37$
Dext = 0,06	Dh1 = 0,027	Dint = 0,025	fext = 0,006809	fint = 0,004684	hfo = 5000	hi = 4845	hi1 = 4876	ho = 117,5	ho1 = 111,8
jh1 = 0,002716	jh2 = 0,003691	k1 = 0,1332	k2 = 0,6181	kubo = 55	L = 236,576 [m]	Let = 2,5	Letot = 235	Lext = 0,004	Lf = 282
Lint = 0,004	Lubo = 3	$\mu_1 = 0,002122$	$\mu_2 = 0,0007567$	$\mu_{w1} = 0,003012$	$\mu_{w2} = 0,0007227$	$m_1 = 0,38$	$m_2 = 0,2117$	$v_1 = 0,000002041$	$v_2 = 7,606E-07$
Ncabezales = 93	Nhorq = 47	Pf1 = 25,96	Pf2 = 5,116	P1 = 110	P2 = 110	Qdotuk = 30962	Re1 = 2961	Re2 = 20960	p1 = 1040
p2 = 994,9	Rzkin = 0,0002	St1 = 0,0003098	SH11 = 0,0002949	SH2 = 0,001243	SH21 = 0,001251	Sext = 0,001633	Sint = 0,000227	Sint = 0,000227	Tfa = 75
T1s = 25	T2a = 50	T2a = 15	T2s = 50	Tbb1 = 50	Tbb2 = 32,5	Twe = 32,91429	Twe0 = 34,76838	Twet = 34,76839	Tfa = 75
Uext = 0,2239	Uint = 0,9373	Yext = 0,25	Yint = 0,14						Uf = 149,7

9 potential unit problems were detected. [Check Units](#)

Calculation time = 140 ms

Emaitzak 9. Bero trukagailua hegalk gabe suposatzean lortutako emaitzak.

Unit Settings: SI C kPa J mass deg

Ab = 1,262	Ae = 10,35	Ai = 1,152	cp1 = 1630	cp2 = 4179	ΔP1 = 3665	ΔP11 = 3584	ΔP12 = 80,55	ΔP2 = 9177	ΔP21 = 8193
ΔP22 = 983,3	ΔT = 16,37	Dext = 0,06	Dn1 = 0,007718	Dnt = 0,025	e = 19,54	η = 0,8136	η1 = 0,8141	fext = 0,01536	fint = 0,005543
hfo = 5000	hfoi = 42063	hi = 2782	hi1 = 2904	ho = 137,5	hoi = 1156	hoi1 = 1152	ho1 = 137	Hale = 0,012	jhp1 = 0,005422
jhp2 = 0,00424	k1 = 0,1332	k2 = 0,6181	khubo = 55	L = 21,564 [m]	Lef = 2,5	Lenot = 25	Lext = 0,004	Lf = 30	Lint = 0,004
Luboo = 3	μ1 = 0,002122	μ2 = 0,0007567	μw1 = 0,002176	μw2 = 0,0005579	m1 = 0,19	m2 = 0,1058	v1 = 0,000002041	v2 = 7,608E-07	Nale = 20
Ncabezas = 9	Nhorq = 5	Pr1 = 25,96	Pr2 = 5,116	Pr1 = 110	P2 = 110	Qtruk = 15481	Re1 = 496,2	Re2 = 10475	p1 = 1040
P2 = 994,9	Rzkin = 0,0002	St1 = 0,0006184	St11 = 0,0006162	St2 = 0,001428	St21 = 0,00149	Sext = 0,001393	Sint = 0,000227	Ta = 75	T1b = 58,33
T1e = 75	T1mab = 66,67	T1s = 25	T2a = 50	T2b = 38,33	T2e = 15	T2mab = 44,17	T2s = 50	Tbr1 = 50	Tbz2 = 32,5
Tmab = 110,8	Twe = 37,63592	Twe0 = 48,81153	Twe1 = 48,81153	U1 = 821,1	Uext = 0,1312	Uint = 0,4687	Yext = 0,25	Yint = 0,14	Zale = 0,001

10 potential unit problems were detected.

[Check Units](#)

Calculation time = 78 ms

Unit Settings: SI C kPa J mass deg

Ab = 0,9206	Ae = 7,549	Ai = 0,8399	cp1 = 1630	cp2 = 4179	Δp1 = 1476	Δp11 = 1476	Δp2 = 2654	Δp21 = 2411	Δp22 = 242,8
ΔT = 17,5	Dext = 0,06	Dh1 = 0,007718	Dint = 0,025	ε = 20	η = 0,8331	η1 = 0,8335	fext = 0,02195	fint = 0,006117	hfo = 5000
hfo1 = 42938	hi = 2012	hi1 = 2099	ho = 119,5	ho1 = 1026	ho1 = 1023	ho1 = 119,1	Hale = 0,012	jh1 = 0,007072	jh2 = 0,004598
k1 = 0,1332	k2 = 0,6181	Kuubo = 55	L = 15,727 [m]	Let = 2,7	Letot = 16,2	Levt = 0,004	Lf = 18	Lint = 0,004	Lubo = 3
μ1 = 0,002122	μ2 = 0,0007567	μw1 = 0,002177	μw2 = 0,0005582	m1 = 0,1267	m2 = 0,07055	v1 = 0,000002041	v2 = 7,606E-07	Nale = 20	Ncabezales = 5
Nhoq = 3	P1 = 25,96	P2 = 5,116	P1 = 110	P2 = 110	Qruk = 10321	Re1 = 330,8	Re2 = 6983	p1 = 1040	p2 = 994,9
Rzkin = 0,0002	Sk1 = 0,0008065	St1 = 0,0008036	St2 = 0,001548	St21 = 0,001616	Sext = 0,001393	Sint = 0,000227	Tfa = 75	Tfb = 58,33	Tfe = 75
Tinab = 66,67	Tis = 25	T2a = 50	T2b = 38,33	T2e = 15	Tzmao = 44,17	T2e = 50	Tbot = 50	Tbb2 = 32,5	Tfabo = 110,8
Twe = 38,41027	Twe0 = 48,78007	Twe1 = 48,78008	Uf = 702,2	Uext = 0,08748	Uint = 0,3124	Yext = 0,25	Yint = 0,14	Zale = 0,001	

10 potential unit problems were detected.

Check Units

Calculation time = 93 ms