

INDUSTRIA TERKNOLOGIAREN
INGENIERITZAKO GRADUA
GRADU AMARIERAKO LANA

*Barne Errekuntza motorren hondakin
beroa berreskuratzea: ORC eta bero
trukagailuaren dimentsionamendua*

Ikaslea: Lahidalga, Fernandez de Arroyabe, Joseba

Zuzendaria: Uriondo, Arrue, Zigor

Ikasturtea: 2017-2018

Data: 2018,07,23

AURKIBIDEA

1.- LABURPEN HIRUELEDUNA.....	4
2.-TAULA/ILUSTRAZIO/LABURDURA ZERRENDA.....	5
3.-SARRERA.....	6
4.- TESTUINGURUA.....	7
5.-HELBURUAK ETA IRISMENA.....	10
6- ONURAK.....	12
6.1- ONURA TEKNIKOAK.....	12
6.2-ONURA EKONOMIKOA.....	12
6.3- ONURA SOZIALAK	13
7. ALTERNATIBA ANALISIA	14
7.1- ORC zikloen konfigurazio ezberdinak.....	14
a) ORC sinplea:.....	14
b) ORC leheneratzailea	15
c) ORC Leheneratzaile bikoitza.....	15
d) ORC Leheneratzaile birberotzearekin	15
Hautatutako konfigurazioak.....	15
7.2- Hautagai dauden fluidoak.....	16
8.-KALKULU ETA ERANTZUNAK.....	18
8.1.-ORC SISTEMAREN EMAITZAK.....	18
8.2.-BERO TRUKAGAILUAREN EMAITZAK	20
8.3.- T-S ETA P-H DIAGRAMAK. PROPIETATEEN TAULAK	22
9.-METODOLOGIA.....	23
9.1-ORC KONFIGURAZIO SINPLEA	23
9.1.1-ARIKETAREN DESKRIBAPENA.....	23
9.1.2- EBAZPENA.....	25
9.2- BERO TRUKAGAILUAREN DIMENTSIONAMENDUA.....	27
9.2.1-LTMD METODOA	28
10.-GANTT-en DIAGRAMA.....	35

10.1- GANTT DIAGRAMAREN AZALPENA.....	37
10.1.1- INFORMAZIO BILAKETA:	37
10.1.2- KONFIGURAZIO EZBERDINEN IKERKETA:.....	37
10.1.3- PROGRAMAREN IKASKETA:	37
10.1.4- EMAITZEN LORPENA:.....	37
10.1.5- MEMORIA IDAZTEA:.....	37
10.1.6- MEMORIAREN ZUZENKETA:	37
10.1.7- AZKENEKO ZUZENKETA ETA LANA ENTREGATZEA:.....	37
11.-ASPEKTU EKONOMIKOAK: AURREKONTUA	38
12.-ARRISKU ANALISIA.....	39
12.1- HASIERAKO DATUEKIN SORTZEN DIREN ARAZOAK.....	39
12.2- DIMENTSIONAMENDURAKO HARTU EGIN DIREN HIPOTESIEN ARRISKUAK.....	39
12.3-ERABILI EGITEN DIREN ELEMENTUEN ARRISKUAK.....	40
12.4- ARRISKU MATRIZEA.....	40
13.-ONDORIOAK.....	41
14.-BIBLIOGRAFIA	42
I-ERANSKINA: FLUIDO EZBERDINEN PROPIETATE TERMODINAMIKOAK.....	46
➔ R1233zd(E).....	46
➔ R245fa.....	46
➔ R134a.....	47
II-ERANSKINA: T-s eta P-h diagramak.....	48
➔ R134a.....	48
➔ R1233zf(E).....	49
➔ R245fa.....	50
III-ERANSKINA: ITERAZIOAK.....	51
➔ R245fa.....	51
➔ R134a.....	52
➔ R1233zd(E).....	53
IV-ERANSKINA: EES programaren kodiagoa	54

1.- LABURPEN HIRUELEDUNA

El fin de este trabajo es utilizar los calores de agua de camisas residuales de un motor térmico mediante un sistema ORC (Organic Residual Cycle) con el fin de lograr electricidad o trabajo. El estudio se enfocará, primero en la configuración del ciclo para que sea el más óptimo y después en el fluido con el que trabajará. Se obtendrán diferentes soluciones y conclusiones y para ello recurriremos a la herramienta informática EES (Engineering Equation Solver). A la hora de la selección se tendrá en cuenta no solo los ámbitos termodinámicos sino que también los económicos y medioambientales. Los resultados se expondrán mediante gráficos, tablas y parámetros más significativos con el fin de lograr una idónea (adecuada) comparación. Por último, se dimensionará el intercambiador de calor.

Lan honen helburua itsasontzi baten motor termikoak sortzen duen hondakin beroak dituen ORC (Organic Residual Cycle) baten bitartez erabiltzean datza. Azken finean sistema honek galtzen diren uraren bero hondakinak erabiltzen ditu elektrizitatea edota lana sortzeko. Lan bikoitza egingo da, alde batetik zikloaren hautaketa egingo da eta bestetik zein fluido den egokiena lan hori lortzeko. Hauekin hainbat soluzio eta ondorio lortuko dira. Hau guztia egiteko EES programa informatikoa erabiliko da. Aukeraketa egiterako orduan irizpide termodinamikoak ez ezik, bai ingurunean baita ekonomian eduki dezaketen ondorioak aztertuko ditugu gure aukeraketa ahalik eta zehatzena izateko. Emaitzak tauletan, grafikoetan eta parametro garrantzitsuenetan eman egingo dira beraien konparaketa ahalik eta zehatzena izateko. Azkenik lana bukatzeko bero trukagailuaren dimentsionaketa egingo dugu.

The aim of this work is to design an ORC (Organic Residual Cycle) to re-use waste heat from a combustion engine to produce electricity or work. The best cycle and fluid are going to be decided in this study and EES software is going to be used. During the selection procedure not only thermodynamic reasons will be considered, economical and environment criterions will be kept in mind. All the results are going to be provided in tables, graphics and most representative parameters in order to provide the best comparisons between different options. Finally, a value of the heat exchanger size is going to be calculated.

2.-TAULA/ILUSTRAZIO/LABURDURA ZERREDA

Taula 1: Fluido ezberdinen ikerketa	9
Taula 2: Ikerketarako erabili diren fluido ezberdinen propietateak	18
Taula 3: Errendimendu maximoan lortzen diren balioak	19
Taula 4:Hasierako datuak	23
Taula 5:Dimentsionamendua lortzeko hasierako balioak	28
Taula 6: Hiruki forman jarritako hodien parametroak	29
Taula 7: Lauki moduan jarritako hodien parametroak	29
Taula 8:Gantt-en diagrama.....	35
Taula 9:Proiektuan lan egiten duten baliabideak.....	36
Taula 10:Aurrekontua	38
Taula 11:Arrisku matrizea	40
Irudia 1: ORC zikloen konfigurazio ezberdinak.....	14
Irudia 2: Fluido ezbedinen errendimenduak lurrungailuaren tenperaturarekiko	19
Irudia 3: Abiaduraren aldaketa hodi kopuruagatik.....	20
Irudia 4:Bero trukagailuaren luzeera hodi ezberdinekin.....	21
Irudia 5:Luzera eta U-ren arteko konparaketa	21
Irudia 6: ORC konfigurazio sinplearen eskema.....	23
Irudia 7:Hasierako datuak	24
Irudia 8:U-tube motako bero trukagailua.....	28
Irudia 9:BDS lortzeko grafikoak.....	30
Irudia 10: Hozgarriak eta Urak jarraitako ibilbidea bero trukagailuaren barruan....	31
Irudia 11: Bira bakarreko grafikoa	32
Irudia 12: Bira bikoitza edo gehiagoko grafikoa	33

3.-SARRERA

Dokumentu honek itsasontzi batean instalatuko den ORC sistema bat diseinatzea izango du helburu. Horretarako, problema alde termodinamikotik ikusi egingo da eta aldi berean hau lortzeko eman behar diren pausua eta hartu beharreko erabakiak azalduko dira.

Testuinguruan orain arte egin diren ikerketa eta ORC sistemak izan duen bilakaera historian zehar azaldu egingo da eta proiektua gauzatzeko aukerarik onena, bideragarritasun eta ikasketa finantzarioek lagunduta, erabakiko da. Proiektua gauzatzeak ekar ditzakeen onurak atal honetan jorratuko dira baita. Proiektua zertan datzan eta ekoizkinaren eta bere atal guztien definizioa egingo da.

Azkenik, aztertutako gai guztietan oinarrituz, erabaki bat hartuko da eta honen berri emango da txostenaren bukaeran. Aurrera jarraitzeko irizpide bezala gauzatutako azterketak positiboak izatea eta bideragarria izatea izango da.

4.- TESTUINGURUA

Gizakia betidanik saiatu egin da beroari ekarpen erabilgarri bat ematen. Hori dela eta azken urte hauetan garrantzia handia eman diote tenperatura baxuko beroari. Bero mota hau berreskuratzeko eta elektrizitatea sortzeko hainbat sailetan erabili egin da etorkizun handia erakutsiz izan ere bero hauek industriaren ehuneko 50 suposatzen dutelako.

Tenperatura baxuko zikloak izan dira. Sistemaren erabilpen hedatua beraren sinpletasunean eta beharrezko elementuen sinpletasunean oinarritzen da. ORC sistemetan fluido organikoak erabiltzearen zergatia beroaren tenperatura baxuan datza. Tenperatura hauetan, urak ez luke behar bezalako lana eta errendimendua lortuko, hala ere ORC sistemak tenperatu baxu hauetan elektrizitatea lortu dezakete eskala txikian.

Orain arte egin diren ikerketa gehienak ORC barruan joango den fluidoan oinarritu dira. Gainera, ondorioztatu egin dute lurrungailuaren presioak eragin handia duela ORC-aren eraginkortasunean [4]-[6]. Aldi berean, Gnutek et al eta Chen et al biek R134a-ren alternatibak aurkitzen saiatu ziren. Lehenak R134-a fluidoa erabiliz, bero hondakinak ahalik eta hoberen berreskuratzea zeukan helburu, horretarako hedatze makina ezberdinak jarri zituen [8]. Bigarrenak R134-a fluidoa erabili ordez, CO₂ erabili zuen eta lortutako potentzia ez zen asko handitu [9].

Oraindik egin diren ikerketa gehienetan turbina erabili ordez hedatzaile bolumetrikoko bat erabiltzen dute elektrizitatea lortzeko. Honen arrazoia beraien errendimendua, mantentze errazak, errendimendu isoentropiko handiak, tenperatura txikiko zikloetan elektrizitate gehiago sortzeak turbinekin konparatuz eta merkatuaren eskaintza handia dira. Bereziki, lekualdatze hedagailuekin (expander-a scroll-arekin) egin diren ikerketa esperimentalek etorkizun handiko emaitzak frogatu dituzte, % 48 eta % 68 arteko errendimendu isoentropikoekin [11]-[15]. Torlojuan (expander-a screw-ean) hedapena etorkizun handiko beste konponbide bat da. Ahalmen altuetara hobeto moldatzen da eta sarrerako likido presentzia jasaten du, ziklo "hezeko" [16] diseinua baimenduz.

1 Taulak literatura zientifikoa laburtzen du ORC zikloetarako lan fluido zelaian. Lan desberdinak konparatzeko hurrengo ezaugarriak kontuan hartu dira: aplikazioaren helburua eta lurrunketako zein kondentsaziorako tenperatura mailak.

ORC teknologiaren mugarik handiena bero-iturriaren tenperatura da, eta ez bere presio altua. Horregatik, tenperatura denez ORC zikloak baldintzatzen duten zergatirik handiena, turbinaren sarrera presioan oinarritzen diren lanak [17] adibidez kanpoan utzi dira.

1 taulan argi ikus daiteke ikerketa asko egin direla fluido ezberdinekin. Hala ere, ez da fluidorik egokiena lortu eta honen arrazoi nagusia fluidoak aukeratzeko orduan ikerketaren egile bakoitzak hipotesi ezberdinak egin dituela da. Hauek dira hipotesiak hartzerako orduan kontuan hartu diren faktoreak:

- Egile batzuek kontuan hartzen dituzte ingurumen-inpaktua, hurrengo faktoreak analizatuz: ozono geruza apurtzeko potentziala ingelesez Ozone Depletion Potential (ODP), berotegi efektua indartzen duen potentziala ingelesez Global Warming Potential (GWP), sukoitasun-tenperatura edo lan-fluidoaren toxikotasuna.
- Ikerketa batzuetan hainbat egile ez dituzte tenperatura mailak kontuan hartu eta lan egoera ezberdinetan tenperatura horren mugatzaile bezala lan egin dezake egoerarik optimoa ematen digun fluidoa aukeratzeko orduan.
- ORC sistema lan egingo duen eremua fluidoaren aukeraketa eta lortu nahi den helburua baldintzatzen dute. Eguzki instalazio batean errendimendua handitu nahi dugu, baina bero hondakina berreskuratzeko erabiltzen diren ORC sistemetan elektrizitatea lortzea da gure helburua [18].

Hemendik ondorioztatu daiteke ez dagoela fluido egoki bat eta beraz fluido bakoitzak bere egoerak dituela, horregatik ORC sistema bat diseinatzen hasten garen bakoitzean fluido ezberdinen azterketa egitea nahitaezkoa dela, honen errendimendu edo helbururik hoberena lortzeko.

Proiektu honetan fluidoaren aukeraketa ez ezik lurrungailuaren dimentsionamendua ere lortu behar da. Horretara LTMD metodoa erabili egingo da eta metodo iteratibo bat denez fluidoaren aukeraketan gertatzen den gauza berdina gertatzen da.

1 taulan hainbat egileren liburuak aurkeztu dira eta bertan bero trukagailuen diseinu metodoak aurkezten dira, baina bakoitzak faktore ezberdinak kontuan hartzen ditu. Honek bide ezberdinak aurkezten ditu bero trukagailu bat lortzeko, gure bidea zailduz baina bide anitzak emanez gure helburua lortzeko.



Egilea (k)	Helburua	T _{konde} [°C]	T _{lurrun} [°C]	Ikertutako fluidoak	Gomendatutako Fluidoak
Badr,1958 [4]	Bero hondakina berreskuratu	30-50	120	R11, R113, R114	R113
Maizza y Maizza,2001 [19]	Bero hondakina berreskuratu	35-60	80-110	{-}	R123,R124
Liu eta al, 2004 [26]	Motorra hozteko beroa berreskuratu	30	150-200	R123, isopentano, HFE7100, Benceno, Tolueno, p-xileno	Benceno, tolueno, R123
El chammas y clodic, 2005 [27]	Bero hondakina berreskuratu	55	60-150	Agua, R123, isopentano,R245ca, R245fa, butano, isobutano y R-152a	Agua, R245-ca e isopentano
Dai, 2009 [6]	Bero hondakina berreskuratu	25	145	Agua, amoniaco, butano, isobutano, R11, R123, R141B,R236EA, R245CA, R123	R236EA
Desai, 2009 [24]	Bero hondakina berreskuratu	40	120	Alcalinos, Benceno, R113, R123, R141b, R236ea, R245ca, R245fa, R365mfc, tolueno	Tolueno, benceno
Lemort et al,2007 [21]	Bero hondakina berreskuratu	35	60-100	R245fa,R123, R134a, n-Pentano	R123, n-pentano
Gu, 2009 [5]	Bero hondakina berreskuratu	50	80-220	R600a, R245fa, R123, R113	R113, R123
Mago, 2008 [22]	Bero hondakina berreskuratu	25	100-210	R113, R123, R245ca, Isobutano	R113
Robert W. Sherth 2007	Bero trukagailuen dimentsionamendua				
Sadic Kakac	Bero trukagailuen dimentsionamendua				
<i>Colson & Richardson</i>	Bero trukagailuen dimentsionamendua				
M.Nietsche & R.O.Gbadamosi	Bero trukagailuen dimentsionamendua				

Taula 1: Fluido ezberdinen eta bero trukagailuen dimentsionaketarako ikerketak

5.-HELBURUAK ETA IRISMENA

Dokumentu guztian zehar askotan adierazi dugun bezala proiektu honen helburua itsasontzi batean ezarriko den ORC sistema bat diseinatzean datza. ORC hori motorrak erabiltzen duen ur beroa erabiliko du bere barnean doan fluido berotzeko, bertako beroa berrerabiltzeko eta itsasontzian bertan beste elektrizitate iturri bat lortzeko.

ORC sistema honek motorrak bero moduan galtzen duen energia berrerabiltzea du helburu. Bero hauek ez dira tenperatura altukoak beraz ezinezko da ohiko Rankine ziklo bat erabiltzea ura fluido bezala erabiliz. Honen arrazoia urak 200°C tenperatura behar duela errendimendu hona eman ahal izateko eta horrelako tenperaturak ezinezkoak direla motor baten bero hondakinekin. Ura erabili ezin daitekeenez, ORC bat diseinatu da. Sistema honek, Rankine zikloaren elementu zein prozesu berdinak jasaten ditu, hala ere ura fluido bezala erabili ordez, hozgarri bat erabiltzen du lurruntze tenperatura txikia duena. Fluido hauekin errendimendu hobeago bat lortu daiteke tenperatura baxuago bat erabiliz.

Proiektua aurrera eraman ahal izateko modu egoki batean hiru zatitan banatuko da proiektuan zehar egingo diren prozesuak:

- Lehenengo pausoa ORC konfigurazioari eta fluidoari buruz hausnartu egingo da. Urrats honetan konfigurazio horren hautaketa egingo da baliabide teknikoak zein ekonomikoak kontuan hartuz. Fluidoaren aukeraketa faktore askoren menpe dago. Izan ere, aurretik esan dugun moduan, hozgarri hauek ingurugiroan inpaktu handia daukate eta hauetariko asko desagertzeaz daude.
- Bigarren zatian, konfigurazioen azterketarekin hasiko gara. Hau egiteko EES programa informatikoa erabili egingo da. Honekin Fluido zein puntu ezberdinen propietate ezberdinak erraz kalkulatu daitezke, ebazpen termodinamiko egokia lortuz. Prozesu iteratibo bat izango da bai lurrungailuaren zein kondentsagailuaren presioak lortzeko. Behin bi presio horiek edukita, zikloaren errendimendua zein potentzia lortzeari ekingo zaio. Taulak eta errendimendu diagramak egingo dira konparaketa errazteko eta aukeraketa zuzena egiteko. Aukeraketa hori egiteko aurretik esandako faktore guztiak kontuan hartuko dira.
- Azkeneko urratsean bero trukagailuen diseinu prozesuarekin hasiko gara. Dimentsionamendu honekin ORC zikloaren errendimendua eragin handia duenez, oso garrantzitsua da hau egitea. Hau lortzeko, EES programa erabiliko da eta bertan prozesu iteratiboak eta sinplifikazioak eginez bero trukagailuaren dimentsionaketa lortuko da. Sinplifikazio hauek, metodologia arloan azaldu egingo dira sakonago.

Laburbilduz proiektu honen helburuak hiru direla adieraz dezakegu:

- Fluidoaren hautaketa egokiak egitea, mota handiko faktore asko kontuan hartuz, ez soilik termodinamikoa.
- ORC-aren konfigurazio optimoaren aukeraketa egitean, garrantzia handia duten faktoreak kontuan hartuz.
- Bero trukagailuen dimentsionaketa lortzea

6- ONURAK

Gaur egun, proiektu baten onurak identifikatzean, garrantzitsua gerta daiteke. Honen zergatia, proiektuan parte hartzen duten pertsonentzat datza, izan ere, onurak motibazio bilakatzen dira proiektuak aurrera eramateko eta arazoei aurre egiteko. Proiektu honen onurak hiru motetan bereizi ditzakegu:

6.1- ONURA TEKNIKOAK

Testu honetan askotan adierazi den moduan, ORC bat diseinatzen dugun bakoitzean honen konfigurazioa nolakoa izango den eta bertan erabili egingo den fluidoaren ikasketa inplizitua dakar. Beraz, proiektu honen eginkizun bat bi arazo horiei erantzuna ematea izango da, beraz proiektu honek lortu dezakeen onurarik garrantzitsuena ORC sistema erabilgarri bat lortzea da.

ORC hau instalatu egingo den itsasontzian elektrizitatea lortu egingo dute dohainik. Ontzi hauek normalean bidai luzeak egiten dituzte, beraz energia hau oso erabilia izan daiteke tripulazioan.

6.2-ONURA EKONOMIKOA

Gaur egun, edozein teknologia berri eraiki edo ezarri nahi denean, honen onura ekonomikoak beraien errentagarritasunaren menpe gelditzen dira. Hala ere, proiektu honek ORC ziklo bat diseinatzean datza, orregatik proiektu honen errentagarritasuna ontzat emango da hasiera batetik. Honen arrazoa, ORC sistemak jasan dituzten ikerketa guztiak dira. Orain arte ORC ziklo bat diseinatzen dugunean honen konfigurazioa eta fluido azterketak bakarrik ikertzen dira eta honek ez du suposatzen kostu handirik.

Teknologia honen ezarpenaz baliatuko diren pertsoneri buruz hitz egiten dugunean, hauek jasaten duten onura ekonomikoa handia dela adieraz dezakegu. Lehenik eta behi, orain arte ez zeukaten elektrizitate irabazi egingo dute era dohain batean, eta honek itsasontziaren efizientzian eta produktibitatean eragin onuragarria izango de. Bestetik, teknologia ezarpen honekin, motorrak tenperatura gutxiagoarekin lan egingo du eta beraz motorrak hozteko behar diren ponpen kopurua edo hauen tamaina gutxitu egingo da ontziaren kostua eta mantentze lanak gutxituz.

6.3- ONURA SOZIALAK

Proiektu honek aurreko onurak ez ezik beste onura sozial garrantzitsu asko kontuan hartzen ditu, azken finean proiektua aurrera eramateko ORC sistemak ingurugiroan eduki ahal dituen inpaktu gehienak kontuan hartu egin dira, bai fluidoa aukeratzeko orduan bai tenperaturekin jolastea.

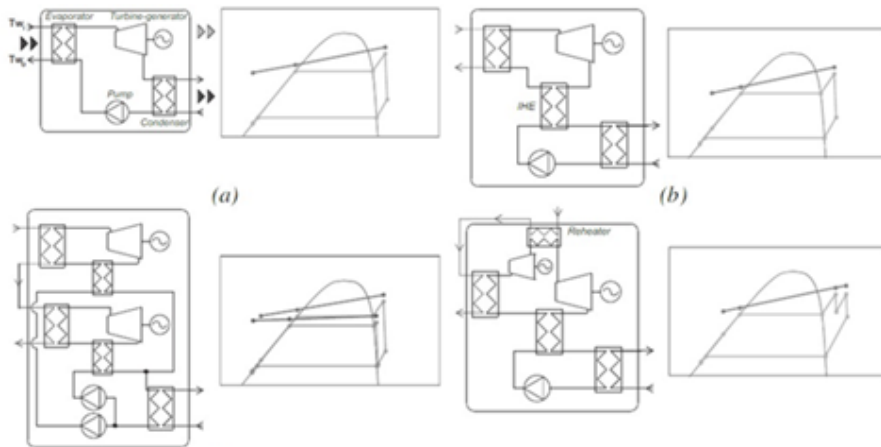
ORC-aren helburua motorretik irteten diren ur beroen tenperatura jaistea du. Tenperatura jaitsiera hori itsasoarekin duen tenperatura aldaketa horrek txikitzen da bertako oxigeno eskari biologikoa (OEB)-k konstanteago mantenduz. OEB honek konstante mantentzen denez bertan bizi diren organismo guztiez hobeago biziraungo dute ingurugiroa gehiago zainduz.

Bukatzeko honelako sistemak oso gutxitan erabili izan den teknologia berri bezala kontsideratu egiten da eta honek hurrengo urteetan eragina handia izan dezake gizartean.

7. ALTERNATIBA ANALISIA

7.1- ORC zikloen konfigurazio ezberdinak

Hurrengo irudian ikusi daiteke ORC-ari eman ahal dizkiogun konfigurazio ezberdinak bero berrerabiltzeko. Irudian ORC-ak daukan eskema eta honek sortzen duen diagrama termodinamikoa tenperatura eta entropiaren arabera.



Irudia 1: ORC zikloen konfigurazio ezberdinak

a) ORC sinplea:

ORC sinplea Rankine Ziklo guztietatik sinpleena da eta honen arrazoia behar dituen elementuetan datza, izan ere, elementu gutxi behar ditu. Likido azpihoztua ponpatu egiten da likido organikoa lurrungailuaren presiora igoz. Behin presio honetan gaudela lurrungailuan sartu egiten da eta bertan likidoa berotu egiten da motorraren beroa erabiliz, kasu honetan motorraren ur beroa. Behin lurrun gainberotu bezala atera ondoren turbinera joango da behar den energia elektrikoa sortuz alternadore baten laguntzaz. Behin turbinatik fluidoak irtenda kondentsagailuan sartu egingo da, hau hoztuz eta berriro ere ponpatzeko goera berdinerara bueltatuz.

b) **ORC leheneratzailea**

Ziklo sinplearen oinarri berdinean datza. Lurrungailuaren aurretik bero trukagailu bat ezarri egin da, errendimendu altuagoa lortuz. Bero trukagailu honetan lurrungailura sartu egiten den fluidoa berotu egiten da turbinatik ateratzen den fluidoaren bidez. Horrela, lurrungailuan behar den beroa txikiagoa izango da.

c) **ORC Leheneratzaile bikoitza**

ORC mota honek bi leheneratzeileekin lan egiten du eta fluidoa hozteko kondentsagailu bakarra dauka. Bi leheneratzeile dituenez bi etapetan lan egingo du errendimendua asko handituz. Hala ere, ziklo honek bere konplexutasun handia duenez, inbertsio kostu handiagoa izango du.

d) **ORC Leheneratzaile birberotzearekin**

Behe presioan lan egiten duten sistemek gainberoketa handia lortu dezakete. Arrazoi hau dela eta, birberoketa ezberdinak egon ahal dira. Bigarren turbinan lortu egiten diren tenperatura altuak direla eta, leheneratzaile bat sartzea oso gomendarrria gerta daiteke. Horrela, lurrungailura sartzen den fluido organikoa berotuz, errendimendua handitzen da sistema leheneratzaile batean gertatzen den moduan. Leheneratzaile bikoitzarekin alderatuz zirkuitu sinpleago bat da. Hala ere, eskema konplexu bat dauka. Diagramari erreparaturik, ikusi daiteke leheneratzailearen nahiko berdina dela. Hala ere, turbinaketa bi etapetan ematen da, bero trukagailu batekin. Konfigurazio mota honek kostuak handitu egiten ditu elementuen kopurua handitu egiten delako.

Hautatutako konfigurazioak

ORC ziklo bat lortzeko nahita nahiez elementu hauek izan behar ditugu: Bero trukagailu bi, bata lurrungailua eta bestea kondentsagailua, ponpaketa elementu bat eta turbina edo hedatzailea.

Orain arte egin diren ikerketa adierazi egin dute, geroz eta konfigurazio konplexuagoak egiten baditugu zikloaren errendimendua handitu egiten dira, hala ere ikusi egin da errendimendu gehitze hori ez dela gomendagarria bero hondakina erabiltzeko. Ikerketen aburuz, konfigurazio ezberdinak zikloaren errendimendua handitu beharrean potentziaren errendimendua handitu egiten du. Arrazoi hau dela eta gomendagarria da potentzi handiko zikloetan erabiltzea, hala ere bero hondakinen berrerabiltze sistemetan ez dira errentagarriak beraz kostuak murrizteko asmoz ORC sinplea erabili egingo dugu.

Motor termiko baten bero hondakinaren berrerabiltzea dauka helburu lan honek, horretarako bero hori bi modutara erabili daiteke. Alde batetik, bero trukagailu bat erabiliz zuzenean beroaren eta fluidoaren artean. Beste batetik, beste fluido bat erabili behar dugu motorraren beroa eta fluidoaren arteko bitartekari bezala. Lan honetan, lehengo aukera erabili egingo dugu.

7.2- Hautagai dauden fluidoak

Zikloen konfigurazio ezberdinak fluido ezberdinekin ondo konparatu ahal izateko lehenik eta behin hauen arteko filtrazio bat egin behar da.

Testuinguruan adierazi egin dugun moduan (1 taulan) hainbat ikerlan egin dira hainbat fluido organikoekin eta hauetan zenbait ondorio baliagarrietara iritsi egin dira. Tenperatura kritiko altua duten fluidoak edota irakite puntu altua duten fluidoak, hala nola silikonazko olioak edo toluenoa oso erabilik dira potentzia handiko zentraletan non tenperatu altuak daudena (300 °C inguru). Hozgarriak R134, R1233zd(e), R1234 , R122 edo halakoak gomendagarriak dira tenperatura ertain eta txikiko beroekin (200°C baino gutxiago). Hauen arteko aukeraketa egiterako orduan, kontuan hartu behar den lehengo gauzetakoa fluidoak lurrun bezala duen dentsitatea. Geroz eta dentsitate altuarekin behar den bero trukagailua eta hedatzailea txikiago egin dezakegu. Nahiz eta aurrekoa kontuan hartu beharreko faktore garrantzitsuena, beste baldintza batzuk ere kontuan hartu behar dira, hala nola: toxikotasuna, ingurugiroan eduki dezakeen inpaktua, kostua.

Nahiz eta orain arte hozgarri asko izan ditugun, geroz eta gutxiago gelditzen dira. Honen arrazoia Montrealen ezarritako protokoloan datza, izan ere hozgarriak kalte handia eragin diote ingurumenari beraz gradualki ezabatu egin dira aukera horiek gutxituz.

Gure ORC ondo funtziona dezan aukeratu behar dugun fluidoak honako baldintza hauek bete behar ditu:

- 200°C tenperatura kritikoa baino azpitik egon behar da
- Lehen adierazi dugun moduan hozgarriek inpaktu handiegia daukate ingurugiroan, beraz faktore hau kontuan hartzeko ODP indizea 1 inguruan duten hozgarriak baztertu egingo dira.
- Fluido aurretik ORC zikloetan ikertu egin diren zikloak izan behar dira edo ORC ziklo komertzialak erabiltzen diren fluidoak, hala nola R-134 fluidoa.
- Lehentasuna emango zaio lurrun dentsitate handia duten fluidoei.

Esan beharra dago gaur egun erabili egin den fluidorik oikoena R-134 izan dela, hala ere fluido hau pixkanaka desagertzen dabil ODP gutxiago duten fluidoengatik. Orregatik lana honetan fluido hori kontuan ez hartzea erabaki egin da.

Orain arte azaldu egin ditugun motibo guztiengatik behean agertzen den fluidoak kontuak hartu egingo gure ORC zikloa diseinatzeko orduan.

- R245 fa
- R1233zd (e)
- R133a

8.-KALKULU ETA ERANTZUNAK

Azpian agertzen den taularen balioak EES programak eta beste iturri batzuk [40] ematen dizgunak dira. Hala ere, esan beharra dago GWP (Global-warming potential) 100 urterako balioa duela.

	Pcrit (bar)	Tcrit [C]	Fazentri [C]	GWP 100	ODP	Tsukoia[C]
R134a	40,59	101	0,3269	1430	0	770
R245fa	36,51	154	0,379	950	0	412
R1233zd[e]	35,73	165,6	0,3053	6	0	380

Taula 2: Ikerketarako erabili diren fluido ezberdinen propietateak [40]

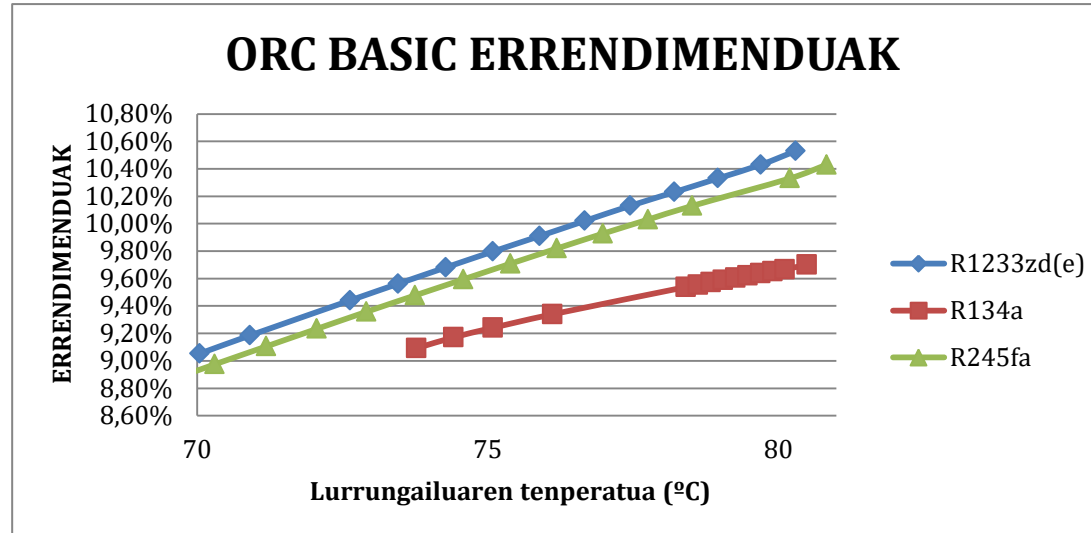
8.1.-ORC SISTEMAREN EMAITZAK

Arazoaren erabakian azaldu duen moduan lurrungailuaren presioa (eta asetasun egokiko bere tenperatura) iteratuz jarriko da. Iteratzeko orduan hurrengo balditzak bete beharko dira:

- Presio handienak ezingo du fluidoaren presio kritikoa gailendu. Presio txikienak kondentsaziokoa baino handiagoa izan behar du.
- Landuko da lurrungailuko Pinch-Point-a beti 5°C-etako balio mantentzen duten presioetako mailan.
- Presioak aukeratzerako orduan zikloaren % 100 baino handiagoko balioak edo balio negatiboak ematen duten errendimenduak ez dira kontuan hartuko, zikloaren balio irrealak direlako

I eranskinean eransten dira fluido bakoitzerako, lurrungailuaren tenperaturarekiko errendimenduaren aldaketa erakusten duten grafiko bezala. Horrela, oinarritzko zikloetarako fluido ezberdinen konparaketa egin dezakegu bai errendimendu handiena ematen digun punturako bai beste puntu ezberdinetako.

Hurrengo taulek, 8 eta 9, erakusten dute fluido bakoitzaren errendimendua maximizatzen duen presiorako lortutako balioak. 8 eta 9 irudietan erakusten dira batera ziklo guztien errendimendu bihurtuneak, baita bere balioztapen on bakoitzeko zoom bat.



Irudia 2: Fluido ezberdinen errendimenduak lurrungailuaren tenperaturarekiko

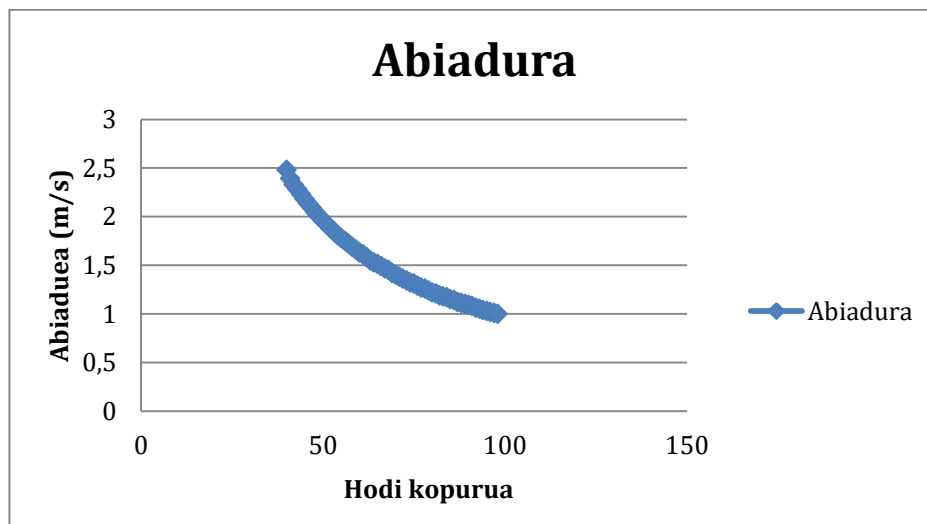
Basic ORC											
	P_{evap} [bar]	$T_{evap,sat}$ [C]	P_{cond} [bar]	$T_{cond,sat}$ [C]	$\vartheta_{exp,in}$ [m ³ /Kg]	$\vartheta_{exp,out}$ [m ³ /Kg]	$\Delta T_{PP,cond}$ [C]	$\Delta T_{PP,evap}$ [C]	$X_{exp,out}$ [-]	η_{cycle} [-]	η_{cycle} [%]
R134a	26,63	79,39	6,658	25	0,006743	0,03115	5	5,22	100	0,097	9,70%
R245fa	8,075	80,83	1,478	25	0,02262	0,127	5	4,88	100	0,1043	10,43%
R1233zd[e]	6,625	80,3	1,296	25	0,0291	0,1493	5	5,41	100	0,1051	10,51%

Taula 3: Errendimendu maximoan lortzen diren balioak

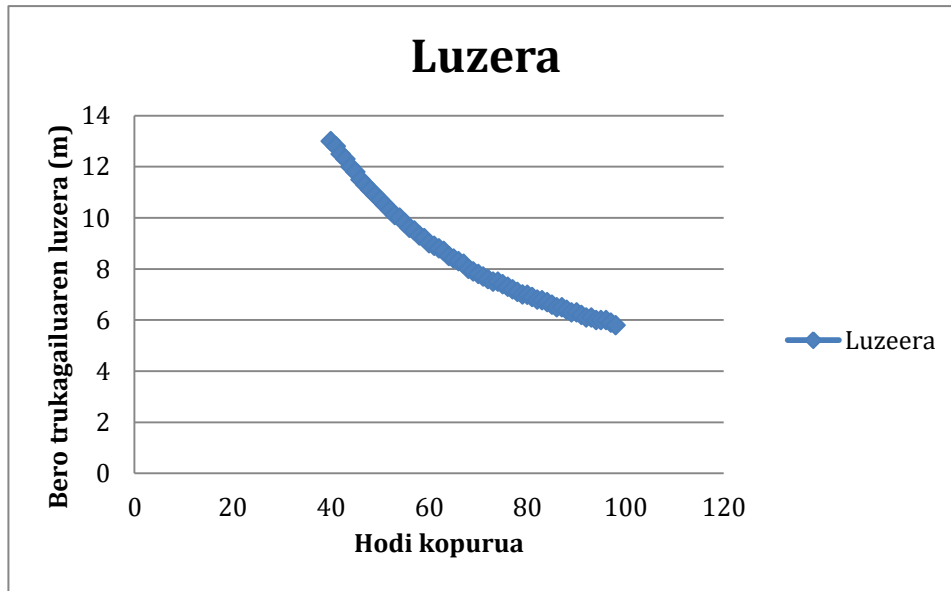
- Grafikoan ondo ikusten den moduan fluido bakoitzean linealtasun bat gorde egiten da errendimendu eta lurrungailuko tenperaturaren artean. Iterazioak egiterako orduan (lurrungailuko presio egokia lortzeko) lurrungailuko tenperatura mugatzailerik handiena da. Pinch Pointa ezin da 5°C pasa. Grafikoan nabaritzen den moduan geroz eta tenperatura altuagoekin errendimendua handitu egiten da, honen zergatia lurrungailuko Pinch Point-aren balioko marjina handiagoa dela da, bero gehiago transmitituz.
- Oinarrizko zikloan R1233zd(E)-a aukera hobe bezala nabarmentzen da %10, bigarren errendimendu handiena eman diguna R124fa (%10.4 ko errendimendurekin) eta R134a fluido jorratuko dira.
- Aldi berean ikusi egin da R1233zd(E) fluidoarekin presio txikiagoetan lan egiten dela 6.025 bar-etan, beraz segurtasun aldetik onura ikaragarria aurkezten du. Presio txikiagoetan arazo bat gertatzerakoan, honek lehertzearen aukerak edo min handiago bat egitearen aukerak jaitsi daitezkeelako.

8.2.-BERO TRUKAGAILUAREN EMAITZAK

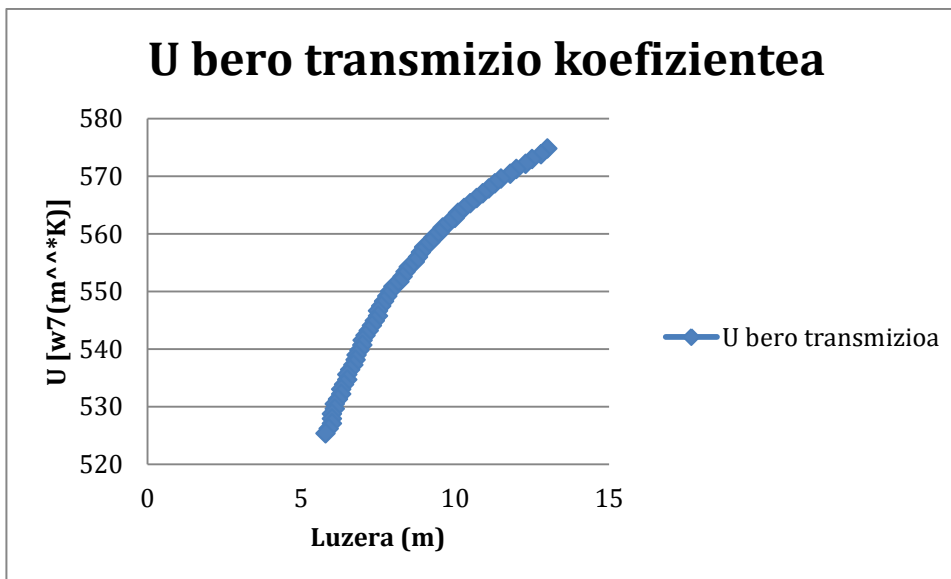
Aldi berean ikusi egin da R1233zd(E) fluidoarekin presio txikiagoetan lan egiten dela 6.025 bar-etan, beraz segurtasun aldetik onura ikaragarria aurkezten du. Presio txikiagoetan arazo bat gertatzerakoan, honek lehertzearen aukerak edo min handiago bat egitearen aukerak jaitsi daitezkeelako.



Irudia 3: Abiaduraren aldaketa hodi kopuruagatik



Irudia 4: Bero trukagailuaren luzera hodi ezberdinekin



Irudia 5: Luzera eta U-ren arteko konparaketa

- Lehengo grafikoan abiadura aurkezten zaigu. Abiadura hodi barruan doan ur beroarena da eta honek 2,5 eta 1 [m/s] artean egon behar da

saturazio zein kabitazioa gerta ez dadin. 40 eta 100 hodian artean gertatzen da hori.

- Luzeraren grafikoan ikusi daiteke hodi kopurua handitu ahala bero trukagailuaren luzera txikitzen da. Honen zergatia LMTD metodoan dauka zerikusia. Geroz eta hodi kopuru gehiago baditugu, bero trukagailuaren azalera handitu egingo da diametro handiagoa behar dugulako, baina honek U bero transmisioan eragina izango du, hau txikituz. Lehendik dakigu fluido organiko eta uraren arteko U 500 eta 2000 $[W/(m^2 \cdot K)]$ da eta beraz hodi kopurua hori handitzerako orduan U bi balio horien artean mantendu egin behar da abiadura muga apurtu gabe.

8.3.- T-S ETA P-H DIAGRAMAK. PROPIETATEEN TAULAK

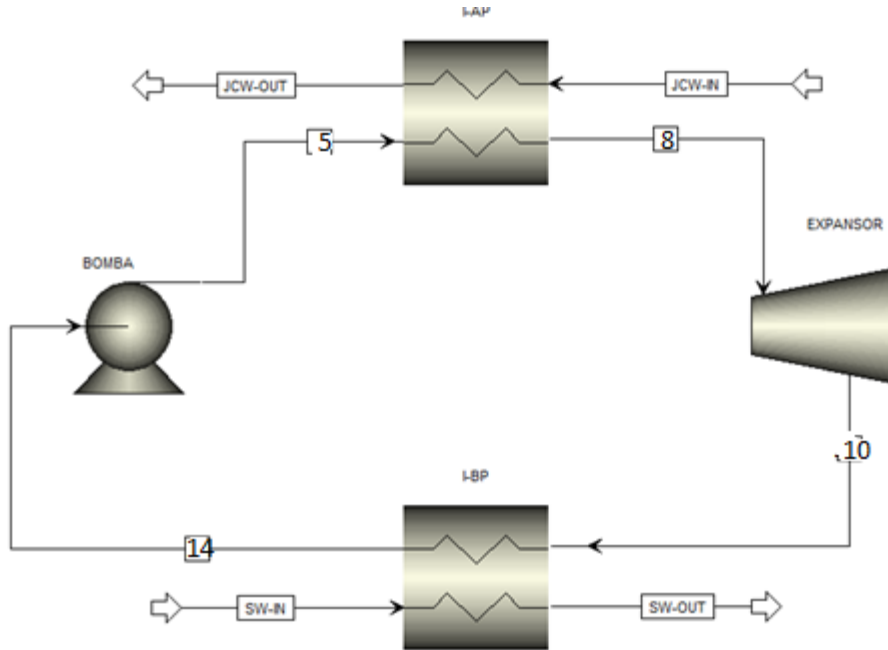
I eranskinean fluido ezberdinen taulak agertu egiten dira. Taula hauek ziklo sinplean aurkitu ditzakegun puntu ezberdinen propietate termodinamiko ezberdinak agertzen dizkigute. Puntu hauek errendimendu maximoko puntuari dagozkio, hau da, 3 irudian ikusi ahal den lurrungailuaren presio zein tenperatura ezberdinei non lan egoera izango den, gure ORC sistema potentzia gehien emateko.

II eranskinean fluido ezberdinak ORC simple batean daukan P-h zein T-s diagramak aurkitu daitezke. Esan beharra dago diagrametan aurkezten diren marrak ez direla fluidoak egiten duen ibilbidea ezta fluidoak aurkezten duen egoera termodinamikoa, elkar ondoko bi puntu ezberdinen arteko loturak baizik. Fluidoak egitean duen ibilbide erreala jakiteko metodologia sailaren hasieran aurkezten den irudira joan behar gara (3 irudia).

9.-METODOLOGIA

9.1-ORC KONFIGURAZIO SINPLEA

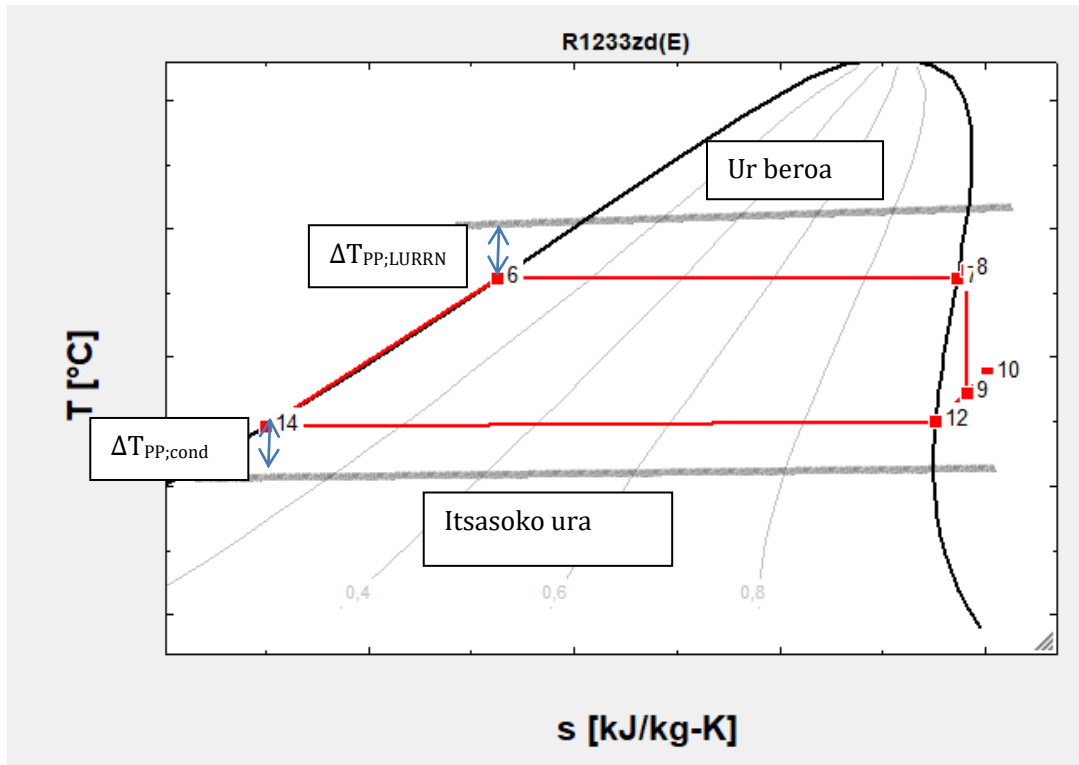
9.1.1-ARIKETAREN DESKRIBAPENA



Irudia 6: ORC konfigurazio sinplearen eskema

Laburdura	Esanahia	Balioa
P_{evap}	Lurrungailuaren saturazio presioa	iteratuz [bar]
$\mu_{iso;exp}$	Hedatzailearen errendimendu isoentropikoa	0,8
$\mu_{iso;pump}$	Ponparen errendimendu isoentropikoa	0,8
ΔT	Ur beroaren eta hozgarriaren arteko temperatura aldaketa	5 °C
ΔT_{sub}	Hozgarriaren azpi-hozketa	2 °C
$\Delta T_{PP;cond}$	Pinch Pointaren temperatura	5 °C
P_w	Itsasoko uraren presioa	1 [bar]
$T_{SW;in}$	Itsasoko uraren tenperatura sarreran	18 °C
P_{JCW}	Ur beroaren presioa	3.5 [bar]
$T_{JCW;in}$	Ur beroaren tenperatura sarreran	85 °C
Q_{emaria}	Ur beroaren emaria	40m ³ *h ⁻¹
Q_{JCW}	Ur beroaren bero kantitate erabilgarria	215.28 KW

Taula 4:Hasierako datuak



irudia 7:Hasierako datuak

Aurreko hiru irudietan ORC sistema sinpleak daukan konfigurazioa eta elementuak azaldu egin dira. Aldi berean T-s diagraman zikloak jarraitu egiten duen bidea adierazten du eta azkenik problemaren ebazpenarekin hasteko, ditugun datuak eta haurtutako suposizioak azaldu egiten dira:

Sistemak jarraitzen dituen pausuak azaldu egingo dira hurrengo esaldietan:

- 5-8 hozgarriaren berotzea dator. Hau lortzeko motorretik irteten den ur beroa erabili egingo da. Kontuan hartu egin behar da bien arteko punturik hurbilena Pinch Point deitzen dela eta 5°C tenperatura diferentzia egon behar da beraien artean.
- 8-10 Hozgarriaren hedatzea errendimendu isoentropikoa kontuan hartuz, elektrizitatea lortzeko asmoz.
- 10-14 hozgarriaren hoztea eragin da kondentsagailuan. Horretarako itsasoko ur hotza kontuan hartu egingo da. Lurrungailuan gertatzen den moduan Pinch Pointa kontuan hartu behar da.
- 14-5 ponpa berriro ere hozgarria presio egokira igoz.

9.1.2- EBAZPENA

Ebazpena lortzeko EES programan n ekuazio eta beraz n ezezagun behar ditugu. Era honetan aurretik ikusi daitekeen T-s diagrama ebatzi dezakegu. Horretarako fluidoaren propietate termodinamikoak erabiliko dira.

- Ur Beroa

Ur beroaren sarrera eta honek daraman emaria jakinda lortu dezakegu irteerako uraren tenperatura. Horretarako bero espezifikoaren dentsitatea eta ur berotik lortu daitekeen beroa erabili egingo dugu, $T_{JCW;out}$ eta \dot{m}_w lortzeko.

$$\text{density} = \rho(\text{water}; T = T_w; P = P_w) \quad (1)$$

$$C_{p,JCW} = C_p \left[\text{water}; T = \frac{T_{JCW;in} + T_{JCW;out}}{2}; P = P_{JCW} \right] \quad (2)$$

$$\dot{m}_w = \text{emaria} \cdot \text{density} \cdot \frac{1}{3600} \quad (3)$$

Behin hau lortuta berora jo dezakegu $T_{JCW;out}$ lortuz.

$$Q = \dot{m}_w \cdot c_p \cdot (T_1 - T_4) \quad (4)$$

- Kondentsagailuko likido ase P12

$$T_{12} = T_{sw} + \delta t_T + \delta t_{T;azpi} \quad (5)$$

$$x_{12} = 0 \quad (6)$$

- Kondentsagailuko irteera likido azpihoztu bezala P13

$$T_{13} = T_{sw} + \delta t_T \quad (7)$$

- Ponparen irteera isoentropikoa P14

$$s_{14} = s_{13} \quad (9)$$

$$P_{14} = P_5 \quad (10)$$

- Ponparen irteera erreala P₅

$$P_5 = 6,625 \quad (11)$$

$$h_5 = h_{13} + \frac{h_{14} - h_{13}}{\eta_{iso,pon}} \quad (12)$$

- Lurrungailuaren likido ase P6

$$P_6 = P_5 \quad (13)$$

$$x_6 = 0 \quad (14)$$

- Lurrungailuaren lurrun ase P7

$$P_7 = P_5 \quad (15)$$

$$x_7 = 1 \quad (16)$$

- Lurrungailuaren irteera P8

$$P_8 = P_5 \quad (17)$$

$$T_8 = T_w - \delta t_T \quad (18)$$

- Hedatzailearen irteera isoentropikoa P9

$$s_9 = s_8 \quad (19)$$

$$P_9 = P_{12} \quad (20)$$

- Hedatzailearen irteera erreala P10

$$P_{10} = P_9 \quad (21)$$

$$h_{10} = h_8 - \eta_{iso,turb} \cdot (h_8 - h_9) \quad (22)$$

- Kondentsagailuko lurrun ase P11

$$P_{11} = P_{10} \quad (23)$$

$$x_{11} = 1 \quad (24)$$

- LURRUNGAILUA

Lurrungailutik lortu dezakegu ORC sistematik garraiatu behar den hozgarriaren emari masikoa. Hau lortzeko energia balantzea bat egingo da energia zinetiko zein potentziala arbudiatuz.

$$\dot{m}_{ref} \cdot (h_8 - h_7) = \dot{m}_w \cdot c_p \cdot (T_1 - T_2) \quad (25)$$

- Lurrungailuaren eta kondentsagailuaren Pinch Point-a
 Bi bero trukagailuetan balio hau definituta egongo da eta hauen arteko diferentzia 5°C izango da. Lurrungailuan 3 eta 6 puntuen artean emango da eta kondentsagailuan ordea 12 eta 16 puntuen arte.

- Zikloaren errendimendu energetikoa

$$\eta_{\text{thermal,cycle}} = \frac{h_8 - h_{10} - (h_5 - h_{13})}{h_8 - h_5} \quad (26)$$

- Hedatzailearen lan netoa

$$\dot{W}_{\text{turb}} = \dot{m}_{\text{ref}} \cdot (h_8 - h_{10}) \quad (27)$$

- Ponpak behar duen lan netoa

$$\dot{W}_{\text{pon}} = \dot{m}_{\text{ref}} \cdot (h_5 - h_{13}) \quad (28)$$

- Zikloaren lan neto totala.

$$\dot{W}_{\text{total}} = \dot{W}_{\text{turb}} - \dot{W}_{\text{pon}} \quad (29)$$

Aurretik adierazi den bezala problema guztia EES programa informatikoarekin ebatzi daiteke. Honen kodigoa IV eranskinean hutsi egingo dugu, hala ere balio ezberdinak lortu ahal izateko eta hozgarri ezberdinak erabiltzeko hurrengo bi ekuazio aldatu behar dira:

$$\text{Fluido\$} = \text{'R1233zd(E)'} \quad (30)$$

$$P_{\text{lumin}} = 6,625 \quad (31)$$

Fluidoaren ekuazioa hozgarria aldatu behar da eta bestean fluido horren presioa iteratuz lortzen dena.

9.2- BERO TRUKAGAILUAREN DIMENTSIONAMENDUA

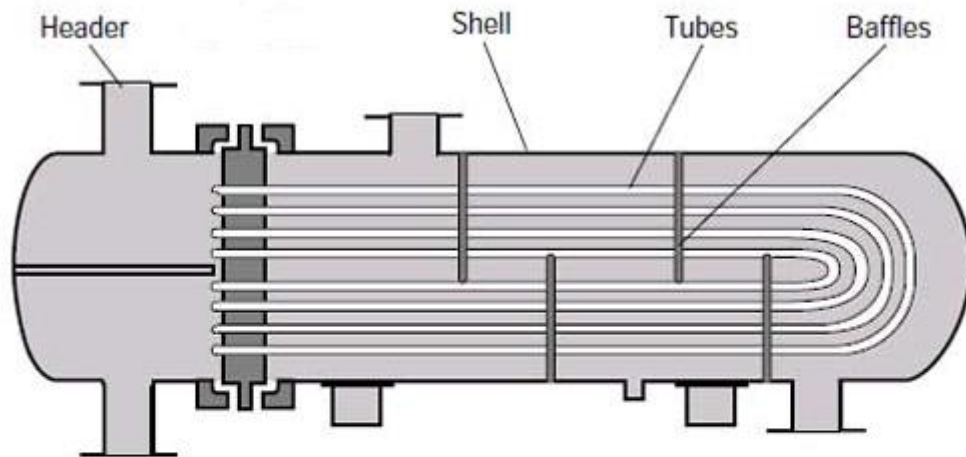
Proiektu honetan lurrungailuaren eta kondentsagailuaren diseinuakgarrantzitsuak izango dira izan ere gehien kostatzen diren elementuak hauexek direlako. Beraz hauen dimentsionamendua egiteko, ez dira soilik aspektu termodinamikoak kontuan hartuko, hauek izan ditzaketan kostua eta ingurugiroan eragina izan dezaketan faktoreak ere kontuan hartuko dira. Normalean hauen kostua gehien bat beraien dimentsioarekin garrantzia handiago dute.

$$(32)$$

9.2.1-LTMD METODOA

LTMD metodoa tenperatura diferentzia logaritmikoan oinarritzen da eta kasu askotan gertatzen den moduan prozesu iteratibo bat da. Iterazioetan hodi kopurua aldatu egiten dira eta horren ondorioz fluidoaren abiadura ere, beraz kontuan hartu beharreko faktoreak dira azkeneko emaitza lortzeko.

Gure proiektuan, gauzak errazteko mantentzea egiterako orduan, hodi eta karkasa bero trukagailua erabiliko dugu bafflekin eta hodi kopuru ezberdinekin.



Irudia 8:U-tube motako bero trukagailua (heat exchanger)

Hauek izango dira hasierako datuak:

Parametroa	Esanahia	Balioa
$U_{min} U_{max}$	Bero koefizientea	500 $[W/m^2-C]$ 2000 $[W/m^2-C]$
N	Hodi Kopurua (Iteratuz)	$[-]$ iteratuz
L	Luzera (iteratuz aldatzen da)	4 $[m]$
D_{out}	Kanpoko hodiaren diametroa	0,014 $[m]$
e	Hodiaren lodiera	0.002 $[m]$

Taula 5:Dimentsionamendua lortzeko hasierako balioak

LTDM metodoarekin bero trukagailuaren dimentsionamendua lortzeko hurrengo pausuak jarraitu behar dira:

- Ur beroa hodi barruetatik doa beraz ez dauka inolako arazorik honen balioa lortzea, baina hozgarriak ordeztu hodi kanpoetatik doa, beraz honen abiadura lortzeko hainbat formula zein pausu jarraitu behar dira.
- Pitch-a, hau da bi hodi ezberdinen arteko distantzia

$$Pitch = 1.25 * D_{out} \quad (33)$$

- Bero trukagailuak soilik hodiekin izango lukeen diametroa

$$D_{bounder} = D_{out} * \left(\frac{N}{k1}\right)^{\left(\frac{1}{n1}\right)} \quad (34)$$

Non n1 eta k1 hurrengo tauletatik lortu behar ditugu:

Pitch hirukia = 1,25* D_out					
Bira kourua	1	2	4	6	8
K1	0,319	0,249	0,175	0,0743	0,0365
n1	2,142	2,207	2,285	2,499	2,675

Taula 6: Hiruki forman jarritako hodian parametroak

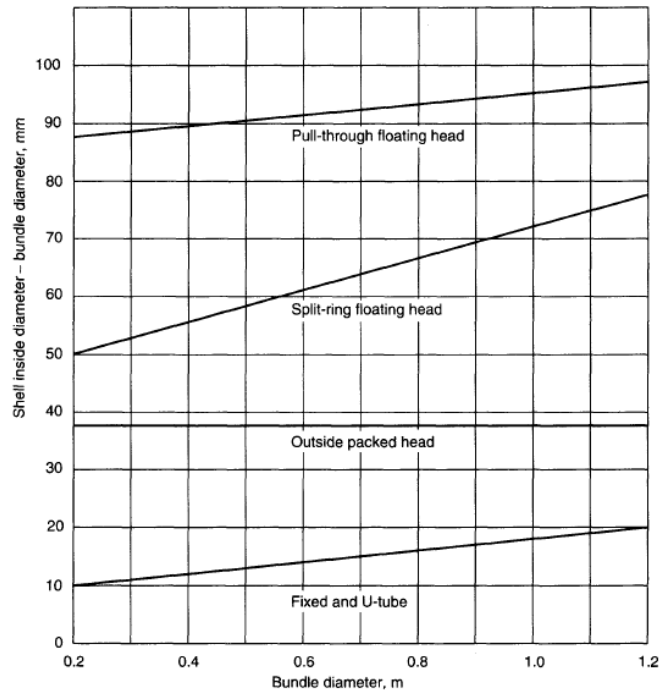
Lauki moduan ezarritako pitch = 1,25* D_out					
Bira kourua	1	2	4	6	8
K1	0,215	0,156	0,158	0,0402	0,0331
n1	2,207	2,291	2,263	2,617	2,643

Taula 7: Lauki moduan jarritako hodian parametroak

- Karkasaren Diametro guztia lortzeko (35)

$$D_s = D_{bounder} * DBS$$

Non DBS hurrengo grafikoetatik lortu egin behar den. Gure kasuan U-Tube motako bero trukagailua daukagu:



Irudia 9: BDS lortzeko grafikoak

- Baffleen distantzia kalkulatu behar dugu:

$$B_s = D_s * 0.4 \quad (36)$$

- Reynolds zenbakia eta abiadura lortzeko hodian artean diametro baliokide bat behar dugu eta hau lortzeko hurrengo formula erabili behar dugu:

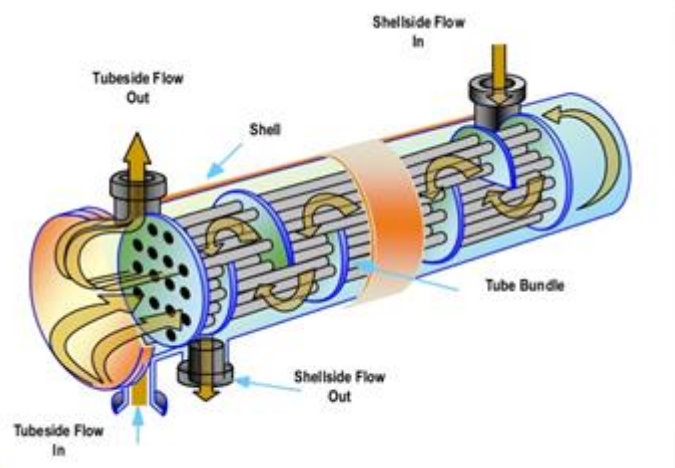
$$D_{equi} = \left(\frac{4 * \left(\frac{pitch^2 - D_{out}^2 * \pi}{4} \right)}{\pi * D_{out}} \right) \text{ hodiak launaka (square) jartzen ditugunean} \quad (37)$$

$$D_{equi} = \left(\frac{4 * \left(\frac{pitch}{2} * 0.87 * pitch - \frac{\pi * D_{out}^2}{8} \right)}{\frac{\pi * D_{out}}{2}} \right) \text{ hodiak hiruki moduan jartzen direnean} \quad (38)$$

- Hodian artean hozgarrian perpendikularki mugitu egingo da baffleen laguntzagatik. Horregatik beharrezkoa da diametro baliokide bat lortzea hodian artean eta aldi berean hozgarria igaroko duen azalera bat. Azalera hori honela kalkulatzen da:

$$A_s = \frac{(pitch - D_{out}) * D_s * B_s}{pitch} \quad (39)$$

- Abiadura lortzeko, fluidoak hodiak perpendikularki (cross) igarotzen dutela adierazi dugu hurrengo irudian ikusi daitekeen moduan:



Irudia 10: Hozgarriak eta Urak jarraitutako ibilbidea bero trukagailuaren barruan (introduction to heat exchanger)

$$v_{ref} = \frac{\dot{m}_{ref}}{A_s * \rho} \quad (40)$$

- Bero trukagailua 3 zonaldean banandu egingo da, likidoa, likido-lurrun egoera eta azkenik lurrun egoera. Fase bakoitzaren bero koefiziente globala U kalkulatu egingo da eta horretarako hurrengo formula erabili egingo da non bero koefizientea serieran dauden erresistentzia termikoak kontsideratu ahal ditugu:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{ref}} + \frac{1}{h_{agua}} \quad (41)$$

- Ur beroaren kasuan denbora osoa fase likidoa denez hurrengo formula erabili egingo dugu h lortzeko:

$$Nus = C \cdot Re^m \cdot Pr^n \quad (42)$$

Non C , m eta n balioak fluidoaren erregimena eta paretaren aurkako frikzioa eragiten duen.

- Hozgarriaren kasuan bai likido egoeran zein lurrun egoeran hurrengo formulen bitartez lortu dezakegu erresistentzia termikoa.

$$Nus = \left(\frac{\frac{f}{8} * Re * Pr}{12.7 \left(\frac{f}{8}\right)^{0.5} * \left(Pr^{\frac{2}{3}} - 1\right) + 1.07} \right) * \left(\frac{\mu}{\mu_{wall}}\right) * \left(\frac{k}{k_{wall}}\right) \quad (43)$$

Non f hormaren aurkako frikzioa den eta Petukov formularekin lortu dezakegu, aldi berean k eta μ_{wall} hormaren tenperaturarekin lortzen da gure kasuan urarena. [42] (erreferentzian)

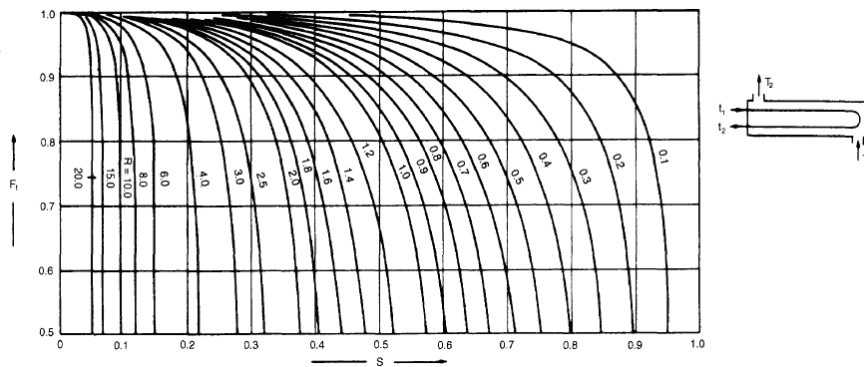
$$f = (0.79 * \ln Re - 1.64)^{-2} \quad (44)$$

- Fase aldaketa gertatzen denean eta gure tenperatura diferentzia ez denez 30°C-tik pasatzen $q_{nucleate}$ bero transmisioa erabiliko dugu h lortzeko:

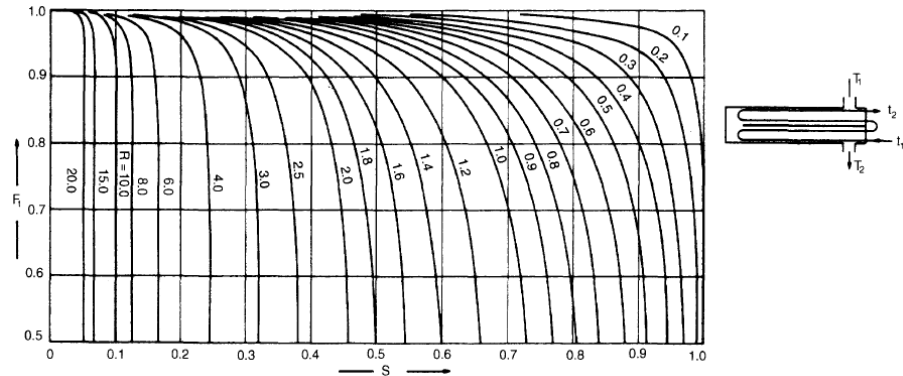
$$\dot{q} = \mu * h_{fg} * \left(\frac{g * (\rho_l - \rho_v)}{\sigma} \right)^{0.5} * \left(\frac{C_{pl} * (T_s - T_{sat})}{C_{sf} * h_{fg} * Pr^n} \right); \quad (45)$$

Non C_{sf} eta n kontaktuan dauden fluido zein materialaren arteko koefiziente bat eta σ gainazalaren tentsioa fluidoa lurrun egoeran dagoenean.

- LTMD metodoa erabiltzen dugunez hodiak hainbat aldiz igaro dezakete bero trukagailuak zein baffle kopurua. Horregatik F zuzentzailea erabiltzen da bira kopuru hori kontuan hartzeko. F zenbaki hori EES programak ebatzi egiten digu hala ere eskuz ere ebatzi daiteke hainbat grafiko zein ekuazio ebatziz.



Irudia 11: Bira bakarreko grafikoa



Irudia 12: Bira bikoitza edo gehiagoko grafikoa

Hala ere bai grafikoak erabiltzen baditugu bai EES programa informatikoa erabiltzen badugu S eta R grafikoetan edo P eta R EES deitzen diren parametroak lortu behar ditugu.

Hauetako honela lortzen dira:

$$S, P = \frac{t_2 - t_1}{T_2 - T_1} \quad (47)$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} \quad (48)$$

Non T_1 = ur beroaren sarrera, T_2 = ur beroaren irteera t_1 = hozgarriaren sarrera t_2 = hozgarriaren irteera

- Gero zonalde bakoitzaren azalera kalkulatu egingo da LMTD metodoa erabiliz eta horretarako hurrengo formula erabili egingo da:

$$Q = U * A * F * \Delta T_{LM} \quad (49)$$

- Behin azalera totala daukagunean, luzera kalkulatzera ekingo diogu:

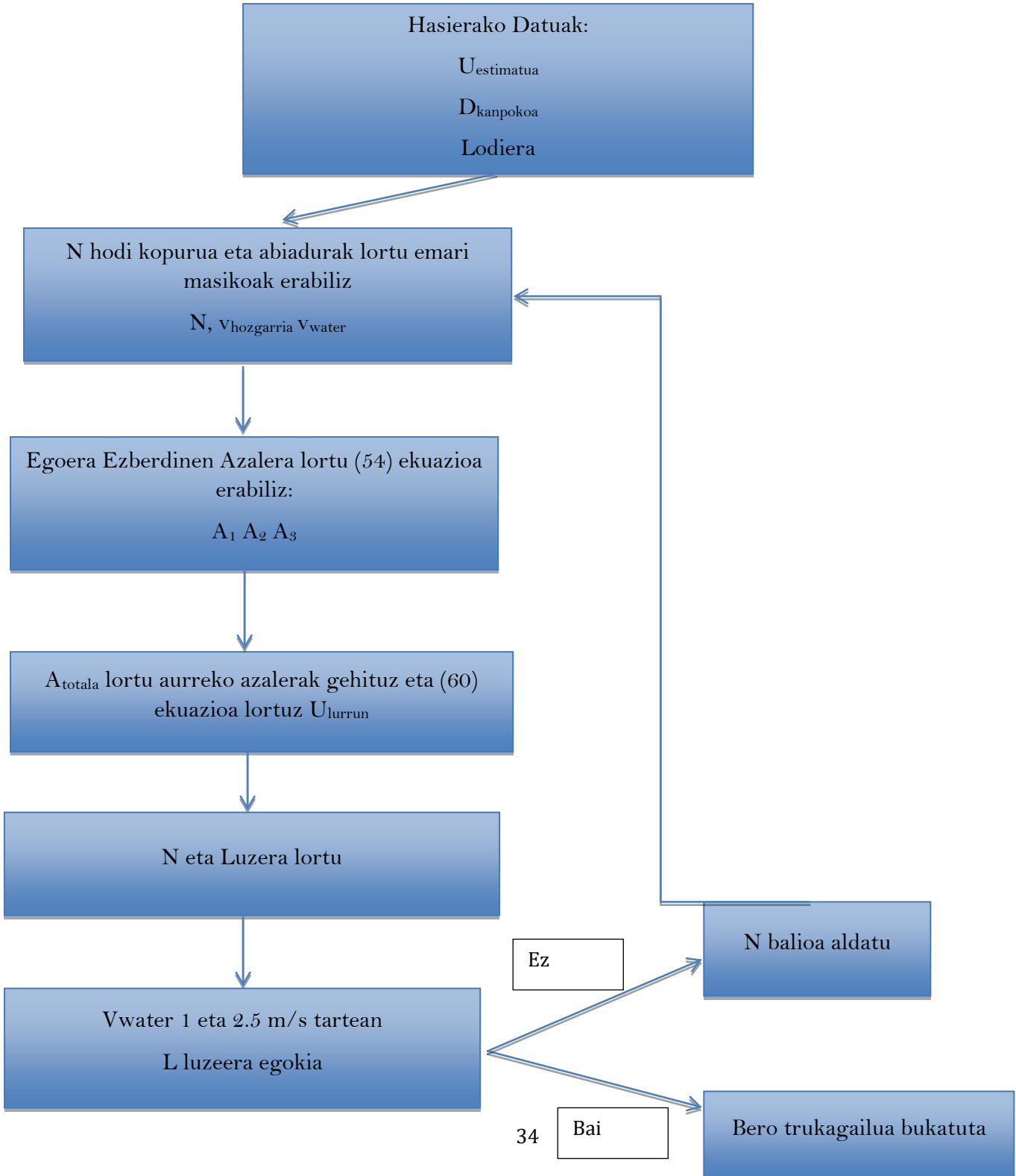
$$L = \frac{A}{(\pi * N * D_{kanpo})} \quad (50)$$

- Abiadura kalkulatu behar dugu. Uraren abiadura hodi kopuruekin txikitzen da eta honek 2,5 eta 1 m/s tartean egon behar da:

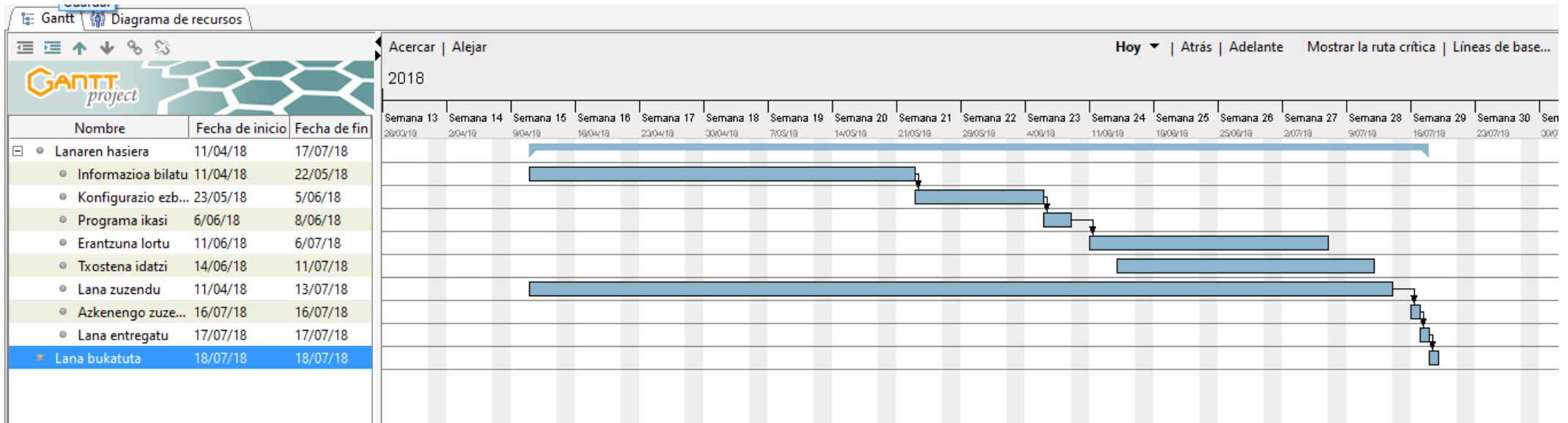
$$v = \frac{\dot{m}}{N * \frac{(D_{kanpo}^2 * \pi)}{4}} \quad (51)$$

- Bukatzeko kalkulatu egin dugun U ez badu hasierakoarekin bat etortzen N balioa aldatu dezakegu L luzera txikituz baina beti ere uraren abiadura behar ditugun mugetan mantenduz.

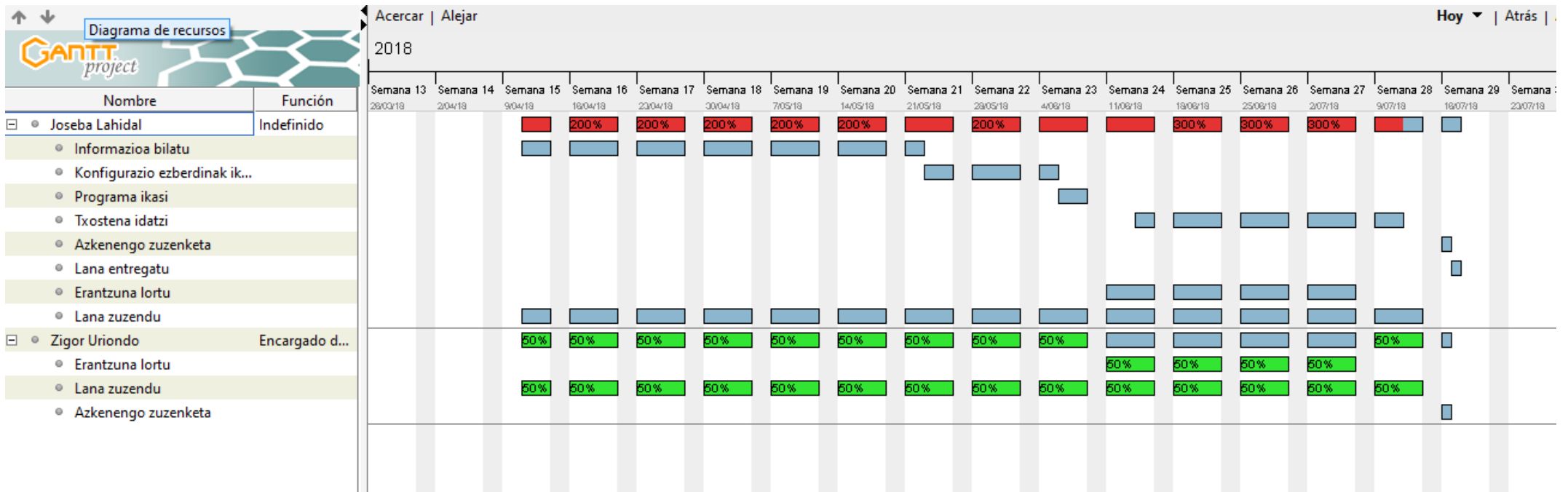
Prozesu iteratiboaren diagrama:



10.-GANTT-en DIAGRAMA



Taula 8:Gantt-en diagrama



Taula 9: Proiektuan lan egiten duten baliabideak

10.1- GANTT DIAGRAMAREN AZALPENA

Proiektu hau aurrera eramateko Joseba Lahidalga Gantt diagraman aurkezten diren ataza guztietan parte hartu egin du. Zigor Uriondo proiektu honen zuzendaria dena, 4 taulan agertzen den moduan, zeregin asko izan ditu 4,6 eta 7 atazetan.

10.1.1- INFORMAZIO BILAKETA:

Ataza honetan aurretik egindako ikerketei buruzko informazioa bilatzean datza. Era honetan, proiektu honen helburua, onurak eta irismena ulertu eta bideratu daiteke. Aldi berean lehen ataza denez proiektuaren hasiera adierazten du.

10.1.2- KONFIGURAZIO EZBERDINEN IKERKETA:

Ikerketa egin ondoren ORC sistemak izan ditzakeen konfigurazio zein fluido ezberdinak aurkeztu dira, ahalik eta aukeraketa zehatzena egiteko.

10.1.3- PROGRAMAREN IKASKETA:

EES programaren ikasketa, horrela ORC zikloa diseinatzen gauden bitartean denbora galdu ez dezagun.

10.1.4- EMAITZEN LORPENA:

Zikloaren taula, diagramak eta emaitzak lortzean datza aurretik aukeratu dugun fluidoak zein konfigurazioa kontuan hartuz.

10.1.5- MEMORIA IDAZTEA:

Behin aurretik dauden ataza guztiak bukatu egin direnean, aurrean dagoen testua idatzi egingo da.

10.1.6- MEMORIAREN ZUZENKETA:

Hurrengo zeregin hau behin memoria guztia idatzita dagoenen egiten da eta honen zuzenketa sakon batean datza, bai emaitzekin baita ortografia arazoekin.

10.1.7- AZKENEKO ZUZENKETA ETA LANA ENTREGATZEA:

Behin zuzenketa sakona egin denean, azkeneko begirada bata arazo larriren bat aurkitzeko asmoz eta hau bukatu denean proiektua entregatu.

11.-ASPEKTU EKONOMIKOAK: AURREKONTUA

BARNE ORDUAK	KOPURUA	LAN ORDUAK (h)	ORDU TASA (€/h)	GUZTIRA (€)
Proiektuaren zuzendaria	1	50	35	1.750,00 €
Ingenieritzako ikaslea	1	500	25	12.500,00 €
				14.250,00 €
AMORTIZAZIOA	KOSTUA	BIZITZA ERABILGARRIA (h)	ERABILITAKO DENBORA(h)	GUZTIRA
EES programa	1.200 €	8760	10 h	1,37 €
ASUS ordenagailua	1.000 €	87600	500 h	5,71 €
				7,08 €
KOSTU EZ-ZUZENAK				GUZTIRA
KOSTU EZ-ZUZENAK	5%			712,85 €
GUZTIRA				14.969,93 €
FINANTZIA KOSTUAK				GUZTIRA
FINANTZIA KOSTUAK	3%			449,10 €
GUZTIRA				15.419,03 €
				GUZTIRA
AURREKONTUA				15.419,03 €

Taula 10:Aurrekontua

12.-ARRISKU ANALISIA

Gaur egungo edozein proiektu aurrera eraman ahal izateko, bertan parte hartzen duten elementu zein prozesuen arrisku analisia egin behar da.

Honelako proiektu bat daukagunean, non honen helburua sistema bati soluzio bat edo hainbat soluzio ematea duen helburu, baina kalkuluak egiterako orduan hainbat sinplifikazio hartzen dira kontuan, edo hainbat arazo sor daitezke hau egiten denean. Horregatik atal honetan arazo zein arrisku posible horiek identifikatzea du helburu eta erantzunaren izan ahal dituen gogaberak justifikatzea.

Lan honek dituen arazoak hiru mailetan banatuko ditugu, arazoak horiek sisteman izan dezaketen inpaktuagatik.

12.1- HASIERAKO DATUEKIN SORTZEN DIREN ARAZOAK

Kalkuluak egiterako orduan, hasierako datu batzuk kontuan hartu egin dira. Datu hauek ez daukate eragin handia emaitzan, ahala ere kontuan hartu behar diren arriskuak dira.

- Lan honetan, zikloa berotzeko motorretik irteten diren ur beroak erabiliko dira. Ur emaria, honen tenperatura eta eman dezakeen beroa konstante bezala hartu egin dira eta errealitatean hori horrela ez dela badakigu. Lana egiterako orduan motorrak %75 lan egoeran dagoela adierazi dugu hasierako datuak hartu ditugunean. Honen zergatia motorrak zen lan egoeretan igarotzen duen orduen kopuruan ondorioztatu dugu. Martxa egoeran eta abiarazte momentuan ordu gehien pasatuko ditu eta honen batez bestekoa motorraren %75 karga egoera da.
- Itsasoko uraren tenperatura ere konstante bezala hartu egin dugu. Errealitatean ez da hori gertatzen eta honek eragina izango du fluidoak kondentsagailutik irteten den egoera.
- Elementuen errendimendu isoentropikoa, merkatuan dauden beste elementuen antzekoa hartu ditugu nahiz eta errealitatean hauen balioak aldatu ahal diren.

12.2- DIMENTSIONAMENDURAKO HARTU EGIN DIREN HIPOTESIEN ARRISKUAK

Zikloak diseinatzerako orduan era termodinamiko batean ebatzi egin da eta hau lortzeko EES programa informatikoa erabili egin da. Programa honen bitartez

propietate termodinamikoaren balio total guztia lortzen dira, eta honen bitartez aurretik esandako erroreak gutxitu daitezke.

Bero trukagailuen diseinurako, LMTD modu iteratiboa erabili egin da. Modu hau, esperientzian oinarritzen da eta ez matematikatik lortutako balioz, beraz suposizio hau eginez, bero trukagailuan errore bat izango dugu. Aurretik esan dugun bezala EES programa erabiliz errore hau txikia izango da eta ez du eragin handitik edukiko.

Gainera, esan beharra dago arazo hauek jakitea, hauen murriztapenak eragin ahal dituela.

12.3-ERABILI EGITEN DIREN ELEMENTUEN ARRISKUAK

Zikloan erabiltzen diren elementuak, batzuk diseinatu egin dira. Hala ere elementu hauek arriskuak daukate eta arazoak eman ahal dute denbora laburrean edo denbora pasa ahala. Sistemaren erantzuna lortzeko elementuak perfektuak bezala kontsideratu ditugu eta errealitatean gauzak horrela ez direla badakigu. Ponpak fluidoak ezarri dugun puntu-arte ez eramatea edota turbina urteak pasa ahala higadura agertzea. Arazo hauek ORC-aren errendimendua jaitsi dezakete.

12.4- ARRISKU MATRIZEA

		Eragina			
		Txikia	Ertaina	Handia	Alto
Probabilitatea	Handia	Elementuak Hasierako datuak	Hipotesiak		
	Ertaina				
	Txikia				

Taula 11: Arrisku matrizea

13.-ONDORIOAK

Bai lan-fluidoaren bai ziklo-konfigurazio egokia aukeratzeko orduan gai garrantzitsuak dira ORC-a edozein zikloren diseinu prozesuan. Ikusi ahal izan da bai aplikazio-eremuarekin eta lan-egoerekin bai ezarritako aukearaketa-irizpideekin mendekotasun handia sortzen dutela ORC sistema lortzerako orduan.

Ikerketa honi bukaera emateko, gogobeteko bat bezala amai dezake, izan ere hasieran ezarritako helburuak bete dira eta bertan agertu diren arazoei aurre egin zaie eta erabakiak hartzerako orduan, bai ikuspuntu termodinamikoak, bai ikuspuntu ekonomiko zein ingurumenarenak kontuan hartuz dira emaitza lortzeko. .

Lortutako emaitzetatik hurrengo ondorioak da lurrungailuan presio puntu bat dagoela non sistema osoaren errendimendua handitzen duena. Puntu honi Pinch Point-a deritza eta honek sistemaren mugatzailerik handiena da. Puntu honen hobekuntza sistemaren errendimendua handituko luke eta horretarako aukera handia daukagu.

- Aurretik adierazi dugun bezala, rankine ziklo batzuk errendimendua handitu egiten dute baina gure kasuan potentzia lortu nahi dugu, eta horretarako ORC sinplea aukerarik hoberena da sinpletasuna eta kostu aldetik errazagoa baita.
- Emaitzen atalean ikusi daitekeen moduan R1233zd (e) fluidoa da errendimendu handiena ematen diguna eta beraz fluido hau erabili egingo da, aurretik aipatutako beste faktoreak ere betetzen dituelako.
- Fluidoak aukeratzeko orduan, ingurunean izan dezaketan inpaktua ikertu egin da eta ikertze lan honetatik atera egin ahal diren ondorioak ontzat eman ahal ditugu. Fluidoek ez dituzte inolako arrazoi baztergarririk betetzen, hau da ez daukate auto-sutzeko ahalmenik, ez dute ez GWP ezta ODP-ak gainditzen eta ez tenperatura kritikoa gainditzen.
- Gure proiektuan hodi edo karkasa bero trukagailu bat erabili dugu mantentzea errazagoak direlako. Hala ere, bero-trukagailu mota hauetako bat erabiltzea lortzen da, abiadura margena apurto luzeegia den bero trukagailu bat diseinatuz (eranskinean ikusi daitekeen moduan). Horregatik ondorioztatu daiteke, xafla eta bastidore bezalako bero trukagailu bat erabiltzean beti ere ur-beroari aurretratatamendu bat egiten bazaio.

14.-BIBLIOGRAFIA

- [1] S.A. Klein, "Engineering Equation Solver. F-Chart Software", Middleton, WI, 2010.
- [2] J.F. Wang, Y.P. Dai, et al., "Exergy analyses and parametric optimizations for different cogeneration power plants in cement industry", *Applied Energy* 86 (6) (2009) 941e948.
- [3] T.C. Hung, T.Y. Shai, S.K. Wang, "A review of Organic Rankine Cycles (ORCs) for the recovery of low-grade waste heat", *Energy* 22 (1997) 661e667.
- [4] O. Badr, P.W. Ocallaghan, et al., "Rankine-Cycle systems for Harnessing power from low-grade energy-Sources", *Applied Energy* 36 (1990) 263-292.
- [5] W. Gu, Y. Weng, Y. Wang, B. Zheng, "Theoretical and experimental investigation of an Organic Rankine Cycle for a waste heat recovery system", Part A: *Journal of Power and Energy* 223 (2009) 523-533 Proc. IMechE.
- [6] Y.P. Dai, J.F. Wang, et al., "Parametric optimization and comparative study of Organic Rankine Cycle (ORC) for low grade waste heat recovery", *Energy Conversion and Management* 50 (2009) 576-582.
- [7] J. Larjola, "Electricity from industrial waste heat using high-speed Organic Rankine Cycle (ORC)", *International Journal of Production Economics* 41 (2009).
- [8] Z. Gnutek, A. Bryszewska-Mazurek, "The thermodynamic analysis of multicycle ORC engine", *Energy* 26 (2001) 1075-1082."
- [9] Y. Chen, P. Lundqvist, et al., "A comparative study of the carbon dioxide transcritical power cycle compared with an Organic Rankine Cycle with R123 as working fluid in waste heat recovery", *Applied Thermal Engineering* 26 (2006).
- [10] R. Zanelli, D. Favrat, "Experimental investigation of a hermetic scroll expander-generator, in: *Proceedings of the International Compressor Engineering Conference at Purdue*", 1994, pp. 459-464.
- [11] D. Manolakos, G. Papadakis, S. Kyritsis, K. Bouzianas, "Experimental evaluation of an autonomous low-temperature solar Rankine cycle system for reverse osmosis desalination", *Desalination* 203 (2007) 366-374.
- [12] B. Aoun, D. Clodic, "Theoretical and experimental study of an oil-free scroll type vapor expander, in: *Proceedings of Nineteenth International Compressor Engineering Conference at Purdue*", 2008, paper 1188.

- [13] V. Lemort, S. Quoilin, C. Cuevas, J. Lebrun, "Testing and modeling a scroll expander integrated into an Organic Rankine Cycle", *Applied Thermal Engineering* 29 (2009) 3094-3102."
- [14] T. Yanagisawa, Y. Fukuta, T. Ogi, T. Hikichi, "Performance of an oil-free scrolltype air expander, in: *Proceedings Of the ImechE Conference Transactions On Compressors and Their Systems*", 2001, pp. 167-174.
- [15] El.H. Kane, "Integration et optimisation thermoéconomique & environomique de centrales thermiques solaires hybrides", PhD thesis, Laboratoire d'Énergétique Industrielle, Ecole polytechnique Fédérale de Lausanne, 2002.
- [16] I.K. Smith, N. Stosic, A. Kovacevic, "Steam as the working fluid for power recovery from exhaust gases by the use of screw expanders, in: *Proceedings of The International Conference on Compressors and their Systems*", London, 2009.
- [17] T.C. Hung, "Waste heat recovery of Organic Rankine Cycle using dry fluids", *Energy Conversion and Management* 42 (2001) 539-553.
- [18] S. Quoilin, V. Lemort, "Technological and Economical Survey Of Organic Rankine Cycle systems, in: *Fifth European Conference on Economics and Management of Energy in Industry*", Vilamoura, Portugal, 2009.
- [19] V. Maizza, A. Maizza, "Unconventional working fluids in organic Rankinecycles for waste energy recovery systems", *Applied Thermal Engineering* 21 (2001) 381- 390.
- [20] U. Drescher, D. Bruggemann, "Fluid selection for the Organic Rankine Cycle (ORC) in biomass power and heat plants", *Applied Thermal Engineering* 27 (2007).
- [21] V. Lemort, C. Cuevas, J. Lebrun, I.V. Teodorese, "Contribution à l'étude des cycles de Rankine de récupération de chaleur, VIIIème Colloque Interuniversitaire Franco-Québécois sur la Thermique des Systèmes", Montréal, Canada, 2007.
- [22] P.J. Mago, L.M. Chamra, K. Srinivasan, C. Somayaji, "An examination of regenerative Organic Rankine Cycles using dry fluids", *Applied Thermal Engineering* 28 (2008) 998-1007.
- [23] J. Facão, A. Palmero-Marrero, A.C. Oliveira, "Analysis of a solar assisted microgeneration ORC system", *International Journal of Low Carbon Technologies* 3/4 (2009).
- [24] N.B. Desai, S. Bandyopadhyay, "Process integration of Organic Rankine Cycle", *Energy* 34 (2009) 1674-1686.

- [25] I.H. Aljundi, "Effect of dry hydrocarbons and critical point temperature on the efficiencies of Organic Rankine Cycle", *Renewable Energy* 36 (2011) 1196-1202.
- [26] B.-T. Liu, K.-H. Chien, C.-C. Wang, "Effect of working fluids on Organic Rankine Cycle for waste heat recovery", *Energy* 29 (2004) 1207-1217.
- [27] R. El Chammas, D. Clodic, "Combined Cycle for Hybrid Vehicles. Society of Automotive Engineers (SAE)", 2005.
- [28] H.D.M. Hettiarachchia, M. Golubovica, W.M. Worek, "Optimum design criteria for an Organic Rankine Cycle using low-temperature geothermal heat sources", *Energy* 32 (9) (2007) 1698-1706.
- [29] B. Saleh, G. Koglbauer, M. Wendland, J. Fischer, "Working fluids for lowtemperature Organic Rankine Cycles", *Energy* 32 (2007) 1210-1221.
- [30] A. Borsukiewicz-Gozdur, W. Nowak, "Comparative analysis of natural and synthetic refrigerants in application to low temperature Clausius-Rankine Cycle", *Energy* 32 (2007) 344-352.
- [31] B.F. Tchanche, G. Papadakis, G. Lambrinos, A. Frangoudakis, "Fluid selection for a low-temperature solar Organic Rankine Cycle", *Applied Thermal Engineering* 29 (2009) 2468-2476.
- [32] D. Mikielewicz, J. Mikielewicz, "A thermodynamic criterion for selection of working fluid for subcritical and supercritical domestic micro CHP", *Applied Thermal Engineering* 30 (2010) 2357-2362.
- [33] Li, C. Zhao, and X. Hu, "Thermodynamic analysis of Organic Rankine Cycle with Ejector," *Energy*, vol. 42, no. 1, pp. 342-349, 2012.
- [34] G. Angelino, M. Gaia, E. Macchi, "A review of Italian activity in the field of Organic Rankine Cycles", *VDI Berichte* 539 (1984) 465-482.
- [35] A. McMahan, "Design & Optimization of Organic Rankine Cycle Solar-Thermal Powerplants", Master of Science thesis, Madison, WI, 2006.
- [36] M. Grljui, V. Medica, and N. Rai, "Thermodynamic analysis of a ship power plant operating with waste heat recovery through combined heat and power production," *Energies*, vol. 7, no. 11, pp. 7368-7394, 2014.
- [37] A. . Fallis, "VDI Heat Atlas", vol. 53, no. 9. 2013.
- [38] Y. Y. Hsieh and T. F. Lin, "Saturated flow boiling heat transfer and pressure drop of refrigerant R-410A in a vertical plate heat exchanger," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 45, no. 5, pp. 1033-1044, 2002.

- [39] W. S. Kuo, Y. M. Lie, Y. Y. Hsieh, and T. F. Lin, “Condensation heat transfer and pressure drop of refrigerant R-410A flow in a vertical plate heat exchanger,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 48, no. 25–26, pp. 5205–5220, 2005.
- [40] B. V. Datla and J. Brasz, “Comparing R1233zd and R245fa for Low Temperature ORC Applications,” *Int. Refrig. Air Cond. Conf.*, p. 7, 2014.
- [41] Incropera FP., Dewitt DP.: *Fundamentals of heat and mass transfer*. 5th Ed. New York: John Willey and Sons, 2002
- [42] European Parliament and Council, “European Parliament legislative resolution of 12 March 2014 on the proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council on fluorinated greenhouse,” vol. 0305, no. March, pp. 1–60, 2014.

I-ERANSKINA: FLUIDO EZBERDINEN PROPIETATE TERMODINAMIKOAK

→ R1233zd(E)

R1233zd(E)	hi	Pi	si	Ti	vi	xi
5	228,9	6,625	1,1	23,28	0,0009279	
6	301,8	6,625	1,325	80,3	0,0008977	0
7	459,7	6,625	1,771	80,3	0,02856	1
8	463,3	6,625	1,782	84	0,0291	
9	431,9	1,296	1,782	36,05	0,1452	
10	438,2	1,296	1,802	43,5	0,1493	
11	422,7	1,296	1,751	25	0,1392	1
12	230,9	1,296	1,108	25	0,0007919	0
13	228,4	1,296	1,1	23		
14	228,8	6,625	1,1	23,19	0,0009284	

→ R245fa

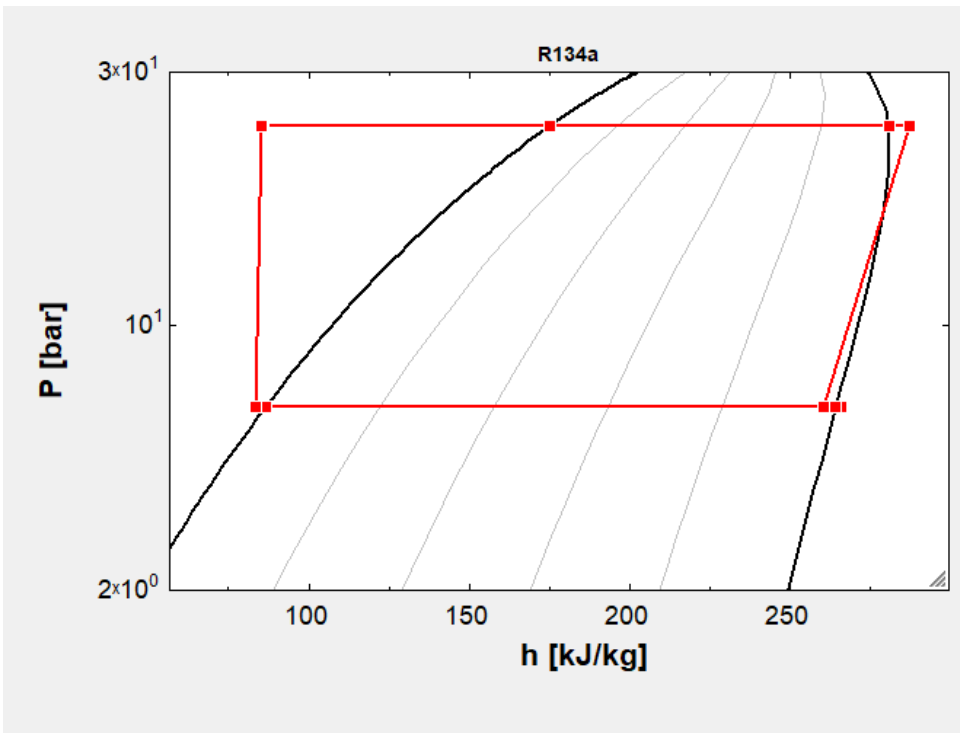
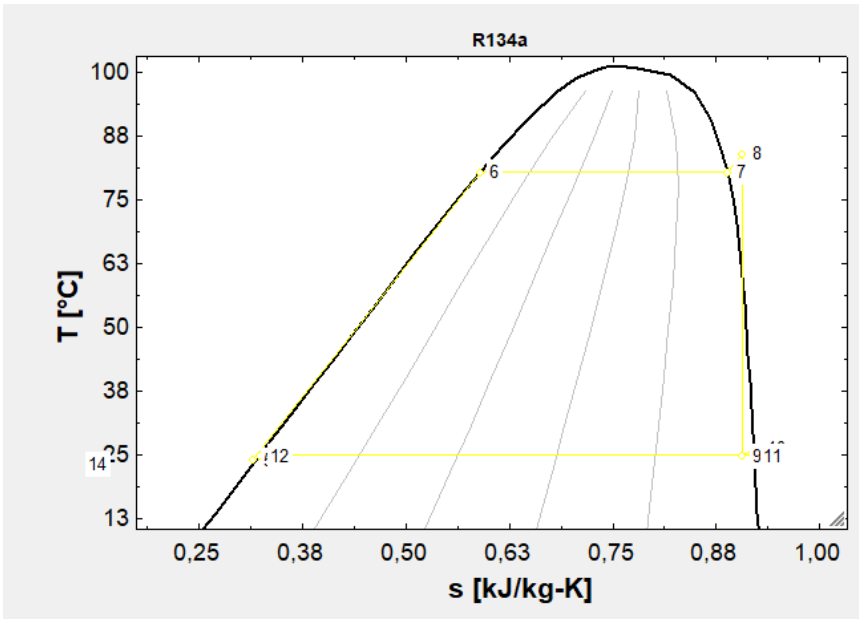
R245fa	hi	Pi	si	Ti	vi	xi
5	230,4	8,075	1,105	23,31	0,0008745	
6	310,5	8,075	1,351	80,83	0,0008568	0
7	462,3	8,075	1,78	80,83	0,02218	1
8	466,1	8,075	1,791	84	0,02262	
9	434,6	1,478	1,791	37,36	0,1237	
10	440,9	1,478	1,811	43,98	0,127	
11	422,8	1,478	1,752	25	0,1173	1
12	232,5	1,478	1,113	25	0,0007471	0
13	229,8	1,478	1,105	23		
14	230,3	8,075	1,105	23,22	0,0008749	

→ R134a

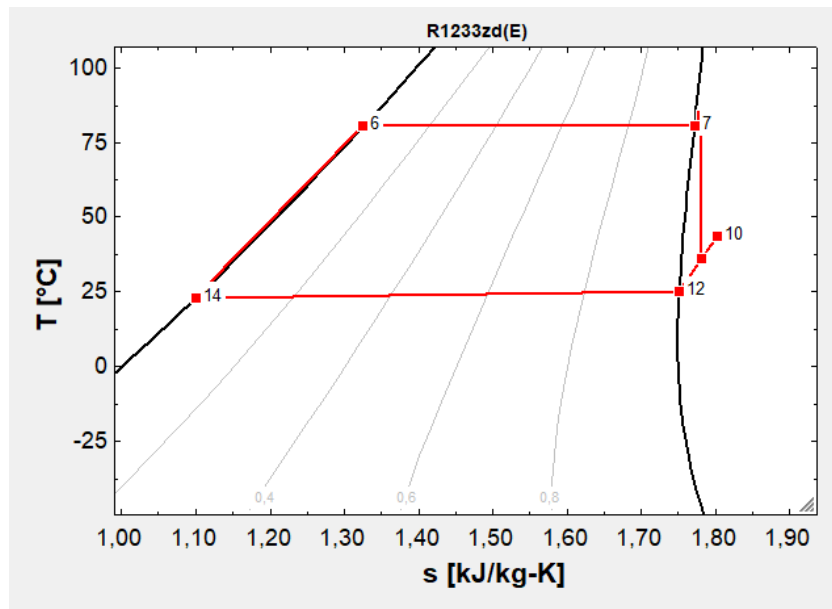
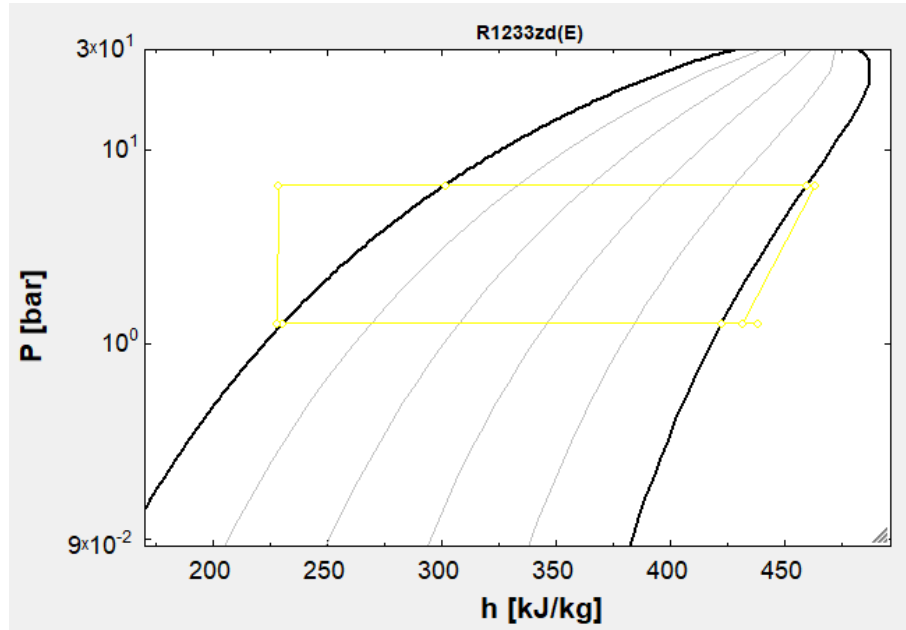
R134a	hi	Pi	si	Ti	vi	xi
5	85,61	26,63	0,3161	24,36	0,0008488	
6	175,2	26,63	0,5906	80,49	0,001082	0
7	280,5	26,63	0,8884	80,49	0,006339	1
8	287,2	26,63	0,9072	84	0,006743	
9	260,2	6,658	0,9072	25	0,03022	
10	265,6	6,658	0,9253	26,38	0,03115	
11	264,2	6,658	0,9205	25	0,03089	1
12	86,4	6,658	0,3243	25	0,0008287	0
13	83,56	6,658	0,3147	23		
14	85,2	26,63	0,3147	24,06	0,0008493	

II-ERANSKINA: T-s eta P-h diagramak

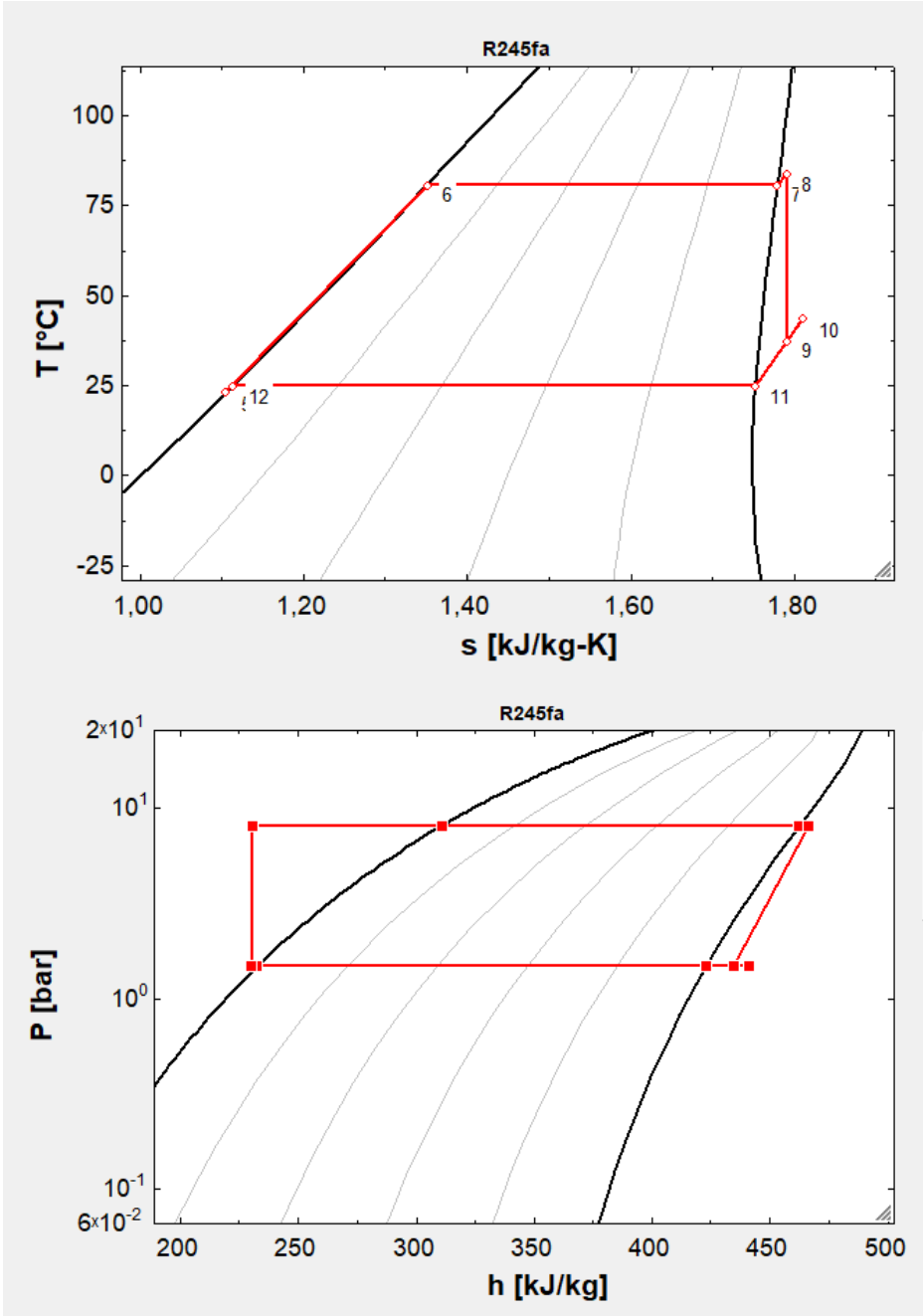
→ R134a



→ R1233zf(E)



→ R245fa



III-ERANSKINA: ITERAZIOAK

→ R245fa

1..18	1 P_5 [bar]	2 η_{cycle}	3 T_6 [C]	4 T_3 [C]
Run 1	6	0,08838	69,4	85,49
Run 2	6,176	0,09	70,48	85,52
Run 3	6,353	0,09157	71,54	85,55
Run 4	6,529	0,09308	72,57	85,58
Run 5	6,706	0,09453	73,58	85,62
Run 6	6,882	0,09594	74,58	85,65
Run 7	7,059	0,0973	75,55	85,68
Run 8	7,235	0,09862	76,51	85,71
Run 9	7,412	0,0999	77,45	85,74
Run 10	7,588	0,1011	78,37	85,77
Run 11	7,765	0,1023	79,28	85,8
Run 12	7,941	0,1035	80,17	85,83
Run 13	8,118	0,1046	81,04	85,86
Run 14	8,294	0,1057	81,91	85,89
Run 15	8,471	0,1068	82,76	85,91
Run 16	8,647	0,1078	83,59	85,94
Run 17	8,824	0,06693	84,42	89,04
Run 18	9	0,06687	85,23	89,1

→ R134a

1..18	1 P_5 [bar]	2 η_{cycle}	3 T_6 [C]	4 T_3 [C]
Run 1	25	0,09467	77,54	86,17
Run 2	25,15	0,0949	77,81	86,19
Run 3	25,29	0,09512	78,09	86,21
Run 4	25,44	0,09534	78,36	86,22
Run 5	25,59	0,09555	78,62	86,24
Run 6	25,74	0,09576	78,89	86,25
Run 7	25,88	0,09597	79,16	86,27
Run 8	26,03	0,09617	79,42	86,28
Run 9	26,18	0,09637	79,69	86,3
Run 10	26,32	0,09656	79,95	86,31
Run 11	26,47	0,09675	80,21	86,33
Run 12	26,62	0,09693	80,47	86,35
Run 13	26,76	0,09711	80,73	86,36
Run 14	26,91	0,09729	80,99	86,38
Run 15	27,06	0,09746	81,24	86,4
Run 16	27,21	0,09763	81,5	86,41
Run 17	27,35	0,09779	81,75	86,43
Run 18	27,5	0,09795	82,01	86,45

→ R1233zd(E)

1..18	1 P_5 [bar]	2 η_{cycle}	3 T_6 [C]	4 T_3 [C]
Run 1	5	0,08916	69,14	85,4
Run 2	5,118	0,09052	70,04	85,42
Run 3	5,235	0,09185	70,91	85,45
Run 4	5,353	0,09314	71,78	85,47
Run 5	5,471	0,0944	72,63	85,49
Run 6	5,588	0,09562	73,46	85,52
Run 7	5,706	0,09681	74,28	85,54
Run 8	5,824	0,09797	75,09	85,56
Run 9	5,941	0,09909	75,89	85,59
Run 10	6,059	0,1002	76,67	85,61
Run 11	6,176	0,1013	77,45	85,63
Run 12	6,294	0,1023	78,21	85,65
Run 13	6,412	0,1033	78,96	85,67
Run 14	6,529	0,1043	79,7	85,7
Run 15	6,647	0,1053	80,44	85,72
Run 16	6,765	0,1062	81,16	85,74
Run 17	6,882	0,1072	81,87	85,76
Run 18	7	0,1081	82,58	85,78

IV-ERANSKINA: EES programaren kodiagoa

```

Fluido$='R1233zd(E)'
eta_iso_turb=0,8           { turbinaren errendimendu isoentropikoa}

eta_iso_pon=0,8           { Ponparen errendimendu isoentropikoa}

T_sw=18 [C]               { Ur gezaren temperatura}

T_w=89 [C]                { Uraren sarrera temperatura}

deltat_T=5 [C]            { Bero trukagailuen temperatura aldaketa}

deltat_T_pp=5 [C]        { Pic puntuaten temperatura ezberdintasuna}

deltat_T_azpi=2           { kondentsagailuan likido azpioztua}

emaria=40 [m^3/h]         " uraren emaria m^3/h "

P_w=3,5 [bar]             { Uraren Presioa}

Q=215,28 [Kw]             {Urare bero ahalmena %75 errendimenduarekin}
cp=Cp(Water;T=T_w;P=P_w)

{ uraren masa emaria}

density=Density(Water;T=T_w;P=P_w)

m_dot_w=emaria*density*Convert(Kg/h;Kg/s)
s[1]=Entropy(Water;T=(T[1]+T[4])/2;P=P_w)
s[4]=Entropy(Water;T=(T[1]+T[4])/2;P=P_w)
{Presio Bilaketa lurrungailuarentzat}

T[1]=T_w                  { Uraren sarreraren
temperatura}
Q=m_dot_w*cp*(T[1]-T[4])  { Uraren bero
transferentzia}
m_dot_ref*(h[8]- h[7])= m_dot_w*cp*(T[1]-T[2]) { Gas egoeraren
energia balantzea}
m_dot_ref*(h[7]- h[6])= m_dot_w*cp*(T[2]-T[3]) { Fase aldaketaren
energia balantzea}
m_dot_ref*(h[6]- h[5])= m_dot_w*cp*(T[3]-T[4]) { Likido egoeraren
energia balantzea}

P_lurrun=6,625

{Presio Bilaketa Kondentsagailuarentzat}

P_konde=P_sat(Fluido$;T=T[12])
T[12]=T_sw+deltat_T+deltat_T_azpi
  
```

{ 12 puntua kondentsagailuaren likido asetua }

$P[12]=P_konde$
 $x[12]=0$
 $h[12]=\text{Enthalpy}(\text{fluido}; P=P[12]; x=x[12])$
 $s[12]=\text{Entropy}(\text{fluido}; T=T[12]; x=x[12])$
 $v[12]=\text{Volume}(\text{fluido}; T=T[12]; h=h[12])$

{ 13 puntua kondentsagailuaren likido azpihoztua }

$P[13]=P[12]$
 $T[13]=T_sw+deltat_T$
 $h[13]=\text{Enthalpy}(\text{fluido}; T=T[13]; P=P[13])$
 $s[13]=\text{Entropy}(\text{fluido}; T=T[13]; P=P[13])$

{ 14 puntua ponparen irteera teorikoa }

$s[14]=s[13]$
 $P[14]=P[5]$
 $T[14]=\text{Temperature}(\text{fluido}; P=P[14]; s=s[14])$

$h[14]=\text{Enthalpy}(\text{fluido}; T=T[14]; P=P[14])$
 $v[14]=\text{Volume}(\text{fluido}; T=T[14]; h=h[14])$

{ 5 puntua ponparen irteera erreala }

$P[5]=6,625$
 $h[5]=h[13]+(h[14]-h[13])/eta_iso_pon$
 $T[5]=\text{Temperature}(\text{fluido}; P=P[5]; h=h[5])$
 $s[5]=\text{Entropy}(\text{fluido}; T=T[5]; P=P[5])$
 $v[5]=\text{Volume}(\text{fluido}; T=T[5]; h=h[5])$

{ 6 puntua lurrungailuaren likido asetua }

$P[6]=P[5]$
 $x[6]=0$
 $h[6]=\text{Enthalpy}(\text{fluido}; P=P[6]; x=x[6])$
 $T[6]=\text{Temperature}(\text{fluido}; P=P[6]; x=x[6])$
 $s[6]=\text{Entropy}(\text{fluido}; P=P[6]; x=x[6])$
 $v[6]=\text{Volume}(\text{fluido}; T=T[6]; h=h[6])$

{ 7 puntua lurrungailuaren lurrun asetua }

$P[7]=P[5]$
 $x[7]=1$
 $h[7]=\text{Enthalpy}(\text{fluido}; P=P[7]; x=x[7])$
 $T[7]=\text{Temperature}(\text{fluido}; P=P[7]; x=x[7])$
 $s[7]=\text{Entropy}(\text{fluido}; P=P[7]; x=x[7])$
 $v[7]=\text{Volume}(\text{fluido}; T=T[7]; h=h[7])$

{ 8 puntua lurrungailuaren irteera }

```

P[8]=P[5]
T[8]=T_w-deltat_T
h[8]=Enthalpy(fluido$;P=P[8];T=T[8])
s[8]=Entropy(fluido$;P=P[8];T=T[8])
v[8]=Volume(fluido$;T=T[8];h=h[8])
  
```

{ 9 puntua turbinaren irteera ideala}

```

s[9]=s[8]
P[9]=P[12]
T[9]=Temperature(fluido$;P=P[9];s=s[9])
h[9]=Enthalpy(fluido$;T=T[9];s=s[9])
v[9]=Volume(fluido$;T=T[9];h=h[9])
  
```

{ 10 puntua turbinaren irteera erreala}

```

P[10]=P[9]
h[10]=h[8]-eta_iso_turb*(h[8]-h[9])
T[10]=Temperature(fluido$;P=P[10];h=h[10])
s[10]=Entropy(fluido$;T=T[10];h=h[10])
v[10]=Volume(fluido$;T=T[10];h=h[10])
  
```

{ 11 puntua kondentsagailuaren lurrun asetua}

```

P[11]= P[10]
x[11]=1
h[11]=Enthalpy(fluido$;P=P[11];x=x[11])
T[11]=Temperature(fluido$;P=P[11];h=h[11])
s[11]=Entropy(fluido$;T=T[11];x=x[11])
v[11]=Volume(fluido$;T=T[11];h=h[11])
  
```

{ Zikloaren errendimendu termikoa}

```
eta_thermal_cycle = ((h[8]-h[10]) - (h[5]-h[13]))/ (h[8]-h[5])
```

```
W_dot_turb=m_dot_ref*(h[8]-h[10])
```

```
W_dot_pon=(m_dot_ref*(h[5]-h[13]))
```

```
W_dot_total=W_dot_turb-W_dot_pon
```

{ Lurrungailuaren dimentsionamendua}

```
D_out=0,012 [m]
```

```
e=0,002[m]
```

```
{k=16,3}
```

```
{v=2 [m/s]}
```

```
V_dot=emaria*Convert(m^3/h;m^3/s)
```

"Hodien barneko diametroa "

```
A_lurrun=(((D_out)*(D_out)*pi)/4)*N
```

```
v=(V_dot)/A_lurrun
```

```
{A_lurrun=(D_w^2*pi)/4}
```

"Hodi barneko sekzioa"

$pitch = (1,25 * (D_{out} + e))$
 $D_{boulder} = D_{out} * ((N/0,249)^{(1/2,207)})$ { Lurrungailuaren Karkasaren
 diametroa estimatua hodi kopurua kontuan hartuz}
 $BDC = 0,009318$ { Lurrungailuan karkasaren eta hodian
 arteko espazioa}
 $D_s = D_{boulder} + BDC$ { Karkasaren diametroa}
 $B_s = D_s * 0,4$
 $A_s = ((pitch - (D_{out} + e)) * D_s * B_s) / (pitch)$ { hodian arteko azalera}
 $D_{equi} = 4 * (pitch^2 - (\pi * D_{out}^2) / 4) / (\pi * D_{out})$ { hodian arteko diametro ekibalentea}
 $\rho_w = \text{Density}(\text{water}; T = (T[1] + T[4]) / 2; P = P_w)$
 $L_{total_1} = 4$ { luzeera mugatua}
 $v_w = 2 * (m_{dot_w} / (A_s * \rho_w))$ { Uraren abiadura mugatuta dagoena}
 { bero trukagailua 3 zonetan banatuko dugu}

{1, zonaldea}

$Nus_bero_1 = C * (Re_w_1^m) * (Pr_w_1^O)$
 $C = 0,023$
 $m = 0,8$
 $O = 0,4$

$Nus_bero_1_1 = Nus_bero_1$

$Re_w_1 = (v * (D_{equi})) / \nu_w$
 $\nu_w = \text{KinematicViscosity}(\text{Water}; T = T[4]; P = P_w)$

$Pr_w_1 = \text{Prandtl}(\text{Water}; T = T[4]; P = P_w)$
 $k_w_1 = \text{Conductivity}(\text{Water}; T = T[4]; P = P_w)$
 $h_w_1 = (Nus_bero_1_1 * k_w_1) / D_{out}$

"Hozgarriaren bero transferentzi koefizientea "

$Nus_ref_1 = (((f_1/8) * Re_ref_1 * Pr_ref_1) / (12,7 * ((f_1/8)^{0,5}) * (Pr_ref_1^{(2/3)} - 1) + 1,07)) * (k_ref_1 / k_wall_1) * (\mu_ref_1 / \mu_wall_1)$ { Kanpotik doan fluidoaren bero trasmizioa frikzioa kontuan hartuz}

$Re_ref_1 = (v_ref_1 * D_{equi}) / \nu_ref_1$
 $\rho_ref_1 = \text{Density}(\text{fluido}; T = (T[5] + T[6]) / 2; P = P[5])$
 $\nu_ref_1 = \text{KinematicViscosity}(\text{fluido}; T = T[5]; P = P[5])$
 $v_ref_1 = (m_{dot_ref}) / (\rho_ref_1 * (A_s))$
 $\mu_ref_1 = \text{Viscosity}(\text{fluido}; T = (T[5] + T[6]) / 2; P = P[5])$
 $\mu_wall_1 = \text{Viscosity}(\text{water}; T = (T[4] + T[3]) / 2; P = P_w)$
 $k_wall_1 = \text{Conductivity}(\text{fluido}; T = (T[4] + T[3]) / 2; P = P_w)$
 $f_1 = (0,79 * \ln(Re_ref_1) - 1,64)^{-2}$
 $Pr_ref_1 = \text{Prandtl}(\text{fluido}; T = T[5]; P = P[5])$
 $k_ref_1 = \text{Conductivity}(\text{fluido}; T = T[5]; P = P[5])$
 $h_ref_1 = (Nus_ref_1 * k_ref_1) / (D_{out})$

$T_{h_in_1} = T[3]$ "unmixed fluid inlet temperature"

$T_{h_ou_1} = T[4]$ "unmixed fluid inlet temperature"

$t_{co_in_1} = T[5]$ "mixed fluid inlet temperature"

$t_{co_ou_1} = T[6]$ "mixed fluid outlet temperature"

$P_{lurr_1} = (t_{co_ou_1} - t_{co_in_1}) / (T_{h_in_1} - t_{co_in_1})$

$R_{lurr_1} = (T_{h_in_1} - T_{h_ou_1}) / (t_{co_ou_1} - t_{co_in_1})$

$F_{lurr_1} = LMTD_CF('shell\&tube_1'; P_{lurr_1}; R_{lurr_1})$

$Nus_{ref_1_1} = Nus_{ref_1} * F_{lurr_1}$

```
#####
##"
#####
##"
```

"1 Zonaldearen bero transferentzi koefizientea, hozgarri eta ura erresistentziak seriean hartuz "

$(1/U_1) = ((1/h_{ref_1}) + (1/h_{w_1}))$

"Batez besteko temperatura logaritmikoa"

$DELTA_{T_lm_1} = (DELTA_{T_in_1} - DELTA_{T_out_1}) / \ln(DELTA_{T_in_1} / DELTA_{T_out_1})$

$DELTA_{T_in_1} = T_{hot_out_1} - T_{c_in_1}$

$DELTA_{T_out_1} = T_{hot_in_1} - T_{c_out_1}$

$T_{hot_in_1} = T [1]$

$T_{hot_out_1} = T [4]$

$T_{c_in_1} = T [5]$

$T_{c_out_1} = T [6]$

"Bero transmizioa 1. zonaldearen azalera lortzeko"

$Q_DOT_1 = m_dot_{ref} * (h[6] - h[5]) * Convert(KW;W)$

$Q_DOT_1 = U_1 * A_1 * F_{lurr_1} * DELTA_{T_lm_1}$

"(2) ZONALDEA"

$Nus_{w_2} = C * (Re_{w_2}^m) * (Pr_{w_2}^O)$

$Re_{w_2} = (v * (D_{out})) / nu_{w_2}$

$nu_{w_2} = KinematicViscosity(Water; T=T[2]; P=P_w)$

$Pr_{w_2} = Prandtl(Water; T=T[2]; P=P_w)$

$k_{w_2} = Conductivity(Water; T=T[2]; P=P_w)$

$h_{w_2} = (Nus_{w_2} * k_{w_2}) / D_{out}$

"Hozgarriaren bero transferentzi koefizientea, lehenengo fase aldaketarik ez balego bero transferentzi koefizientea lortuz ($h_{ref_2_liq}$)"

$T_{bulk} = (T[2] + T[3]) / 2$

$$T_sat=T_sat(fluido\$,P=P[6])$$

$$q_dot_nucleate=(mu_ref_2*DELTAh_vap*(((rho_l-rho_g)*g)/sigma)^{0,5}*(((T_s-T_sat)*cp_l)/((C_sf*DELTAh_vap*(Pr_ref_2_liq)^{n_sf}))^3)*Convert(KW/m^2;W/m^2)$$

$$\begin{aligned}
 Nus_ref_2_liq &= C*(Re_ref_2_liq^m)*(Pr_ref_2_liq^O) \\
 Re_ref_2_liq &= (v_ref_2*D_equi)/nu_ref_2_liq \\
 nu_ref_2_liq &= KinematicViscosity(fluido\$,h=h[6];P=P[5]) \\
 mu_ref_2 &= Viscosity(fluido\$,T=T[5];P=P[5]) \\
 DELTAh_vap &= Enthalpy_vaporization(fluido\$,T=T[6]) \\
 rho_ref_2 &= Density(fluido\$,h=h[6];P=P[5]) \\
 v_ref_2 &= (v_ref_3+v_ref_1) /2
 \end{aligned}$$

$$g=9,81 [m/s^2]$$

$$\begin{aligned}
 rho_l &= Density(fluido\$,T=(T[5]+T[6])/2;P=P[5]) \\
 rho_g &= Density(fluido\$,T=(T[8]+T[7])/2;P=P[5]) \\
 sigma &= SurfaceTension(fluido\$,T=T[6]) \\
 cp_l &= Cp(fluido\$,T=T[5];P=P[5]) \\
 T_s &= T_bulk \\
 C_sf &= 0,013 \\
 n_sf &= 1,7 \\
 Pr_ref_2_liq &= Prandtl(fluido\$,h=h[6];P=P[5]) \\
 k_ref_2_liq &= Conductivity(fluido\$,T=(T[5]+T[6])/2;P=P[5])
 \end{aligned}$$

$$h_ref_2=(q_dot_nucleate)/(T_bulk-T_sat)$$

```

#####
##"
#####
##"
  
```

"2 Zonaldearen bero transferentzi koefizientea, hozgarri eta ura erresistentziak seriean hartuz "

$$(1/U_2)=((1)*(1/h_w_2)+(1/h_ref_2)))$$

"Batez besteko tenperatura logaritmikoa"

$$\begin{aligned}
 DELTAT_Im_2 &= (DELTAT_in_2-DELTAT_out_2)/ln(DELTAT_in_2/DELTAT_out_2) \\
 DELTAT_in_2 &= T_hot_out_2-T_c_in_2 \\
 DELTAT_out_2 &= T_hot_in_2-T_c_out_2 \\
 T_hot_in_2 &= T[2] \\
 T_hot_out_2 &= T[3] \\
 T_c_in_2 &= T[6] \\
 T_c_out_2 &= T[7]
 \end{aligned}$$

"Bero transmisioa W-tan 2, zonaldearen azalera lortzeko"

$$\begin{aligned}
 Q_DOT_2 &= m_dot_ref*(h[7]-h[6])*Convert(KW;W) \\
 Q_DOT_2 &= U_2*A_2*DELTAT_Im_2
 \end{aligned}$$

"(3) ZONALDEA"

"Kamisetako uraren bero transferentzi koefizientea"

$$\begin{aligned}
 \text{Nus}_w_3 &= C \cdot (\text{Re}_w_3^m) \cdot (\text{Pr}_w_3^O) \\
 T_{w_3_in} &= T[1] \\
 T_{w_3_out} &= T[2] \\
 \text{Re}_w_3 &= (v \cdot (D_{equi})) / \nu_w_3 \\
 \nu_w_3 &= \text{KinematicViscosity}(\text{Water}; T=T[1]; P=P_w)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Pr}_w_3 &= \text{Prandtl}(\text{Water}; T=T[1]; P=P_w) \\
 k_w_3 &= \text{Conductivity}(\text{Water}; T=T[1]; P=P_w) \\
 h_w_3 &= (\text{Nus}_w_3 \cdot k_w_3) / D_{out}
 \end{aligned}$$

"Hozgarriaren bero transferentzi koefizientea"

$$\text{Nus}_{ref_3} = (((f_3/8) \cdot (\text{Re}_{ref_3} - 1000) \cdot \text{Pr}_{ref_3}) / (1 + 12,7 \cdot ((f_3/8)^{0,5}) \cdot (\text{Pr}_{ref_3}^{2/3} - 1)))$$

$$\text{Re}_{ref_3} = (v_{ref_3} \cdot D_{equi}) / \nu_{ref_3}$$

$$\nu_{ref_3} = \text{KinematicViscosity}(\text{fluido}; T=T[8]; P=P[5])$$

$$f_3 = (0,79 \cdot \ln(\text{Re}_{ref_3}) - 1,64)^{-2}$$

$$\rho_{ref_3} = \text{Density}(\text{fluido}; T=(T[8]+T[7])/2; P=P[5])$$

$$v_{ref_3} = (m_{dot_ref}) / (\rho_{ref_3} \cdot (A_s))$$

$$\text{Pr}_{ref_3} = \text{Prandtl}(\text{fluido}; T=(T[8]+T[7])/2; P=P[5])$$

$$k_{ref_3} = \text{Conductivity}(\text{fluido}; T=(T[8]+T[7])/2; P=P[5])$$

$$h_{ref_3} = (\text{Nus}_{ref_3} \cdot k_{ref_3}) / (D_{out})$$

$$T_{h_in_3} = T[1] \quad \text{"unmixed fluid inlet temperature"}$$

$$T_{h_ou_3} = T[2] \quad \text{"unmixed fluid inlet temperature"}$$

$$t_{co_in_3} = T[7] \quad \text{"mixed fluid inlet temperature"}$$

$$t_{co_ou_3} = T[8] \quad \text{"mixed fluid outlet temperature"}$$

$$P_{lurr_3} = (t_{co_ou_3} - t_{co_in_3}) / (T_{h_in_3} - t_{co_in_3})$$

$$R_{lurr_3} = (T_{h_in_3} - T_{h_ou_3}) / (t_{co_ou_3} - t_{co_in_3})$$

$$F_{lurr_3} = \text{LMTD_CF}(\text{'shell\&tube_1'}; P_{lurr_3}; R_{lurr_3})$$

$$\text{Nus}_{ref_3_3} = \text{Nus}_{ref_3} \cdot F_{lurr_3}$$

```

#####
##"
#####
##"
  
```

"3 Zonaldearen bero transferentzi koefizientea, hozgarri eta ura erresistentziak seriean hartuz "

$$(1/U_3) = ((1) \cdot ((1/h_{ref_3}) + (1/h_w_3)))$$

"Batez besteko tenperatura logaritmikoa"

$$\text{DELTAT}_{Im_3} = (\text{DELTAT}_{in_3} - \text{DELTAT}_{out_3}) / \ln(\text{DELTAT}_{in_3} / \text{DELTAT}_{out_3})$$

$$\text{DELTAT}_{in_3} = T_{hot_out_3} - T_{c_in_3}$$

$$\text{DELTAT}_{out_3} = T_{hot_in_3} - T_{c_out_3}$$

$$\begin{aligned}
 T_{hot_in_3} &= T[3] \\
 T_{hot_out_3} &= T[4] \\
 T_{c_in_3} &= T[7] \\
 T_{c_out_3} &= T[8]
 \end{aligned}$$

"Bero transmisioa W-tan 3. zonaldearen azalera lortzeko"

$$\begin{aligned}
 Q_{DOT_3} &= m_{dot_ref} \cdot (h[8] - h[7]) && \text{"3 zonaldeko bero transmisioa W-tan"} \\
 Q_{DOT_3} &= U_3 \cdot A_3 \cdot F_{lurr_3} \cdot \Delta T_{Im_3} \cdot \text{Convert}(W;KW)
 \end{aligned}$$

$$A_{total} = A_1 + A_2 + A_3$$

"Batez besteko tenperatura logaritmikoa"

$$\begin{aligned}
 \Delta T_{Im_lurrun} &= (\Delta T_{in_lurrun} - \Delta T_{out_lurrun}) / \ln(\Delta T_{in_lurrun} / \Delta T_{out_lurrun}) \\
 \Delta T_{in_lurrun} &= T_{hot_out_lurrun} - T_{c_in_lurrun} \\
 \Delta T_{out_lurrun} &= T_{hot_in_lurrun} - T_{c_out_lurrun} \\
 T_{hot_in_lurrun} &= T[1] \\
 T_{hot_out_lurrun} &= T[4] \\
 T_{c_in_lurrun} &= T[5] \\
 T_{c_out_lurrun} &= T[8]
 \end{aligned}$$

"Bero transmisioa W-tan 3. zonaldearen azalera lortzeko"

$$\begin{aligned}
 Q_{DOT_lurrun} &= m_{dot_ref} \cdot (h[8] - h[5]) && \text{"zonaldeko bero transmisioa W-tan"} \\
 Q_{DOT_lurrun} &= U_{lurrun} \cdot A_{total} \cdot F_{lurr_lu} \cdot \Delta T_{Im_lurrun} \cdot \text{Convert}(W;KW)
 \end{aligned}$$

$$L_{lurrun} = A_{total} / (\pi \cdot N \cdot D_{out}) \quad \text{"zonaldearen luzeera"}$$

$$U_{max} = 2000$$

$$U_{min} = 500$$

$$Q_{DOT_lurrun} = U_{max} \cdot A_{min} \cdot F_{lurr_lu} \cdot \Delta T_{Im_lurrun} \cdot \text{Convert}(W;KW)$$

$$Q_{DOT_lurrun} = U_{min} \cdot A_{max} \cdot F_{lurr_lu} \cdot \Delta T_{Im_lurrun} \cdot \text{Convert}(W;KW)$$

$$L_{max} = A_{max} / (D_{out} \cdot N \cdot \pi)$$

$$L_{min} = A_{min} / (D_{out} \cdot N \cdot \pi)$$

$$U_{lurrun_1} = 1000$$

$$T_{h_in_lu} = T[1] \quad \text{"unmixed fluid inlet temperature"}$$

$$T_{h_ou_lu} = T[4] \quad \text{"unmixed fluid inlet temperature"}$$

$$t_{co_in_lu} = T[5] \quad \text{"mixed fluid inlet temperature"}$$

$$t_{co_ou_lu} = T[8] \quad \text{"mixed fluid outlet temperature"}$$

$$P_{lurr_lu} = (t_{co_ou_lu} - t_{co_in_lu}) / (T_{h_in_lu} - t_{co_in_lu})$$

$$R_{lurr_lu} = (T_{h_in_lu} - T_{h_ou_lu}) / (t_{co_ou_lu} - t_{co_in_lu})$$

$$F_{lurr_lu} = \text{LMTD_CF}('shell\&tube_1'; P_{lurr_lu}; R_{lurr_lu})$$

$$Q_{DOT_lurrun} = U_{lurrun_1} \cdot A_{total_1} \cdot F_{lurr_lu} \cdot \Delta T_{Im_lurrun} \cdot \text{Convert}(W;KW)$$

$$N = A_{total_1} / (L_{total_1} \cdot \pi \cdot (D_{out} + e))$$