

GIPUZKOAKO INGENIARITZA ESKOLA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE GIPUZKOA

EIBAR

GrAL: TERMOEKONOMIAREN APLIKAZIOA nZEB ERAIKIN BATEN UBS ETA BEROKUNTZA SISTEMAN

1. DOKUMENTUA: MEMORIA
2. DOKUMENTUA: KALKULU GEHIGARRIAK
3. DOKUMENTUA: MATLAB KODEA
4. DOKUMENTUA: AURREKONTUA
5. DOKUMENTUA: LABURPENA

Gradua: Energia Berriztagarrien Ingenieritzako Gradua

Kurtsoa: 2019 - 2020

Egilea: Irati Prol Godoy

Zuzendaria: Ana Picallo Pérez

AURKIBIDEA

AURKIBIDEA.....	2
IRUDIEN aurkibidea	4
TAULEN aurkibidea.....	4
NOMENKLATURA.....	6
TERMODINAMIKA	6
TERMOEKONOMIA	6
EXERGOEKONOMIA	6
BEKTORE ETA MATRIZEAK.....	6
1. DOKUMENTUA: MEMORIA.....	8
OINARRI TEORIKOAK	9
SARRERA.....	9
NZEB -NEARLY ZERO ENERGY BUILDING-	9
<i>Energia errendimenduaren adierazlea Europar Batasunean.....</i>	<i>10</i>
TERMODINAMIKAREN PRINTZIOAK	10
<i>Lehen printzipioa.....</i>	<i>11</i>
<i>Bigarren printzipioa</i>	<i>11</i>
Exergia.....	11
TERMOEKONOMIA	12
<i>Instalazioen egitura fisikoa.....</i>	<i>12</i>
<i>Instalazioen datu termodinamikoak.....</i>	<i>13</i>
<i>Masa, energia eta exergia balantzeak.....</i>	<i>13</i>
<i>Egitura produktiboa</i>	<i>14</i>
Fuel eta produktuen definizioa	14
Itzulezintasunak.....	15
Errendimendu exergetikoa eta kontsumo exergetiko unitarioa	16
<i>Kostu eta exergiaren kontabilitatea</i>	<i>17</i>
Exergia-kostua eta exergoekonomia-kostua.....	17
<i>Exergia-kostuaren teoria</i>	<i>18</i>
Exergia-kostuaren Teoriaren Proposizioak	18
Ekuazio sistemaren itxiera	20
<i>FP formulazioa edo eskaintza-eredua</i>	<i>21</i>
<i>PF formulazioa edo eskaera-eredua</i>	<i>22</i>
<i>FP eta PF formulazioen arteko erlazioa</i>	<i>22</i>
<i>Produktu eta fuelen exergia-kostuak.....</i>	<i>22</i>
<i>Exergoekonomia-kostuak.....</i>	<i>23</i>
IKERKETA KASUA.....	25
ERAIKINAREN DESKRIBAPENA.....	25
ERAIKINAREN INGURATZAILEA	25
ERAIKINAREN BEROKUNTZA ETA UBS SISTEMA	26
<i>Instalazioko osagaien deskribapena.....</i>	<i>27</i>
TERMOEKONOMIAREN APLIKAZIOA	29
INSTALAZIOAREN EGITURA FISIKOA	29
MASA, ENERGIA ETA EXERGIA BALANTZEAK.....	31
INSTALAZIOAREN EGITURA PRODUKTIBOA.....	33
ETEKIN ENERGETIKO ETA ETEKIN EXERGETIKOA	36
EXERGIA-KOSTUAREN TEORIA	38
<i>Kostu exergetikoaren teoriaren proposizioak.....</i>	<i>38</i>

<i>Ekuzio sistemaren itxiera</i>	39
FP FORMULAZIOA EDO ESKAINTZA-EREDUA.....	44
PF FORMULAZIOA EDO ESKAERA-EREDUA.....	46
PRODUKTU ETA FUELEN EXERGIA KOSTUAK.....	48
EXERGOEKONOMIA-KOSTUAK.....	51
ONDORIOAK.....	55
BIBLIOGRAFIA.....	57
2. DOKUMENTUA: KALKULU GEHIGARRIAK.....	58
KOSTU FINKO IRAUNKOR TOTALA.....	59
UR HOTZAREN EXERGIA-KOSTUA.....	59
GAS NATURALAREN EXERGIA-KOSTUA.....	60
3. DOKUMENTUA: MATLAB KODEA.....	61
4. DOKUMENTUA: AURREKONTUA.....	72
GASTUEN ANALISIA.....	73
BARNE ORDUAK.....	73
AMORTIZAZIOAK.....	73
GASTUAK.....	73
5. DOKUMENTUA: LABURPENA.....	74
LABURPENA.....	75

IRUDIEN AURKIBIDEA

Irudia 1. Fuel eta produktuen definizioen arabera irudikatutako sistema.....	15
Irudia 2. Irteerako-fluxua fuelaren parte den ekipoa.....	19
Irudia 3. Irteerako bi fluxu produktuaren parte diren ekipoa.....	20
Irudia 4. Vitoria-Gasteizen dagoen NZEB eraikina.....	25
Irudia 5. Instalazioko galdara.....	27
Irudia 6. Kogenerazioko motorra.....	27
Irudia 7. Instalazioaren eskema hidrauliko sinplifikatua eta ekipoen numerazioa.....	29
Irudia 8. Instalazioko fluxuak zenbakituta eta masa fluxuak adierazita.....	30
Irudia 9. Instalazioa kutxa-beltz moduan irudikatuta.....	31

TAULEN AURKIBIDEA

Taula 1. Galdararen ezaugarriak.....	27
Taula 2. Kogenerazioko motorren ezaugarriak.....	28
Taula 3. Instalazioa osatzen duten ekipoa.....	29
Taula 4. A intzidentzia-matrizea (leku espazioak direla medio, bi taulatan banatuta).....	31
Taula 5. a intzidentzia matrize-globala.....	31
Taula 6. M masa matrizearen iraulia (leku espazioak direla medio, 5 lerrotan adierazita).....	32
Taula 7. T temperatura matrizea (leku espazioak direla medio, 5 lerrotan adierazita).....	32
Taula 8. Exergia eta energia kalkuluak egiteko temperatura gehigarriak.....	32
Taula 9. H energia matrizea (leku espazioak direla medio, 5 lerrotan adierazita).....	33
Taula 10. B exergia matrizea (leku espazioak direla medio, 5 lerrotan adierazita).....	33
Taula 11. Ekipo bakoitzaren fuel eta produktuak.....	34
Taula 12. AF fuelen intzidentzia-matrizea (leku espazioak direla medio, bi taulatan banatuta).....	35
Taula 13. AP produktuen intzidentzia-matrizea (leku espazioak direla medio, bi taulatan banatuta).....	35
Taula 14. aF fuelen intzidentzia-matrize globala.....	35
Taula 15. aP produktuen intzidentzia-matrize globala.....	35
Taula 16. Fuelen (F) eta produktuen (P) matrizeak.....	36
Taula 17. η_j eta ϕ_j , talde bakoitzaren energia eta exergia etekinak.....	37
Taula 18. ω_e sarrerako bektorea, osagai bakoitzari dagokion fluxuarekin.....	38
Taula 19. KD kostu exergetiko unitarioaren matrizearen diagonal nagusia.....	40
Taula 20. J_x (50,50) dimentsioko matrizea. (leku espazioak direla medio, hainbat taulatan adierazita).....	43
Taula 21. FP (22,22) dimentsioko y_{ij} -ren menpeko banatze matrizea.....	44
Taula 22. PTPt (1,22) dimentsioko matrizea.....	45
Taula 23. FP matrizearen zutabe bakoitzaren lerroen batura eta PTPt matrizea.....	45
Taula 24. (PF) (22,22) dimentsioko PF formulazioko banatze matrizea.....	46
Taula 25. FTFt (1,22) dimentsioko matrizea.....	47
Taula 26. PF matrizearen zutabe bakoitzaren lerroen batura eta FTFt matrizea.....	48
Taula 27. Ke^*t_1 , n dimentsioko fuel totalaren kontsumo exergetiko unitarioaren bektorea.....	49
Taula 28. kF^* eta kP^* , n, 1 dimentsioetako fuel eta produktuen exergia-kostu unitarioen bektoreak.....	49
Taula 29. Sorgailuaren, banaketaren, tankeen eta amaierako kF^* balioak.....	50

Taula 30. Sorgailuaren, banaketaren, tankeen eta amaierako kP^* balioak.....	50
Taula 31. kP^*/kF^* ratioak	51
Taula 32. Instalazioaren bizitza erabilgarria, urteko interes efektiboa eta kostu finko totalak	51
Taula 33. Talde bakoitzaren datu ekonomikoak	52
Taula 34. Ur hotzaren eta gas naturalaren exergia-kostuak.....	52
Taula 35. Ekipo bakoitzaren kanpo baliabideen exergoekonomia-kostuak, cF , cP , CF eta CP	53
Taula 36. Ekipo bakoitzaren exergoekonomia-kostu totalak.....	54
Taula 37. Barne orduak.....	73
Taula 38. Amortizazioak.....	73

NOMENKLATURA

Matematika adierazpenetan galdu ez gaitzen, hona hemen proiektu honetan zehar erabiliko den termodinamika eta termoekonomiarekin lotutako nomenklatura eta bektore eta matrizeak.

TERMODINAMIKA

- W_{ext} : kanpo indarren lana
- ΔU : energiaren aldaketa
- W : lana
- Q : beroa

- B : exergia
- \dot{m} : masa-fluxua
- C_p : bero espezifiko
- Δt : sistema aztertzen den denbora tartea
- T : tenperatura
- T_0 : inguruko tenperatura
- V : bolumena
- H : energia
- T_{konf} : konfort tenperatura
- FQ : kalitate-faktorea

TERMOEKONOMIA

- n : azpisistema kopurua
- m : fluxu kopurua
- e : sistemara sartzen den fluxu kopurua
- P : produktua
- F : fuela
- φ_j : j osagaiaren errendimendu exergetikoa
- k_j : j osagaiaren kontsumo exergetiko unitarioa
- k_j^* : j osagaiaren exergia-kostu unitarioa
- C_j : j osagaiaren exergoekonomia-kostua
- c_j : j osagaiaren exergoekonomia-kostu unitarioa
- x_{ij} : Adarkatze parametroa

EXERGOEKONOMIA

- CAE_{TOT} : inbertsio guztiaren balioa
- n : instalazioaren bizitza erabilgarria
- i : urteko interes efektiboa
- f_{rec} : kapital-berreskuratze faktorea
- Am : amortizazio totala
- $O\&M$: operazio eta mantenu kostua

BEKTORE ETA MATRIZEAK

- A : intzidentzia-matrizea (n, m)
- a : intzidentzia-matrize globala $(1, m)$
- M : emari-masikoen bektorea $(m, 1)$
- H : energia bektorea $(m, 1)$
- B : exergia bektorea $(m, 1)$

- A_F : fuelen intzidentzia-matrizea (n, m)
- A_P : produktuen intzidentzia-matrizea (n, m)
- a_F : fuelen intzidentzia-matrize globala $(1, m)$
- a_P : produktuen intzidentzia-matrize globala $(1, m)$
- F : fuelen matrizea $(n, 1)$
- P : produktuen matrizea $(n, 1)$
- H_D : Errendimendu exergetiko unitarioaren matrize diagonalala (n, n)
- K_D : Kontsumo exergetiko unitarioaren matrize diagonalala (n, n)
- J : Balantze exergetikoaren matrizea (n, m)
- B^* : koste exergetikoen bektorea $(m, 1)$
- α_e : Sarrerako matrizea (e, m)
- ω_e : Sarrerako bektorea $(e, 1)$
- α_x : Adarkatze matrizea $[(m - n - e), m]$
- α_{ex} : α_e eta α_x -en gainazarpen matrizea $[(m - n), m]$
- \mathbb{J}_x : Matrize hedatua (m, m)
- \mathbb{Y}_e : Sarrera bektore hedatua $(m, 1)$
- \mathbb{A}_P : Produktuen matrize hedatua (m, m)
- $\langle FP \rangle$: FP formulazioko banatze-matrizea (n, n)
- $\langle P_T P \rangle$: Ekipo bakoitzaren irteera produktuen ehunekoaren bektorea $(1, n)$
- $\langle PF \rangle$: PF formulazioko banatze-matrizea (n, n)
- $\langle F_T F \rangle$: Ekipo bakoitzaren kanpo fuelaren ehunekoaren bektorea $(1, n)$
- $\langle KP \rangle$: Kontsumo exergetiko unitarioen matrizea (n, n)
- K_e^* : Fuel totalaren kontsumo exergetiko unitarioaren bektorea $(1, n)$
- k_p^* : Produktuen exergia-kostu unitarioaren bektorea $(n, 1)$
- k_f^* : Fuelen exergia-kostu unitarioaren bektorea $(n, 1)$
- CF : Kostu finkoen bektorea $(n, 1)$
- Z : amortizazio, mantenu eta operazio kostuen bektorea $(n, 1)$

GIPUZKOAKO INGENIARITZA ESKOLA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE GIPUZKOA

EIBAR

GrAL: TERMOEKONOMIAREN APLIKAZIOA nZEB ERAIKIN BATEN UBS ETA BEROKUNTZA SISTEMAN

1. DOKUMENTUA: MEMORIA

Gradua: Energia Berriztagarrien Ingenieritzako Gradua

Kurtsoa: 2019 - 2020

Egilea: Irati Prol Godoy

Zuzendaria: Ana Picallo Pérez

OINARRI TEORIKOAK

Hasierako atal honetan sarrera eta lana garatzeko behar diren kontzeptuak azalduko dira.

SARRERA

Eraikinen instalazio termikoak hainbat elementuz eginda daude: galdarak, ponpak, kolektoreak, balbulak, etab. Analisi termodinamiko klasiko bat, masa eta energia balantzeak eginez prozesuak deskribatzean datza. Halaber, analisirako metodo ezberdin bat garatu da Termodinamikaren bi Printzipioak kontuan hartzen dituen eta metodologia exergetikoa deritzogu. Exergia balantzea eginez, irrebertsibilitateen kuantifikazioa ahalbidetzen da, bai eta zein taldetan diren handienak identifikatzea.

Instalazio termikoak konplexuak izan daitezkeenez, ekipoak, fluxuak eta kalkuluak irudikatze sinbologia sinplea behar da. Grafoen teoriak Tutte 2001 [1] eta Algebra Matrizialak, Lipschutz 1992 [2], hori lortzeko behar diren tresnak ematen ditu. Izan ere, intzidentzia matrizearen bidez, sistemaren egitura fisikoaren errepresentazio algebraikoa lortzen da. Horrela, fluxuen eta energiaren errepresentazio bektoriala egin ahal izango da; emariren, masa, energia eta exergiaren balantzeak modu azkar eta konpaktuan egin ahal izateko kalkulu matrizialaren bidez.

Baliabide naturalen etengabeko eskaerak eta ingurumenarekiko kezak, sistema energetikoak hobeto ulertzeko diziplina berriak eta hauen diseinua eta operazioa hobetzeko tresnak sortzeko premia sortu dute, inguruarekiko duten inpaktua murriztu dadin. Termoeconomia, honen ondorioz sortu den ea Fisika eta Ekonomia erlazionatzen dituen diziplina bat da. Termoeconomiaaren Bigarren Printzipioan oinarritzen da eta baliabide naturalen erabilera efizientean laguntzen du.

Analisi exergetikoan ez bezala, analisi termoeconomikoa egiteko balio ekonomikoak barneratzea beharrezkoa da. Horrela, sistemaren egitura produktiboa edo ekonomikoa definitu beharko da, instalazioaren egitura fisikoaz gain -ekipoetan eta masa eta energia fluxuetan oinarritzen dena-. Sistemaren egitura produktiboa egiteko, sistemaren fluxu guztiak fuel eta/edo produktu moduan ezarri beharko dira.

NZEB -NEARLY ZERO ENERGY BUILDING-

Ia energia kontsumorik gabeko eraikinak (nZEB ingelesez) energia-errendimendu handiko eraikinak dira, berotegi-efektuko gasen isurketak eta energiaren erabilera murrizteko modu eraginkorrak erabiltzen dituzte, EBren independentzia energetikoa bultzatuz.

Energetikoki efizienteak diren eraikin gehiago estimulatzeke, eraikinen eraginkortasun energetikoari buruzko zuzentarauak (EPBD, 2010/31/EE)[3] nZEB eraikinak, energia-errendimendu oso altuko eraikina bezala definitu du, behar duen energia-kantitate ia nulua edo oso baxua, tokian edo inguruan ekoiztutako iturri berriztagarriengatik asetu behar delarik.

Energia errendimenduaren adierazlea Europar Batasunean

Herrialde gehienetan, nZEBen definizioak lehen mailako gehieneko energia maximoa hartzen dute adierazle nagusi bezala.

Kasu batzuetan (adibidez, Herbehereak eta Belgikako Flandria), lehenengo mailako energia, dimentsiorik gabeko koefiziente baten bidez ebaluatzen da, eraikinen lehen mailako energiaren erabilera antzeko ezaugarriak dituen "erreferentziatzko" eraikin batekin alderatuz (adibidez, eraikinaren geometria). Hainbat herrialdetan (adibidez, Erresuma Batuan, Norvegiar eta Espainian) karbono-isurketak erabiltzen dira adierazle nagusi bezala, beste batzuetan (adibidez, Austrian eta Errumanian), karbono-isurketak energia primarioaren erabileraren adierazle osagarri gisa erabiltzen dira.

Bizitegi-eraikinetan, jurisdikzio gehienek energia primarioaren erabilera gehienek $50 \text{ kWh/m}^2_{\text{urte}}$ izatea da helburua [4]. Sarritan, baldintza desberdinak ezartzen dira etxebizitza familia-bakarretarako, baita apartamentu-eraikinetarako ere, eta balio altuagoak ezartzen dira klima hotzagoa duten eskualdeetarako (adibidez, Frantzia eta Errumania).

Lehen mailako energia kontsumitzeko baldintzaz gain, herrialde gehienek energiaren azken erabilerari buruzko betekizun bereziak ezartzen dituzte, Europako Normalizazio Batzordeak iradoki bezala.

Jurisdikzio gehienetan, berokuntzarako beharrezkoa den azken energiari buruzkoak dira (adibidez, Zipren, Letonian, Eslovenian edo Bruselan Eskualde Hiriburua), edo eraikinaren batez besteko transmisio-koefizienteari buruzkoak (adibidez, Txekiar Errepublikan); kasu batzuetan (adibidez, Danimarkan eta Brusela Hiriburuan), eraikinaren estankotasunaren ebaluazioa ere sartzen da. Kasu batzuetan (adibidez, Frantzia, Danimarkan, Brusela hiriburuan eta Flandrian), baldintza gehigarriak ezartzen dira sistema teknikoetan jarduteko (adibidez, berokuntza- eta aireztapen-unitateak) horrela, eraikina gehiegi berotzeko arriskua murriztuz. [4]

Espainian, CTE-k, Energia Aurrezteko Oinarrizko Dokumentua DB-HE [5], arautzen du ia energia kontsumorik gabeko eraikinak. Dokumentu honen helburua eraikinek energia gutxi edo oso gutxi kontsumitzea da, eta, beraz, gutxi edo oso gutxi kutsatzea, bereziki orain, larrialdi klimatiko betean. Energia-kontsumo ia nuluko eraikin bat (nZEB) Passivhaus estandarraren irizpideen arabera diseinatu eta eraikitako eraikin baten antzekoena da. CTEaren azken aldaketako Energia Aurrezteko Oinarrizko Dokumentuak (DB-HE), hain zuzen ere, nZEB eraikinak eraikitzea sustatzen du. CTE berria nahitaez aplikatu beharko da indarrean sartu eta 9 hilabetera, hau da, 2019ko abenduaren 28tik aurrera, egun hori barne.

TERMODINAMIKAREN PRINTZIPIOAK

Termodinamika diziplina fenomenologiko bat bezala defini daiteke, sistemetan gertatzen diren fenomenoak ikuspuntu makroskopikotik aztertzen dituen, ezaugarri fisiko makroskopiko behagarri eta neurgarrien arabera. Ez du hipotesirik egiten gaiaren osaerari buruz.

Sistema termodinamiko bat espazioaren eta bere edukia zati bat bezala definituko da, azterketaren xedea, unibertsoaren gainerakotik horma erreal edo fikziozko batek banandua. Sistemaren neurriek ezaugarri makroskopikoak definitu ahal izateko bezain handiak izan behar dute.

Termodinamikan, sistema baten egoera ezaugarri makroskopiko jakin batzuk dituzten balioen bidez deskribatzen da, aldagai edo koordenatu termodinamiko deituak. Horiek guztiak zuzenean neur daitezke, eta ulertzeko ez da eskatzen materiaren egiturari buruzko hipotesi berezirik. Aldagai horien adibide dira presioa, bolumena, temperatura, konposizio kimikoa eta abar. [6]

Lehen printzipioa

Sistema termodinamiko batek bere ingurunearekin energia truka dezake lan eta bero moduan, eta energia metatzen du barne energia moduan. Hiru magnitude horien arteko erlazioa energiaren kontserbazio-printzipioaren arabera da.

Hortaz, sistema termodinamikoei aplikatutako energiaren kontserbazio printzipioaren enuntziatua Termodinamikaren Lehen Printzipioa bezala ezagutzen da eta honelako ekuazioarekin adierazten da:

$$Q = W + \Delta U \quad (1.)$$

Non, Q beroa, W lana eta ΔU barne energia aldaketa diren.

Bigarren printzipioa

Termodinamikaren Bigarren Printzipioa zenbait formulazio baliokidetan adierazten da: alde batetik, Kevin-Planck-en enuntziatuaren arabera, xurgatutako bero guztia ezin da lan bihurtu eta bestalde, Clausius-en enuntziatuaren arabera, ez dago prozesurik, bere emaitza bakarra gorputz hotz batetik beroago batera beroa botatzea dena.

Horrela, Termodinamikaren Bigarren Printzipioak adierazten du prozesu bat noiz gertatu daitekeen edo ez, betiere Lehen Printzipioa betetzen delarik.

Exergia

Exergia energiaren kalitatea adierazten duen propietate termodinamiko bat da. Sistema baten energiaren zati bat lan mekanikoan, elektrikoan edo bestelako lanean bihurtu daiteke; halaber, Termodinamikaren Bigarren Printzipioak mugatu egiten du sistema batek sor dezakeen lan kopurua, baina, horrez gain, muga praktiko bat ere badago, sistemak ingurunearekiko energia biltegitratzen badu bakarrik sortu dezakeelako lana. Horrela, lan erabilgarrian bihurtu daitekeen gehieneko energia-kopuruari exergia deitzen zaio, erabilgarri moduan ingurunearen aurka egiteko erabiltzen ez den lana ulertzen bada.

Berokuntza sistema batean dauden taldeen exergiak modu ezberdinetan kalkulatu dira, bai taldearen ezaugarrien arabera bai eta ezagutzen diren propietate fisikoen (adibidez masa edo temperatura) arabera.

- Masa fluxua (\dot{m}) eta temperatura (T) ezagutzen badira:

$$B = \dot{m} \cdot Cp \cdot \Delta t \cdot \left((T - T_0) - T_0 \cdot \ln \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.)$$

Non T_0 inguruko temperatura eta Δt sistema aztertzen den denbora tartea diren.

- Tanke baten exergia:

$$\Delta B = Cp \cdot V \cdot \left((T_{t-1} - T) - T_0 \cdot \ln \frac{T_{t-1}}{T} \right) \quad (3.)$$

Non V tankearen bolumena eta T_{t-1} kontsideratzen den uneari denbora unitate bat kenduta fluxuak zuen temperatura diren.

- Berokuntza-sistema baten exergia:

$$B = H \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_{konf}}\right) \quad (4.)$$

Non H berokuntza-sistemak ematen duen energia den eta T_{konf} bero-fluxuak duen temperatura maila diren; eraikinaren konfort temperaturaren arabera mugatzen da, alegia.

- Fuel baten exergia:

$$B = FQ \cdot H \quad (5.)$$

Non FQ fuelaren kalitate-faktorea den eta H fuelak ematen duen energia.

Exergia ez da kontserbakorra. Transformazio energetikoak ematen direnean, itzulezintasunak ematen dira, hau da, lan erabilgarria ekoizteko gaitasuna galdu egiten da, alegia, exergia suntsiketa bat gertatzen da. Exergia suntsiketa positiboa denean, prozesu itzulezina izango da; exergia suntsiketa nulua denean, prozesua itzulgarria izango da eta exergia suntsiketa negatiboa denean, ezinezko prozesua izango da.

TERMOEKONOMIA

Sarreran esan den bezala, Termoeconomia, analisi termodinamikoak, ekonomikoarekin konbinatzen dituen diziplina da. Berokuntza eta UBS-rako instalazio bat, ikuspegi ekonomikotik aztertzen bada, erabilitako baliabideen kostuak, ekipoen inbertsioak eta mantenu eta operazio kostuak lor daitezke, baina ez du adierazten nola banatzen diren kostu horiek instalazioaren produktuetan zehar. Bestalde, analisi termodinamikoak prozesuen errendimenduak identifikatzen eta irrebetsibilitateak kuantifikatzen ahalbidetzen du, baina ez du ebaluatzen irrebetsibilitateek prozesu osoarekiko errepresentatzen dutena.

Termoekonomiak, analisi ekonomikoa eta termodinamikoak konbinatzen ditu, kostu kontzeptua – kontzeptu ekonomikoa dena – exergiari aplikatuz. Exergia, energia kantitatea bere kalitatearekin erlazionatzen dituen aldagai termodinamikoak da.

Instalazioen egitura fisikoa

Instalazio bat entitate konplexu bat da, elkarren artean eta ingurunearekin erlazionatuta dauden hainbat ekipo edo azpistemaz osatua. Azpistemen aukeraketa pragmatikoa da, egin nahi den analisi motaren arabera. Instalazio termikoak kontuan hartzeko modu hau duela urte asko ezagutzen den Sistemen Teoria Orokorraren aplikazio bati dagokio, Klir 1969 [7]; hainbat diziplinatan aplika daiteke eta analisi energetikoan erabiltzen da, Chandrashekar eta Wong 1983 [8] lanetan adierazten den bezala.

Horrela, instalazio energetiko bat ekipo edo azpistema batzuek eta materia-, bero- eta/edo lan-fluxu batzuek osatutako multzotzat har daiteke, horien bidez ekipoak elkarren artean eta instalazioaren ingurunearekin erlazionatzen baitira. Fluxu bakoitza elkarrekin erlazionatzen diren osagaien bikoteak definitzen du; A intzidentzia-matrizeak, berriz, fluxuak eta osagaiak nola konektatuta dauden zehazten du. (n, m) dimentsioko matrize bat da, non n ekipo-kopurua den eta m fluxu-kopurua, 0 eta 1ez osatua; beraz, $A(i, j)$ osagai generikoa honelakoa da:

$$A(i, j) = \begin{cases} +1 & \text{ekipotik irtetzen den fluxua bada} \\ -1 & \text{ekipora sartzen den fluxua bada} \\ 0 & \text{fluxuaren eta ekipoaren artean ez badago erlaziorik} \end{cases} \quad (6.)$$

Barneko korrante oro bi aldiz islatzen da matrizean. j fluxuari dagokion j zutabearen gainean, -1 balioa agertuko da jatorriko ekipoaren ilaran, eta +1 doan ekipoaren ilaran. Beraz, zutabe jakin baterako, intzidentzia-matrizearen errenkada guztien baturak balio nulua izango du, ingurunearekin trukaturako fluxuei dagozkienak izan ezik, horiek +1 edo -1 izango baitira, instalazioaren sarrera- edo irteera-fluxuen arabera.

Matrizearen dimentsioa (n, m) zenbat eta handiagoa izan, orduan eta handiagoa izango da sistema aztertu nahi den xehetasun-maila.

Analisia sinplifikatzeko bloke bakar batean bi ekipo edo gehiago taldekatzen badira, bloke horri dagokion ilara bildutako ekipoen batura izango da; kasu horretan, intzidentzia-matrizea $a_{(1,m)}$ izango da, non a_j elementu generikoak j korrontearen eta instalazioaren arteko erlazioa adierazten duen, instalaziora kanpotik sartu eta irteten diren fluxuak +1 eta -1ekin eta instalazioaren barneko fluxu guztiekin agertuz. $a_{(1,m)}$ intzidentzia-matrizea ingurunearen osagarria da, eta erlazioa egiaztatzen du.

$${}^t u A = a \quad (7.)$$

Non u $(n, 1)$ dimentsioko bektore unitarioa den eta ${}^t u$ u ren iraulia den eta, beraz, $(1, n)$ dimentsiokoa.

Instalazioen datu termodinamikoak

Egitura fisikoan jasotako informazioa monitorizazio-sistemak emandako datu errealeatik dator, edo, bestela, instalazioaren simulagailu batetik ere etor daiteke. Datu horiek fluxu desberdinen presioak, tenperaturak, emari masikoak eta konposizioak dira, baita energia-fluxuen bidez trukaturako beroak eta potentziak ere.

Ondorio gisa, instalazio oro materia- eta energia-fluxuen bidez beren artean eta beren ingurunearekin konektaturako ekipoez osatzen dute. Analisi motaren arabera, ekipo gehiago edo gutxiago hartzen dira kontuan, hau da, hainbat ekipo fisiko biltzen dira azpisistema bakar bat osatzeko, edo alderantziz, ekipo fisiko bat hainbat azpisisteman deskonposatzen da, analisi bakoitzak instalazioaren deskribapen fisiko bat eskatzen baitu xehetasun gehiagorekin edo gutxiagorekin. Instalazioaren konfigurazio fisikoa fluxu-diagramak ematen du, eta egitura fisikoa diagraman dauden fluxu eta ekipoen aldagai termodinamiko eta fisikoak erlazionatzen dituen ekuazio multzoa da.

Masa, energia eta exergia balantzeak

Emari masikoak adierazten dituen $(m, 1)$ dimentsioko zutabe-bektorea M izena dauka -bero fluxuetan eta lan fluxuetan 0 egongo da-. Instalazioa osatzen duten n ekipoen masa-balantzea hurrengo matrize-ekuazioaren bidez adieraz daiteke.

$$A_{(n,m)} M_{(m,1)} = 0_{(n,1)} \quad (8.)$$

Instalazio osorako masa-balantzea, berriz, matrize-produktuaren bidez adieraz daiteke.

$$a_{(1,m)} M_{(m,1)} = 0_{(1,1)} \quad (9.)$$

Intzidentzia-matrizea eraiki ondoren, energia-balantzeak matrize-moduan adieraz daitezke. H $(n, 1)$ energia-bektorea honela definituko dugu: entalpia denbora-unitateko duen zutabe-bektorea, $\dot{m}_j h_j$ fluxu masikoetarako, edo, bestela, \dot{Q}_j edo \dot{W}_j , bero- eta lan-fluxuetarako, hurrenez hurren. Beraz, instalazioko n ekipo bakoitzeko energia-balantzea modu trinkoan idatz daiteke, matrize-ekuazioaren bidez.

$$A_{(n,m)} H_{(m,1)} = 0_{(n,1)} \quad (10.)$$

Instalazio osorako energia-balantzea matrize-produktua izango da.

$$a_{(1,m)} H_{(m,1)} = 0_{(1,1)} \quad (11.)$$

Era berean, instalazioko n ekipoetako exergia-balantzeak matrize-ekuazioaren bidez idatz daitezke.

$$A_{(n,m)}B_{(m,1)} = D_{(n,1)} \quad (12.)$$

Non $B (m, 1)$ dimentsioko zutabe-bektorea den, bere elementu bakoitza masa fluxuentzat $\dot{m}_j b_j$ den, $(1 - T_0/T_j)\dot{Q}_j$ bero-fluxuentzat eta \dot{W} lan-fluxuentzat.

Fluxu bakoitzaren exergia ezagutu ondoren, n ekuazioen sistema honen ebazpenak, \dot{D}_j talde bakoitzaren exergia suntsiketa kalkulatzeko aukera ematen du.

D bektorea diagnostiko bektorea deitzen da. Instalazio baten azterketa zenbat eta zehatzagoa izan orduan eta aukera gehiago izango dira analisi zehatz bat egiteko eta, azken batean, suntsipenak benetan sortzen diren tokiak aurkitzeko. Instalazioko exergia suntsiketa totala $\dot{D}_T = \sum_j \dot{D}_j$, matrize-ekuazioaren bidez lor daiteke.

$$\dot{D}_T = a B \quad (13.)$$

Izan ere,

$$\dot{D}_T = aB = {}^t uAD = {}^t uD = \sum_j \dot{D}_j \quad (14.)$$

Egitura produktiboa

Instalazio batean Termoeconomia aplikatu ahal izateko, egitura fisikoaz gain, haren egitura produktiboa edo ekonomikoa definitu behar da. Horrek esan nahi du izaera ekonomikoko kontzeptuak aplikatu behar direla. Egitura fisikoan, fluxu material zein energetiko bakoitzerako, jatorria eta helmuga ezagutzea baino ez da interesatzen; egitura produktiboan berriz, fluxu bakoitzak ekipo bakoitzean betetzen duen funtzioa zehaztu behar da.

Fuel eta produktuen definizioa

Oro har, sistema termiko orok zenbait produktu lortzeko helburu bat du, horretarako hainbat baliabide kontsumitu behar dituelarik. Horrela, ur beroko galdara baten helburua ur-emaria berotzea da, itzulerako tenperaturatik joaneko tenperaturara, eta, horretarako, erregai bat kontsumitu behar du. Zirkulazio-ponpa baten helburua emari baten presioa handitzea da, karga-galerak gaintzeko, eta, horretarako, elektrizitatea kontsumitzen du, etab. Beraz, jakin behar dugu fluxu bat ekipo batean sartutako baliabidea den, hau da, fuela, edo, aitzitik, hark sortutako produktua den.

Horrela, bada, ekipo baten P produktua nahi den efektu erabilgarria da, eta beraz, sistema termiko bateko ekipo edo osagai orori helburu bat identifikatzen zaio, hau da, produktu deituriko materia- edo energia-fluxuen multzo bat. Gerta daiteke instalazio batean produktu bat baino gehiago egotea; kasu horretan, produktuei eta koproduktuei buruz hitz egin behar da. Horixe gertatzen da, adibidez, kogenerazio-planta batean, non produktu bat sortutako elektrizitatea den eta beste produktua edo koproduktua sortutako energia termikoa. Helburu hori lortzeko, fuela deituko diogun fluxu-multzo batez osatutako baliabideak kontsumitu behar dira. Beraz, ekipo baten fuel F produktua sortzeko ekipoari eman behar zaizkion fluxuak dira.

A intzidentzia-matrizea eraiki den moduan, fuelaren eta produktuen intzidentzia-matrizeak A_F eta A_P eraiki daitezke, baita a_F eta a_P intzidentzia-matrize globalak.

$A_F (n, m)$ dimentsioko matrize bat da, 0 eta 1ez osatua; beraz, $A_F(i, j)$ osagai generikoa honelakoa da:

$$A_F(i, j) = \begin{cases} +1 & \text{ekipoaren fuela den eta sartzen den fluxua} \\ -1 & \text{ekipoaren fuela den eta irtetzen den fluxua} \\ 0 & \text{fluxuaren eta ekipoaren artean ez badago erlaziorik} \end{cases} \quad (15.)$$

$A_P (n, m)$ dimentsioko matrize bat da ere bai, 0 eta 1ez osatua eta $A_P(i, j)$ osagai generikoa honelakoa da:

$$A_p(i,j) = \begin{cases} +1 & \text{ekipoaren produktua den eta irtetzen den fluxua} \\ -1 & \text{ekipoaren produktuaren den eta sartzen den fluxua} \\ 0 & \text{fluxuaren eta ekipoaren artean ez badago erlaziorik} \end{cases} \quad (16.)$$

j azpisistemaren fuela osatzen duten fluxuen exergiaren batura aljebraikoa (sarrera-fluxuak zeinu positiboarekin eta irteera-fluxuak zeinu negatiboarekin) F_j izango da. F instalazioaren ekipo bakoitzaren fuelen exergia adierazten dituen $(n,1)$ dimentsioko bektorea izanik, hurrengo matrize-ekuazioan adierazten den moduan:

$$F = A_F B \quad (17.)$$

Era berean, F_T sistema osoaren fuel totala izanik, instalazioaren baliabideen exergia totala horrela lortzen da:

$$F_T = a_F B \quad (18.)$$

Bestalde, j azpisistemaren produktuek osatzen duten fluxuen exergiaren batura aljebraikoa P_j izango da. P instalazioaren ekipo bakoitzaren produktuak adierazten dituen $(n,1)$ dimentsioko bektorea izanik, hurrengo matrize-ekuazioan adierazten den moduan:

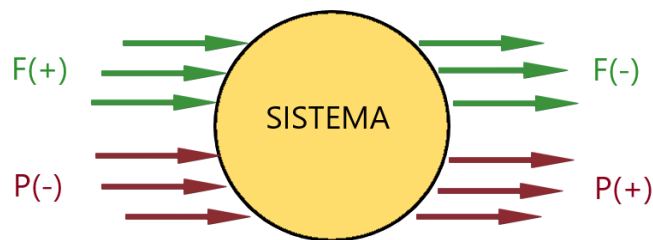
$$P = A_P B \quad (19.)$$

P_T instalazioan lortutako produktuen exergia adierazten du, horrela lortzen delarik:

$$P_T = a_P B \quad (20.)$$

Kontuan hartu zitekeen beste aldagai bat, sistema batean sortzen diren galerak (L) izango ziren, halaber, proiektu honetan analisi termoekonomikoa egiterako orduan, fuel (F) eta produktuak (P) bakarrik hartuko dira kontuan eta galerak gutxietsi egingo dira.

Itzulezintasunak



Irudia 1. Fuel eta produktuen definizioen arabera irudikatutako sistema

Sistema baten exergia-balantzea egitean, erregimen geldikorrean, sistemara sartzen den exergia, irteten denaren berdina da gehi suntsipena. Fuel eta produktuen definizioak zehaztu ondoren, azter Irudia 1-ko sistema.

Sisteman sartzen diren fluxuak + goi-indize batekin eta irteten direnak – goi-indize batekin irudikatuta, eta fluxuen sailkapen funtzionala egin ondoren, kontuan hartzen den sistemaren fuela hau izango da:

$$F = \sum \dot{B}_F^+ - \sum \dot{B}_F^- \quad (21.)$$

Era berean, sistemaren produktua:

$$P = \sum \dot{B}_p^- - \sum \dot{B}_p^+ \quad (22.)$$

Sistemaren fuelari produktuak kenduta:

$$F - P = \left(\sum \dot{B}_F^+ + \sum \dot{B}_P^+ \right) - \left(\sum \dot{B}_F^- + \sum \dot{B}_P^- \right) = \sum \dot{B}^+ - \sum \dot{B}^- = I \quad (23.)$$

Horrela,

$$F = P + I \quad (24.)$$

Ekuazio horren arabera, edozein taldetan erabiltzen diren fuel (F) guztietatik, zati bat produktura doa (P) eta bestea irrebertsibilitateetara (I) edo beste modu baten esanda, exergia suntsiketara.

Errendimendu exergetikoa eta kontsumo exergetiko unitarioa

Ikusi berri dugun bezala, itzulezintasunak direla eta, sistema batean erabiltzen den fuel guztia ez da azken produktua lortzeko baliatzen, exergia suntsiketa dela-eta. Fluxuen analisi funtzionala egin ondoren, errendimenduaren definizioa berehalakoa da; izan ere, j azpisistema edo ekipo baten eraginkortasun termodinamiko edo errendimendu exergetiko gisa definitzen da produktuaren eta ekipoaren fuelaren arteko zatidura, hau da, fueletik erabilitako exergia unitate bakoitzeko produktuan dagoen exergia.

$$\varphi_j = \frac{P_j}{F_j} \quad (25.)$$

Errendimendu exergetikoa era honetan ere adieraz daiteke:

$$\varphi_j = 1 - \frac{I_j}{F_j} \quad (26.)$$

Non taldeko itzulezintasunak diren. Batzuetan, erabilgarriagoa da aurreko koefizientearen alderantzizkoa erabiltzea, alegia, kontsumo exergetiko unitarioa, hau da, produktu-unitate bakoitzeko erabilitako fuela, erabiltzea.

$$k_j = \frac{1}{\varphi_j} = \frac{F_j}{P_j} \quad (27.)$$

Adierazpen horiek agerian uzten du errendimenduaren muga unitatea dela, sistema ideal bat dela suposatuz eta sistema horretan itzulezintasunik ez dagoela suposatuz. Era berean, kontsumo unitarioa unitatea baino handiagoa izango da beti, eta prozesu idealean unitatea lortuko da, non itzulezintasunak nuluak diren.

Era berean, instalazioaren osoaren (T_{totala}) errendimendu exergetikoa eta kontsumo exergetiko unitarioa, oro har, honako hauek dira, hurrenez hurren:

$$\varphi_T = \frac{P_T}{F_T} \quad (28.)$$

$$k_T = \frac{F_T}{P_T} \quad (29.)$$

F eta P era matritzialean erlazionatu daitezke, H_D eta K_D (n, n) dimentsioko matrize diagonalak definitzen badira. Hauek, sistemaren osagai bakoitzaren errendimendu exergetiko unitarioa eta kontsumo exergetiko unitarioa adierazten dute, hau da, $H_D = \text{diag}(\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n)$ eta $K_D = \text{diag}(k_1, k_2, \dots, k_n)$ eta $H_D = K_D^{-1}$ dela kontuan hartuta:

$$F = K_D P \quad (30.)$$

$$P = H_D F \quad (31.)$$

Honela ere adieraz daiteke fuel (F) produktu (P) eta irrebertsibilitateen (I) arteko erlazioa:

$$F - P = I \quad (32.)$$

Ondorioz,

$$I = (K_D - U_D) P \quad (33.)$$

Non U_D (n, n) dimentsioko matrize unitarioa den. Eta hortaz era berean,

$$I = (U_D - H_D) F \quad (34.)$$

Horrela, sistema osorako,

$$F_T - P_T = I_T \quad (35.)$$

Eta J (n, m) dimentsioko balantze exergetikoaren matrizea honela lortuko da:

$$J = A_F - K_D A_P \quad (36.)$$

Kontuan hartutako instalazioaren osagai bakoitzaren exergia balantzea, osagai bakoitzaren exergia kontsumo unitarioen arabera adieraz daiteke, hurrengo ekuazioaren arabera,

$$J B = 0 \quad (37.)$$

Kostu eta exergiaren kontabilitatea

Kostuen kontabilitatea gauzen kostua neurtu eta erregistratzean datzan jardura ekonomikoa da. Prozedura batzuetan datza, instalazio bateko produktuen kostu osoa edo unitarioa kalkulatzeko, adibidez, berokuntza-kostua kWh-ko, edo UBSren kostua kWh-ko edo litro bakoitzeko, etab.

Kostuen kontabilitate honen bitartez, produktuen kostua zehazten da, kontrolerako oinarriak ematen dira eta produktuei prezio batzuk esleitzeko informazioa ematen da, horrela, haien errentagarritasuna ebaluatzeko.

Exergiak energia-fluxuen balio termodinamikoa neurtzen duenez eta kostuak balioa duten produktuei esleitu behar zaizkienez, zentzu osoa du exergia kostuak esleitzeko oinarri gisa erabiltzeak.

Exergia-kostua eta exergoekonomia-kostua

Instalazio baten i fluxu baten exergia-kostua, B_i^* , fluxu hori sortzeko behar den exergia-kopurua bezala definitu daiteke Valerio et al 1983 [9]-ren arabera.

Exergia-kostua ez da aldagai termodinamikoa, ekoizpen-prozesuaren araberkoa baita. Fluxu jakin batek beti izango du exergia bera, egoera termodinamikoaren arabera, baina

bere exergia-kostua desberdina da, hori eragin duen prozesuaren perfekzio termodinamikoaren arabera. Fluxu hori sortzeko behar izen diren taldeen itzulezintasunak zenbat eta handiagoak izan, orduan eta exergia-kostu handiagoa izango dute.

Era berean, masa- edo energia-fluxu baten exergia-kostu unitarioa fluxu horren exergia-unitatea lortzeko behar den exergia-kantitatea da. B_j j fluxuaren exergia bada, eta B_j^* bere exergia-kostua bada, exergia-kostua unitarioa, hau da:

$$k_j^* = \frac{B_j^*}{B_j} \quad (38.)$$

Exergia-kostu unitarioa, $k_j^* > 1$ izango da beti, sistema orok itzulezintasunak dituelako. Sistema ideal batean, hau da, itzulezintasun gabeko sistema batean, $k_j^* = 1$ izango da, fluxu baten exergia-kostua bere exergiaren balio berdinekoa izango delako.

Exergia-unitateetan ez ezik, diru unitateetan ere adieraz daitezke kostuak. Egia esan, exergia-kostua kostu ekonomikoaren aitzindaria da. j fluxu baten kostu monetarioak edo exergoekonomikoak, C_j , fluxu hori lortzeko erabili behar izan den diru-baliabideen kopurua adierazten du. Era berean, exergoekonomia-kostu unitarioa honela definituko da:

$$c_j = \frac{C_j}{B_j} \quad (39.)$$

Exergia-kostuaren teoria

Exergia-kostuaren Teoria (EKT), Valerio et al. 1983 [9]-ek garatutakoa, kostuen kontabilitate metodo bat da, sistema baten fluxu guztien koste ertainak ebaluatzen dituen, exergia edo diru unitateetan.

Exergia-kostuaren Teoriaren Proposizioak

KETA zenbait proposizioetan oinarritzen da, eta horien aplikazio sistematikoak aztertutako sistemako fluxu, fuel eta produktuen exergia-kostuen balioa argi eta garbi zehaztea ahalbidetzen du, Querol et. al 2011 [10].

Ondoren, Exergia-kostuaren Teoriaren Proposizioak azalduko dira, sistemaren fluxuen, fuelen eta produktuen exergia-kostuak kalkulatzeko.

1. Proposizioa: Exergia-kostua propietate kontserbakorra da.

Sistema baten osagai bakoitzean, irteera-fluxuen exergia-kostuen batura eta sarrerako exergia-kostuen batura berdinak dira. Exergia-kostua kontserbakorra da eta energiaren antzeko ekuazioak asetzen ditu. n azpisisistemaz eta m fluxuz osatutako sistemaren A intzidentzia-matrizea izanik, eta, beraz, (n, m) dimentsiokoa eta B^* $(m, 1)$ dimentsioko fluxuen exergia-kostuaren bektorea izanik, sistemaren osagai bakoitzerako exergia-kostuaren balantzea honela idazten da:

$$A B^* = 0 \quad (40.)$$

Ekuazio matrizial honek n ekuazio aljebraiko ematen ditu fluxuen exergia-kostua kalkulatzeko, hau da sisteman kontuan hartu diren talde guztiak. Fluxu kopurua m denez, m ekuazio independente behar ditugu arazoa konpontzeko, oro har, $m > n$ izanik. Osagai guztiek irteera-fluxu bakarria badute, hau da, arazoa Proposizio hau aplikatuz konpontzen da. Oro har gertatzen den bezala, osagai batek edo gehiagok irteera-fluxu bat baino gehiago dutenean, osagai bakoitzerako ekuazio-kopuru gehigarri bat idatzi behar da, irteera-fluxuen kopurua ken bat.

2. Proposizioa: Sistemaren sarrerako fluxuen exergia-kostua eta haien exergia berdinak dira.

Fluxua inguruetik datorrenean (aztertutako sistemaren kontrol-azalera zeharkatzen du), exergia-kostua eta exergia berdinak dira. Baieztapen horrek esan nahi du sistemaren analisisan ez dugula kontuan hartzen bere mugetatik kanpo gertatzen dena, eta, beraz, honelako ekuazioak idatzi ahal izango dira:

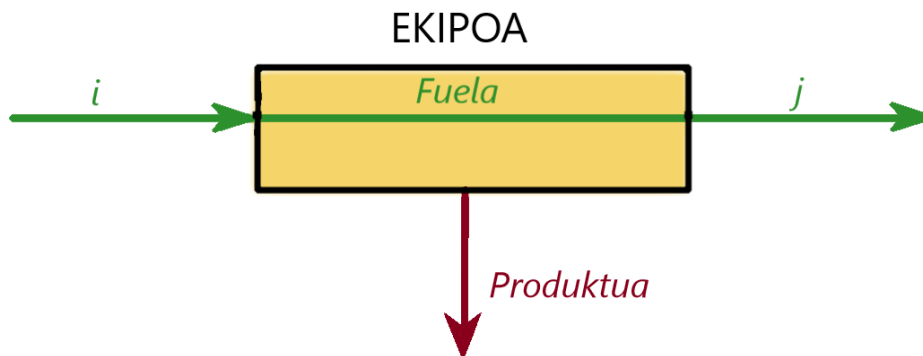
$$B_i^* = B_i \quad \{i = 1, 2, \dots, e\} \quad (41.)$$

Hau da, instalaziora sartzen diren fluxuen ekuazio adina lortuko dira. Ondorioz, e sarrera-fluxuen kopurua bada, e ekuazio gehigarri egongo dira. Kasu orokor batean, $\omega_e = (\omega_{e,i})_{i=1,\dots,e}$ ($e, 1$) dimentsioko bektorea bada, non $\omega_{e,i} = B_i$ den eta $\alpha_e (e, m)$ dimentsioko matrizea den non $\alpha_e = (\alpha_{ij})_{i=1,\dots,e}^{j=1,\dots,m} = \delta_{ij}$, 2. Proposizioa, era matritzial honetan idatzi daiteke:

$$\alpha_e B = \omega_e \quad (42.)$$

Bi proposizio hauen bidez ($n + e$) ekuazio idatz ditzakegu, m ezezagunen kopurua izanik, beraz, orokorrean ekuazio sistema ez dago itxita. Orain, irteerako bi fluxu edo gehiago dituzten osagaiei aplikatuko zaizkien proposamenak aipatuko dira.

3. Proposizioa: Ekipo baten irteerako fluxu bat, fuelaren parte bada, fluxu horren exergia-kostu unitarioa datorren sarrerako fluxuaren kostu unitarioaren berdina da. Ekipoko kostu guztiak sortutako produktuari egotzi behar zaizkio. Beraz, fuelaren parte den irteera-fluxuak izan behar du fuelaren parte den sarrera-fluxuaren exergia-kostu unitario berdina.



Irudia 2. Irteerako-fluxua fuelaren parte den ekipoa

Irudia 2-ko ekipoan i eta j fluxuak fuelaren parte dira eta 3. Proposizioaren arabera, haien exergia-kostu unitarioa berdina izango da,

$$k_i^* = k_j^* \quad (43.)$$

Eta hortaz,

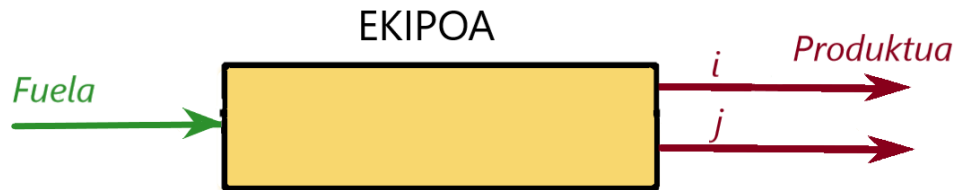
$$\frac{B_i^*}{B_i} = \frac{B_j^*}{B_j} \quad (44.)$$

$B_i/B_j = x_{ij}$ deitzen bada, ekuazioa honelakoa da,

$$B_i^* - x_{ij}B_j^* = 0 \quad (45.)$$

Ekuazio honek i eta j fluxuen exergia-kostuak erlazionatzen ditu 3. Proposizioa aplikatuz.

4. **Proposizioa:** Ekipo batek produktu bat baino gehiago badauka, guztiek kostu unitario berdina izango dute eta produktu batek fluxu bat baino gehiagok osatzen badute, guztiek kostu unitario berdina izango dute.



Irudia 3. Irteerako bi fluxu produktuaren parte diren ekipoa

Irudia 3-ko ekipoa i eta j fluxuak produktuaren parte dira eta hortaz kostu unitario berdina izango dute,

$$k_i^* = k_j^* \quad (46.)$$

Eta hortaz,

$$B_i^* - x_{ij}B_j^* = 0 \quad (47.)$$

Non x_{ij} fluxuen exergiak erlazionatzen dituen.

Ekuzio sistemaren itxiera

Aurreko atalean ikusi den moduan, 1. Proposizioarekin n ekuazio lortzen dira, 2. Proposizioarekin e ekuzio eta gainerako Proposizioekin, 3 eta 4, $m - n - e$ ekuazio lortzen dira, azkenik m ekuazioko ekuzio sistema lortuz.

3. eta 4. Proposizioetatik lortutako ekuazioekin $[(m - n - e), m]$ dimentsioko α_x adarkatze matrizea sortuko da, horrela $[(m - n), m]$ dimentsioko α_{ex} matrizea eratu ahal izateko. α_{ex} matrizea, 2. Proposizioarekin zehaztutako α_e eta α_x matrizeen gainezarpena da, hau da, $\alpha_{ex} \equiv \begin{bmatrix} \alpha_e \\ \alpha_x \end{bmatrix}$. Hortik eta (36.) ekuzioan definitutako J matritzetik abiatuta, (m, m) dimentsioko \mathbb{J}_x matrize hedatua eraikiko da:

$$\mathbb{J}_x = \begin{bmatrix} J \\ \alpha_{ex} \end{bmatrix} \quad (48.)$$

Era berean, $(m, 1)$ dimentsioko \mathbb{Y}_e sarrera bektore hedatu bat eraikitzen da, $(n, 1)$ dimentsioko 0 bektoreak (bektore horren osagaiak zeroak dira), 2. Proposizioan zehaztutako $(e, 1)$ dimentsioko ω_e bektoreak eta $[(m - n - e), 1]$ dimentsioko 0 bektoreak osatuta, hau da:

$$\mathbb{Y}_e \equiv \begin{bmatrix} 0 \\ \omega_e \\ 0 \end{bmatrix} \quad (49.)$$

Jakinda, instalazioaren balantze exergetikoak honako baldintza hau betetzen duela:

$$JB = 0 \quad (50.)$$

Bai eta, α_e eta α_x matrizeen definizioaren arabera, honakoa betetzen dela kontuan hartuz,

$$\alpha_e B = \omega_e \quad (51.)$$

$$\alpha_x B = 0 \quad (52.)$$

\mathbb{Y}_e bektoreari dagokion ekuazio hau egiaztatzen da:

$$\mathbb{Y}_e = \mathbb{J}_x \cdot B \quad (53.)$$

Beraz, exergia-kostuak modu unibokoan zehazten dira sarrerako baliabideetatik abiatuta. Proposamen hauek kostuak esleitzeko ematen dituzten irizpideak, FP proposamenak izenez ezagutzen direnak, instalazioaren egituraren eta osagai bakoitzarentzat definitutako ekoizpen helburuaren mende baino ez daude.

FP formulazioa edo eskaintza-eredua

Formulazio honekin, sistemaren parametroak kontsumitutako baliabideekin lotzen dituzten adierazpenak lortzen dira, bai eta ekipoen eta instalazioaren egiturazko harremanen zenbait parametro ere. Gainera, ekipoen arteko mendekotasuna aztertzea ahalbidetzen du eta egitura produktiboan sakontzea ere.

$\mathbb{A}_p (m, m)$ dimentsioko matrizea eraikiko da, non:

$$\mathbb{A}_p \equiv \begin{bmatrix} A_p \\ \alpha_{ex} \end{bmatrix} \quad (54.)$$

Horrela, $\langle FP \rangle (n, n)$ dimentsioko matrizea eraikitzeko:

$$\langle FP \rangle = A_F \mathbb{A}_p^{-1} \quad (55.)$$

Matrize honen y_{ij} elementu bakoitza, i ekipoaren fuel gisa erabiltzen den j ekipoaren produktuaren ehuneko bezala interpretatu daiteke, $\sum_{j=0}^n y_{ij} = 1$ dela egiaztatuz, y_{ij} koefizienteak, birzirkulazio-parametroen funtzioa izanik.

$\langle FP \rangle$ matritzetik abiatuta, $\langle P_T P \rangle (1, n)$ dimentsioko bektorea eraikiko da:

$$\langle P_T P \rangle \equiv u \cdot (U_D - \langle FP \rangle) \quad (56.)$$

Non $u (1, n)$ dimentsioko bektore unitarioa eta $U_D (n, n)$ dimentsioko matrize unitario diagonalaren diren.

$\langle P_T P \rangle$ bektorearen osagai bakoitzak, instalazioaren guztizko produktuaren zati izatera igarotzen den ekipo bakoitzaren produktuaren ehunekoa adierazten du; hau da, sistematik kanpora doan talde bakoitzaren produktuaren ehunekoa.

Horrela, i ekipoaren produktua honela bana daiteke:

- y_{ij} ehuneko bat j ekipoaren fuel da.
- $(1 - \sum_j y_{ij})$ ehuneko bat instalazioaren guztizko produktu da. Orokorrean, $\sum_j y_{ij} \leq 1$ da, soilik berdintasuna izanik produktuaren ehuneko guztia bare fuela denean.

PF formulazioa edo eskaera-eredua

Orain arte, FP formulazioa aplikatu da, hau da, instalazio batean fuelen kontsumoa finkatuta dagoenean eta produktuak aldakorak direnean.

Hemendik aurrera, Valero y Torres 1990 [11]-en argitarapenean azaltzen den PF formulazioa edo eskaera-eredua aplikatuko da. Formulazio hau instalazioaren produkzio osoa finkatuta dagoenean eta fuelen kontsumoa aldatzen denean aplikatzen da, hau ekipoen itzulezintasunen mende dagoelarik.

FP eta PF formulazioen arteko erlazioa

Bi formulazioak osagarriak dira haien artean eta ekoizpen-prozesuaren eta kostuaren eraketaren irudi osoa eskaintzen dute. Torresen doktorego-tesian [12] erakusten da lotura estua dutela eta $\langle FP \rangle$ eta $\langle PF \rangle$ matrizeetatik abiatuta formulazio batetik bestera pasa daitezke. Horrela, behin $\langle FP \rangle$ matrizea lortuta, $\langle PF \rangle$ matrizea lor daiteke hurrengo ekuazioa aplikatuz:

$$\langle PF \rangle = P_D \cdot \langle FP \rangle^t \cdot F_D^{-1} \quad (57.)$$

$\langle PF \rangle$ (n, n) dimentsioko matrizea da. Matrize honen q_{ij} elementu bakoitza, i ekipotik datozen j ekipoaren fuelaren ehuneko bezala interpreta daiteke. Hau da, $q_{ij} = B_{ij}/F_j$ da, $\sum_{j=1}^n q_{ij} = 1$ dela egiaztatuz, ekipoaren fuela, kanpo fuela den kasuetan izan ezik.

$\langle PF \rangle$ matritzetik abiatuta, $\langle F_T \rangle$ ($1, n$) dimentsioko bektorea eraikiko da:

$$\langle F_T F \rangle \equiv u \cdot (U_D - \langle PF \rangle) \quad (58.)$$

Non u ($1, n$) dimentsioko bektore unitarioa eta U_D (n, n) dimentsioko matrize unitario diagonalak diren.

$\langle F_T F \rangle$ bektorearen osagai bakoitzak, instalazioaren fuel totaletik datorren ekipo bakoitzaren fuel ehunekoa adierazten du; hau da, sistemaren kanpotik datorren talde bakoitzaren fuelaren ehunekoa.

Bestalde, κ_{ij} koefizienteak, j taldearen produktu unitate bat sortzeko i taldetik datorren fuel kopurua adierazten du, betiere $\sum_{i=0}^n \kappa_{ij} = k_j$ baldintza betetzen delarik. κ_{ij} koefizientea honela definitu daiteke:

$$\kappa_{ij} = q_{ij} k_j \quad (59.)$$

$\langle KP \rangle$ (n, n) dimentsioko matrizea definitu daiteke κ_{ij} elementuetaz osatuta egongo dena:

$$\langle KP \rangle = \langle PF \rangle K_D \quad (60.)$$

$\langle KP \rangle$ matrizeak j taldearen produktu unitate bat sortzeko i taldetik datorren fuel kopurua adierazten du talde bakoitzaren itzulezintasunak kontuan hartuz.

Produktu eta fuelen exergia-kostuak

Lehenago azaldu den moduan, j ekipo baten exergia kontsumoa, k_{ij} , produktu-unitate bakoitzeko, i ekipotik datozen baliabideak (fuela) adierazten ditu; horrela, gainerako

ekipoetatik, $\sum_{i=1}^n \kappa_{ij}$, eta sistemaren kanpotik datozen baliabideen, κ_{0j} , baturak $\sum_{i=0}^n \kappa_{ij} = k_j$ egiaztatzen dute. Ekipoaren fuelak kanpoko ekarpenik ez badu, hau da, kanpotik datozen baliabideak (elektrizitatea eta erregaiak) ez badira fuelaren parte, kasu horretan $\kappa_{0j} = (1 - \sum_{i=1}^n \kappa_{ij}) = 0$

Aurrekoa kontuan hartuta, esan dezakegu j ekipo baten produktuaren kostu unitarioa honako hau izango dela: κ_{0j} , kanpo-baliabidearen (fuelaren) exergiaren kontsumoa, kostu unitarioagatik (kanpo-kostua) gehi κ_{ij} , beste ekipoetatik datozen exergia-kontsumoak, bakoitzaren kostu unitarioagatik, hau da:

$$k_{P,j}^* = \kappa_{0j} k_{F_e,j}^* + \sum_{i=1}^n \kappa_{ij} k_{P,i}^* \quad (61.)$$

Non $k_{F_e,j}^*$ j ekipoan sartzen diren kanpo baliabideen kostu unitarioa den. $(1, n)$ dimentsioko k_e^* matrizea ezarri dezakegu, aurreko ekuazioko lenengo partea dena:

$$k_{e,j}^* = \kappa_{0j} k_{F_e,j}^* \quad (62.)$$

Aldi berean $k_e^* = \langle F_T F \rangle$ dela esan daiteke, hau da, sistemaren kanpotik datorren talde bakoitzaren fuelaren ehunekoa adierazten du k_e^* bektoreak. Horrela bektore hau kontsumo exergetiko unitarioaren matrize diagonalarekin, alegia K_D rekin bidertkatuz, K_e^* matrizea lortuko da. Honek, fuel totaletik datorren ekipo bakoitzaren kontsumo exergetiko unitarioa adierazten du:

$$K_e^* = k_e^* \cdot K_D \quad (63.)$$

Kanpo baliabideen kostu unitarioa kalkulatu den moduan, produktuen exergia kostu unitarioa kalkulatu daiteke:

$$k_p^* = {}^t|P\rangle k_e^* \quad (64.)$$

Non ${}^t|P\rangle \equiv (U_D - \langle KP \rangle)^{-1}$ den. k_p^* bektoreak ekipoen produktuen exergia-kostu unitarioa islatzen du. Produktuen exergia-kostu unitarioaren adierazpenak lortu ondoren, fuelen exergia-kostu unitarioak $k_p^* = K_D k_F^*$ erlazioaren bidez deduzitzen dira.

Exergoekonomia-kostuak

Urrats bat haratago joan daiteke termoekonomiaren aplikazioan eta exergoekonomia-kostuak kalkulatu daitezke. Horrela, erdiko fluxuen eta amaierako produktuen kostuak ezarri daitezke.

Exergoekonomia-kostua instalazioko fluxu bat lortzeko behar diren baliabide ekonomikoak dira eta C sinboloarekin izendatzen da. Erdiko fluxuen eta amaierako produktuen ekonomia-kostuak, energiaren kontserbaziorako prozesuen efizientzia termodinamikoan, bai eta ekipoen amortizazio kostuan eta mantenuan datza.

Ekipoen exergoekonomia-kostuak kalkulatzeko hainbat datu behar dira:

- Osagai bakoitzaren erosketa prezioa, CAE_i [€]. Honekin $CAE(n,1)$ dimentsioko erosketa prezioen bektorea sortzen da eta inbertsio guztiaren balioa adieraziko duen CAE_{TOT} [€] lortzen da.
- Ekipo bakoitzaren ordu aktiboak urteko $[h/urte]$
- Instalazioaren bizitza erabilgarria, n [urte]
- Urteko interes efektiboa, i [-]
- Kanpo-baliabideen kostu ekonomiko unitarioak $[\text{€}/kJex]$

Produktu baten guztizko diru-kostuak kostu finkoek eta kostu aldakorrek osatzen dituzte. Kostu finkoak, ekoizpen-mailarekin zuzenean lotuta ez daudenak dira, eta horien artean daude inbertsio-kostuak, zergak, aseguruak eta mantentze-kostuak. Kostu aldakorrak, aldiz, ekoizpen-mailarekin zuzenean lotuta daudenak dira, eta horien artean daude erregaiaren, elektrizitatearen eta eskulanaren kostua.

Horrela, $CF(n,1)$ kostu finkoen bektorea, honela definitu daiteke:

$$CF = CF_{TOT} \cdot \frac{CAE_i}{CAE_{TOT}} \quad (65.)$$

Non CF_{TOT} , O&M, zergek, aseguru-kostuek, amortizazio kostuek (Am) etab. osatzen duten.

j ekipoaren amortizazio, mantenu eta operazio kostuak Z_j izango da, hortaz, $Z(n,1)$ dimentsioko bektorea, n ekipoentzako amortizazio, mantenu eta operazio kostuak adieraziko ditu:

$$Z = \frac{CF}{\text{Ekipo bakoitzaren ordu aktiboak}} \quad (66.)$$

Era berean, i ekipo baten fuelaren exergoekonomia-kostua $C_{F,i}$ ikurraren bidez izendatuko da eta ekipo horren fuela lortzeko behar diren baliabide ekonomikoak adieraziko ditu. Modu berean $C_{P,i}$ i ekipo baten produktuaren exergoekonomia-kostua da eta ekipo horren produktua lortzeko behar diren baliabide ekonomikoak adierazten ditu. i taldeko exergoekonomia-kostuen balantzea:

$$C_{P,i} = C_{F,i} + Z_i \quad (67.)$$

Era berean, ekipo baten fuelaren eta produktuen exergoekonomia-kostu unitarioak $c_{F,i}$ eta $c_{P,i}$ bidez izendatuko dira, eta zatidura hauen emaitza dira:

$$c_{F,i} = \frac{C_{F,i}}{F_i} \quad (68.)$$

$$c_{P,i} = \frac{C_{P,i}}{P_i} \quad (69.)$$

Ekipoen fuelen eta produktuen kostu unitarioak dituzten $(n,1)$ dimentsioko bektoreak c_F eta c_P deitzen badira, hurrengo ekuazio matriziala sortzen da:

$$c_P \cdot P = c_F \cdot F + Z \quad (70.)$$

IKERKETA KASUA

Jarraian ikerketa kasua deskribatuko da.

ERAIKINAREN DESKRIBAPENA



Irudia 4. Vitoria-Gasteizen dagoen NZEB eraikina

NZEB eraikina da, Vitoria-Gasteizen dagoena, Grupo Tecmared 2017 [13]. 8 solairutan, 2 sototan eta solairu komertzial batean, 171 etxebizitza sozial, erabilera pribaturako lokal bat, 3 lokal komertzial, eranskina eta urbanizazioa banatuta ditu. Lurrazpian, 176 trasteleku eta 184 plazatako garaje bat ditu. Beheko solairuan, galdaren gela eta transformazio zentroa daude, ikus Irudia 4.

ERAIKINAREN INGURATZAILEA

Eraikinaren kanpo inguratzailea 10 cm lodierako eta txuriak diren hormigoizko aurre-fabrikaturiko panel luzeez eginda dago, posizio horizontalean kokaturik daudenak. Beheko solairuko fatxada zulaturiko adreiluen haga erdia material zeramikoarekin egin dago. Lokalen itxiera, harri kolorez margotuta dagoen zarpiatutako adreilukoa da, aireztapenerako hutsuneekin. Horma-atalaren goialdean, aurre-fabrikaturiko panelak bukatzen diren tokian 1m altuko gune bat dago, argiztapenerako leihoak, saretak edo materialen aldaketa egitea behar bada.

Fatxadaren barrualdea proiektaturiko poliuretanozko isolamendu termikozko kapa bat eta 15 mm lodierako kartoi-igeltsuzko panelak daude. Eraikinaren barruko angeluetan, barruko plazara ematen dutenak, hormigoizko aurre-fabrikaturiko panelen ordez kanpo itxierako isolamendua dago; zulatutako adreiluzko oinarri batez, 60 mm-ko mekanikoki finkaturiko poliestireno hedatuko plaka batez eta bidriozko fibrazko sare bat eransten duen eta mortero funtzioa egiten duen gris ilunez margotutako kanpoko estalki batez osatuta dago.

Fatxaden aroztegiak *Alumafel TOP 65* modeloko aluminiozko profilekin egin dira, zubi termikoaren haustura eta emisio baxuko beira bikoitza dute. Hauek mekanikoki finkaturiko aluminiozko aurremarkoen gainean jarrita daude. Beira orriak mugikorak dira.

ERAIKINAREN BEROKUNTZA ETA UBS SISTEMA

Berokuntzarako eta UBS-rako (Ur Bero Sanitarioa) instalazio nagusia 80°/60°C-tako ur beroko instalazioa da. Errendimendu altuko gas naturaleko bi galdaraz osatuta dago, ur-jauzi eran funtzionatzen dutelarik. Instalazioak daukan potentzia erabilgarri erregulagarria 320-500kW-takoa da eta BBA (behe bero ahalmena)arekiko errendimendua %92,7koa karga osoarekin eta %95,2koa karga %30ekoa denean. UBS-aren %30-a eguzki panelen bidez sortzearen orde (I klima-gunea), barne errekontzako motorra duten bi kogenerazio talde instalatu dira, 5,5kW-tako potentzia elektrikoarekin eta 12,5kW c.u. tako potentzia termikoarekin.

Motorrek 500 litrotako inertzia depositu baten aurka egiten dute lan, plakazko bero trukatzaille baten bitartez, Gelezenis eta Axaopoulos, 2015 [14], konektatzen direlarik. Inertzia deposituak karga eta deskarga aldi berean ahalbidetzen du. Galdaretatik eta inertzia depositutik datozen fluxuak, bulkada kolektore baten bitartez, berokuntza eta UBS zirkuituetara banatzen dira. UBS zirkuitura doan fluxua, plakazko bero trukatzaille baten bitartez igarotzen da, horrela, zirkuitu sekundarioa 5000 litrotako UBS biltegiarekin konektatuz.

Gainera, eraikinak PV panelak ditu, hegoaldeko fatxadako leihoen azpian kokatuta daudenak, 33,5kW-tako potentzia pikoarekin, Abella 2005 [15]. Halere, berokuntzarako instalazioa baino ez da aztertuko. Alegia, UBS eta beroa sortzeko sistema (galdarez eta kogenerazioz osatua) eta ez dira PV panelen ekarpenak kontuan hartuko.

Instalazioaren oinarriko funtzionamendua 2 motorretan datza, haien aportazioa funtsezkoa delarik bai UBS eta bai berokuntzarako. UBS aren eskariaren %90 a asetzeko dimentsionatuta daude, nahiz eta ez duten bakarrik UBS-a asetzen, haien fluxuak, galderen fluxuekin nahasten baitira. Eskaria dagoen unean, bai UBS eta bai berokuntzarako, motoreak dira funtzionamenduan hasten lehenak, izan ere, energia elektriko eta beroa une berean sortzeko gai dira. Eskariari konbinatua, hauen sorkuntza baino handiagoa denean, hasten dira martxan galdarak.

Motorrek askatasunez funtzionatzen dute, programaturik baitaude itzulera tenperatura 73°C baino handiagoa denean itzaltzeko, hortaz ez dute kanpo kontrolik behar. Galdarek, konfigurazio estandarra daukate, itzulera tenperaturaren arabera haien karga partziala kontrolatzen duena eta fluxuak 80°C-tara berotzea ahalbidetzen duena. Horretaz gain, galdarek kanpo kontrola daukate motorrek eskaera guztia asetu ezin dutenean soilik funtzionatzeko.

Eskaera maximoa 600kW ingurukoa da eta galdara bakoitza 500kW hornitzeko gai dira, hortaz, galdara sekundarioak soilik eskaera pikoetan funtzionatzen du. Galdara nagusia 0 eta %100 arteko karga artean egiten du lan eta soilik eskaera 500kW baino handiagoa denean, hortaz oso karga hein partzial baxuan.

Instalazioko osagaien deskribapena

UBS eta berokuntzaren sorkuntzarako instalazioa sistema konbinatu batean oinarritzen da: bi kogenerazio motor (UBS-ren %90a ematen dutena) eta errendimendu altuko bi galdara.

Galdarak

Instalazioak baditu bi galdara (Irudia 5) kogenerazioko motorrek beharren osotasuna asetu ezin dutenean erabiltzen direnak etxebizitzak ur beroz hornitzeko. Taula 1-ean agertzen dira galdaren ezaugarri teknikoak.



Irudia 5. Instalazioko galdara

Potentzia nominala [kW]	500
Potentzia rangoa [kW]	320-500
PCI arekiko karga totaleko (80/60°C) errendimendua [%]	92,7
PCI arekiko %30eko karga partzialeko errendimendua (itzulera temperatura 37°Ctako) [%]	95,2
Itzulera temperatura minimoa [°C]	55
Pisua [kg]	320-500
Dimentsio maximoak [m]	92,7

Taula 1. Galdararen ezaugarriak

Mikrokogenerazioa



Irudia 6. Kogenerazioko motorra

Eraikinaren instalazioak osagai berri bat du. Gaur egun, eguzki-panel termikoen bidez etxeko ur beroaren %30 ziurtatu beharrean, hau da, ohiko konponbidera jo beharrean,

Dach kogenerazioko gas naturaleko bi motor aukeratu dira (Irudia 6).Taula 2 -n agertzen dira motorren ezaugarriak.

Potentzia elektrikoa [kW]	5,5
Potentzia termikoa [kW]	12,5
Erregaiaren kontsumoa [kW]	20,5
Itzulera tenperatura maximoa [°C]	70
Errendimendu elektrikoa [%]	27
Errendimendu termikoa [%]	61
Kogenerazio errendimendua [%]	88
Dimentsioak [mm]	720 x 1070 x 1000
Pisua [kg]	530

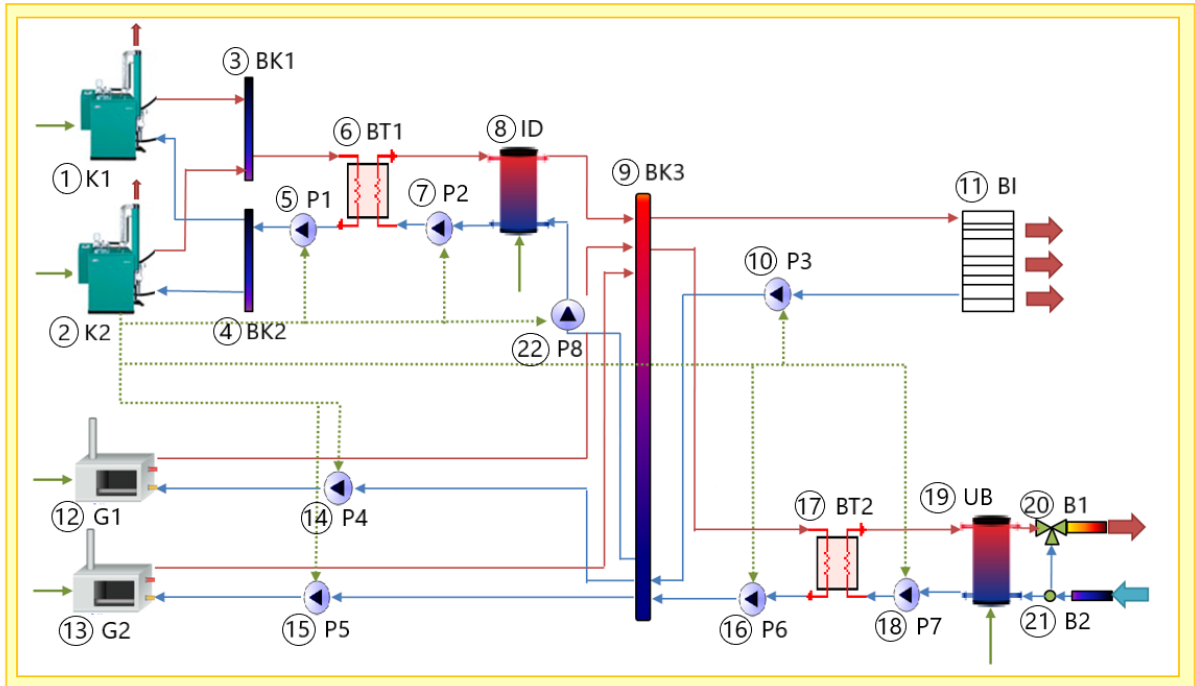
Taula 2. Kogenerazioko motorren ezaugarriak

TERMOEKONOMIAREN APLIKAZIOA

Jarraian termoeconomia aplikatuko da azaldutako instalazioan.

INSTALAZIOAREN EGITURA FISIKOA

Instalazio termikoaren egitura fisikoa ezartzeko, lehenik azpistemen aukeraketa egin da. Horrela, $n = 22$ ekipo zehaztu dira. Analisisako kontuan hartuko diren ekipo guztiak zenbakitu dira, ikus Irudia 7. Taula 3 ean ekipoen izenak eta ikurrak azaltzen dira bai eta Irudia 7-n instalazioaren eskema hidrauliko sinplifikatua adierazten da ekipo bakoitzari dagokion numerazioarekin.

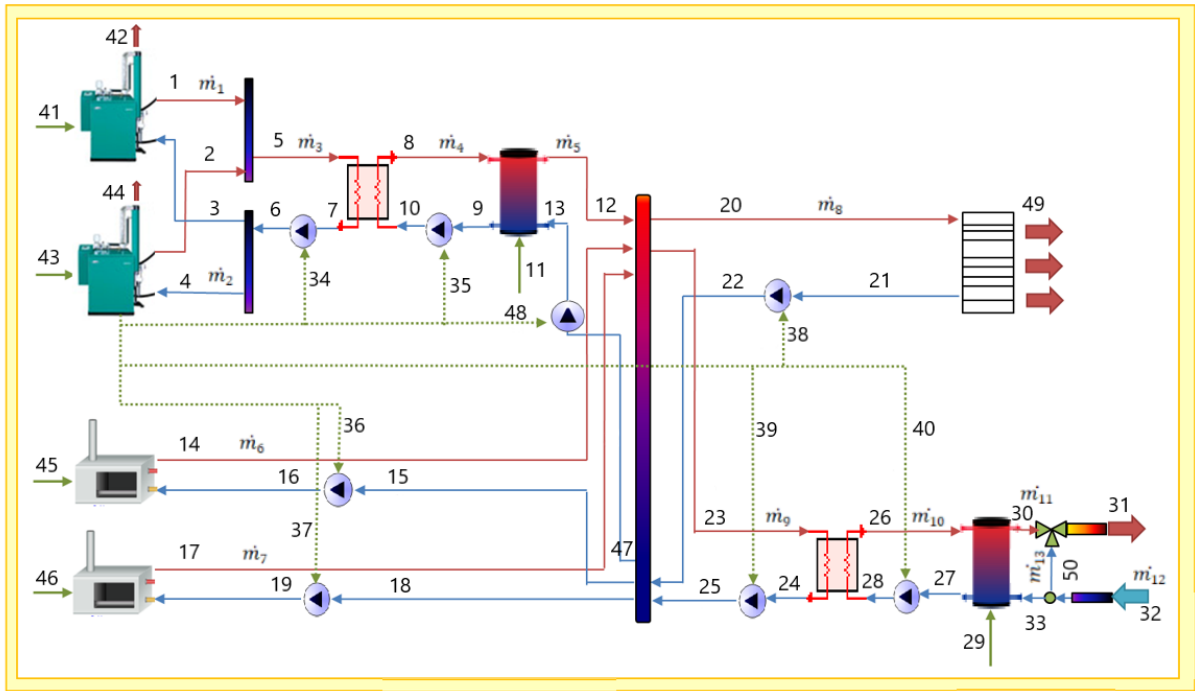


Irudia 7. Instalazioaren eskema hidrauliko sinplifikatua eta ekipoen numerazioa

KONTSIDERATUTAKO EKIPOAK					
ZN.	IKURRA	IZENA	ZN.	IKURRA	IZENA
1	K1	KOGENERAZIOA 1	12	G1	GALDARA 1
2	K2	KOGENERAZIOA 2	13	G2	GALDARA 2
3	BK1	BULKADA KOLEKTOREA 1	14	P4	PONPA 4
4	BK2	BULKADA KOLEKTOREA 2	15	P5	PONPA 5
5	P1	PONPA 1	16	P6	PONPA 6
6	BT1	BERO TRUKAGAILUA 1	17	BT2	BERO TRUKAGAILUA 2
7	P2	PONPA 2	18	P7	PONPA 7
8	ID	INERTZIA DEPOSITUA 1	19	UB	UBS BILTEGIA
9	BK3	BULKADA KOLEKTOREA 3	20	UT	UBS TXORROTA
10	P3	PONPA 3	21	B	BALBULA
11	BI	BEROKUNTZA IGORLEA	22	P8	PONPA 8

Taula 3. Instalazioa osatzen duten ekipoak

Ondoren, fluxuak zenbaitu dira eta masa fluxuak adierazi dira, ikus Irudia 8. $m = 50$ fluxu zehaztu dira.



Irudia 8. Instalazioko fluxuak zenbaituta eta masa fluxuak adierazita

Horrela, (6.) formulaz adierazi den bezala, A intzidentzia-matrizea zehaztuko da, ikus Taula 4.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	1		-1																						
2		1		-1																					
3		-1	-1		1																				
4				1	1		-1																		
5						1	-1																		
6					-1		1	1		-1															
7									-1	1															
8								-1	1		-1	1	-1												
9											-1	-1		-1	1		-1	1		1		-1	1		-1
10																						-1	1		
11																					-1	1			
12													1			-1									
13																	1		-1						
14															-1	1									
15																		-1	1						
16																								-1	1
17																							-1	1	
18																									
19																									
20																									
21																									
22																									
23																									
24																									
25																									

	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1																-1	1								
2									1	1	1	1	1	1	1			-1	1					-1	
3																									
4																									
5									-1																
6																									
7																									

$M \left[\frac{kg}{h} \right] =$	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	-	2000	2000	12083	12083	12083	1083	1083	1083	23145
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	23145	23145	5000	5000	5000	1500	1500	1500	-	157
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	179	179	157	-	-	-	-	-	-	-
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
	-	-	-	-	-	-	2000	-	-	22

Taula 6. M masa matrizearen iraulia (leku espazioak direla medio, 5 lerrotan adierazita)

Ondoren, fluxu bakoitzaren energia eta exergia balioak kalkulatzeko, fluxu bakoitzari dagokion tenperatura ezarri behar zaio, horrela, $(m,1)$ dimentsioko T matrizea eraiki da, ikus Taula 7.

$T [^{\circ}C] =$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	81,84	81,84	67,08	67,08	81,84	67,08	67	69,73	65,44	65,47
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	63	74,47	66	82,50	63	63,17	80	62,05	62,5	73,25
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	63,11	64,11	68,68	56,72	56,73	67,35	55,40	55,45	67	62
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	55	7	7	-	-	-	-	-	-	-
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
-	-	-	-	-	-	65,48	-	-	7	

Taula 7. T tenperatura matrizea (leku espazioak direla medio, 5 lerrotan adierazita)

Fluxu guztien tenperaturak ezartzeaz gain, bestelako tenperatura batzuk ezarri behar izan dira energia eta exergiaren kalkuluak egin ahal izateko:

$T_0 [^{\circ}C]$	6,38
$T_{Konf} [^{\circ}C]$	19
$T_{11,t-1} [^{\circ}C]$	75
$T_{29,t-1} [^{\circ}C]$	57

Taula 8. Exergia eta energia kalkuluak egiteko tenperatura gehigarriak

Taula 8-n ikusten den moduan konfort tenperatura, T_{Konf} , 19 °C -tan ezarri da, nahiz eta IDAE-k [16] 21°C eta 25°C artean ezartzen duen tenperatura hau.

Horrela, energia eta exergiari dagozkien matrizeak eraiki dira, alegia, H eta $B(n,1)$ dimentsioko matrizeak. Ikus Taula 9 eta Taula 10.

$H [kJ] =$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	$2,47 \cdot 10^5$	$2,47 \cdot 10^5$	$2,02 \cdot 10^5$	$2,02 \cdot 10^5$	$4,93 \cdot 10^5$	$4,04 \cdot 10^5$	$4,04 \cdot 10^5$	$1,46 \cdot 10^6$	$1,37 \cdot 10^6$	$1,37 \cdot 10^6$
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	$2,51 \cdot 10^4$	$6,23 \cdot 10^5$	$5,53 \cdot 10^5$	$4,17 \cdot 10^6$	$3,19 \cdot 10^6$	$3,19 \cdot 10^6$	$3,63 \cdot 10^5$	$2,81 \cdot 10^5$	$2,83 \cdot 10^5$	$7,10 \cdot 10^6$
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	$6,11 \cdot 10^6$	$6,21 \cdot 10^6$	$1,44 \cdot 10^6$	$1,19 \cdot 10^6$	$1,19 \cdot 10^6$	$4,23 \cdot 10^5$	$3,48 \cdot 10^5$	$3,48 \cdot 10^5$	$-2,09 \cdot 10^4$	$4,07 \cdot 10^4$
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	$4,12 \cdot 10^4$	$5,25 \cdot 10^3$	$4,60 \cdot 10^3$	$2,68 \cdot 10^3$	$1,03 \cdot 10^3$	$8,60 \cdot 10^3$	$2,10 \cdot 10^3$	$9,70 \cdot 10^4$	$1,19 \cdot 10^3$	$1,19 \cdot 10^3$
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50

	7,33 $\cdot 10^4$	1,98 $\cdot 10^4$	2,24 $\cdot 10^5$	9,70 $\cdot 10^3$	9,84 $\cdot 10^5$	9,33 $\cdot 10^4$	5,48 $\cdot 10^5$	1,10 $\cdot 10^4$	9,72 $\cdot 10^5$	6,45 $\cdot 10^2$
--	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------

Taula 9. H energia matrizea (leku espazioak direla medio, 5 lerrotan adierazita)

B[kJ] =	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	2,61 $\cdot 10^4$	2,61 $\cdot 10^4$	1,74 $\cdot 10^4$	1,74 $\cdot 10^4$	5,22 $\cdot 10^4$	3,48 $\cdot 10^4$	3,47 $\cdot 10^4$	1,31 $\cdot 10^5$	1,15 $\cdot 10^5$	1,15 $\cdot 10^5$
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	4,60 $\cdot 10^3$	5,99 $\cdot 10^4$	4,67 $\cdot 10^4$	4,45 $\cdot 10^5$	2,56 $\cdot 10^5$	2,58 $\cdot 10^5$	3,75 $\cdot 10^4$	2,22 $\cdot 10^4$	2,26 $\cdot 10^4$	6,70 $\cdot 10^5$
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	4,92 $\cdot 10^5$	5,09 $\cdot 10^5$	1,27 $\cdot 10^5$	8,49 $\cdot 10^4$	8,49 $\cdot 10^4$	3,65 $\cdot 10^4$	2,42 $\cdot 10^4$	2,42 $\cdot 10^4$	-3,47 $\cdot 10^3$	3,22 $\cdot 10^3$
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	2,84 $\cdot 10^3$	5,15 $\cdot 10^{-1}$	4,52 $\cdot 10^{-1}$	2,68 $\cdot 10^3$	1,03 $\cdot 10^3$	8,60 $\cdot 10^3$	2,10 $\cdot 10^3$	9,70 $\cdot 10^4$	1,19 $\cdot 10^3$	1,19 $\cdot 10^3$
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
	7,63 $\cdot 10^4$	1,98 $\cdot 10^4$	2,33 $\cdot 10^5$	9,70 $\cdot 10^3$	1,02 $\cdot 10^6$	9,71 $\cdot 10^4$	4,60 $\cdot 10^4$	1,10 $\cdot 10^4$	4,20 $\cdot 10^4$	6,33 $\cdot 10^{-2}$

Taula 10. B exergia matrizea (leku espazioak direla medio, 5 lerrotan adierazita)

Aipatzekoa da, 29. fluxuaren energia eta exergia balioak negatiboak direla; honek zerikusia dauka aukeratutako fuel eta produktuekin. Izan ere, tankearen fuela honela definitu da: sorgailuetatik datorren beroa ($E_{26} - E_{27}$) + barne biltegiaren deskarga aldiune horretan ($\Delta E_{29} = m \cdot Cp \cdot (T_{29,t-1} - T_{29})$) eta produktua, aldiz, sekundarioan berotutako fluxua, alegia, ($E_{30} - E_{33}$). Horren arabera, aztertu dugun kasu partikularrean hau gertatzen da: tankeak energia eta exergia karga bat du, deskarga izan beharrean. Hau da, ($T_{29,t-1} < T_{29}$) $T_{29} = 67^\circ\text{C}$ eta $T_{29,t-1} = 57^\circ\text{C}$ dira, hau da, ordu batean fluxuak 10°C -tako tenperatura igoera duenez, fuela negatiboa da.

INSTALAZIOAREN EGITURA PRODUKTIBOA

Egitura produktiboa lortzeko, ekipo bakoitzaren fuel eta produktuak ezarri behar dira, horretarako Taula 11-n agertzen den moduan, ekipo baten fuelaren parte kontsideratu diren fluxuak sarrerako fluxuak badira zeinu positiboarekin adierazi dira eta irteerako fluxuak zeinu negatiboarekin. Ekipo baten produktuak, berriz, irteerako fluxuak badira, zeinu positiboarekin adierazi dira eta sarrerako fluxuak badira, zeinu negatiboarekin.

Ekipoen fuel eta produktuak erabakitzeko orduan zenbait zalantza sor daitezke eta hainbat erabaki hartu behar dira; azken finean lanaren helburuaren arabera definitu daitezkelako fluxu bat fuel gisara edo produktu moduan. Hori da egitura-produktiboa erabiltzearen desabantaila handienetako bat: anbigua izan ahal delako F eta P -ren definizioa.

Gure kasuari dagokionez, adibidez, 9. taldean - BULKADA KOLEKTOREA 3 - sartzen diren fluxu guztiak fuel moduan eta kanpora doazen guztiak produktu moduan kontsideratu dira.

TALDEAK		FLUXUAK	
ZN.	IKURRA	FUELAK	PRODUKTUAK
1	K1	41	(1 - 3) + 42
2	K2	43	(2 - 4) + 34 + 35 + 36 + 37 + 38 + 39 + 40 + 44 + 48
3	BK1	1 + 2	5
4	BK2	6	3 + 4
5	P1	34	6 - 7
6	BT1	5 - 7	8 - 10
7	P2	35	10 - 9

8	ID	$(8 - 9) + 11$	$12 - 13$
9	BK3	$12 + 14 + 17 + 22 + 25$	$15 + 18 + 20 + 23 + 47$
10	P3	38	$22 - 21$
11	BI	$20 - 21$	49
12	G1	45	$14 - 16$
13	G2	46	$17 - 19$
14	P4	36	$16 - 15$
15	P5	37	$19 - 18$
16	P6	39	$25 - 24$
17	BT2	$23 - 24$	$26 - 28$
18	P7	40	$28 - 27$
19	UB	$(26 - 27) + 29$	$30 - 33$
20	UT	$30 + 50$	31
21	B	32	$50 + 33$
22	P8	48	$13 - 47$

Taula 11. Ekipo bakoitzaren fuel eta produktuak

Ondoren A_F eta A_P matrizeak eraiki behar dira, ikus Taula 12 eta Taula 13.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1																									
2																									
3	1	1																							
4						1																			
5																									
6					1		-1																		
7																									
8								1	-1		1														
9											1		1				1					1			1
10																									
11																									
12																					1	-1			
13																									
14																									
15																									
16																									
17																									
18																							1	-1	
19																									
20																									
21																									
22																									

	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1																1									
2																		1							
3																									
4																									
5										1															
6																									
7											1														
8																									
9																									
10														1											
11																									
12																						1			
13																							1		
14											1														
15												1													
16													1												
17															1										
18																									
19	1	-1			1											1									
20						1																			1
21										1															
22																								1	

Taula 12. A_F fuelen intzidentzia-matrizea (leku espazioak direla medio, bi taulatan banatuta)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	1		-1																						
2		1		-1																					
3			1		1																				
4				1																					
5					1	-1																			
6						1		1	-1																
7							1		1																
8								1		1															
9									1		-1														
10										1															
11											1														
12												1													
13													1												
14														1											
15															1										
16																1									
17																	1								
18																		1							
19																			1						
20																				1					
21																					1				
22																						1			

	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1																	1								
2									1	1	1	1	1	1	1				1				1		
3																									
4																									
5																									
6																									
7																									
8																									
9																									
10																									
11																									
12																									
13																									
14																									
15																									
16																									
17	1			-1																					
18		-1																							
19					1				-1																
20						1																			
21								1																	1
22																									-1

Taula 13. A_p produktuen intzidentzia-matrizea (leku espazioak direla medio, bi taulatan banatuta)

A_F eta A_p matrizeetatik abiatuta, a_F eta a_p fuel eta produktu intzidentzia-matrize globalak eraiki daitezke. (Taula 14 eta Taula 15).

$a_F =$	11	29	32	41	43	45	46
	1	1	1	1	1	1	1

Taula 14. a_F fuelen intzidentzia-matrize globala

$a_p =$	31	42	44	49
	1	1	1	1

Taula 15. a_p produktuen intzidentzia-matrize globala

Ondoren, sistema osatzen duten ekipoen fuelen exergia ezagutzeko, F (22,1) dimentsioko bektorea lortuko dugu (17.) formulatan adierazten den moduan eta produktuen exergia ezagutzeko P (22,1) dimentsioko bektorea lortuko dugu (19.) formulatan adierazten den moduan. Modu berean, fluxu guztien exergia balioak kalkulatu direnez, talde bakoitzaren fularen parte diren exergia balioak lortuz F matrizearen balioak lortuko dira eta talde bakoitzaren produktuen parte diren exergiak balioak batuz P matrizearen balioak lortu dira, ikus Taula 16.

ZN.	TALDEA	F [kJ]	P [kJ]
1	K1	76267	28511
2	K2	233151	143221
3	BK1	52212	52212
4	BK2	34791	34791
5	P1	2684	86
6	BT1	17508	16025
7	P2	1026	110
8	ID	20731	13189
9	BK3	1136421	1121436
10	P3	97000	16472
11	BI	177891	42012
12	G1	1022976	187667
13	G2	97069	14936
14	P4	8600	1451
15	P5	2100	340
16	P6	1188	32
17	BT2	41974	12287
18	P7	1188	47
19	UB	8861	3217
20	UT	3218	2844
21	B	1	1
22	P8	11026	763

Taula 16. Fuelen (F) eta produktuen (P) matrizeak

Kontuan hartu behar da, balantze exergetikoak egiterako orduan, ponpak aztertu direnean, ez direla presioak exergian duen eragina kontsideratu. Hau da, exergia termikoak gailentzen duenez, eragin mekanikoa mesprezatu da.

ETEKIN ENERGETIKO ETA ETEKIN EXERGETIKOA

Talde bakoitzaren energia (η_j) eta exergia (φ_j) etekinak kalkulatzeko badira, hurrengo balioak lortzen dira, ikus Taula 17.

ZN.	TALDEA	η_j [%]	φ_j [%]
1	K1	88	37
2	K2	80	61
3	BK1	100	100
4	BK2	100	100
5	P1	18	3
6	BT1	100	92
7	P2	61	11

8	ID	62	64
9	BK3	100	99
10	P3	100	17
11	BI	99	24
12	G1	99	18
13	G2	85	15
14	P4	100	17
15	P5	97	16
16	P6	100	3
17	BT2	30	29
18	P7	26	4
19	UB	67	36
20	UT	100	88
21	B	100	100
22	P8	39	7

Taula 17. η_j eta φ_j , talde bakoitzaren energia eta exergia etekinak

Energia aldetik, errekuntza galdarek etekin altua daukate (%99 eta %85) baina exergia aldetik oso baxua (%18 eta %15). Hori gertatzen da kalitate handiko erregai bat erabiltzen delako (gas naturala) kalitate baxuko bero-fluxu bat lortzeko. Beraz, transformazio horretan exergia asko suntsitzen da.

Kogenerazioa aztertzen bada, ez da berdina gertatzen. Kogenerazioaren energia etekina (%88 eta %80) exergia etekinarekin alderatzen bada (%37 eta %61) ez da horren alde handia ikusten. Izan ere, nahiz eta kogenerazioaren energia etekina galdarena baino txikiagoa izan, exergia etekina altuagoa da. Hori hala da kogenerazioak beroaz gain elektrizitatea ere ekoizten duelako. Elektrizitatea %100eko exergia da eta, ondorioz, beroaren kalitate galera nolabait konpentsatzen du P/F ratioa igoz.

Deposituen kasua berezia da: atal teorikoan aipatu den antzera, tankeak kargatu edo deskargatu egingo dira aurreko aldiunean energia gutxiago edo gehiago badago (beroa energia sentikorrarekin biltegitratzen denez, aurreko aldiuneko temperatura eta momentuko temperaturaren arteko aldearekin ikusten da hori). Lehenengo tankearen kasuan (8. taldea), adibidez, $\Delta T_{11} = 12 \text{ }^\circ\text{C}$ da, hau da, aldiune horretan deskargatu egin da eta bigarren tankean (19. taldea) ordea, $\Delta T_{29} = -10 \text{ }^\circ\text{C}$, kargatu egin da. Ikerketa denbora $t = 1h$ ordu bete hartu denez, aurreko eta momentu horretako temperatura balio horiek asko penalizatzen dute etekina (urte bete bateko ikerketa egingo balitz, aldiz, ez luke horrenbesteko eraginik izango primarioko eta sekundarioko emariak ($m \cdot t [kg]$) askoz handiagoak izango liratekeelako eta alde hori mesprezagarria izango zelako) eta horregatik aldea dago tanke baten eta bestearen etekinaren artean (T1 tankearen energia etekina %62 da eta T2arena %67). Gainera, T2 tankea penalizatu egiten da exergia aldetik (energia-etekina %67 baita eta exergia-etekina, bestalde, %36). Azken batean, temperatura ezberdineko bi fluxu nahastean, energia kontserbatzen da baina, exergia suntsitzen da. Exergiarik ez suntsitzeko egokiena da temperatura berdineko fluxuak batzea.

Orokorrean etekinak aztertuz, ikus daiteke osagai askotan energia etekina altua izanda ere, exergia etekina baxuagoa dela. Hau prozesuaren itzulezintasunengatik gertatzen da. Beraz exergia analisiak, energia analisiak ez bezala, osagai bakoitzean gertatzen den prozesuari buruzko informazio gehigarria ematen digu, suntsitutako exergia hain zuzen ere.

Exergia fluxuen balioetatik abiatuz kalkulatzen dira datozen termoekonomiako aldagai guztiak.

EXERGIA-KOSTUAREN TEORIA

Aztertzen den instalazioari Exergia-Kostuaren Teoria ezarri zaio kostuen kontabilitatea egiteko.

Kostu exergetikoaren teoriaren proposizioak

Ondoren, instalazioari proposizioak aplikatu zaizkio.

- 1. Proposizioa:** Hau garatzeko beharrezkoa den A intzidentzia-matrizea jada zehaztuta dago instalazioaren egitura fisikoa garatu denean, ikus Taula 4.
- 2. Proposizioa:** Proposizio hau garatzeko instalazioaren sarrerako fluxuak zehaztea beharrezkoa da, horretarako, instalazioa kutxa-beltz moduan irudikatzen da Irudia 9-n egin den moduan, eta ikusten da instalazioaren eta honetatik at dagoen ingurunearen arteko fluxuen kopurua 11 direla. Halaber, horietatik sarrerako fluxuak 7 izango dira, eta hortaz $e = 7$ zehazten da.

Horrela, $\alpha_e (7,50)$ dimentsioko matrizea eraikitzen da, non matrizearen osagai guztiak nuluak (0) izango diren, 7 osagai izan ezik, 1-ekoak izango direnak. 1-eko bakoitza ilara batean egongo da, sarrerako fluxu bakoitzari dagokion zutabearen.

Ondoren, α_e matrizea, B exergia matrizearekin biderkatzen da $\omega_e (7,1)$ dimentsioko sarrerako bektorea lortuz, sarrerako fluxu bakoitzaren exergia adierazten duena, ikus Taula 18.

FLUXUAK	$\omega_e [kJ]$
41	$7,63 \cdot 10^4$
43	$2,33 \cdot 10^5$
45	$2,33 \cdot 10^5$
46	$9,71 \cdot 10^4$
11	$4,60 \cdot 10^3$
29	$-3,47 \cdot 10^3$
32	$5,15 \cdot 10^{-1}$

Taula 18. ω_e sarrerako bektorea, osagai bakoitzari dagokion fluxuarekin

- 3. Proposizioa:** Proposizio honetan fuelaren parte diren irteerako fluxuak identifikatu dira, guk ezarritako fuel eta produktuen definizioen arabera. Horrela, guztira fuelaren parte diren 5 irteerako fluxu daude.

Hortaz, 5 fluxu horiek, bakoitzari dagokion ekipoaren sarrerako fluxuaren exergia-kostu unitario berdina dute, hau da:

$$\begin{aligned}
 k_5^* &= k_7^* \\
 k_8^* &= k_9^* \\
 k_{20}^* &= k_{21}^* \\
 k_{23}^* &= k_{24}^* \\
 k_{26}^* &= k_{27}^*
 \end{aligned}$$

Horrela, sarrerako eta irteerako fluxuak erlazionatzen dituen 5 ekuazioak sortu dira, (46.) ekuazioak dion bezala. Adibide gisa, 5. Eta 7. fluxuekin egindako ekuazioa:

$$B_5^* - x_{57} \cdot B_7^* = 0$$

Non $x_{57} = B_5^*/B_7^*$ den.

- 4. Proposizioa:** Proposizio honetan ekipo berdinaren produktuaren parte diren fluxu anitzak identifikatu dira. Horrela, guztira 16 fluxu daude.

Hortaz, 16 fluxu horiek, exergia-kostu unitario berdina izango dute, hau da:

$$(k_1^* - k_3^*) = k_{42}^*$$

$$k_{44}^* = (k_2^* - k_4^*)$$

$$k_{44}^* = k_{34}^*$$

$$k_{44}^* = k_{35}^*$$

$$k_{44}^* = k_{36}^*$$

$$k_{44}^* = k_{37}^*$$

$$k_{44}^* = k_{38}^*$$

$$k_{44}^* = k_{39}^*$$

$$k_{44}^* = k_{40}^*$$

$$k_{44}^* = k_{48}^*$$

$$k_{15}^* = k_{18}^*$$

$$k_{15}^* = k_{20}^*$$

$$k_{15}^* = k_{23}^*$$

$$k_{15}^* = k_{47}^*$$

$$k_{33}^* = k_{40}^*$$

$$k_3^* = k_4^*$$

Horrela, ekipo bakoitzaren produktuaren parte diren fuelak erlazionatzen dituen 16 ekuazioak sortu dira (47.) ekuazioak dion bezala. Adibide gisa, (1-3) eta 42 fluxuekin egindako ekuazioa:

$$B_{(1-3), 42}^* - x_{(1-3), 42} \cdot B_{42}^* = 0$$

non $x_{(1-3), 42} = B_{1-3}^*/B_{42}^*$ den.

Ekuazio sistemaren itxiera

Ekuazio sistema itxi ahal izateko, fluxu kopuru adina ekuazio izan behar ditugu, alegia $m = 50$ ekuazio. 1. Proposiziotik $n = 22$ ekuazio lortu ditugu, 2. Proposiziotik $e = 7$ eta 3. eta 4. Proposizioetatik 5 eta 15, hurrenez hurren, hau da $m - n - e$ ekuazio.

$\mathbb{J}_x = \begin{bmatrix} J \\ \alpha_{ex} \end{bmatrix}$ (50,50) dimentsioko matrizea eraiki ahal izateko, hau osatzen duten J eta α_{ex} matrizeak sortuko ditugu lehenengo.

$J = A_F - K_D A_P$ matrizea sortu ahal izateko K_D (22,22) dimentsioko kostu exergetiko unitarioaren matrize diagonal eratu behar da fuel eta produktuen zatiketaren emaitza gisa.

ZN.	TALDEA	K_D (diag)[kJ/kJ]
1	K1	2.67
2	K2	1.63
3	BK1	1.00
4	BK2	1.00
5	P1	31.20
6	BT1	1.09
7	P2	9.36
8	ID	1.57
9	BK3	1.01
10	P3	5.89
11	BI	4.23
12	G1	5.45
13	G2	6.50
14	P4	5.93
15	P5	6.17
16	P6	37.17
17	BT2	3.42
18	P7	25.34
19	UB	2.75
20	UT	1.13
21	B	1.00
22	P8	14.45

Taula 19. K_D kostu exergetiko unitarioaren matrizearen diagonal nagusia

K_D matrizeak sistemaren talde bakoitzaren kostu exergetiko unitarioa azaltzen du. Matrize hau lortu ahal izateko, ekipoen produktuek unitateko balio daukatela suposatzen da.

Horrela, adibidez K_D matrizea aztertuz, ikus Taula 19, 1 taldeko (Kogenerazioa 1) kostu exergetiko unitarioa 2,7 koa dela ikusten da, hau da lehenengo kogenerazio motorrak produktu unitate bat sortzeko, 2,7 fuel (gas naturala) beharko ditu, eta ondorioz 2,7ko balioa duen itzulezintasuna izango du.

Bestalde, 3, 4 eta 9. taldeek, hau da, bulkada kolektoreek, unitateko kostu exergetiko unitario daukate, hau da sartzen den fuel guztia produktu bilakatzen da. Horrela, talde hauen itzulezintasunak nuluak dira.

α_{ex} matrizea sortzeko, α_e eta α_x matrizeak behar ditugu. α_e (7,50) dimentsioko matrizea 2. Proposizioan ezarri dugu eta α_x (21,50) dimentsioko matrizea 3.eta 4. Proposizioetan eraikitako ekuazioekin eraikiko dugu. Horrela, \mathbb{J}_x matrizea Taula 20-n agertzen den moduan geratzen da.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	-	2,675		2,675																					1
2			-																						2
3	1		0,261																						3
4			1		-1																				4
5				-1	-1				1																5
6						-			31,200																6
7					1	31,200			-																7
8					1		-1		1,093				1,093												8
9								9,362		9,362															9
10							1	-1			1		-												10
11											-	1,047	1,047												11
12											1			1	-										12
13														1,030											13
14																									14
15																									15
16																									16
17																									17
18																									18
19																									19
20																									20
21																									21
22																									22
23																									23
24																									24
25																									25
26																									26
27											1														27
28																									28
29																									29
30					1		-1,505																		30
31							1																		31
32																									32
33																									33
34																									34
35	-																								35
36	2,273																								36
37																									37
38																									38
39																									39

40																										40
41																										41
42																										42
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
43		-1,113		1,113																						43
44															1			-11,519								44
45															1						0,382					45
46															1									-2,019		46
47															1											47
48																										48
49			1	-1																						49
50																										50

	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50		
1																1	-2,675									1	
2									-0,261	-0,261	-0,261	-0,261	-0,261	-0,261	-0,261			1	-0,261					-0,261		2	
3										0,261																	3
4																											4
5									1																		5
6																											6
7										1																	7
8																											8
9																											9
10														1													10
11																											11
12																											12
13																											13
14											1																14
15												1															15
16																											16
17	-1,025				1,025																						17
18		7,602			-7,602																						18
19			-1			1																					19
20							-1,982																				20
21					1			-1,131																		1	21
22							1																				22
23																											23
24																											24
25																											25
26																											26
27																											27
28																											28
29																											29
30																											30

31																											31	
32																												32
	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50			
33																											33	
34	1	-1,509																									34	
35																	1										35	
36									-3,613									1									36	
37										-9,453								1									37	
38											-1,128							1									38	
39												-4,618						1									39	
40													-0,100					1									40	
41														-8,164				1									41	
42															-8,164			1									42	
43																		1									43	
44																											44	
45																											45	
46																											46	
47																										-2,229	47	
48								1																		-7,136	48	
49																											49	
50																		1								-0,879	50	

Taula 20. J_x (50,50) dimentsioko matrizea. (leku espazioak direla medio, hainbat taulatan adierazita)

Ondoren, \mathbb{Y}_e bektorea eraikitzen da, (50,1) dimentsioko matrizea izango dena eta oinarri teorikoetan adierazi den moduan, (22,1) dimentsioko 0 bektoreak, 2. Proposizioan zehaztutako (7,1) dimentsioko ω_e bektoreak eta (21,1) dimentsioko bektoreak osatuko dute. Hortaz, \mathbb{Y}_e bektoreko osagai guztiak 0-ak izango dira, 23 eta 29 bitarteko lerroetako osagaiak izan ezik (biak barne), ω_e bektoreko osagaiak izango dituenak, ikus Taula 18.

FP FORMULAZIOA EDO ESKAINTZA-EREDUA

A_F , A_P eta α_{ex} matrizeetatik abiatuta, $\langle FP \rangle$ (22,22) dimentsioko matrizea lortzen da, Taula 21-n agertzen den bezala.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1																						
2																						
3	0,306	0,061		1																		
4			0,665	1																		
5		0,019																				
6			0,335																			
7		0,007																				
8					1	1																
9							1	0,815	1		1	1	1	1	1	1						1
10		0,677																				
11								0,159														
12																						
13																						
14		0,060																				
15		0,015																				
16		0,008																				
17								0,037														
18		0,008																				
19																	1	1				
20																			1		1	
21																						
22		0,077																				

Taula 21. $\langle FP \rangle$ (22,22) dimentsioko y_{ij} -ren menpeko banatze matrizea

Eta ondoren (56.) ekuazioan adierazten den moduan $\langle P_T P \rangle$ (1,22) dimentsioko bektorea eraikiko da, ikus Taula 22.

ZN.	TALDEA	$\langle P_T P \rangle^t$
1	K1	0,6945
2	K2	0,0677
3	BK1	0
4	BK2	0
5	P1	0
6	BT1	0
7	P2	0
8	ID	0
9	BK3	0
10	P3	0
11	BI	1
12	G1	0
13	G2	0
14	P4	0
15	P5	0
16	P6	0
17	BT2	0

18	P7	0
19	UB	0
20	UT	1
21	B	0
22	P8	0

Taula 22. $\langle P_T P \rangle^t$ (1,22) dimentsiosko matrizea

$\langle FP \rangle$ matrizeak, talde bakoitzaren fuela, sistemaren beste talde baten produktuaren zati den adierazten du. Horrela, aztertzen den sistemaren $\langle FP \rangle$ matrizea aztertuko da, ikus Taula 21.

Adibidez, 6.taldeko (Bero Trukagailua 1) produktuen %100-a 8.taldera (Inertzia depositua 1) bideratuta dago.

Bestalde, badaude kasu berezi batzuk, hala nola 9.taldean (Bulkada kolektorea 3) gertatzen den moduan, bere produktua bere fuelaren parte da. Hau da, bere produktuaren %16-a 10. taldera (Ponpa 3) doa, %3-a 17.taldera (Bero Trukagailua 2) eta beste %81-a 9. taldera bueltatzen da fuel moduan, ez zuenean baina bai beste talde batzuetatik zehar igaro eta gero.

Horretaz gain, $\langle FP \rangle$ matrizearen zutabe bakoitzeko lerro guztiak batzen badira, hau da $\sum_{j=0}^n y_{ij}$ eginez gero, talde bakoitzaren produktua sistemaren barrura bideratuta dagoen ikus daiteke, Taula 23-ean agertzen den moduan.

ZN.	TALDEA	$\sum_{j=0}^n y_{ij}$	$\langle P_T P \rangle^t$
1	K1	0,31	0,69
2	K2	0,93	0,07
3	BK1	1	0
4	BK2	1	0
5	P1	1	0
6	BT1	1	0
7	P2	1	0
8	ID	1	0
9	BK3	1	0
10	P3	1	0
11	BI	0	1
12	G1	1	0
13	G2	1	0
14	P4	1	0
15	P5	1	0
16	P6	1	0
17	BT2	1	0
18	P7	1	0
19	UB	1	0
20	UT	0	1
21	B	1	0
22	P8	1	0

Taula 23. $\langle FP \rangle$ matrizearen zutabe bakoitzaren lerroen batura eta $\langle P_T P \rangle^t$ matrizea

Taula 23-a erreparatuz, talde guztien produktuen %100-a sistemaren barruan dauden beste taldeetara bideratuta dado, 1, 2, 11 eta 20. taldeen fuelak izan ezik, kogenerazioa 1 eta 2, berokuntza igorlea eta UBS txorrota, hurrenez hurren.

Kogenerazioko motorrek, produktuaren zati bat sistemaren barruko beste taldeetara bidaltzen dute eta beste zati bat elektrizitate gisa kanporatzen dute exergia sistematik at. Argi adierazten dena $\langle P_T P \rangle$ matrizearen bidez (Taula 22), alegia, 1. taldearen produktuaren %69-a doa sistematik kanpo 42. fluxuaren bidez eta 2. taldearen produktuaren %7-a doa kanpora 44. Fluxuaren bidez.

Bestalde, 11. Taldearen (berokuntza igorlea) produktuaren ezer ez doa sistemaren barruko inolako taldera, frogatuta geratzen dena $\langle P_T P \rangle$ matrizearen bidez, bertan, produktu guztia sistematik kanpo irtetzen dela adierazten delako.

Horretaz gain, Taula 23-ko azkenengo bi zutabeen lerro bakoitzaren batura unitateko balioa ematen du, $\langle FP \rangle$ eta $\langle P_T P \rangle$ matrizeen definizioak jarraituz.

PF FORMULAZIOA EDO ESKAERA-EREDUA

Hemendik aurrera egingo diren analisi eta kalkulu guztiak PF formulazioan egingo dira eta horretarako, FP eta PF formulazioen arteko erlazioa erabiliz, $\langle PF \rangle$ (22,22) dimentsioko matrizea lortuko da $\langle PF \rangle$ matritzetik abiatuta (57.) formulazian adierazi den moduan, ikus Taula 24.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
1			0,167																				
2			0,167		1		1			1				1	1	1		1					1
3				0,997		1																	
4			0,666																				
5				0,002																			
6								0,773															
7								0,005															
8									0,012														
9									0,793		1						1						
10									0,014														
11																							
12									0,165														
13									0,013														
14									0,012														
15									$3 \cdot 10^{-4}$														
16									2,606														
17									$\cdot 10^{-5}$														
18																			1,38				
19																			0,005				
20																					0,999		
21																							$1 \cdot 10^{-4}$
22										0,0006													

Taula 24. $\langle PF \rangle$ (22,22) dimentsioko PF formulazioko banatze matrizea

Ondoren, $\langle PF \rangle$ matritzetik abiatuta $\langle F_T F \rangle$ (1,22) dimentsioko bektorea eraikiko da, ikus Taula 25.

ZN.	TALDEA	$\langle F_T F \rangle^t$
1	K1	1
2	K2	1
3	BK1	0

4	BK2	0
5	P1	0
6	BT1	0
7	P2	0
8	ID	0,222
9	BK3	0
10	P3	0
11	BI	0
12	G1	1
13	G2	1
14	P4	0
15	P5	0
16	P6	0
17	BT2	0
18	P7	0
19	UB	-0,392
20	UT	0
21	B	1
22	P8	0

Taula 25. $\langle F_T F \rangle^t$ (1,22) dimentsioko matrizea

$\langle PF \rangle$ matrizeak, ekipo baten fuelaren zenbatekoa, beste talde batetik datorren adierazten du. Horrela, aztertzen den sistemaren $\langle PF \rangle$ matrizea aztertuko da, ikus Taula 24.

Adibidez, 11. taldeko (berokuntza igorlea) fuelaren %100-a 9. taldetik (bulkada kolektorea 3) dator.

Bestalde, talde batzuen fuela ez dator talde bakar batetik bakarrik, hala nola, 8. taldearen (Inertzia depositua) fuelaren %77-a 6. taldetik dator zuzenean eta %0,5-a 7.taldetik era ez zuzenean.

Bestalde, $\langle PF \rangle$ matrizearen zutabe bakoitzaren lerroen a batuketa eginez gero, argi ikus daiteke zein talderen fuela den barne fuela eta zeinena den kanpoko fuela.

ZN.	TALDEA	$\sum_{j=0}^n q_{ij}$	$\langle F_T F \rangle^t$
1	K1	0	1
2	K2	0	1
3	BK1	1	0
4	BK2	1	0
5	P1	1	0
6	BT1	1	0
7	P2	1	0
8	ID	0,78	0,22
9	BK3	1	0
10	P3	1	0
11	BI	1	0

12	G1	0	1
13	G2	0	1
14	P4	1	0
15	P5	1	0
16	P6	1	0
17	BT2	1	0
18	P7	1	0
19	UB	1,39	-0.39
20	UT	1	0
21	B	0	1
22	P8	1	0

Taula 26. $\langle PF \rangle$ matrizearen zutabe bakoitzaren lerroen batura eta $\langle F_T F \rangle^t$ matrizea

Taula 26-an ikusten de moduan, talde guztien fuelen %100-a dira barne fuelak, 1, 2, 12, 13, 8 eta 21. taldeen fuelak izan ezik, kogenerazio motorrak, galdarak eta bi biltegiak, hurrez hurren.

Kogenerazioko motorren eta galdaren fuelen %100-a kanpo fuelak dira, izan ere, hauek elikatzeko sistematik kanpo datorren gas naturala erabiltzen baita. Hau, argi ikusten da $\langle F_T F \rangle$ matrizean, izan ere unitateko balioak daukaten taldeek (1,2,12,13 eta 21) haien fuela kanpo fuela dela adierazten du.

Bestalde, Taula 26 -ko azkenengo bi zutabeen lerro bakoitzaren batura unitateko balioa ematen du, $\langle PF \rangle$ eta $\langle F_T F \rangle$ matrizeen definizioak jarraituz.

Horretaz gain, $\langle KP \rangle$ matrizeak $\langle PF \rangle$ ren ideia berdina adierazten du baina kasu honetan ehunekotan izan beharrean kostu exergetiko unitarioa adierazten du, izan ere, matrize hau $\langle PF \rangle$ eta K_D matrizeen biderketaren bidez lortu da.

PRODUKTU ETA FUELEN EXERGIA KOSTUAK

Lehenik eta behin K_e^* (1,22) dimentsioko matrizea lortuko da, fuel totaletik datorren ekipa bakoitzaren kontsumo exergetiko unitario adierazten duena, ikus Taula 27.

ZN.	TALDEA	K_e^{*t}
1	K1	2,675
2	K2	3,618
3	BK1	0
4	BK2	0
5	P1	0
6	BT1	0
7	P2	0
8	ID	0,349
9	BK3	0
10	P3	0
11	BI	0
12	G1	5,451
13	G2	6,499
14	P4	0

15	P5	0
16	P6	0
17	BT2	0
18	P7	0
19	UB	-1,080
20	UT	0
21	B	1
22	P8	0

Taula 27. $K_e^{*t}(1,n)$ dimentsioko fuel totalaren kontsumo exergetiko unitarioaren bektorea

K_e^* matrizea analisatuz (Taula 27) gero, bere definizioak esaten duen moduan, fuel totaletik datorren ekipoen kontsumo exergetiko unitarioa adierazten du. Hortaz, bakarrik, kanpo fuela daukaten taldeen balioak lortuko dira, kogenerazioko motorrena, galdarena eta bi tankeena, alegia.

Galdaren eta motorren kasuan, haien fuelaren %100-a kanpo fuela denez gero, K_D matrizean adierazitako balio berdina izango dute. Tankeen kasuan, aldiz, haien fuelaren zati bat bakarrik denez kanpo fuela, ehuneko hori kontuan hartzen da K_e^* matrize honetan.

ZN.	TALDEA	k_F^* [kJ/kJ]	k_P^* [kJ/kJ]
1	K1	1,00	2,67
2	K2	1,00	1,63
3	BK1	2,39	2,39
4	BK2	2,51	2,51
5	P1	1,63	50,79
6	BT1	2,39	2,61
7	P2	1,63	15,24
8	ID	2,32	3,65
9	BK3	6,12	6,20
10	P3	1,63	9,59
11	BI	6,20	26,26
12	G1	1,00	5,45
13	G2	1,00	6,50
14	P4	1,63	9,65
15	P5	1,63	10,05
16	P6	1,63	60,52
17	BT2	6,20	21,18
18	P7	1,63	41,25
19	UB	29,20	80,42
20	UT	80,40	90,97
21	B	1,00	1,00
22	P8	1,63	23,53

Taula 28. k_F^* eta k_P^* ($n,1$) dimentsioetako fuel eta produktuen exergia-kostu unitarioen bektoreak

k_F^* matrizean (Taula 28) talde bakoitzaren fuelen kostu exergetiko unitarioa adierazten da, zenbat fuel behar den taldearen sarreran, baina, aztertzen den taldearen itzulezintasunak ez dira kontuan hartzen.

Hortaz, sistema sekuentziala bada, osagai baten k_F^* balioak jasotzen ditu uretan gora egon diren itzulezintasun guztiak. nZEB ikerketa kasuan aztertutako sistema sasi-sekuentziala da, hau da, sistemaren energia transformazio-katea uretan behera doa, gehien bat: sorgailuekin hasten da (galdaretatik eta kogeneraziotik), banaketa-zirkuitua zeharkatzen du (bero-trukagailuak eta balbulak), deposituetara doa (tankeak), eta azkenean amaiera-osagaietara iristen da (berogailuak eta UBSko txorrotak). Beraz, kate energetikoko lehen taldeak (galdarek eta kogenerazioak) $k_F^*=1$ [kJ/kJ] izango dute; gainerako taldeek, aldiz kate-energetikoan zehar gaineratu diren kostuak barneratuko dituzte ($k_F^*sorgailu < k_F^*banaketa < k_F^*tanke < k_F^*amaiera$). Horrela, ikerketa kasu honi dagozkion datu batzuk (Taula 29):

ZN.	TALDEA	k_F^* [kJ/kJ]
1	KOGENERAZIOA 1	1,00
6	BERO TRUKAGAILUA 1	2,39
8	INERTZIA DEPOSITUA	2,32
19	UBS BILTEGIA	29,20
20	UBS TXORROTA	80,40

Taula 29. Sorgailuaren, banaketaren, tankeen eta amaierako k_F^* balioak

Kasu honetan, alegia, ikusten da sistema ez dela guztiz sekuentziala; izan ere, $k_{F_{BT1}}^* > k_{F_{ID}}^*$. Hau horrela da inertzia depositua ez dagoelako soilik bero trukagailuarekin elikatuta. Haren fuelak bi iturri dauzka ($\langle FP \rangle$ matrizean ikus daitekeen antzera): bero trukagailuaren sekundarioa (zeinen kostua $k_{P_{BT1}}^*$ den) eta deposituaren aldiuneko karga/deskarga (hau kanpo baliabidetzat hartzen da eta beraz $k_{F_{karga/deskarga}}^* = 1$). Ondorioz, inertzia deposituaren $k_{F_{ID}}^*$ izango da bi fuel horien batura ponderatua.

Bestalde, k_P^* matrizean talde bakoitzaren produktuen kostu exergetiko unitarioa adierazten da. Hau da, talde bakoitzak sarreran zenbat fuel behar duen adierazten du, talde horretara iritzi arte sistemak dituen itzulezintasun bai eta talde horrenak kontuan hartuz.

Horrela, aztertutako sistemari dagozkion datu batzuk erakusten dira (Taula 30):

ZN.	TALDEA	k_P^* [kJ/kJ]
1	KOGENERAZIOA 1	2,67
6	BERO TRUKAGAILUA 1	2,61
8	INERTZIA DEPOSITUA	3,65
19	UBS BILTEGIA	80,42
20	UBS TXORROTA	90,97

Taula 30. Sorgailuaren, banaketaren, tankeen eta amaierako k_P^* balioak

Gainera, osagai bakoitzaren fuel eta produktuaren exergia-kostuaren ratioak k_P^*/k_F^* adierazten du osagai horrek daukan itzulezintasuna (edo exergia-suntsiketa). Hau da, osagai horren "transformazio kalitatearen maila": hain zuen, aurretik definitutako kontsumo exergetiko unitarioa K_D . Beraz, k_P^*/k_F^* alderik handiena duen taldea izango da inefizienteena; ondorioz, energia-efizientzia sustatzeko ekintzak burutuz gero hori izango da aldatu beharreko lehen ekipoa (adibidez, galdarak kogenerazioarekin ordezkatu daitezke).

Horrela, ikerketa kasu honen $K_D = k_P^*/k_F^*$ ratioak aterata, konproba daiteke zein ekipok daukan itzulezintasun handienak (taulan ez daude ponpen k_P^*/k_F^* ratioak, aipatu bezala ez direlako aztertuko):

ZN.	TALDEA	k_p^*/k_F^*
1	K1	2,67
2	K2	1,63
3	BK1	1,00
4	BK2	1,00
6	BT1	1,09
8	ID	1,57
9	BK3	1,01
11	BI	4,23
12	G1	5,45
13	G2	6,50
17	BT2	3,42
19	UB	2,75
20	UT	1,13
21	B	1,00

Taula 31. k_p^*/k_F^* ratioak

Taula 31-an ikusten den moduan, eta K_D matrizean bezala, errekuntzako galdararen itzulezintasunak dira handienak, izan ere, etekin exergetiko oso baxua dute exergia suntsiketa handia sortuz.

EXERGOEKONOMIA-KOSTUAK

Exergoekonomia-kostuak kalkulatzeko, instalazioaren bizi-erabilgarria, n , eta diruaren urteko interes efektiboa, i , ezarri behar dira; bai eta kostu finko totalak kalkulatu, ikus Taula 32.

n [urte]	20
i [-]	0,05
CF_{TOT} [€]	40178,5

Taula 32. Instalazioaren bizi-erabilgarria, urteko interes efektiboa eta kostu finko totalak

Ondoren, ekipo bakoitzaren erosketa prezioa eta ordu aktiboak ezarriz, CF eta Z (22,1) dimentsioko bektoreak lor daitezke (Taula 33):

ZN.	TALDEA	EROSKETA PREZIOA, CAE [€]	ORDU AKTIBOAK [h/urte]	KOSTU FINKOAK, CF [€]	Z [€/h]
1	K1	20147,66	7572	6094,67	0,80490
2	K2	20147,66	7572	6094,67	0,80490
3	BK1	900,00	8760	272,25	0,03108
4	BK2	900,00	8760	272,25	0,03108
5	P1	504,71	7572	152,67	0,02016
6	BT1	794,59	8760	240,36	0,02744
7	P2	925,80	8760	280,05	0,03197
8	ID	2887,06	8760	873,34	0,09970
9	BK3	7679,28	8760	2322,98	0,26518
10	P3	920,48	8760	278,45	0,03179
11	BI	6502,00	8760	1966,86	0,22453

12	G1	20729,21	6033	6270,59	1,03938
13	G2	20729,21	4704	6270,59	1,33303
14	P4	983,60	6033	297,54	0,04932
15	P5	983,60	4704	297,54	0,06325
16	P6	5581,56	8760	1688,42	0,19274
17	BT2	1610,57	8760	487,20	0,05562
18	P7	794,80	8760	240,43	0,02745
19	UB	6816,00	8760	2061,84	0,23537
20	UT	100,00	8760	30,25	0,00345
21	B	100,00	8760	30,25	0,00345
22	P8	925,80	8760	280,05	0,03197
INBERTSIO TOTALA, CAE_{TOT} [€]		121663,59			

Taula 33. Talde bakoitzaren datu ekonomikoak

Taula 33-an ikusten den moduan, erosketa preziorik garestienak, galdarek eta kogenerazioko motorrek daukate eta ondorioz, kostu finkorik (C_F) altuenak, talde hauenak izango dira.

Jarraian, kanpo-baliabideen kostuak ezartzen dira, kogenerazio motorrak eta galdarak elikatzekeo gas naturalaren kostua eta ur hotzaren kostua, alegia. Ikus Taula 34.

	$\left[\frac{\text{€}}{\text{kJ}_{ex}} \right]$	$\left[\frac{\text{c€}}{\text{kWh}_{ex}} \right]$
Cex_{UH}	$3,657 \cdot 10^{-4}$	131,65
Cex_{GN}	$1,5224 \cdot 10^{-5}$	5,48

Taula 34. Ur hotzaren eta gas naturalaren exergia-kostuak

Horrela, ekipo bakoitzari dagokion fuel eta produktuen exergoekonomia-kostu unitarioak kalkula daitezke (22,1) dimentsioko c_F eta c_P matrizeak eratus. Energia balioekin ere kalkula daitezke. Azkenik, ekipo bakoitzaren kostu totalak kalkulatu dira C_{F_i} eta C_{P_i} oinarri teorikoetan adierazi den moduan, kostu unitarioa ekipo bakoitzari dagokion fuel edo produktu balioekin biderkatuz, $C_F = c_F \cdot F$, alegia. Ikus Taula 35.

ZN.	TALDEA	UNITARIOAK				TOTALAK	
		EXERGIA		ENERGIA		C_F [€]	C_P [€]
		c_F $\left[\frac{\text{c€}}{\text{kWh}_{ex}} \right]$	c_P $\left[\frac{\text{c€}}{\text{kWh}_{ex}} \right]$	c_F $\left[\frac{\text{c€}}{\text{kWh}_{en}} \right]$	c_P $\left[\frac{\text{c€}}{\text{kWh}_{en}} \right]$		
1	K1	5,48	14,66	5,70	6,50	418002	418002
2	K2	5,48	8,92	5,70	7,14	1277856	1277856
3	BK1	13,10	13,10	1,39	1,39	684064	684064
4	BK2	13,76	13,76	1,18	1,18	478631	478631
5	P1	8,92	278,38	8,92	49,66	23947	23947

6	BT1	13,10	14,31	2,56	2,57	229380	229380
7	P2	8,92	83,53	8,92	14,58	9154	9154
8	ID	11,51	18,09	2,08	3,36	238535	238535
9	BK3	33,42	33,87	3,02	3,03	37984704	37984704
10	P3	8,92	52,54	8,92	8,93	865458	865458
11	BI	33,87	143,42	6,13	6,20	6025444	6025444
12	G1	5,48	29,88	5,70	5,73	5606728	5606728
13	G2	5,48	35,62	5,70	6,71	532012	532012
14	P4	8,92	52,89	8,92	8,92	76731	76731
15	P5	8,92	55,09	8,92	9,18	18737	18737
16	P6	8,92	331,68	0,01	0,01	10600	10600
17	BT2	33,87	115,71	5,68	19,03	1421733	1421733
18	P7	8,92	226,08	8,92	33,76	10600	10600
19	UB	161,65	445,17	26,47	39,63	1432333	1432333
20	UT	445,12	503,59	34,61	34,76	1432401	1432401
21	B	131,65	131,65	0,01	0,01	68	68
22	P8	8,92	128,95	8,92	22,60	98377	98377

Taula 35. Ekipo bakoitzaren kanpo baliabideen exergoekonomia-kostuak, c_F , c_P , C_F eta C_P

Taula 35-ean agertzen diren fuelen exergoekonomikoa kostu unitarioak (c_F [$c\text{€}/kWh_{en}$]) erreparatuz, ikusten da K1, K2, G1 eta G2 -en balioak bat datozela gas naturalaren exergia-kostuarekin (Taula 34) eta B-ren balioak ur hotzaren exergia-kostuarekin (Taula 34).

Bestalde, sisteman aurrera egin ahala, ekipo bakoitzak dituen itzulezintasunak hartzen dira kontutan eta Taula 31-an egin den moduan k_p^*/k_F^* ratioekin, c_P/c_F eginez gero, talde bakoitzaren itzulezintasunak lortuko ziren, kostu finkoak gehitu ez direlako, hau da, $K_D = c_P/c_F$.

Horretaz gain, talde bakoitzaren fuel eta produktuen exergoekonomia-kostuei, kostu finkoak gehitu ahal zaizkio, hau da, amortizazio, mantenu eta operazio gastuak, ikus Taula 36.

ZN.	TALDEA	UNITARIOAK						TOTALAK	
		EXERGIA			ENERGIA			C_F [€]	C_P [€]
		$\frac{c_F}{c\text{€}}$ [kWh_{ex}]	$\frac{c_P}{c\text{€}}$ [kWh_{ex}]	$\frac{c_{Pz}}{c\text{€}}$ [kWh_{ex}]	$\frac{c_F}{c\text{€}}$ [kWh_{en}]	$\frac{c_P}{c\text{€}}$ [kWh_{en}]	$\frac{c_{Pz}}{c\text{€}}$ [kWh_{en}]		
1	K1	5,48	14,66	10,16	5,70	6,50	4,51	418002	707765
2	K2	5,48	8,92	2,02	5,70	7,14	1,62	1277856	1567618
3	BK1	13,10	13,10	17,69	1,39	1,39	1,87	684064	1607879
4	BK2	13,76	13,76	20,76	1,18	1,18	1,79	478631	1200826
5	P1	8,92	278,38	147,50	8,92	49,66	26,31	23947	36636
6	BT1	13,10	14,31	19,95	2,56	2,57	3,59	229380	549032
7	P2	8,92	83,53	123,95	8,92	14,58	21,64	9154	22739
8	ID	11,51	18,09	27,99	2,08	3,36	5,21	238535	607662
9	BK3	33,42	33,87	7,71	3,02	3,03	0,69	37984704	46625716
10	P3	8,92	52,54	12,61	8,92	8,93	2,14	865458	1073149

11	BI	33,87	143,42	34,55	6,13	6,20	1,49	6025444	7476982
12	G1	5,48	29,88	1,99	5,70	5,73	0,38	5606728	5980905
13	G2	5,48	35,62	32,13	5,70	6,71	6,05	532012	1011904
14	P4	8,92	52,89	24,23	8,92	8,92	4,09	76731	111885
15	P5	8,92	55,09	79,44	8,92	9,18	13,24	18737	45756
16	P6	8,92	331,68	2246,44	0,01	0,01	0,06	10600	82390
17	BT2	33,87	115,71	27,95	5,68	19,03	4,60	1421733	1765180
18	P7	8,92	226,08	262,01	8,92	33,76	39,13	10600	22884
19	UB	161,65	445,17	136,90	26,47	39,63	12,19	1432333	1872797
20	UT	445,12	503,59	155,73	34,61	34,76	10,75	1432401	1875351
21	B	131,65	131,65	2415,21	0,01	0,01	0,24	68	1311
22	P8	8,92	128,95	44,33	8,92	22,60	7,77	98377	132193

Taula 36. Ekipo bakoitzaren exergoekonomia-kostu totalak

Taula 36-ko balioak aztertuz, berokuntzaren exergia unitate batek ($c_{p BI} + c_{pz BI}$) $177,97 \left[\frac{c\text{€}}{kWh_{ex}} \right]$ balio duela ikus daiteke, kontu finkoak eta aldakorrak kontuan hartuz. Bestalde, UBS-ko exergia unitate batek ($c_{p UT} + c_{pz UT}$) $661,32 \left[\frac{c\text{€}}{kWh_{ex}} \right]$ balio du. Hau da, garestiagoa da UBSaren sorkuntza berokuntza sorkuntza baino.

ONDORIOAK

Lan honetan nZEB eraikin baten instalazio termikoari termoekonomia aplikatu zaio. Horrela kuantifikatu ahal izan da energia-katean zehar gauzatzen diren kostuak. Kostu-banaketarako exergia erabili da eta, beraz, kostuak handituz doaz exergia suntsitzen doan heinean (edo, beste era baten esanda, itzulezintasunak agertu ahala).

Beraz, termoekonomia aplikatzeko fluxu bakoitzaren exergia balioak kalkulatu dira. Hori dela eta, hasteko, energia eta exergia balantzeak egin dira. Osagai bakoitzaren energia-eta exergia-etekinak alderatuz ikusi da energia parametroak ez dituela energia mota ezberdinen kalitateak kontuan hartzen eta, beraz, energia-etekinak orohar exergia-etekinak baino altuagoak direla. Exergia-etekinak, definizioz, energia transformazioaren kalitateak eta itzulezintasunak aintzat hartzen ditu.

Energia aldetik, errekuntza galdarek etekin altua daukate (%99 eta %85) baina exergia aldetik oso baxua (%18 eta %15). Kogenerazio motorrek, aldiz, energia etekin txikiagoa dute (%88 eta %80) baina exergia etekinarekin alderatzen bada (%37 eta %61) ez da horren alde handia ikusten. Izan ere, nahiz eta kogenerazioaren energia etekina galdarena baino txikiagoa izan, exergia etekina altuagoa da. Hori hala da kogenerazioak beroaz gain elektrizitatea ere ekoizten duelako. Elektrizitatea %100eko exergia da eta, ondorioz, beroaren kalitate galera nolabait konpentsatzen du P/F ratioa igoz.

Termoekonomia aplikatzeko egitura produktiboa definitu behar izan da. Horrela sistemaren osagaien arteko elkarrekintzak aztertu dira. Azken batean, sistema bat osagai elkar lotuta dauden osagai multzoen bitartez osatzen batia eta ekipo batek beste baten eragiten du. Ondorioz, osagai baten kontsumo unitarioa handitzen bada, beste talde baten kontsumoan eragingo du. Osagaien arteko elkarrekintza horiek egitura produktiboaren bitartez neurtzen dira. Egitura produktiboa aplikatzeko osagai bakoitzaren fuela eta produktua definitu behar dira. Fuela eta produktua definitzeko ez dago era bakarra eta, horregatik, kostu-banaketa balio ezberdinak lor daitezke ikertzailearen esperientziaren eta helburuaren arabera.

Bi ikuspegietatik aztertu ahal dira emaitza, FP eta PF ikuspegietatik. Alde batetik, osagai bakoitzaren fuela nondik datorren (FP) eta, bestetik, osagai bakoitzaren produktua norantz doan (PF) azter daiteke. Alegia, osagaien arteko elkarrekintzak aztertu dira.

Ondoren, exergia-kostuak kalkulatu dira eta bi ondorio nagusi azalerratu dira:

Batetik, osagai bakoitzaren fuelaren exergia-kostuak k_F^* adierazten du osagai horretara iritsi arte barneratu izan dituen itzulezintasunak; horregatik, ur beroaren txorrotak dauka kosturik handiena: 80,40 [kJ/kJ]; izan ere, beroak talde asko zeharkatu ditu txorrotara iristeko (galdarak/kogenerazioa, kolektorea, bero trukagailuak, tankeak) eta ibilbide horretan itzulezintasun asko batu ditu.

Bestetik, produktuaren eta fuelaren arteko ratioak k_p^*/k_F^* adierazten du osagai horren kontsumo unitarioa, alegia, ekipo horren inefizientzia.

Horrela, ikerketa kasu honen $K_D = k_p^*/k_F^*$ ratioak aterata, konproba daiteke ze ekipok dauzkaten itzulezintasun handienak; alegia, errekuntza galdarek: 5,451 [kJ/kJ] eta 6,499 [kJ/kJ].

Antzeko irakurketa egin daiteke exergoekonomia-kostuak kalkulatzeko, soilik kanpo-baliabideen kostuak aintzat hartzen badira. Horrela egiten bada, gas naturalaren eta sareko ur hotzaren kostu unitarioak [c€/kWh] baino ez dira kontuan hartzen.

Bestalde, Z kostu finkoak gehitzen badira, zeintzuek osagai bakoitzaren inbertsio eta mantenu kostuak barneratzen dituen, kostu finkoek dakartzaten eragin ekonomikoak azter daitezke.

Ondorioz, balio numerikoak aztertuz, berokuntzaren exergia unitate batek ($c_{p BI} + c_{pz BI}$) $177,97 \left[\frac{c\text{€}}{kWh_{ex}} \right]$ balio duela ikus daiteke, kontu finkoak eta aldakorrak kontuan hartuz.

Bestalde, UBS-ko exergia unitate batek ($c_{p UT} + c_{pz UT}$) $661,32 \left[\frac{c\text{€}}{kWh_{ex}} \right]$ balio du. Hau da, garestiagoa da UBSaren sorkuntza berokuntza sorkuntza baino.

Laburbilduz, Termoekonomia aplikatzean instalazio baten kate-energetikoan zehar gertatzen diren itzulezintasunak eta taldeen arteko eraginak aztertzen dira. Horrek ahalbidetzen du osagaien arteko elkarrekintzei kostua esleitzea (exergia suntsiketan oinarrituz) gerora egin daitekeen optimizazioan aintzat hartzeko. Azken finean, ezinbestekoa baita fluxuen kostu-eraketa prozesua ondo ulertzea optimizaziorako edo kontrol-egokirako neurriak aplikatzeko.

BIBLIOGRAFIA

1. W.T.Tutte, *Graph Theory*, Cambridge University Press, 2001.
2. S. Lipschutz, *Algebra lineal*, 2ª.ed., McGraw-Hill, 1992.
3. Directive 2010/31/EC (EPBD), of European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast)
4. BPIE (Building Performance Institute Europe). “*Nearly Zero Energy Buildings Definitions across Europe*”, 2015.
5. CTE. Documento Básico de Ahorro de energía DB-HE. Real Decreto 732/2019, de 20 de diciembre (BOE 27-diciembre-2019)
6. A. Martín Domingo, *Apuntes de los temas de Termodinámica*, 2015.
7. G.J. Klir, *An approach to General Systems theory*. Van Nostrand Reinhold Co., Nueva York, 1969.
8. M. Chandrasekar, F.C. Wong, Thermodynamic systems analysis: I.A graph theoretic approach, *Energy* 76 (1982) 556-561.
9. A. Valero, M.A. Lozano, M. Muñoz, A general theory of exergy saving. Part I: On the exergetic cost. Part II: On the thermoeconomic cost. Part III: Energy saving and thermoeconomics, *Computer-Aided engineering and energy system. AES Vol 2-3*, ASME Book 100236, 193-198, 1986.
10. E. Querol, J. Garcia Torrent, A. Cámara, J. Mª Montes, *Termoeconomía y Optimización Energética*, Universidad Politécnica de Madrid, 2011.
11. A. Valero, C. Torres, On causality in organized energy systems. Part II: Symbolic Exergoeconomics, *Proceedings of the Symposium: A Future for Energy*, Pergamon Press, Florencia 393-401, 1990.
12. C. Torres, *Exergoeconomía Simbólica. Metodología para el análisis termoeconómico de los sistemas térmicos*, Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 1991.
13. Grupo Tecmared; Evaluando el nuevo Sistema de Indicadores para definir los Edificios de Consumo de Energía Casi Nulo en España, *7ª Workshop Eecn*, Madrid, 2017.
14. J. Gelegenis, P. Axaopoulos, Residential Cogeneration Of Heat And Power: A Promising Way To Sustainability, A Challenging Way For Tutors, *International Journal Of Higher Education And Sustainability* 1 (1) (2015) 19-39.
15. M.A. Abella, *Sistemas Fotovoltaicos. Introducción Al Diseño Y Dimensionado De Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica*, Ediciones S.A.P.T. Publicaciones Técnicas, 2005.
16. IDEA, RITE, *Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios*, 2007.

GIPUZKOAKO INGENIARITZA ESKOLA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE GIPUZKOA

EIBAR

GrAL: TERMOEKONOMIAREN APLIKAZIOA nZEB ERAIKIN BATEN UBS ETA BEROKUNTZA SISTEMAN

2. DOKUMENTUA: KALKULU GEHIGARRIAK

Gradua: Energia Berriztagarrien Ingenieritzako Gradua

Kurtsoa: 2019 - 2020

Egilea: Irati Prol Godoy

Zuzendaria: Ana Picallo Pérez

Jarraian erakusten dira exergoekonomia kostuak kalkulatzeko egin diren kalkulu gehigarriak.

KOSTU FINKO IRAUNKOR TOTALA

Kapital-berreskuratze faktorea: $f_{rec} = \frac{0,05 \cdot (1+0,05)^{20}}{(1+0,05)^{20}-1} = 0,080243$

Amortizazio totala, kapital-berreskuratze faktorea eta ekipoen erosketa prezio totalaren, CAE_{TOT} , biderketaren bidez lortuko da:

$$Am = 0,080243 \cdot 121663,59 = 9762,601 \text{ €}$$

O&M kostua, inbertsio totalaren %25ekoa dela estimatzen da: $O\&M = CAE_{TOT} \cdot 0,25 = 30415,9 \text{ €}$

Kostu finko iraunkor totala, CF_{TOT} , amortizazio, operazio eta mantenu kosuten batura da:

$$CF_{TOT} = Am + O\&M = \mathbf{40178,5 \text{ €}}$$

UR HOTZAREN EXERGIA-KOSTUA

Ur hotzaren prezioa: $p_{uh} = 0,52 \left[\frac{\text{€}}{\text{m}^3} \right]$

Ur hotzeko emaria sisteman: $\dot{m}_{12} = 2000 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$

Emariaren unitate aldaketa eginda: $\dot{m}_{12} = 2000 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right] \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ kg}} = 52 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$

Ur hotzogatik ordaintzen dena, emariarekin bai eta denbora tartearrekin ($\Delta t = 1h$) biderkatzen dugu:

$$0,52 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} \cdot 2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 1,04 \frac{\text{€}}{\text{h}} \cdot 1 \text{ h} = 1,04 \text{ €}$$

Behin, ur hotzogatik ordaintzen dena jakinda, energia kostua eta exergia-kostuak lortuko dira:

$$Cen_{UH} = \frac{1,04 \text{ €}}{(E_{31} - E_{32}) \text{ kJen}} = 2,8916 \cdot 10^{-4} \left[\frac{\text{€}}{\text{kJen}} \right]$$

$$Cex_{UH} = \frac{1,04 \text{ €}}{(B_{31} - B_{32}) \text{ kJex}} = 3,657 \cdot 10^{-4} \left[\frac{\text{€}}{\text{kJex}} \right]$$

GAS NATURALAREN EXERGIA-KOSTUA

Gas naturalaren kostu energetikoa: $Cen_{GN} = 5,27 \left[\frac{\text{c€}}{\text{kWhen}} \right]$

Kostu energetikoari unitate aldaketa ezarriz: $Cen_{GN} = 5,27 \left[\frac{\text{c€}}{\text{kWhen}} \right] \cdot \frac{1}{100 \cdot 3600} = 1,4639 \cdot 10^{-5} \left[\frac{\text{€}}{\text{kJen}} \right]$

Gas naturalaren kalitate faktorea: $FQ = 1,04 \left[\frac{\text{kWhen}}{\text{kWhex}} \right]$

Gas naturalaren exergia-kostua, kalitate faktorea energia kostuarekin biderkatuz lortuko da:

$$Cex_{GN} = Cen_{GN} \cdot FQ = 1,5224 \cdot 10^{-5} \left[\frac{\text{€}}{\text{kJex}} \right]$$

GIPUZKOAKO INGENIARITZA ESKOLA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE GIPUZKOA

EIBAR

GrAL: TERMOEKONOMIAREN APLIKAZIOA nZEB ERAIKIN BATEN UBS ETA BEROKUNTZA SISTEMAN

3. DOKUMENTUA: MATLAB KODEA

Gradua: Energia Berriztagarrien Ingenieritzako Gradua

Kurtsoa: 2019 - 2020

Egilea: Irati Prol Godoy

Zuzendaria: Ana Picallo Pérez

Hona hemen, nZEB eraikinaren UBS eta berokuntza sistemari termoeconomia aplikatzeko garatu den Matlab kodea:

```
%Temperatura matrizea:
```

```
T=zeros(50,1);  
T(1,1)=81.84;  
T(2,1)=81.84;  
T(3,1)=67.08;  
T(4,1)=67.08;  
T(5,1)=81.84;  
T(6,1)=67.08;  
T(7,1)=67;  
T(8,1)=69.73;  
T(9,1)=65.44;  
T(10,1)=65.47;  
T(11,1)=63;  
T(12,1)=74.47;  
T(13,1)=66;  
T(14,1)=82.5;  
T(15,1)=63;  
T(16,1)=63.17;  
T(17,1)=80;  
T(18,1)=62.05;  
T(19,1)=62.5;  
T(20,1)=73.25;  
T(21,1)=63.11;  
T(22,1)=64.11;  
T(23,1)=68.68;  
T(24,1)=56.72;  
T(25,1)=56.73;  
T(26,1)=67.35;  
T(27,1)=55.4;  
T(28,1)=55.45;  
T(29,1)=67;  
T(30,1)=62;  
T(31,1)=55;  
T(32,1)=7;  
T(33,1)=7;  
T(47,1)=65.48;  
T(50,1)=7;
```

```
%Masa matrizea
```

```
M=zeros(50,1);  
M(1,1)=720;  
M(2,1)=720;  
M(3,1)=720;  
M(4,1)=720;  
M(5,1)=1440;  
M(6,1)=1440;  
M(7,1)=1440;  
M(8,1)=5000;  
M(9,1)=5000;  
M(10,1)=5000;  
M(12,1)=2000;  
M(13,1)=2000;  
M(14,1)=12083;  
M(15,1)=12083;
```

```

M(16,1)=12083;
M(17,1)=1083;
M(18,1)=1083;
M(19,1)=1083;
M(20,1)=23145;
M(21,1)=23145;
M(22,1)=23145;
M(23,1)=5000;
M(24,1)=5000;
M(25,1)=5000;
M(26,1)=1500;
M(27,1)=1500;
M(28,1)=1500;
M(30,1)=157;
M(31,1)=179;
M(32,1)=179;
M(33,1)=157;
M(47,1)=M(12,1);
M(50,1)=22;

```

```

Cp=4.186; %[kJ/kgK];
delta_t=1; %[h];

```

```

%H matrizea:%Balio guztiak KJ-etan daude

```

```

H=zeros(50,1);
H(1)=M(1)*Cp*T(1);
H(2)=M(2)*Cp*T(2);
H(3)=M(3)*Cp*T(3);
H(4)=M(4)*Cp*T(4);
H(5)=M(5)*Cp*T(5);
H(6)=M(6)*Cp*T(6);
H(7)=M(7)*Cp*T(7);
H(8)=M(8)*Cp*T(8);
H(9)=M(9)*Cp*T(9);
H(10)=M(10)*Cp*T(10);
H(12)=M(12)*Cp*T(12);
H(13)=M(13)*Cp*T(13);
H(14)=M(14)*Cp*T(14);
H(15)=M(15)*Cp*T(15);
H(16)=M(16)*Cp*T(16);
H(17)=M(17)*Cp*T(17);
H(18)=M(18)*Cp*T(18);
H(19)=M(19)*Cp*T(19);
H(20)=M(20)*Cp*T(20);
H(21)=M(21)*Cp*T(21);
H(22)=M(22)*Cp*T(22);
H(23)=M(23)*Cp*T(23);
H(24)=M(24)*Cp*T(24);
H(25)=M(25)*Cp*T(25);
H(26)=M(26)*Cp*T(26);
H(27)=M(27)*Cp*T(27);
H(28)=M(28)*Cp*T(28);
H(30)=M(30)*Cp*T(30);
H(31)=M(31)*Cp*T(31);
H(32)=M(32)*Cp*T(32);
H(33)=M(33)*Cp*T(33);
H(47)=M(47)*Cp*T(47);
H(50)=M(50)*Cp*T(50);

```



```
T11t_1=75; %[°C]
T29t_1=57; %[°C]
```

```
V_1=500; %[l]
V_2=500; %[l]
```

```
H(11)=Cp*V_1*(T11t_1-T(11));
H(29)=Cp*V_2*(T29t_1-T(29));
H(49)=972080;
H(34)=2684*delta_t;
H(35)=1026*delta_t;
H(36)=8600*delta_t;
H(37)=2100*delta_t;
H(38)=97000*delta_t;
H(39)=1188*delta_t;
H(40)=1188*delta_t;
H(48)=11026*delta_t;
```

```
El_42=5500; %[W]
Erren_41=0.27;
H(42)=El_42*(3600/1000)*delta_t;
H(41)=(H(42)/Erren_41)*delta_t;
```

```
El_44=2694; %[W]
```

```
Erren_43=0.6;
H(44)=El_44*(3600/1000)*delta_t;
H(43)=((H(44)+H(34)+H(35)+H(36)+H(37)+H(38)+H(39)+H(40)+H(48))/Erren_43)*delta_t;
H(45)=983631;
```

```
H(46)=93335;
T0=6.38; %[°C]
```

```
%B matrizea: %Balio guztiak KJ-etan daude
```

```
B=zeros(50,1);
B(1)=(M(1)*Cp*((T(1)-T0)-(T0+273)*log((T(1)+273)/(T0+273))))*delta_t;
B(2)=(M(2)*Cp*((T(2)-T0)-(T0+273)*log((T(2)+273)/(T0+273))))*delta_t;
B(3)=(M(3)*Cp*((T(3)-T0)-(T0+273)*log((T(3)+273)/(T0+273))))*delta_t;
B(4)=(M(4)*Cp*((T(4)-T0)-(T0+273)*log((T(4)+273)/(T0+273))))*delta_t;
B(5)=(M(5)*Cp*((T(5)-T0)-(T0+273)*log((T(5)+273)/(T0+273))))*delta_t;
B(6)=(M(6)*Cp*((T(6)-T0)-(T0+273)*log((T(6)+273)/(T0+273))))*delta_t;
B(7)=(M(7)*Cp*((T(7)-T0)-(T0+273)*log((T(7)+273)/(T0+273))))*delta_t;
B(8)=(M(8)*Cp*((T(8)-T0)-(T0+273)*log((T(8)+273)/(T0+273))))*delta_t;
B(9)=(M(9)*Cp*((T(9)-T0)-(T0+273)*log((T(9)+273)/(T0+273))))*delta_t;
B(10)=(M(10)*Cp*((T(10)-T0)-(T0+273)*log((T(10)+273)/(T0+273))))*delta_t;
B(12)=(M(12)*Cp*((T(12)-T0)-(T0+273)*log((T(12)+273)/(T0+273))))*delta_t;
B(13)=(M(13)*Cp*((T(13)-T0)-(T0+273)*log((T(13)+273)/(T0+273))))*delta_t;
B(14)=(M(14)*Cp*((T(14)-T0)-(T0+273)*log((T(14)+273)/(T0+273))))*delta_t;
B(15)=(M(15)*Cp*((T(15)-T0)-(T0+273)*log((T(15)+273)/(T0+273))))*delta_t;
B(16)=(M(16)*Cp*((T(16)-T0)-(T0+273)*log((T(16)+273)/(T0+273))))*delta_t;
B(17)=(M(17)*Cp*((T(17)-T0)-(T0+273)*log((T(17)+273)/(T0+273))))*delta_t;
B(18)=(M(18)*Cp*((T(18)-T0)-(T0+273)*log((T(18)+273)/(T0+273))))*delta_t;
B(19)=(M(19)*Cp*((T(19)-T0)-(T0+273)*log((T(19)+273)/(T0+273))))*delta_t;
B(20)=(M(20)*Cp*((T(20)-T0)-(T0+273)*log((T(20)+273)/(T0+273))))*delta_t;
```

```

B(21)=(M(21)*Cp*((T(21)-T0)-(T0+273)*log((T(21)+273)/(T0+273))))*delta_t;
B(22)=(M(22)*Cp*((T(22)-T0)-(T0+273)*log((T(22)+273)/(T0+273))))*delta_t;
B(23)=(M(23)*Cp*((T(23)-T0)-(T0+273)*log((T(23)+273)/(T0+273))))*delta_t;
B(24)=(M(24)*Cp*((T(24)-T0)-(T0+273)*log((T(24)+273)/(T0+273))))*delta_t;
B(25)=(M(25)*Cp*((T(25)-T0)-(T0+273)*log((T(25)+273)/(T0+273))))*delta_t;
B(26)=(M(26)*Cp*((T(26)-T0)-(T0+273)*log((T(26)+273)/(T0+273))))*delta_t;
B(27)=(M(27)*Cp*((T(27)-T0)-(T0+273)*log((T(27)+273)/(T0+273))))*delta_t;
B(28)=(M(28)*Cp*((T(28)-T0)-(T0+273)*log((T(28)+273)/(T0+273))))*delta_t;
B(30)=(M(30)*Cp*((T(30)-T0)-(T0+273)*log((T(30)+273)/(T0+273))))*delta_t;
B(31)=(M(31)*Cp*((T(31)-T0)-(T0+273)*log((T(31)+273)/(T0+273))))*delta_t;
B(32)=(M(32)*Cp*((T(32)-T0)-(T0+273)*log((T(32)+273)/(T0+273))))*delta_t;
B(33)=(M(33)*Cp*((T(33)-T0)-(T0+273)*log((T(33)+273)/(T0+273))))*delta_t;
B(47)=(M(47)*Cp*((T(47)-T0)-(T0+273)*log((T(47)+273)/(T0+273))))*delta_t;
B(50)=(M(50)*Cp*((T(50)-T0)-(T0+273)*log((T(50)+273)/(T0+273))))*delta_t;

```

```

%T11t_1=75; %[°C]
%T29t_1=57; %[°C]
%V_1=2000; %[l]
%V_2=5000; %[l] hau datua bi alditan daukazu

```

```

B(11)=Cp*V_1*((T11t_1-T(11))-(T0+273)*log((T11t_1+273)/(T(11)+273)));
B(29)=Cp*V_2*((T29t_1-T(29))-(T0+273)*log((T29t_1+273)/(T(29)+273)));
B(34)=H(34);
B(35)=H(35);
B(36)=H(36);
B(37)=H(37);
B(38)=H(38);
B(39)=H(39);
B(40)=H(40);
B(48)=H(48);
B(42)=H(42);
B(44)=H(44);
T1=19 %[°C]konfort tenperatura neguan

```

```

B(49)=H(49)*(1-((T0+273)/(T1+273)));
FQ_GN=1.04;
B(41)=H(41)*FQ_GN;
B(43)=H(43)*FQ_GN;
B(45)=H(45)*FQ_GN;
B(46)=H(46)*FQ_GN;
%1.PROPOSIZIOA

```

```

%AF matrizea eratzen:

```

```

AF=zeros(22,50);
AF(1,41)=1;
AF(2,43)=1;
AF(3,1)=1;
AF(3,2)=1;
AF(4,6)=1;
AF(5,34)=1;
AF(6,5)=1;
AF(6,7)=-1;
AF(7,35)=1;
AF(8,8)=1;
AF(8,9)=-1;
AF(8,11)=1;
AF(9,12)=1;
AF(9,14)=1;

```

```

AF(9,17)=1;
AF(9,22)=1;
AF(9,25)=1;
AF(10,38)=1;
AF(11,20)=1;
AF(11,21)=-1;
AF(12,45)=1;
AF(13,46)=1;
AF(14,36)=1;
AF(15,37)=1;
AF(16,39)=1;
AF(17,23)=1;
AF(17,24)=-1;
AF(18,40)=1;
AF(19,26)=1;
AF(19,27)=-1;
AF(19,29)=1;
AF(20,30)=1;
AF(20,50)=1;
AF(21,32)=1;
AF(22,48)=1;

```

```

%AP matricea eratzten:

```

```

AP=zeros(22,50);
AP(1,1)=1;
AP(1,3)=-1;
AP(1,42)=1;
AP(2,2)=1;
AP(2,4)=-1;
AP(2,34)=1;
AP(2,35)=1;
AP(2,36)=1;
AP(2,37)=1;
AP(2,38)=1;
AP(2,39)=1;
AP(2,40)=1;
AP(2,44)=1;
AP(2,48)=1;
AP(3,5)=1;
AP(4,3)=1;
AP(4,4)=1;
AP(5,6)=1;
AP(6,8)=1;
AP(6,10)=-1;
AP(7,10)=1;
AP(8,12)=1;
AP(8,13)=-1;
AP(9,15)=1;
AP(9,18)=1;
AP(9,20)=1;
AP(9,23)=1;
AP(9,47)=1;
AP(10,22)=1;
AP(11,49)=1;
AP(12,14)=1;
AP(12,16)=-1;
AP(13,17)=1;
AP(13,19)=-1;
AP(14,16)=1;

```

```

AP(15,19)=1;
AP(16,25)=1;
AP(17,26)=1;
AP(17,28)=-1;
AP(18,28)=1;
AP(19,30)=1;
AP(19,33)=-1;
AP(20,31)=1;
AP(21,33)=1;
AP(21,50)=1;
AP(22,13)=1;
AP(5,7)=-1;
AP(7,9)=-1;
AP(10,21)=-1;
AP(14,15)=-1;
AP(15,18)=-1;
AP(16,24)=-1;
AP(18,27)=-1;
AP(22,47)=-1;

```

```

%2.PROPOSIZIOA

```

```

%alfa e matricea:
alfa_e=zeros(7,50);
alfa_e(1,41)=1;
alfa_e(2,43)=1;
alfa_e(3,45)=1;
alfa_e(4,46)=1;
alfa_e(5,11)=1;
alfa_e(6,29)=1;
alfa_e(7,32)=1;

```

```

%Be=[B(41);B(43);B(45);B(46);B(11);B(29);B(32)]
%we matricea:
we=alfa_e*B;

```

```

%3.proposizioa:

```

```

%B5-X57*B7=0
%B8-X89*B9=0
%B20-X2021*B21=0
%B23-X2324*B24=0
%B26-X2627*B27=0
X3=zeros(5,50);
X3(1,5)=1;
X3(1,7)=-B(5)/B(7);
X3(2,8)=1;
X3(2,9)=-B(8)/B(9);
X3(3,20)=1;
X3(3,21)=-B(20)/B(21);
X3(4,23)=1;
X3(4,24)=-B(23)/B(24);
X3(5,26)=1;
X3(5,27)=-B(26)/B(27);
PROP3=zeros(5,1);

```

```

%4.Proposizioa:

```

```

X4=zeros(16,50);
X4(1,42)=1;
X4(1,1)=- (B(42) / (B(1) -B(3))) ;

```

```

X4 (1, 3) = (B (42) / (B (1) -B (3))) ;
X4 (2, 44) =1;
X4 (2, 34) =-B (44) /B (34) ;
X4 (3, 44) =1;
X4 (3, 35) =-B (44) /B (35) ;
X4 (4, 44) =1;
X4 (4, 36) =-B (44) /B (36) ;
X4 (5, 44) =1;
X4 (5, 37) =-B (44) /B (37) ;
X4 (6, 44) =1;
X4 (6, 38) =-B (44) /B (38) ;
X4 (7, 44) =1;
X4 (7, 39) =-B (44) /B (39) ;
X4 (8, 44) =1;
X4 (8, 40) =-B (44) /B (40) ;
X4 (9, 44) =1;
X4 (9, 2) =-B (44) / (B (2) -B (4)) ;
X4 (9, 4) =B (44) / (B (2) -B (4)) ;
X4 (10, 15) =1;
X4 (10, 18) =-B (15) /B (18) ;
X4 (11, 15) =1;
X4 (11, 20) =-B (15) /B (20) ;
X4 (12, 15) =1;
X4 (12, 23) =-B (15) /B (23) ;
X4 (13, 15) =1;
X4 (13, 47) =-B (15) /B (47) ;
X4 (14, 33) =1;
X4 (14, 50) =-B (33) /B (50) ;
X4 (15, 3) =1;
X4 (15, 4) =-B (3) /B (4) ;
X4 (16, 44) =1;
X4 (16, 48) =-B (44) /B (48) ;

```

```

PROP4=zeros (16,1);
alfa_x=[X3;X4];
alfa_ex=[alfa_e;alfa_x];
F=AF*B;
P=AP*B;
KD=F./P;
KD=diag (KD);
J=AF-KD*AP;
Jx=[J;alfa_ex];
Ye=[zeros (22,1);we;PROP3;PROP4];
Aux=AF/[AP;alfa_ex];
FP=[Aux (:,1:22)];
Pt_P=ones (1,22) * (eye (22) -FP) ;

```

%Aldatu da FP ikuspegitik PF ikuspegira eta horrela egingo da lan hemendik aurrera

```

PF=diag (P) *FP' *inv (diag (F)) ;
Ft_F=ones (1,22) * (eye (22) -PF) ;

```

%PRODUKUEN EXERGIA KOSTUAK

```

Ke=Ft_F*KD;
KP=PF*KD;
kp=(inv (eye (22) -KP) ') *Ke';
kf=Ft_F'+PF'*kp;
Pcex=kp.*P;

```

```
Fcex=kf.*F;
```

```
%KOSTU EXERGOEKONOMIKOAK
```

```
c_en_GN=5.27; %[c€/kWhen] %kostu energetikoa  
c_en_GN=c_en_GN*(1/(100*3600)); %[€/kJen] %kostu energetikoa  
FQ_GN=1.04; %[kWhen/kWhex] %[kJen/kJex] %kalitate faktorea  
c_ex_GN=c_en_GN*FQ_GN; %[€/kJex] %kostu exergetikoa
```

```
cost_uh=0.52; %[€/m^3] %ur hotzaren prezioa  
cost_uh=cost_uh*M(12)*(1/1000)*delta_t; %[€] %ur hotzaren prezioa  
c_en_uh=cost_uh/(H(31)-H(32)); %[€/kJen] %kostu energetikoa  
c_ex_uh=cost_uh/(B(31)-B(32)); %[€/kJex] %kostu exergetikoa
```

```
Ce=zeros(22,1);  
Ce(1)=c_ex_GN;  
Ce(2)=c_ex_GN;  
Ce(12)=c_ex_GN;  
Ce(13)=c_ex_GN;  
Ce(21)=c_ex_uh;
```

```
Ft_PECO=ones(1,22)*(eye(22)-PF).*Ce';
```

```
KeECO=Ke.*Ft_PECO;
```

```
%Koste termoekonomikoen kalkuluak
```

```
cp_Eco=(inv(eye((22))-KP))*KeECO';
```

```
%Erosketa prezioen bektorea (€tan)
```

```
CAE=zeros(22,1);  
CAE(1)=20147.66;  
CAE(2)=20147.66;  
CAE(3)=7679.28;  
CAE(4)=7679.28;  
CAE(5)=504.71;  
CAE(6)=794.59;  
CAE(7)=925.80;  
CAE(8)=2887.06;  
CAE(9)=7679.28;  
CAE(10)=920.48;  
CAE(11)=6502;  
CAE(12)=20729.21;  
CAE(13)=20729.21;  
CAE(14)=983.60;  
CAE(15)=983.60;  
CAE(16)=5581.56;  
CAE(17)=1610.57;  
CAE(18)=794.80;  
CAE(19)=6816.00;  
CAE(20)=100;  
CAE(21)=100;  
CAE(22)=925.80;  
CAE_tot=sum(CAE);
```

```
%ORDU/URTE matrizea
```

```
h=zeros(22,1);  
h(1)=7572;
```

```

h(2)=7572;
h(3)=8760;
h(4)=8760;
h(5)=7572;
h(6)=8760;
h(7)=8760;
h(8)=8760;
h(9)=8760;
h(10)=8760;
h(11)=8760;
h(12)=6033;
h(13)=4704;
h(14)=6033;
h(15)=4704;
h(16)=8760;
h(17)=8760;
h(18)=8760;
h(19)=8760;
h(20)=8760;
h(21)=8760;
h(22)=8760;

n=20; %bizitza erabilgarria (urteak)
i=0.05 ;%urteko interes efektiboa
OM=CAE_tot*(0.25);
f_rec=(i*((1+i)^n))/((1+i)^(n)-1);%kapital-berreskuratze faktorea
amor_tot=CAE_tot*f_rec;
CF_tot=amor_tot+OM;

Cf=zeros(22,1);
Cf(1)=CF_tot*(CAE(1)/CAE_tot);
Cf(2)=CF_tot*(CAE(2)/CAE_tot);
Cf(3)=CF_tot*(CAE(3)/CAE_tot);
Cf(4)=CF_tot*(CAE(4)/CAE_tot);
Cf(5)=CF_tot*(CAE(5)/CAE_tot);
Cf(6)=CF_tot*(CAE(6)/CAE_tot);
Cf(7)=CF_tot*(CAE(7)/CAE_tot);
Cf(8)=CF_tot*(CAE(8)/CAE_tot);
Cf(9)=CF_tot*(CAE(9)/CAE_tot);
Cf(10)=CF_tot*(CAE(10)/CAE_tot);
Cf(11)=CF_tot*(CAE(11)/CAE_tot);
Cf(12)=CF_tot*(CAE(12)/CAE_tot);
Cf(13)=CF_tot*(CAE(13)/CAE_tot);
Cf(14)=CF_tot*(CAE(14)/CAE_tot);
Cf(15)=CF_tot*(CAE(15)/CAE_tot);
Cf(16)=CF_tot*(CAE(16)/CAE_tot);
Cf(17)=CF_tot*(CAE(17)/CAE_tot);
Cf(18)=CF_tot*(CAE(18)/CAE_tot);
Cf(19)=CF_tot*(CAE(19)/CAE_tot);
Cf(20)=CF_tot*(CAE(20)/CAE_tot);
Cf(21)=CF_tot*(CAE(21)/CAE_tot);
Cf(22)=CF_tot*(CAE(22)/CAE_tot);

Z=ones(22,1);
Z(1)=Cf(1)/h(1);
Z(2)=Cf(2)/h(2);
Z(3)=Cf(3)/h(3);
Z(4)=Cf(4)/h(4);

```

```

Z(5)=Cf(5)/h(5);
Z(6)=Cf(6)/h(6);
Z(7)=Cf(7)/h(7);
Z(8)=Cf(8)/h(8);
Z(9)=Cf(9)/h(9);
Z(10)=Cf(10)/h(10);
Z(11)=Cf(11)/h(11);
Z(12)=Cf(12)/h(12);
Z(13)=Cf(13)/h(13);
Z(14)=Cf(14)/h(14);
Z(15)=Cf(15)/h(15);
Z(16)=Cf(16)/h(16);
Z(17)=Cf(17)/h(17);
Z(18)=Cf(18)/h(18);
Z(19)=Cf(19)/h(19);
Z(20)=Cf(20)/h(20);
Z(21)=Cf(21)/h(21);
Z(22)=Cf(22)/h(22);

cp_zEco=(inv(eye(22)-KP))* (Z(1:(22),:)./P);

%Kanpo baliabideak soilik kontuan hartuz
cfEco2=PF'*cp_Eco+Ft_PECO';
CfCost2=(cfEco2).*F;

%Koste totalak kontuan hartuz %Mantenua etab.
cpEco_f=cp_Eco+cp_zEco;
cfEco=PF'*cpEco_f+Ft_PECO';
Cp_Cost=cp_Eco.*P;
Cp_zCost=cp_zEco.*P;
CfCost=(cfEco).*F;

```


GIPUZKOAKO INGENIARITZA ESKOLA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE GIPUZKOA

EIBAR

GrAL: TERMOEKONOMIAREN APLIKAZIOA nZEB ERAIKIN BATEN UBS ETA BEROKUNTZA SISTEMAN

4. DOKUMENTUA: AURREKONTUA

Gradua: Energia Berriztagarrien Ingenieritzako Gradua

Kurtsoa: 2019 - 2020

Egilea: Irati Prol Godoy

Zuzendaria: Ana Picallo Pérez

GASTUEN ANALISIA

Atal honetan proiektuaren garapenean zehar eman diren gastu guztiak jaso dira, hauek lau taldetan bereiziz: barne orduak, amortizazioak, gastuak eta azpikontratazioak.

BARNE ORDUAK

Jarraian lan honetan parte hartu duten pertsonen eginiko lan-orduak agertzen dira, eta hauek suposatzen duten kostua:

	Ordu kopurua	Orduko kostua [€/ordu]	Kostua [€]
Zuzendaria	25	50	1.250
Ikaslea	300	30	9.000
GUZTIRA			10.250 €

Taula 37. Barne orduak

AMORTIZAZIOAK

Atal honetan, proiektu honetan erabilitako materialen eta programen kostuak kontabilizatzen dira:

	Prezioa [€]	Bizitza erabilgarria [ordu]	Orduko kostua [€/ordu]	Erabilera denbora [ordu]	Amortizazioa [€]
Ordenagailua	700	8000	0,0875	200	17,5
MS Office lizentzia	150	2.500	0,06	100	6
Matlab lizentzia	800	8760	0,0913	20	1,826
GUZTIRA					25,326

Taula 38. Amortizazioak

GASTUAK

Ikasturte honetan COVID-19aren ondorioz izan den egoera dela eta, bilera guztiak online egin dira beraz ez dute inolako gasturik suposatzen.

GIPUZKOAKO INGENIARITZA ESKOLA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE GIPUZKOA

EIBAR

GrAL: TERMOEKONOMIAREN APLIKAZIOA nZEB ERAIKIN BATEN UBS ETA BEROKUNTZA SISTEMAN

5. DOKUMENTUA: LABURPENA

Gradua: Energia Berriztagarrien Ingenieritzako Gradua

Kurtsoa: 2019 - 2020

Egilea: Irati Prol Godoy

Zuzendaria: Ana Picallo Pérez

LABURPENA

Ongizatea sustatzeko helburua duen mundu honek gero eta energia-kontsumo handiagoa behar du gizartearen betebeharrak asetzeko. Halere, energia-baliabide ez-berriztagarriak agortzen doaz eta ezinbestean energia-eraginkortasuna sustatzeko tresnak garatu eta erabili behar dira edota, energia berriztagarrien erabilpena hedatu behar da. Etxebizitzen sektorea energia gehien kontsumitzen duen sektoreetako bat da eta beraz, beharrezkoa da etxebizitzetako instalazioak ondo ezagutzera eta aztertzea, energia kontsumoa ahal den neurrian txikitzeko.

Gradu Amaierako Lan honen helburu nagusia Termoeconomia eraikin baten instalazio termikoan aplikatzea da, kostu-sorkuntzaren banaketa arrazionala lortzeko. Kostu-eraketa zelan gauzatzen den jakin ostean aplikatu ahalko baitira energia-efizientzia sustatzeko optimizazio eta kontrol teknikak. Kostu-banaketa Termoeconomia zientzian oinarrituko da eta, beraz, teoria honen kontzeptuak barneratuko dira lehenik eta behin, hala nola Exergia Kostuaren Teoria (KET) edo Exergoeconomia.

Bestalde, Termoeconomia nZEB (Nearly Zero Energy Building) etxebizitza bateko UBS eta berokuntza sistema bati aplikatu zaio, honen eraginkortasun energetiko eta exergetikoa ebaluatzeko eta optimizatzeko helburuarekin. Modu honetan ere, Termoeconomia praktikan ipini bai eta nZEB bezalako kontzeptuak ikasi dira.

Ondorioz, sarrera gisa, Termodinamikaren zenbait oinarritzko kontzeptu azaldu dira, hala nola 1. eta 2. Printzipioa, eta exergiari buruzko hainbat ideia garrantzitsu aipatu dira. Ondoren Termoeconomia kontzeptuak eta definizioak eman dira eta jarraian instalazioaren analisisa burutzeko jarraitu beharreko pausu matematikoak azaldu dira. Bukatzeko, aurretik azaldutako kontzeptu teorikoak ikerketa kasuan aplikatu dira eta lortutako emaitzak analizatu dira.

Alegia, instalazio errealearen fluxuen datu termodinamikoetatik abiatuz (hala nola, masa emariak eta tenperaturak), kalkulatu dira energia eta exergia balioak. Ondoren, osagai bakoitzari dagokion energia- eta exergia- etekinak kalkulatu dira eta horiek alderatu. Hurrengo urratsa bat dator instalazioaren egitura produktiboaren definizioarekin: hau da, talde bakoitzaren fuela eta produktua definituz taldeen arteko elkarrekintzak aztertuko dira FP eta PF errepresentazioen bitartez.

Gero, termoeconomia erabili da osagai bakoitzaren fuelari eta produktuari exergia-kostu unitarioa esleitzeko eta baita exergoeconomia-kostua kalkulatzeko ere. Azken honek osagai bakoitzaren inbertsio eta mantenu kostuak barneratzen ditu.

Horrela lortu da instalazioaren kostu-banaketaren diagnostiko sakona egitea.

Hurrengo ondorioak lortu dira:

- Energia aldetik, errekontza galdarek etekin altua daukate (%99 eta %85) baina exergia aldetik oso baxua (%18 eta %15). Kogenerazio motorrek, aldiz, energia etekin txikiagoa dute (%88 eta %80) baina exergia etekinarekin alderatzen bada (%37 eta %61) ez da horren alde handia ikusten. Izan ere, nahiz eta kogenerazioaren energia etekina galdarena baino txikiagoa izan, exergia etekina altuagoa da. Hori hala da kogenerazioak beroaz gain elektrizitatea ere ekoizten duelako. Elektrizitatea %100eko exergia da eta, ondorioz, beroaren kalitate galera nolabait konpentsatzen du P/F ratioa igoz.
- Exergia-kostuetatik bi ondorio nagusi azaleratu dira:

- Batetik, osagai bakoitzaren fuelaren exergia-kostuak k_F^* adierazten du osagai horretara iritsi arte barneratu izan dituen itzulezintasunak; horregatik, ur beroaren txorrotak dauka kosturik handiena: 80,40 [kJ/kJ]; izan ere, beroak talde asko zeharkatu ditu txorrotara iristeko (galdarak/kogenerazioa, kolektorea, bero trukagailuak, tankeak) eta ibilbide horretan itzulezintasun asko batu ditu.
- Bestetik, produktuaren eta fuelaren arteko ratioak k_p^*/k_F^* adierazten du osagai horren kontsumo unitarioa, alegia, ekipo horren inefizientzia. Horrela, errekuntza galdarak dira inefizienteenak: 5,451 [kJ/kJ] eta 6,499 [kJ/kJ].
- Exergoekonomia-kostua bi eratan kalkulatu dira: soilik kanpo-baliabideen kostuak aintzat hartuz eta kostu finkoak gehituz.
 - Lehenengo kasuan, gas naturalaren eta sareko ur hotzaren kostu unitarioak [c€/kWh] baino ez dira kontuan hartzen.
 - Bigarren kasuan, osagai bakoitzaren inbertsio eta mantenu kostuak barneratzen dira, kostu finkoek dakartzaten eragin ekonomikoak aztertzeko. Ondorioz, berokuntzaren exergia unitate batek $(c_{p BI} + c_{pz BI})$ 177,97 $\left[\frac{c\text{€}}{kWh_{ex}}$] balio du. Bestalde, UBS-ko exergia unitate batek $(c_{p UT} + c_{pz UT})$ 661,32 $\left[\frac{c\text{€}}{kWh_{ex}}$] balio du. Hau da, garestiagoa da UBSaren sorkuntza berokuntza sorkuntza baino.

Lanaren ondorio bezala, Excel eta MatlabR2015a ordenagailuko tresnak erabiliz software bat programatu da Termoeconomia modu erraz eta mekaniko batean, aipatutako UBS eta berokuntza sisteman aplikatzeko helburuarekin. Horrela ondorioak eta emaitza era azkarrean lortu daitezke.