

INGENERITZA MEKANIKOAN GRADUA GRADU AMAIERAKO LANA

ZIERBENAKO ZIKLO KONBINATUKO ZENTRALAREN ENERGIA- EFIZIENTZIAREN HOBEKUNTZA

Ikaslea: Ortega Pintado, Iker

Zuzendaria: Picallo Perez, Ana

Ikasturtea: 2021/22

Data: Gasteizen, Uztailean

AURKIBIDEA

1. Sarrera eta helburua	5
2. Testuingurua	6
2.1. Hitzaurrea.....	6
2.2. Sorkuntza zentratuen sistemak	6
2.3. Ziklo konbinatua.....	7
2.3.1. Carnot zikloa.....	7
2.3.2. Brayton zikloa	7
2.3.3. Rankine zikloa.....	10
2.4. Konfigurazioaren deskribapena.....	12
2.4.1. Ziklo konbinatua presio maila batekin.....	13
2.4.2. Ziklo konbinatua bi presio maila ezberdinekin	14
2.4.3. Ziko konbinatua hiru presio maila ezberdinekin.....	15
3. Zentrala.....	17
3.1. Zentralaren deskribapena	17
3.2. Teknologia eta antolaketa	17
3.2.1. Malgutasuna:	17
3.2.2. Abio denbora murriztuak.....	17
3.2.3. Efizientzia altua	17
3.2.4. Kutsadura maila baxuekin	18
3.3. Potentzia eta errendimendua	18
3.3.1. Erregaia	18
3.3.2. Sare elektrikoaren konexioa	18
3.3.3. Hozte sistema nagusia	18
3.3.4. Ingurune inpaktua	19
3.4. Diseinu baldintzak	19
3.5. Osagai nagusiak.....	19
3.5.1. Gas turbina	19
3.5.2. Berreskuratze galdara.....	21
3.5.3. Bapore turbina	22
3.5.4. Kondentsadorea	23
4. Kalkuluak	24
4.1. Modelo Energetikoa.....	24
4.2. Kogenerazioaren adierazlea. PES-a.....	31
5. Aurrekontua	34
5.1. Inbertsioa.....	34

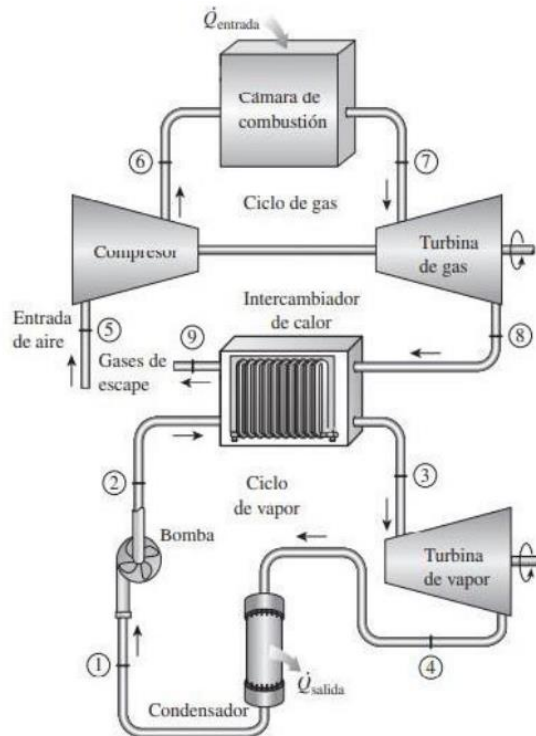
5.2. Payback.....	34
5.2.1. Simplea	34
6. Ondorioak.....	35
7. Eranskinak	36
8. Bibliografia.....	38

1. Sarrera eta helburua

Lan hau aurrera eramateko motibazioa aurkeztuko da jarraian; izan ere, industria-sektoreak mundu-mailan daukan kontsumoa oso altua da. Zehazki, lan honen helburua da BBE-ko zentral konbinatuaren errendimendua hobetzea. Horretarako ziklo bakoitza (gasa eta lurruna) aztertuko ditugu, bero galerak non sortzen diren ikusteko, eta ondoren, galera horiek aprobetxatuko ditugu, udan eta neguan bulegoak hoztu edo berotzeko. Amaitzeko, azterketa ekonomikoa egingo da.

Ziklo konbinatua, bi ziklo termodinamiko indibidualen akoplaziotzat har daiteke, batek tenperatura altuetan lan egiten du eta bestea lan tenperatura baxuago batetan. Tenperatura altuko zikloan, lan gordina sortzeko lortzen den beroa, bero truketaile baten aprobetxatzen da (galdaran), lana tenperatura baxuko ziklo termodinamikoan lortzeko.

Tenperatura ezberdinetan lan egiten duten zikloen konbinaketa ez da berria, Emmet-ek, XX. hamarkadaren hasieran (1925), bi Rankine zikloen konbinazioaren ideia garatu zuen, bat merkurioarekin eta bestea urarekin. Hala ere, gaur egun ezagutzen ditugun ziklo konbinatuen garapena, batez ere, gas turbinak, potentzia sortzeko elementu bezala garatzeari dagokio eta hauen akoplaketa Rankine ur-lurrun zikloari, ikus Irudia 1.



Irudia 1 Ziklo konbinatu baten eskema

2. Testuingurua

Jarraian lan honen testuingurua garatuko da.

2.1. *Hitzaurrea*

XX. mendearen amaierako urteetan zehar, herrialde garatuetan, energia elektrikoa sortzeko metodoetan aldaketa handiak izan ziren, bai baldintzetan eta bai fundamentuetan. Bi arrazoi daude aldaketa hauek azaltzeko: merkatu elektrikoak askatzea eta bestea klima-aldaketa, zeren gero eta ardura gehiago zegoen ingurumen arazoekin.

- Merkatu elektrikoa askatzeak eta metodo tradizionala bukatzeak, kostu gutxiagoko sistemetan inbertsio gehiago izatera bultzatu zuen, faktore honek, enpresen artean lehiakortasun handiagoa ekarri.
- Esan dugun moduan, bigarren arrazoa, klima-aldaketaren kezka da zein transformazio honen beste sustatzailea den. Rio de Janeiroko goi bilera (1992) eta Kyoto protokoloa (1997) bezalako ekimeneetan adostutako garapen jasangarriari esker. 2015ean Parisko Hitzarmena zintatu zen, Nazio Batuen Klima Aldaketari buruzko Esparrua Hitzarmena barruan egokitutako akordioa. Horren arabera, 2020. urtetik aurrera karbono dioxido isurketak gutxitu beharko dira. Horrekin negutegi-efektua geldiarazi nahi zen, Lurraren tenperatura bi gradu baino gehiago ez igotzea, alegia.

Klima-aldaketa ekiditzeko grina honek, metodo berriztagarriekin energia elektrikoa sortzeko beharra azaltzen du, gainera, erregai fosilekin energia sortzeko alternatibak finkatzen ditu, efizientzia energetiko handia eta CO_2 emisio baxuak bereizten dituenak.

Beraz, efizientzia eta emisio baxu hitzekin batera, ziklo konbinatuen zentralak, energia elektrikoaren eskaera estaltzeko metodo bezala, garrantzi handia hartzen dute.

2.2. *Sorkuntza zentratuen sistemak*

Energia sortzeko 3 metodo bereiz ditzakegu, energia zelan lortzen den arabera: hidraulikoa, nuklearra eta erregai fosilak.

- Energia hidraulikoak hedapen gutxienean du, Europan eta Estatu Batuetan gutxienez, zeren, lurralde hauetan esplotazio jasangarriaren limitera ia heldu da.
- Urtegi gehiago eraikitzeko leku falta dagoelako eta ibaien emarien desbideratzeko gizartearen erantzun ezkorra dela-eta, edukiera hidraulikoaren hazkuntzarik ez dago, nahiz eta, generazio elektrikoaren kostea eta atmosferara igorritako emisioak baxuak izan.
- Energia nuklearra, aldiz, nahiz eta erregai fosilen aurrean kostu baxuagoak izan, ez dirudi energia elektrikoa sortzeko alternatiba on bat denik, zeren, gizartearen artean, eztabaida handia dago eta hondakin erradioaktiboak deuseztatzeko, transformatzeko edo biltzeko errekurtso gehiago eskaini behar zaizkio.

Erregai fosilak, energia elektrikoa sortzeko bide nagusia da, gas naturala erabiliz. Hori, gas naturalak, ikatzaren aurrean dituen abantailari esker dagokio, abantailak inbertsio kostean, efizientzia energetikoan, operazioen flexibilitatean eta gizartearen onespenerari esker. Honek, ziklo konbinatuak erabiliz, energia elektrikoa sortzeko metodo masibo eta paregabea izatera bihurtu dute.

Kostuei eta efizientziari dagokionez, gas naturala erabilitako ziklo konbinatuko zentral batek 500€/kW -ko inbertsioa izan dezake eta bere errendimendu gordina %59-koa da, aldiz, ikatza erabiltzen duten zentral termikoen inbertsioa 1000€/kW-koa da eta errendimendua %45.

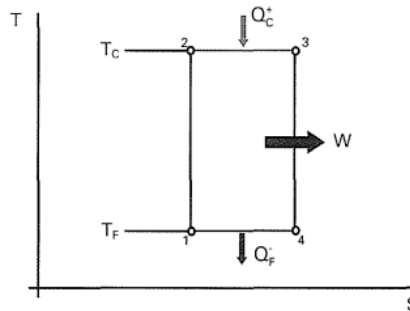
2.3. Ziklo konbinatua

Atal honetan, funtsezkoak diren ziklo termodinamikoaren zikloak azalduko dira, Brayton eta Rankine, alegia. Hau beharrezkoa da, energia elektrikoa sortzeko gas-lurrun teknologia erabiltzen duten ziklo konbinatuen zentralen funtzionamendua ulertzeko.

2.3.1. Carnot zikloa

Ziklo termodinamikoetan Carnot zikloa oinarritzkoa da, hori baita ziklo termodinamiko ideala; itzulgarria. Bere T-S diagrama, hurrengo irudian erakusten da. Carnot zikloa, hurrengo etapez osatzen da, ikusi Irudia 2 Karnot zikloaren T-s diagrama:

- 1-2 Konpresio adiabatikoa eta itzulgarria.
- 2-3 Foku beroan, bero ekarpena tenperatura konstantean. Fokuaren kontzeptu termodinamikoa, tenperatura konstantea eta bere edukiera infinitua duen foku bat da, hori dela eta, tenperatura ez da aldatzen, nahiz eta, beroa eman.
- 3-4 Espantsio adiabatikoa eta itzulgarria
- 4-1 Foku hotzean, bero emate bat dago, tenperatura konstantean, 2.etapan azaldu dugun ondorio berdinarekin.

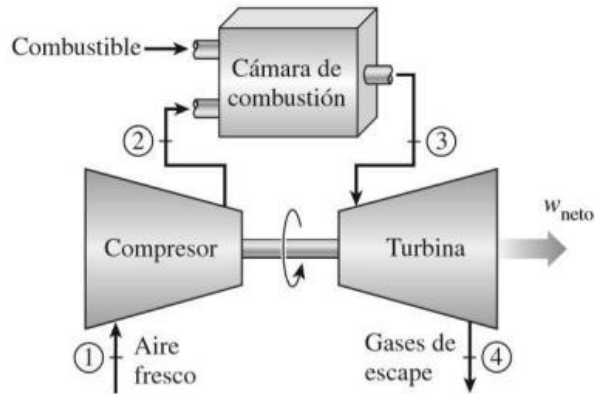


Irudia 2 Karnot zikloaren T-s diagrama

2.3.2. Brayton zikloa

George Brayton-ek, 1870ean proposatu zuen. Gas turbinek, ziklo irekian lan egiten dute, ikus Irudia 3:

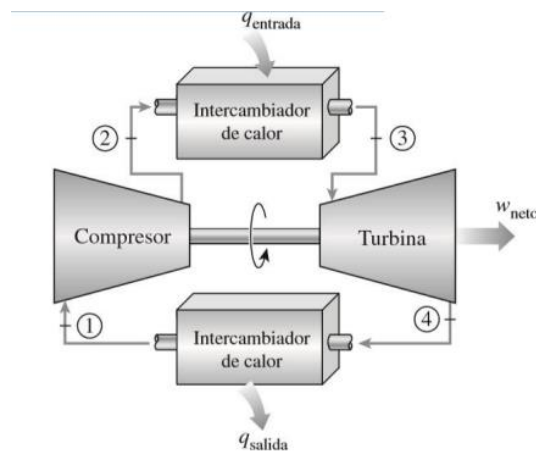
- Inguruko baldintzetan, airea konpresorera sartzen da
- Errekuntza ganbaran erregaia erretzen da.
- Turbinatik ateratzen diren ihes gasak, kanpora ateratzen dira, presio atmosferikoetan.



Irudia 3 Brayton ziklo irekiko eskema

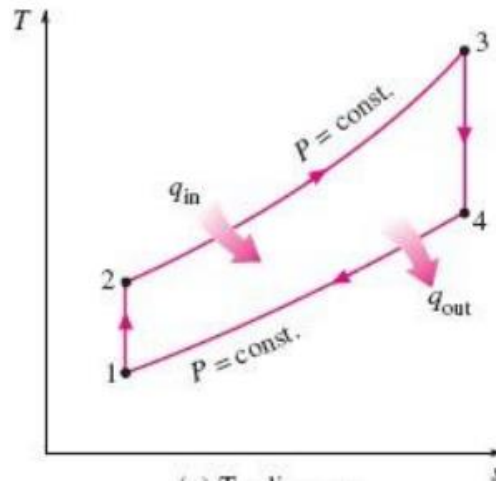
Zikloa, ziklo itxi bezala modelatzen da aire estandarreko hipotesietan, ikusi Irudia 4 Brayton ziklo itxiko eskema.

- Errekuntza, presio konstanteko bero-hartze prozesutat hartzen da.
- Ihesa, presio konstanteko bero-galtze prozesutat hartzen da.



Irudia 4 Brayton ziklo itxiko eskema

- 1-2 Konpresio isoentropikoa (konpresorean)
- 2-3 Presio konstanteko bero-hartzea (bero trukagailuan)
- 3-4 Hedapen isoentropikoa (turbinan)
- 4-1 Presio konstanteko bero galera



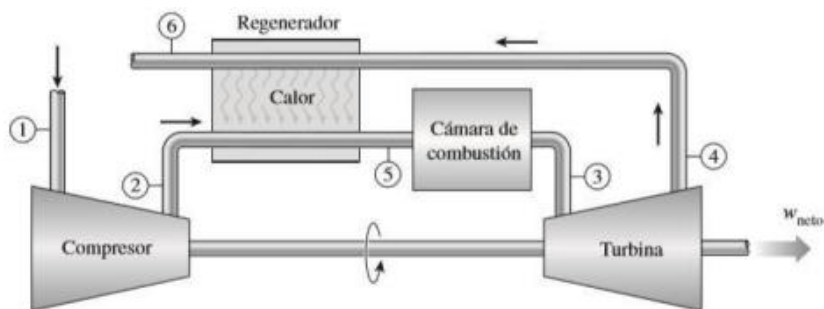
Irudia 5 Brayton zikloaren diagrama

Konpresorea optimizatzea, turbinaren espantsioa optimizatzea baino zailagoa da, zeren, konpresoreak, fluidoak, egoera-hiletik eramaten du, eta turbinak, espantsioan, temperatura altuan dagoen egoera batetik, bestera eramaten du, hori dela eta, gaur egun, konpresorearen errendimendua %89-%91 tartean dago eta turbinak, aldiz, %91-%93.

Turbinaren errendimendu maximoak, foku beroaren eta hotzaren arabera, gaur egun, diseinuak, airearen presioa eta konbustioaren tenperatura igotzeko bidean daudela azaltzen du, konpresorean hobekuntzak eginez.

3.3.2.1 Brayton zikoa birsorkuntzarekin

Turbinatik ateratzen diren gas beroek, konpresoretik ateratzen den aire hotza berotzen dute, fluxu kontrako bero trukagailu batean, birsorgailua. Ikusi Irudia 6 eta Irudia 7

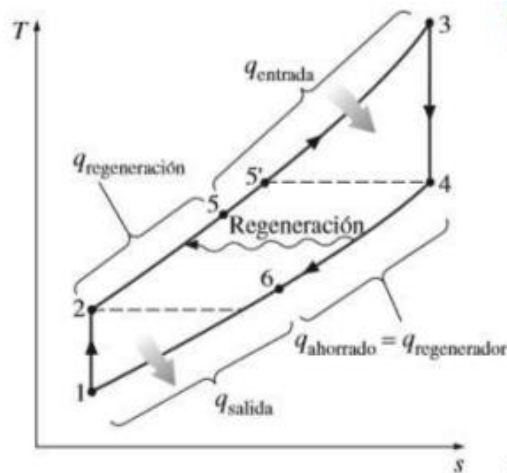


Irudia 6 Brayton birsorkuntzarekin

2.3.3. Rankine zikloa

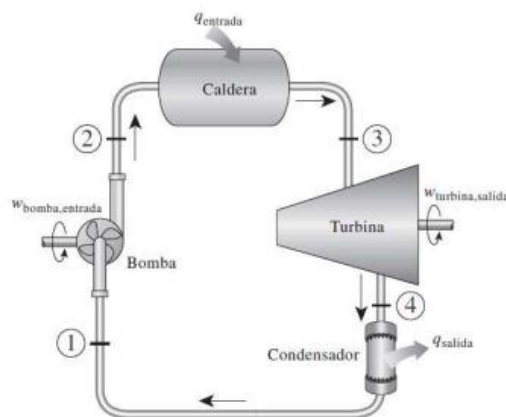
Lehen bapore turbinak, gaur egun ezagutzen ditugun moduan, XIX mendera arte atzera jotzen dute. DE Laval (1883, lehen akzio turbina) eta Parsons (1884, lehen erreakzio turbina). Hasieratik ikusi izan ziren bere abantailak elektrizitatea sortzeko. Bere erabilera, ziklo konbinatuetan, dagoen akoplamendu termiko ezin hobeari esker dagokio, horrela zikloaren errendimendua hobetuz.

Rankine-n zikloa, Carnot zikloaren aplikazio teknologikoari dagokio, fluidoa, fluido kondentsagarria da eta bere bilakaeran fase aldaketak daude. Ondorengo etapak dauzka, ikusi Irudia 8:



Irudia 7 Brayton diagrama birsorkuntzarekin

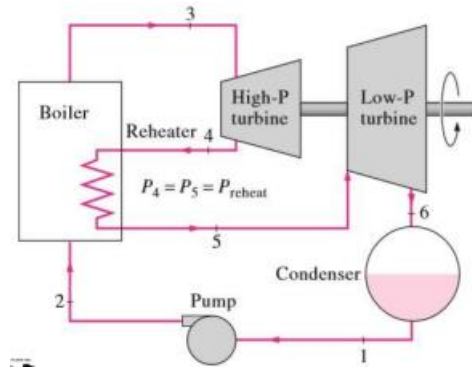
- 1-2 Bat edo etapa gehiagoen fluidoaren presio igoera. Prozesua, likido egoeran egiten da, ponpekin, fase aldaketatik kanpo.
- 2-3 Beroa ematen da, presio konstantean.
- 3-4 Bapore egoeran, fluidoaren espantsioa, turbinan egiten da, eta ahal den isoentropikoen.
- 4-1 Turbinaren irteeran, bero askatzen da, presio konstantean, kondentsadorean. Hemen lurrina, likido egoerara pasatzen da.



Irudia 8 Rankine zikloaren eskema

3.3.3.1 Rankine zikloa bitarteko birberotzearekin

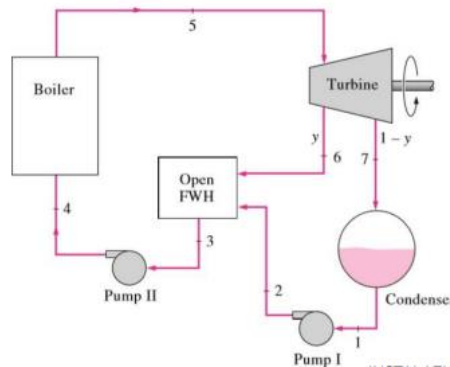
Lurruna, turbinan, bi etapatan hedatzen da eta, etapen artean, lurruna birberotzen da. Birberotzeak, efizientzia %4 edo %5 handitzen du eta, birberotzearen helburu nagusia, hedapenaren bukaeran, lurrunak duen hezetasun-edukia murriztea da, ikusi Irudia 9.



Irudia 9 Rankine zikloaren eskema birberotzearekin

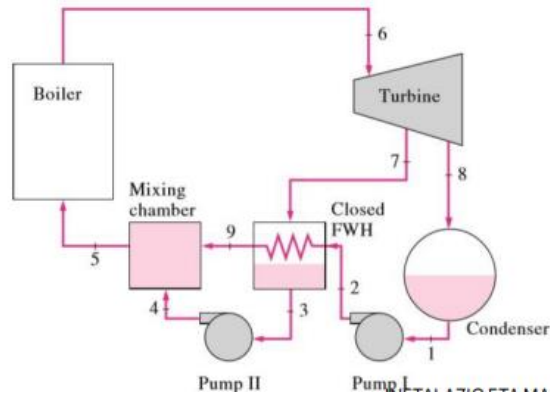
3.3.3.2 Rankine zikloa birsortzailearekin

Helburu nagusia, galdaran sartu behar den likidoaren tenperatura handitzea da. Turbinatik ateratzen den lurrunak, elikatze ura berotzen du, hori egiteko, leheneratzaileak edo ur-berogailuak erabiltzen dira. Berogailu irekietan, turbinatik ateratako lurruna eta elikatze ura, elkarrekin nahasten dira, nahastea, likido ase bihurtuta ateratzen da berogailuaren presiora, ikusi Irudia 10.



Irudia 10 Rankine zikloa birberotzearekin berogailu irekietan

Berogailu itxietan, elikatze ura eta turbinatik ateratako lurruna, ez dira elkar nahasten. Bi korrante presio desberdinetan daude. Elikatze ura eta lurruna tenperatura berean ateratzen dira, lurruna, likido ase bihurtuta tenperatura horretan, ikusi Irudia 11.



Irudia 11 Rankine zikloa birberotzearekin berogailu itxietan

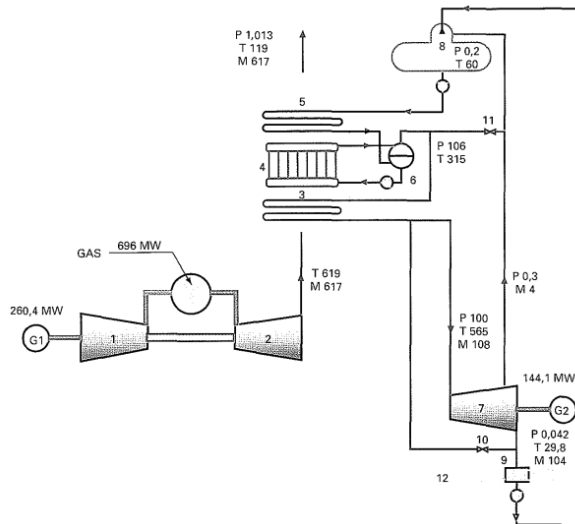
3.3.3.3 Lan presio superkritikoen erabilera

Presio altuak, zentral baten zikloetan, bero ekarpenean tenperatura igotzen dute, honen ondorioz, errendimendua ere igotzen da, nahiz eta, zailtasunak dauden zikoan dauden elementuetan, erabilitako materialen ondorioz.

2.4. Konfigurazioaren deskribapena

Rankine eta Brayton zikloen akoplamenduetan sortzen diren galerak murrizteko, berreskurapen galdaran sortzen den lurruna, bat, bi edo hiru maila ezberdinetan lortu daitezke, erdi mailako birberoketarekin edo gabe, honek, errendimenduaren eta potentziaren hobekuntzak, instalazioaren garestitzea dakar, zeren sofistikazio bat inplikatzeko du.

2.4.1. Ziklo konbinatua presio maila batekin



Irudia 12 Ziklo konbinatua presio maila batekin

LEGENDA: (1) konpresorea, (2) gas turbina, (3) gainberotzea, (4) Lurrungailua, (5) ekonomizadorea, (6) lurrun andela, (7) bapore turbina, (8) desgasifikadorea, (9) kondentsadorea, (10) lurrun-kondensadore by-pass, (11) desgasifikadoreari lurrun hornidura, (12) zikloari ur berritzea.

3.4.1.1 Lurrun presioa

Lurrun turbinaren potentzia eta errendimendua hobetzeko, lurruna, temperatura maximotik abiatzen da, turbinak produzitu dezakeen energia maximoa uzten duen presio handienetik ere.

- Presio altu batek, lurrun gutxiago sortuko luke, zeren, saturazio tenperatura igoko da presioarekin, honek, turbinako ihes gasek sortzen duten beroaren errekupeazio gutxiago inplikatu zukeen eta, honekin batera, galdararen bero berreskuratzearen errendimenduaren murrizketa ere.
- Osera, presio balio txikiekin, lurrun produkzio handiago bat egongo litzateke, ihes gasen bero berreskuratze handiagoa eta galdararen errendimenduaren igoera. Baina, dentsitate gutxiago duen lurrun masa honek, ekipoetan barne galera gehiago sortzen ditu eta, honekin batera, diseinua garestitzen du.
- Perspektiba termodinamiko batetik eta, jauzi entalpikoa optimizatzeko lez, tenperatura zehatz baterako, bapore presio onena, bero berreskuratze maximoa dakarren handiena da.

3.4.1.2 Lurrun tenperatura

Tenperatura maximoa zehazteko, turbinako ihes gasen tenperatura bezain altua edo 25°C baxuagoa izateko mugatzen da, kontuan hartuz, tenperaturaren igoerak, turbinaren jauzi entalpikoa handitzen duela. Hala ere, turbinaren bapore tenperatura zehazteko kontuan hartzen da jauzi entalpikoaren hobekuntza-kostua, eta materialen kostuen arteko oreka.

3.4.1.3 Pinch point

Pinch point-a, lurrungailuaren irteera tenperaturaren eta, zona horretako, gasen tenperaturaren arteko diferentzia bezala definitzen da. Zenbat eta pinch point-a baxuago izan, sortutako lurrun

kantitatea gero eta handiagoa da, lurrungailuaren bero trukearen azalera gero eta handiagoa da, hortaz, galdararen kostua ere.

3.4.1.4 Approach temperatura

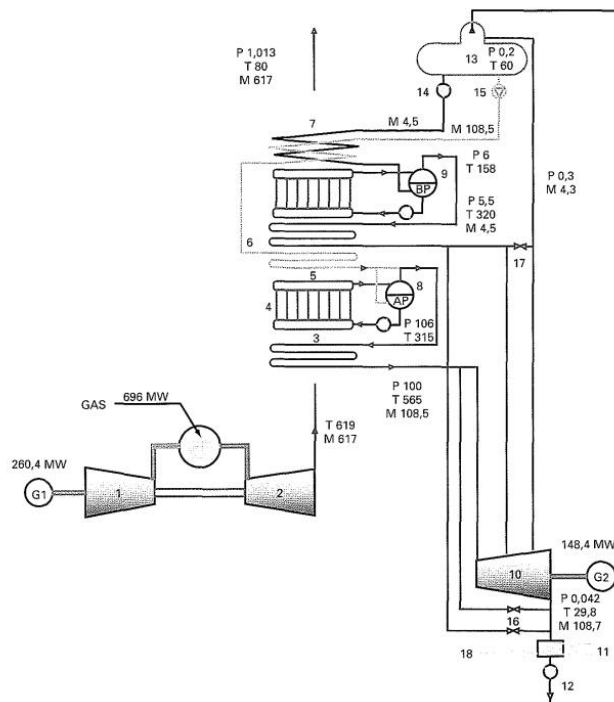
Lurrun andelaren saturazio temperaturaren eta ekonomizadorearen irteerako ur temperaturaren arteko temperatura diferentzia bezala definitzen da. Diferentzia hau beharrezkoa da, ekonomizadoreko tutuetan lurrunketa ekiditeko. Parametro honen balore txikia, beroaren aprobetxamendu handiagoa dakar, baina, ekonomizadorean trukatzeko azalera handiagoa ere.

3.4.1.5 Hornitze uraren temperatura

Berreskuratze galdararen errendimendua handitu egiten da, ekonomizadorearen sarrerako ur temperatura gero eta baxuagoa denean.

2.4.2. Ziklo konbinatua bi presio maila ezberdinekin

Ihes gasen temperatura eta bero galerak txikitzeko eta ziklo termodinamikoaren errendimendua hobetzeko, galdaran, bi presio maila erabil daitezke. Presio baxuko mailan, beroaren aprobetxamendu eraginkorragoa egin daiteke, saturazio temperatura eta presio baxuagoen ondorioz, horrela, bapore turbinaren lana handituz, ikusi Irudia 13.



Irudia 13 Ziklo konbinatua bi presio mailekin

LEGENDA: (1) konpresorea, (2) gas turbina, (3) presio altuko gainberotzea, (4) Lurrungailua, (5) presio altuko ekonomizadorea, (6) presio baxuko gainberotzea, (7) presio altuko ekonomizadorea, (8) presio altuko lurrun andela, (9) presio baxuko lurrun andela, (10) lurrun turbina, (11) kondentsadorea, (12) kondentsadorearen ponpa, (13) desgasifikadorea, (14) presio altuko ur horniketaren ponpa, (15) presio baxuko ur horniketaren ponpa, (16) bapore-kondensadore by pass, (17) desgasifikadoreari lurrun horniketa, (18) zikloaren ur hornitzea

3.4.2.1 Lurrun presioa

Presio altuko lurrunaren presioa handitu behar da, lurrun turbinaren potentzia handituko duen jauzi entalpikoa eskuratzeko, kontuan hartuz, kondentsadorearen hutsa, hezetasun maila eta presio maila bateko presio irizpideak. Beste aldetik, presio baxuko lurrun presioa txikia izan behar da, lurrun prozesuan, temperatura baxuko gasen beroa aprobetxatzeko, baina, ez gehiegi, zeren, horrek, turbinaren jauzi entalpikoa txikituko du.

3.4.2.2 Lurrun temperatura

Presio maila bakarreko zikloan ez bezala, non, lurrun tenperaturaren handitzeak bapore turbinaren potentzia handitzen duen, bi presio maila dituen zikloetan, ordea, lurrun turbinaren potentzia handituko da, bapore presioaren temperatura gero eta handiagoa denean.

Termodinamikaren ikuspuntutik eta nola ziklo honetan, beroaren berreskurapena hobetzen denez, tenperaturaren handitzeak, Rankine zikloaren foku beroaren, batez besteko tenperaturaren handitzea dakar, honela, ziklo konbinatuaren, errendimenduaren hobekuntza ere.

3.4.2.3 Approach temperatura

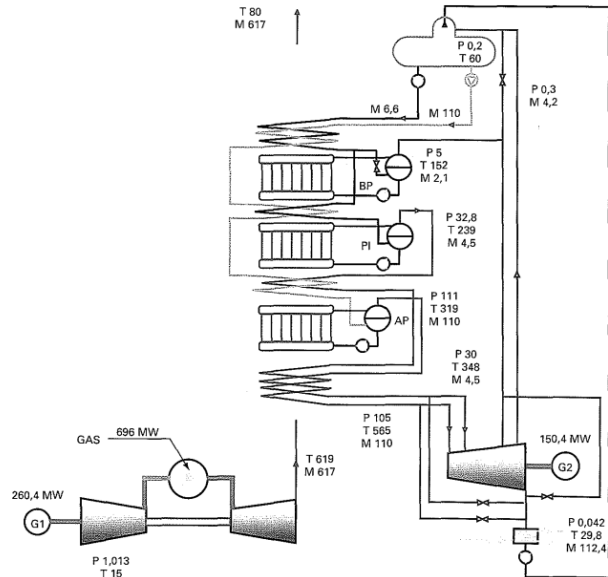
Zikloaren errendimendua gero eta hobea izan, parametro hau, gero eta txikiagoa izan behar da.

3.4.2.4 Pinch point

Bi presio maila dituen zikloetan, presio altuko eta baxuko lurrungailuetan, pinch point-a tenperaturak zehazten dira. Parametro honen balioak, presio altuan, ez dauka hainbesterako efekturik potentzian, maila bateko presioko zikloan bezala, zeren, presio altuan erabiltzen ez den energia, pinch point balioak erabiliz gero, presio baxukoan berreskuratu daitezke.

2.4.3. Ziko konbinatua hiru presio maila ezberdinekin

Hirugarren presio maila gehitzen, errendimendua, pixka bat gehiago hobetu daiteke, turbinaren ihes gasen energia gehiago aprobetxatuz, zeren, erdi mailako presioak, presio baxuko eta altuko turbinan sortzen den energiaren txikitzea konpentsatzen du. Hiru presio maila dituen ziklo konbinatua ez da asko erabiltzen, zeren, bi presio mailakoarekin konparatuz, errendimenduaren handitzea oso txikia da. Ikusi Irudia 14



Irudia 14 Ziklo konbinatua hiru presio mailekin

3.4.3.1 Lurrun presioa

Lurrun turbinaren potentzia txikitzen da, zeren, jauzi entalpikoaren efektu negatiboa handiagoa da, gainera, barne galerak ere handiagoak dira. Hala ere, oreka puntu bat aurki daiteke kostu eta potentziaren artean, soluzioa, presio altuko eta erdi mailako presioek sortzen duten potentzian dago, zeren, presio altua igotzen denean, 105 bar-eko presiora arte, gehiegizko hezetasuna ekiditeko, erdi mailako presioa duen lurrun turbina (potentzia hobea ematen duena) ere handitzen da.

3.4.3.2 Lurrun tenperatura

Lurrun tenperaturaren jokoarak, bi presio maila duen zikloa bezalakoa da, presio altuko lurrunaren tenperaturak turbinaren potentzia hobetuz, erdi mailako presioak duen lurrun tenperatura handitzen den neurrian. Esan behar da, erdi mailako presioaren etapa, turbinen hezetasun maila txikitzen laguntzen duela, higadura gutxituz. Hala ere, honek, neke termiko bat ekarri dezake, erdi mailako eta presio altuko lurrun tenperatura diferentziaren ondorioz.

3.4.3.3 Pinch point eta approach tenperatura

Bi presio maila dituen zikloetan bezalako kontsiderazioak, oreka bat lortuz, galdararen azaleraren handitzearen eta potentziaren handitzearen artean.

3. Zentrala

Atal honetan deskribatzen da lanean hobetuko den zentrala. Informazio gehiena zentralaren web orrialdetik lortu da.

3.1. Zentralaren deskribapena

Bahía de Bizkaia Elektrizidad S.L. (BBE) Zierbenako udalerrian kokatzen den ziklo konbinatuko zentrala da, Irudia 15. Gutxi gorabehera, 5 hektareako partzela batean kokatuta dago, Punta Luceroko lurretan kokatuta eta Bilboko superportuaren luzapen bat da. Ikusi Irudia 15.



Irudia 15 BBE zentralaren argazkia

Itsasoa ipar ekialdean kokatuta dago, 250m-ra, gunea laua da eta itsaso mailan aurkitzen da.

3.2. Teknologia eta antolaketa

Zentrala, 2x1 konfigurazioan oinarritzen da. Bi gas turbina ditu (MS 9001 FA General Electric modeloa), bi berreskurapen galdara, zirkulazio naturalarekin, hiru presio mailekin (Babcock Wilcox Española modeloa) eta hiru gorputzeko bapore turbina bat dago (General Electric modelokoak) birberotze batekin.

Gas-turbinak, bankada batean kokatuta daude, zoru mailan, eta lurrun-turbina, aldiz, idulki baten gainean, kondentsadorea turbinaren azpian kokatzeko. Kondentsadorea itsasoko urarekin hozten da, zirkuitu irekian. Turbinak eta galdarak, dagozkien eraikinaren barnealdean daude.

Transformadore nagusiak eta bigarren mailakoak egurats zabalean kokatuta daude, turbinen eraikinaren eta REE azpi-estazioaren tartean. Gas turbinek erabiltzen duten gas naturala, aldeztatik berotuta dago, berreskurapen galdaretatik ateratako ura erabiliz, ziklo konbinatuaren efizientzia handiagotzeko lez.

3.2.1. Malgutasuna:

Zentralak lan egin dezake bai oinarritzko kargarekin zein karga partzialekin, errendimendu ezin hobek lortuz.

3.2.2. Abio denbora murriztuak

100% dituen by-pass-ek gas turbinaren eta berreskurapen galdararen abioa ahalbidetzen dute, bapore turbina abian jarri gabe, beraz, abio denbora murriztuak lortzen dira.

3.2.3. Efizientzia altua

Lortutako efizientzia altua, ondorengo xehetasunean oinarrituta daude:

- Bapore zikloaren optimizazioan, bapore tenperaturaren kondizio altuetan oinarrituta eta kondentsadorearen huts maila altuekin.
- Turbinaren irteera gasen aprobetxamendu maximoarekin, galdaran pinch-points murriztuekin eta tximinian gas tenperatura baxuekin.
- Turbinan erabilitako aurreberotutako gasa erabiliz.
- Gas turbinaren konpresorean, gida aldakorrak dituen alabeak erabiliz.

3.2.4. *Kutsadura maila baxuekin*

Erabilitako (Dry Low NOx combustor) teknologia eta ziklo konbinatuaren kontzeptu propioa, atmosferara igorritako emisioak murrizten ditu, horrela, kutsadura maila baxuko zentrala egiten dute.

3.3. *Potentzia eta errendimendua*

Baldintza nominaletan, zentralak, 785MW-eko potentzia emango du eta kontsumoa 6355 kJ/kWh-koa. Potentzia hori horrela banatzen da:

- Gas turbina 1: 256,6 MW
- Gas turbina 2: 257,4 MW
- Bapore turbina: 271,3 MW
- Kontsumo osagarria: 12213 kW

3.3.1. *Erregai*

Zentralak, gas naturala kontsumitzen du eta erregai bakarra da, eskatutako potentzia minimoa 35 bar-ekoa da. Bahía de Bizkaia Gas S.L zentralak (alboan duen zentral birgasifikatzaileak) beharrezko gasa hornituko die.

3.3.2. *Sare elektrikoaren konexioa*

BBE zentrala duen konexioa, Red Eléctrica de España (REE) sareari 400kV-eko tentsioa duen azpiestazio baten bidez egiten da.

3.3.3. *Hozte sistema nagusia*

Kondentsadorearen, zein, hozte zirkuitu itxiaren hozketa, itsasoko ura duen zirkuitu itxi baten bidez egiten da. Ponpak, itsaso ondoan kokatzen dira eta zentralari konektatuta daude, lurperatutako tutueria baten bidez. Itsasoko ura, kondentsadoretik pasatu ostean, itsasora bueltatzen da, urpeko hustubide baten bidez, zeinek, ura deskargatzea ahalbidetzen duen, kostatik 50m-ra kokatuta eta 20m-ko sakontasunarekin. Bahía de Bizkaia Gas S.L zentralak, konexio puntu bat dauka eta itsasoko uraren zati bat urtutako gasaren baporizazio prozesuan erabiliko da.

Honek dira datu nagusiak:

- Hozte sistemaren luzera: 840m
- Tutuen barneko diametroa: 2,5-3m
- Hustubidearen luzera: 50m

Eta hauek urperatutako ponpen datuak:

- Itsasoko uraren emaria: 14,4 m³/s
- Dimentsioak: 31,3 x 17,2 x 15 (h)m.
- Hondoaren kota: -7,5 m.

3.3.4. Ingurune inpaktua

Zentralak, baimendutako limite maximoak errespetatzen ditu, bai likido isurketetan, bai gas isurketetan eta inguruko zaraketan.

Gas turbinek NOx indize baxuko erregailu batzuk dituzte, NOx emisioak $50 \frac{mg}{Nm^3}$ balioaren azpitik egon daitezten. Tximiniaren altuera 125 m -koa da, irteera gasen dispertzioa ahalbidetzeko.

3.4. Diseinu baldintzak

Diseinu baldintzei dagokienez, hauek dira plantaren analisisa egiteko ingurumen baldintza nominalak.

- Ingurumen tenperatura: 15°C
- Ingurumen tenperaturaren tartea: -6,6°C-41,7°C
- Hezetasun erlatiboa: 73%
- Hezetasun erlatiboaren tartea: 56%-85%
- Presio atmosferikoa: 1015 mbar
- Jasotze maila: Itsaso maila
- Kokapena: Itsasoaren ondoan
- Haizearen abiadura maximoa: 148 km/h

Eta hauek hozkuntza zikloko diseinu baldintzak:

- Hozte fluidoa: Itsasoko ura
- Uraren tenperatura media: 19°C
- Kondentsadorearen tenperatura jauzia: 8°C

3.5. Osagai nagusiak

Ziklo konbinatuaren osagai nagusienak honako hauek dira, zeintzuek banan-bana azalduko diren:

- Gas turbina
- Galdara
- Bapore turbina
- Generadore elektrikoak

3.5.1. Gas turbina

Ziklo konbinatuetan, osagairik garrantzitsuenak, gas turbina da. Zentral mota hauen prozesu termikoa, gero eta lehiakorragoa da turbinen hedapen teknologikoari esker.

Gas turbina turbomakina bat da, non gas baten energia termikoa lanean bihurtzen duen, ikus Irudia 16. Ziklo irekiko turbinetan, gasa bertako girotik jasotzen da, erabilera momentuan. Gas-a errektuntzaren produktua da, presio altuko airearekin nahastu eta gero, errektuntza ganbara batean, turbinaren aurretik doan osagaia alegia. Ikusi Irudia 16



Irudia 16 Gas turbina baten irudia

Presiopean dagoen airea, turbinak eragiten duen konpresore baten bitartez lortzen da. Airea atmosferatik lortzen da, turbinaren ihes gasek, berreskuratze galdara batean hustuz. Beraz, presio eta tenperatura altuetan dagoen fluido bat lortzea du helburu, turbinan hedatzeko, bere energia termodinamikoaren bidez lana lortzeko.

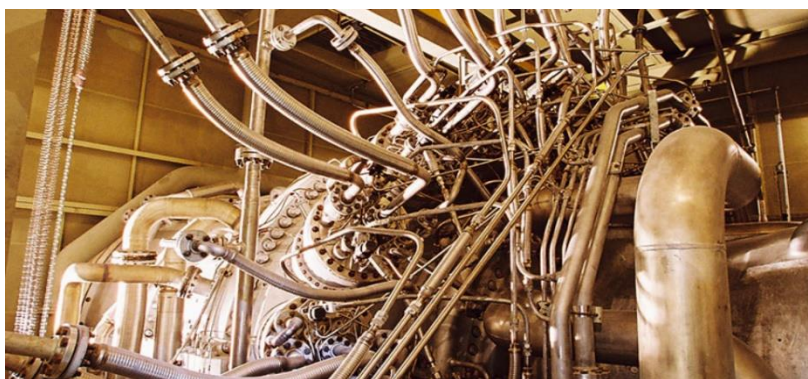
Gas turbina, konpresoreak, errektuntza ganbarak, eta turbinak osatzen dute. Gaur egungo turbinek, ardatz bikoitza izaten dute, ardatz batek turbinak eragiten du eta honek konpresorea, eta bigarren ardatzak, aldiz, potentzia turbinak eragiten du, generadore elektriko bat mugitzeko, bi ardatzak abiadura desberdinetan mugi daitezke.

BBE zentralak, MS 9001 FA turbinak erabiltzen ditu. Generadore elektrikoa turbinari konektatuta dago, akoplamendu zurrun baten bitartez eta turbinaren konpresorearen muturrean kokatzen da. Turbinaren konpresoreak, 18 etapetako alabeak ditu, gida aldakorrekin karga partzialen errendimendua optimizatzeko. Turbinaren erregailuak, NOx emisio baxukoak dira.

Gas turbinak hiru etapa ditu, Irudia 17. Turbina-konpresorearen karkasa, horizontalki zatituta dago, inspektzio eta mantenu erraza eta azkarrak izateko. Gas naturala erabiltzen dute erregaitzak eta ihes gasak berreskuratze galdara batzuetatik pasatzen dira, haien energia aprobetxatzeko. Ikusi Irudia 17

Hauek dira gas turbinaren ezaugarri nagusiak:

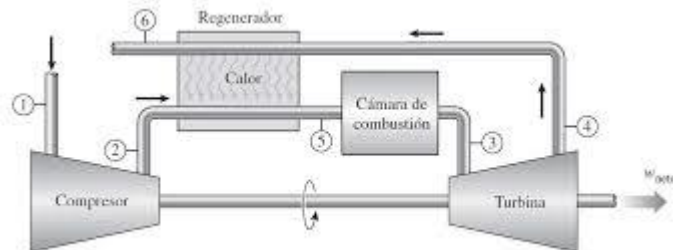
- Potentzia unitarioa 254 MW.
- Abiadura 3000 r.p.m
- Konpresio ratioa: 15,4:1
- Irteerako gasen fluxua: 640 kg/s
- Konbustio tenperatura: 1300 °C
- Gasen tenperatura: 609°C



Irudia 17 BBE-ko Gas turbinaren argazkia

3.5.2. Berreskuratze galdara

Berreskuratze galdarak, ziklo konbinatuetan gas zikloa eta bapore zikloa batzen duen osagaia da, Irudia 18. Bere funtzioa, turbinen ihes gasen energia termikoa aprobetxatzea da, gero, baporea sortzeko, bat edo hainbat mailetako presioan. Aldi berean, bapore zikloko turbina eragiteko ere erabiltzen da, edo bapore turbinak energia termikoa emateko, adibidez, kogenerazioa duen ziklo konbinatu bati. Ikusi Irudia 18



Irudia 18 Gas turbina berreskuratzailearekin

Zentralak, zirkulazio naturalaren bitarteko bi berreskuratze galdara ditu, BWE enpresak diseinatu eta fabrikatutakoak. Galdarak, eraikin berean kokatuta daude eta 3 maila desberdineko presioa dituzte, birberotzearekin. Hauek dira datu nagusiak:

- Baporearen presioa AP: 127 barg
- Baporearen temperatura AP: 567 °C
- Birberotzearen presioa: 26 barg
- Birberotzearen temperatura: 568 °C
- Baporearen presioa BP: 4 barg
- Baporearen temperatura BP: 274°C

* Barg, presio manometrikoa neurtzeko erabiltzen den unitatea da.

Galdarak, honako osagaiak ere osatzen dute, Irudia 19:

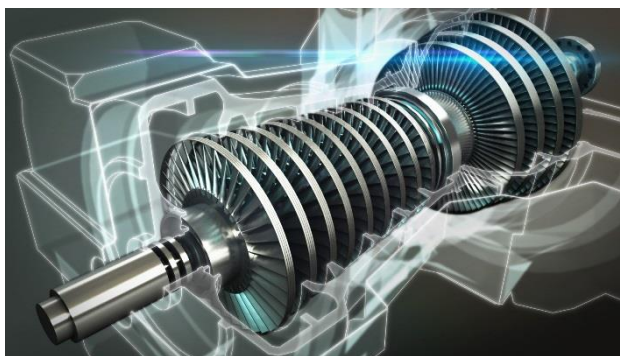
- Bigarren mailako presio alturo gainberogailua
- Birberotze nagusia eta bigarren mailakoa
- Bapore turbina 281,823 kW
- Presio altuko lurrungailua



Irudia 19 BBE-ko berreskuratzaile galdararen argazkia

3.5.3. Bapore turbina

Bapore turbinak, berreskuratze galdaran sortutako baporearen energia termodinamikoa, energia mekanikoa bihurtzen du, ikusi Irudia 20. Ziklo konbinatuetan erabiltzen diren diseinuak sinpleak dira, tenperatura tartea 420°C-550°C izaten dute eta presioak 60 bar-130 bar tartean. Hala ere, presioa igotzeko lan egiten da, presio superkritikoetara irits daiteke, 220 bar baino gehiago.



Irudia 20 Bapore turbina baten irudia

BBE zentralaren kasuan, bapore turbina, erdi mailako birberotze motatakoa da, eta presio altuko, erdi mailako presioa eta presio baxuko gorputzen osatzen dute, ikusi Irudia 21. Bi galdaretatik datorren baporea, tutueria komun batean konbinatzen dira eta dagozkion (AP, MP, BP) gorputzetara eramaten dira.

Abioa, geldiketa eta gas turbinen funtzionamendua ahalbidetzeko, bapore turbina baten etenaldi batean, maila altuko, erdi mailako eta maila baxuko by pass batzuk erabiltzen dira, berreskuratze galdararen produkzio edukieraren 100% duena. Hauek dira datu nagusiak:

- Potentzia unitarioa: 281 MW
- Abiadura: 3000 r.p.m
- AP baporearen fluxua: 540 t/h
- Birberotzearen fluxua: 640t
- BP baporearen fluxua: 670 t/h



Irudia 21 BBE-ko bapore turbinaren argazkia

3.5.4. Kondentsadorea

Kondentsadorea Irudia 22, itsasoaren urarekin hozten da eta Heat Exchange Institute (HEI) estandarrekin diseinatuta, eraikita eta probatuta dago. Zentrala, turbinatik ateratzen den baporearen fluxu maximoa kondentsatzeko diseinatuta dago, bapore sistemako drainatzeak jasotzeko eta by pass sistemen bapore fluxuak kondentsatzeko AP,MP eta BP-etan. Kondentsadorearen tutuak, jario uraren edozein ur kolpe sortu dezakeen presioak jasateko diseinatuta eta probatuta dago. Hauek dira datu nagusiak:

- Kondentsatutako fluxua: 200 l/s
- Trukatutako beroa: 471000 kJ/s
- Diseinatutako presioa: 44,5 mbar
- Hozte uraren tenperatura: 19 °C
- Hozte uraren jauzi termikoa: 8 °C



Irudia 22 BBE-ko lurrin turbinaren kondentsadorearen irudia

4. Kalkuluak

Lan honen helburua da Zentral konbinatuaren modelo energetikoa egitea lortu diren datuetan oinarrituz. Horretaz gain, egun zentrolean dauden bero galerak aprobetxatu nahi dira eta bero-erabilgarri bilakatu. Hortaz, neguan kondentsadoreko bero galera berokuntza sistema hornitzeko erabiliko da eta, udan, aldiz, absortzio makina baten bidez airea girotuko da. Horregatik kalkuluak atal hau bi zatitan banatzen da:

- Modelo energetikoa EESren bidez sortu da.
- Kogenerazioaren adierazle zehatzak kalkulatu.

4.1. Modelo Energetikoa

Kalkuluak egiteko zentroleko web gunetik bapore turbinaren bapore fluxuak, tenperaturak eta presioak hartu ditugu, kondentsadorearen jauzi termikoa, gas turbinaren, tenperaturak, potentziak eta gas fluxua. Presioak aldiz, beste zentral batzuekin konparatu eta hurbilketa bat eginez atera ditugu, zeren, webgunean ez zuten daturik aipatzen. Kalkuluak egiteko EES (Engineering Equation Solver) programa erabili da, unibertsitateak lizentziak dauzkalako eta oso programa balioaniztuna delako. Jarraian, egindako kalkuluak azalduko dira:

1.egoera definitzeko jakinak ditugun presio eta tenperatura erabiliko dugu, entalpia eta entropia kalkulatu ahal izateko, konpresorearen errendimendu isentropikoa ere ezaguna da, datu hau antzeko diren beste konpresoreetatik atera dugu, zeren, zentralaren webgunean ez zen halakorik aipatzen. Ikusi Irudia 23

```

"1.egoera"

P[1]=2
T[1]=300
s[1]=entropy(Air,T=T[1];P=P[1])
h[1]=enthalpy(Air,T=T[1])
eta_iso_c=0,9
eta_iso_c=(h_2s-h[1])/(h[2]-h[1])
  
```

Irudia 23 EES-ko 1. egoera

2.egoeran, aldiz, ezaguna duguna presioa eta entropia dira eta honekin eta konpresorearen errendimendu isentropikoaz baliatuz, entalpia aterako dugu. Ikusi Irudia 24

```

"2.egoera"

P[2]=30,8
s_2s=s[1]
h_2s=enthalpy(Air,P=P[2];s=s[1])
  
```

Irudia 24 EES-ko 2.egoera

3.egoeran birberotze bat aurkitzen dugu, hemen ezaguna presioa eta errendimendu isentropikoa izango dugu, errendimendu isentropikoa, konpresorearen antzera, beste modelo batzuekin alderatuz lortu dugu, honekin eta ondoren definituko dugun 9.egoeraren entalpiarekin batera, 3. egoeraren entalpia kalkulatu dugu. Ikusi Irudia 25

"3. egoera"

$$P[3]=P[2]$$

$$\begin{aligned} \eta_{\text{iso_reg}} &= 0,87 \\ \eta_{\text{iso_reg}} &= (h[3]-h[2])/(h[9]-h[2]) \end{aligned}$$

Irudia 25 EES-ko 3.egoera

4.egoeran temperatura, presioa, fluxu masikoa, eta potentzia ezagunak egingo zaizkigu. Datu hauekin lagunduta, entalpia eta entropia kalkulatu ditugu. Ikusi Irudia 26

"4. egoera"

$$\begin{aligned} P[4] &= 30,8 \\ T[4] &= 1300 \\ h[4] &= \text{enthalpy}(\text{Air}, T=T[4]) \\ 254000 &= 640 * (h[4] - h[5]) \\ s[4] &= \text{entropy}(\text{Air}, T=T[4], P=P[4]) \end{aligned}$$

Irudia 26 EES-ko 4.egoera

5.egoeran, presioa ezaguna dugu, gainera egoera honen entropia aurrekoaren berdina dela dakigu, beraz, entalpia, temperatura eta turbina honen errendimendu isentropikoa kalkulatu ahal izango dugu. Ikusi Irudia 27

"5. egoera"

$$\begin{aligned} s[4] &= s_{5s} \\ s[5] &= \text{entropy}(\text{Air}, h=h[5], P=P[5]) \\ h_{5s} &= \text{enthalpy}(\text{Air}, s=s[4], P=P[5]) \\ P[5] &= 10 \\ \eta_{\text{iso_t_1}} &= (h[4]-h[5])/(h[4]-h_{5s}) \\ T[5] &= \text{temperature}(\text{Air}, h=h[5]) \end{aligned}$$

Irudia 27 EES-ko 5.egoera

6.egoeran, presioa eta temperatura ezagunak egiten zaizkigu, baita ere, fluxu masikoa eta 2.turbina honen potentzia. Entalpia eta entropia kalkulatu ditugu. Ikusi Irudia 28

"6. egoera"

$$\begin{aligned} P[6] &= P[5] \\ T[6] &= 1300 \\ s[6] &= \text{entropy}(\text{Air}, T=T[6], P=P[6]) \\ h[6] &= \text{enthalpy}(\text{Air}, T=T[6]) \\ 254000 &= 640 * (h[6] - h[7]) \end{aligned}$$

Irudia 28 EES-ko 6.egoera

7.egoera honetan, presioa eta entropia ezaguna dugu, hortaz, entalpia eta 2.turbina honen errendimendu isentropikoa kalkulatu ditugu. Ikusi Irudia 29

"7. egoera"

```
P[7]=3,5  
s[7]=entropy(Air,h=h[7];P=P[7])  
eta_iso_t_2=(h[6]-h[7])/(h[6]-h7_s)  
h7_s=enthalpy(Air,s=s[6];P=P[7])
```

Irudia 29 EES-ko 7.egoera

8.egoera honetan, presioa, tenperatura, 3.turbinaren potentzia eta fluxu masikoa ezagunak egiten zaizkigu, beraz, entalpia eta entropia kalkulatu ahal izango dugu. Ikusi Irudia 30

"8. egoera"

```
P[8]=P[7]  
T[8]=1300  
h[8]=enthalpy(Air,T=T[8])  
254000=640*(h[8]-h[9])  
s[8]=entropy(Air,T=T[8];P=P[8])
```

Irudia 30 EES-ko 8.egoera

9.egoera honetan, presioa eta entropia ezagunak ditugu, entalpia eta 3. Turbinaren errendimendu isentropikoa kalkulatu dugu. Ikusi Irudia 31

"9. egoera"

```
P[9]=1  
h9_s=enthalpy(Air,s=s[8];P=P[9])  
eta_iso_t_3=(h[8]-h[9])/(h[8]-h9_s)
```

Irudia 31 EES-ko 9.egoera

10.egoeran, presioa ezaguna dugu, energia balantze bat eginez, entalpia ere kalkulatu dugu. Ikusi Irudia 32

"10. egoera"

```
P[10]=P[9]  
h[3]-h[2]=h[9]-h[10]
```

*Irudia 32 EES-ko
10.egoera*

11.egoeran, presioa eta tenperatura ezagunak ditugu, beraz, entalpia eta entropia kalkulatu dugu. Ikusi Irudia 33

"11. egoera"

```
P[11]=1  
T[11]=609  
h[11]=enthalpy(Air;T=T[11])  
s[11]=entropy(Air;T=T[11];P=P[11])
```

Irudia 33 EES-ko 11. egoera

12. egoeran presioa eta temperatura ezaguna egiten zaigu, honekin, entalpia entropia eta energia balantze bat eginez, azken egoerako (24. egoerako) entalpia kalkulatu dugu. Ikusi Irudia 34

"12. egoera"

```
P[12]=60  
(h[11]-h[10])*640=18,6*(h[12]-h[24])
```

```
s[12]=entropy(Steam;P=P[12];h=h[12])  
T[12]=420  
h[12]=enthalpy(Steam;T=T[12];P=P[12])
```

Irudia 34 EES-ko 12. egoera

13. egoeran temperatura eta presioa ezagunak ditugu, entalpia kalkulatu dugu. Ikusi Irudia 35

"13. egoera"

```
T[13]=80  
P[13]=5  
h[13]=enthalpy(Steam;T=T[13];P=P[13])
```

Irudia 35 EES-ko 13. egoera

14. egoeran, presioa eta temperatura ezagunak ditugu eta entalpia kalkulatu dugu. Ikusi Irudia 36

"14. egoera"

```
P[14]=90  
T[14]=460  
h[14]=enthalpy(Steam;T=T[14];P=P[14])
```

Irudia 36 EES-ko 14. egoera

15. egoeran, presioa eta temperatura dakizkigu eta entalpia kalkulatu dugu. Ikusi Irudia 37

"15. egoera"

```
P[15]=3  
T[15]=60  
h[15]=enthalpy(Steam;T=T[15];P=P[15])
```

Irudia 37 EES-ko 15. egoera

16.egoeran, tenperatura eta presioa dakizkigu eta entalpia kalkulatuko dugu. Ikusi Irudia 38

"16.egoera"

```
P[16]=130
T[16]=550
h[16]=enthalpy(Steam;T=T[16];P=P[16])
```

Irudia 38 EES-ko 16.egoera

17.egoeran, presioa eta tenperatura dakizkigu eta entalpia kalkulatuko dugu. Ikusi Irudia 39

"17.egoera"

```
P[17]=30
T[17]=200
h[17]=Enthalpy(Steam;T=T[17];P=P[17])
```

Irudia 39 EES-ko 17.egoera

18.egoeran, tenperatura eta kalitatea dakizkigu eta entalpia, entropia, presioa eta bolumen espezifikoa kalkulatuko ditugu. Ikusi Irudia 40

"18.egoera"

```
x[18]=0
T[18]=82
s[18]=entropy(Steam;T=T[18];x=x[18])
v[18]=volume(Steam;T=T[18];x=x[18])
P[18]=pressure(Steam;T=T[18];x=x[18])
h[18]=Enthalpy(Steam;T=T[18];x=x[18])
```

Irudia 40 EES-ko 18.egoera

19.egoeran, presioa eta entropia dakizkigu eta entalpia kalkulatuko dugu. Ikusi Irudia 41

"19.egoera"

```
s[19]=s[18]
P[19]=P[20]
h[19]=Enthalpy(Steam;s=s[19];P=P[19])
```

Irudia 41 EES-ko 19.egoera

20. egoeran, tenperatura eta kalitatea dakizkigu eta presioa, entalpia eta bapore fluxuaren zatiak kalkulatu ditugu, (y eta z). Ikusi Irudia 42

"20. egoera"

```
T[20]=T[22]
x[20]=0
P[20]=pressure(Steam;T=T[20];x=x[20])
h[20]=Enthalpy(Steam;T=T[20];x=x[20])
```

```
h[22]*y+h[15]*z+h[19]*(1-y-z)=h[20]
(h[21]-h[13])*y=h[23]-h[20]
```

Irudia 42 EES-ko 20. egoera

21. egoeran, presioa, entalpia eta kalitatea ezagunak ditugu eta bolumen espezifiko kalkulatu ditugu. Ikusi Irudia 43

"21. egoera"

```
P[21]=P[13]
h[21]=h[22]
x[21]=0
v[21]=volume(Steam;x=x[21];h=h[21])
```

Irudia 43 EES-ko 21. egoera

22. egoeran, presioa eta entalpia ezagunak ditugu eta tenperatura kalkulatu ditugu. Ikusi Irudia 44

"22. egoera"

```
P[22]=P[15]
h[22]=h[21]
T[22]=temperature(Steam;P=P[22];h=h[22])
```

Irudia 44 EES-ko 22. egoera

23.egoeran, presioa, entropia eta entalpia ezagunak ditugu eta bolumen espezifikoa kalkulatu dugu. Ikusi Irudia 45

"23.egoera"

```
P[23]=P[20]
s[23]=s[24]
h[23]=800
v[23]=volume(Steam;s=s[23];P=P[23])
```

Irudia 45 EES-ko 23.egoera

24.egoeran, presioa eta entropia dakizkigu eta tenperatura kalkulatu dugu. Ikusi Irudia 46

"24.egoera"

```
s[24]=s[23]
P[24]=P[12]
T[24]=temperature(Steam;s=s[24];h=h[24])
```

Irudia 46 EES-ko 24.egoera

Amaitzeko, errendimendua kalkulatu dugu.

$$\eta_{zentrala} = \frac{w_{dotneto}}{q_{dohartu}}$$

Lan netoa, Brayton zikloak egiten duen lana + Rankine zikloak egiten duen lana da. Aldi berean, Brayton zikloa egiten duen lana kalkulatzeko, turbina guztien eta konpresorearen lana kalkulatu ditugu. Gauza bera Rankine zikloan, turbina guztien eta ponpen lana kalkulatu ditugu.

Sartutako beroarentzat birberotzeetan eta errekontza ganbaran sartutako beroak kontuan hartu behar ditugu.

```

eta_zentrala=w_dot_neto/q_dot_hartu

w_dot_neto=w_dot_gas+w_dot_ura

w_dot_gas=640*(w_gas_T1+w_gas_T2+w_gas_T3-w_c)
w_dot_ura=m_steam*(w_steam_T1+w_steam_T2+w_steam_T3-w_b1_real-w_b2)

w_gas_T1=h[4]-h[5]
w_gas_T2=h[6]-h[7]
w_gas_T3=h[8]-h[9]
w_c=h[2]-h[1]

w_steam_T1=1873
w_steam_T2=1873
w_steam_T3=1873
w_b1=v[18]*(P[19]-P[18])
w_b2=v[23]*(P[24]-P[23])
w_b1_real=w_b1*1

q_dot_hartu=640*((h[4]-h[3])+(h[6]-h[5])+(h[8]-h[7]))

q_dot_condensador=m_steam*(h[17]-h[18])

q_dot_evap=640*(h[4]-h[3])

m_steam=25
  
```

Irudia 47 Errendimendua kalkulatzen

4.2. Kogenerazioaren adierazlea. PES-a

Primary Energy System (PES) adierazleak kogenerazioa eta sorkuntza banandua konparatzen ditu. Horrela, kogenerazioak duen energia aurrezpena normalizatzen du erreferentziako sorkuntza banatuarekiko.

Kogenerazioa, erregai bakar batetik, pi prozesu lortzean datza, gure kasuan beroa eta elektrizitatea. Horrela zentralak kondentsadorean dituen bero galerak aprobetxatuko ditugu, bero-hondar bat bero-erabilgarri bilakatuz, enpresako bulegoak berotzeko neguan (bero trukagailu baten bidez) eta hozteko udan (absortzio makina baten bidez). Hala ere, prozesu hau errentagarria den ala ez ikusi behar da, eta horretarako PES-a kalkulatu behar dugu eta handiago 0 atera behar da.

$$PES = 1 - \frac{F}{\frac{E}{RefE_\eta} + \frac{H}{RefH_\eta}} = 1 - \frac{\dot{Q}_{in}}{\frac{\dot{W}_{neta}}{RefE_\eta} + \frac{\dot{Q}_{cond}}{RefH_\eta}} :$$

Irudia 48 PES-aren formula

Bi PES balio izango ditugu, lehenengoa udarako eta bestea neguan.

- Neguan: -Azaroak 1 ; Martxoak 31 → 151 egun
-Ordutegia: 8:00 ; 18:00 → 10h/egun
- Udan: -Ekainak 1 ; Abuztuaren 31 → 92 egun
-Ordutegia: 8:00 ; 18:00 → 10h/egun

Hasiera batean urteko zenbateko bero eta potentzia neto lortuko dugun kalkulatuko dugu, ikusi Irudia 49:

$$q_{\text{dot_hartu_urte}}=q_{\text{dot_hartu}}*365*24$$

$$q_{\text{dot_condensador_urte}}=q_{\text{dot_condensador}}*365*24$$

$$w_{\text{dot_neto_urte}}=w_{\text{dot_neto}}*365*24$$

$$q_{\text{dot_evap_urte}}=q_{\text{dot_evap}}*365*24$$

Irudia 49 Beroa urteko

Ondoren, aurreko kalkulu horiek negurako moldatuko ditugu, ikusi Irudia 50

"NEGUAN"

$$q_{\text{dot_hartu_neguan}}=q_{\text{dot_hartu_urte}}*(151/365)*(10/24)$$

$$q_{\text{dot_condensador_neguan}}=q_{\text{dot_condensador_urte}}*(151/365)*(10/24)$$

$$w_{\text{dot_neto_neguan}}=w_{\text{dot_neto_urte}}*(151/365)*(10/24)$$

Irudia 50 Neguko kalkuluak

Jarraian berdina baina udan, ikusi Irudia 51

"UDAN"

$$q_{\text{dot_hartu_udan}}=q_{\text{dot_hartu_urte}}*(92/365)*(10/24)$$

$$w_{\text{dot_neto_udan}}=w_{\text{dot_neto_urte}}*(92/365)*(10/24)$$

$$q_{\text{dot_evap_udan}}=q_{\text{dot_evap_urte}}*(92/365)*(10/24)$$

Irudia 51 Udarako kalkuluak

Amaitzeko PES-a kalkulatuko dugu, neguan eta udan, ikusi Irudia 52

"PES NEGUAN"

$$PES_neguan = 1 - (q_dot_hartu_neguan / ((w_dot_neto_neguan / Ref_E) + (q_dot_condensador_neguan / Ref_H)))$$

$$Ref_E = 0,442 * 0,945$$

$$Ref_H = 0,89$$

"PES UDAN"

$$PES_uda = 1 - (q_dot_hartu_udan / ((w_dot_neto_udan / Ref_E) + (q_dot_evap_udan / Ref_C)))$$

$$Ref_C = 5$$

Irudia 52 PES-a neguan eta udan

$$PES\ Neguan = 0,302$$

$$PES\ Udan = 0,289$$

Horretaz gain, hauxe daukagu kogeneratuz zentralak daukan etekin berria: Ikusi Irudia 53

$$Etekin\ berria = \%70$$

$$eta_berria = (w_dot_neto + q_dot_berria) / q_dot_hartu$$

$$q_dot_berria = q_dot_hotza_udan + q_dot_beroa_neguan$$

$$q_dot_hotza_udan = q_dot_condensador * 0,8$$

$$q_dot_beroa_neguan = q_dot_condensador * 0,9$$

Irudia 53 Etekin berria

5. Aurrekontua

Atal honetan zentrala kogenerazio sistema bilakatzeko ekonomia-analisia egiten da. Azken finean kalkulatu behar baita kogeneratzeak merezi duen edo ez. Ikusi Irudia 54Ik

5.1. Inbertsioa

ONDASUN/ZERBITZUA	UNITATEAK	PREZIO UNITARIO (€/unitate)	TOTALA (€)
Gas turbina	3	37574456	112723368
Bapore turbina	3	11578462	34735386
Konpresorea	1	5250000	5250000
Ponpa	2	266380	532760
Kondentsadorea	1	350000	350000
Desgasifikadorea	1	250000	250000
Galdara	3	500000	1500000
Bero trukagailua	1	730000	730000
			156071514

Irudia 54 Inbertsioa

Planta osoaren inbertsioa kostua adierazten de 54. irudian, enpresak zentral osoa eraikitzeke behar izan duen diru kantitatea adierazteko.

5.2. Payback

Payback edo berreskuratze epea, inbertsioa zein ona den adierazteko parametro ekonomikoa da. Kutxa fluxuei esker, inbertsioaren hasierako balioa berreskuratzeke behar den denborari dagokio eta, normalean, urteetan adierazten da.

6 urte baino gutxiagokoa denean, Payback-a ona dela esaten da, hau da, lortutako aurrezpenekin, egindako inbertsioa 6 urteetan berreskuratzen dela esan nahi du.

Bi modu daude parametro ekonomikoa hau neurtzeko, sinplea eta depreziatua. Sinplearen kasuan, soilik, egindako inbertsioa eta aurrezpena hartzen ditu kontuan.

Depreziatua, aldiz, inflazioa edo beste prozesu batzuegatik sortzen diren diruaren balioaren aldaketak hartzen ditu kontuan eta Payback sinplea baino handiagoa eta zehatzagoa izan ohi da, hala ere, nik, Payback sinplea kalkulatu dut soilik.

5.2.1. Sinplea

$$PB = \frac{\text{Inbertsioa}}{\text{Aurrezpena}} = \frac{45000\text{€}}{212516561\text{€}} = \text{Momentuan}$$

Inbertsioa, instalazioan jarri beharko dugun absortzio makina eta bero trukagailuak izango dira eta aurrezpena, aldiz, kondentsadoretik galtzen den beroa berrerabiltzeko jarriko dugun absortzio makina eta bero trukagailua

Kontuan hartuz, gas naturalaren eta elektrizitatearen salneurriak, aurrezpena urteko 212516561€-koa izango da.

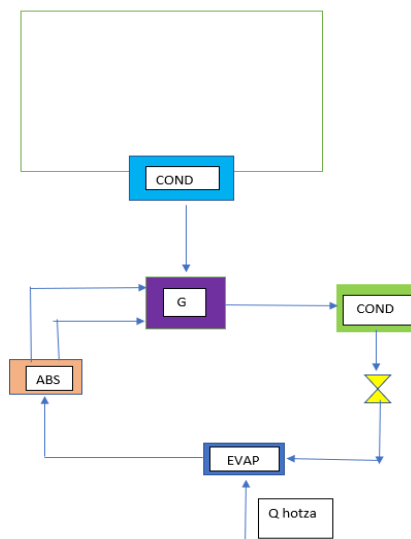
6. Ondorioak

Lan honetan Bahía de Bizkaia Elektrizidad S.L. (BBE) Zierbenako zentral termikoa sakon aztertu da. Horretarako, zentral konbinatuaren azalpen teorikoa egin da eta, ondoren, egungo zentralaren modelo matematikoa egin da EES softwarearen bidez.

Zentralak barneratzen dituen datu errealetan oinarri da modelo energetikoa eta falta ziren datuak oinarri teorikoetatik ateratu dira.

Instalazio konbinatuaren modelotik zentralaren batezbesteko etekina lortu da: %70

Bestalden, zentralaren hobekuntza energetikoa egin da: bapore turbinaren kondentsadorearen bero galera, bero erabilgarri bilakatu da. Neguan bero hori bero-trukagailu baten bidez bulegoak berotzeko erabili da, daukan karga termikoari esker. Udan, aldiz, absorptzio makina baten bidez bulegoaren airea girotzeko hotza sortu da ikusi Irudia 55; kondentsadoreko beroa sorgailua elikatuz eta lurrungailua ofizina barruan sartuz.



Irudia 55 Absortzio makinaren eskema

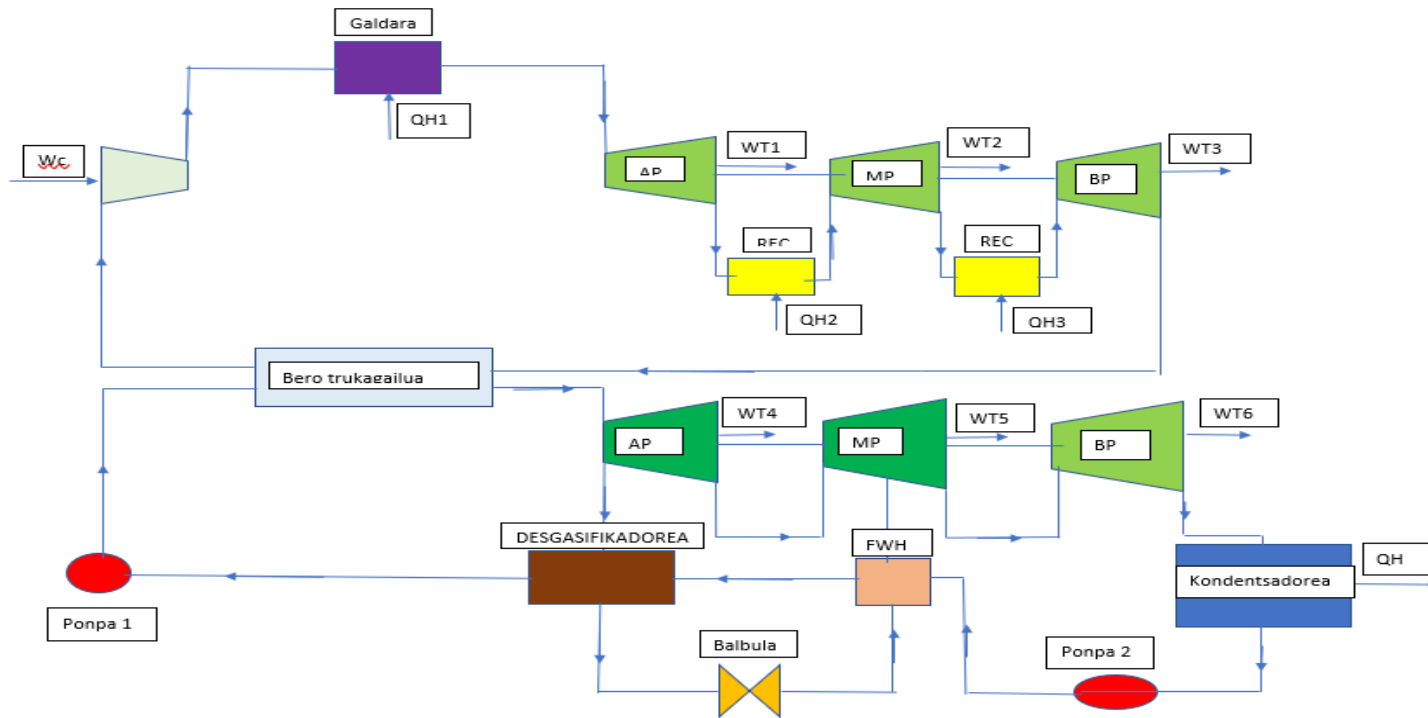
Kogenerazioaren onurak kontuan hartzeko, PES adierazleak kalkulatu dira, neguan eta udan, hurrengo balioak lortuz:

Neguan=0,302

Udan=0,280

Instalazioen bero-hondarrak bero erabilgarri bilakatzea oso onuragarria da ingurugiro inpaktuak jaisteko eta energia efizientzia sustatzeko.

7. Eranskinak



Irudia 56 Zentralaren eskema

$\eta_{berria} = 0,7005$
 $\eta_{zentrala} = 0,5595$
 $PES_{neguan} = 0,302$
 $\dot{q}_{condensador,urte} = 5,545E+08 \text{ [KW]}$
 $\dot{q}_{hartu,udan} = 7,022E+08 \text{ [KW]}$
 $s_{2s} = 6,165 \text{ [KJ/kg*K]}$
 $\dot{w}_{gas} = 292589 \text{ [KW]}$
 $w_{gas,T1} = 396,9 \text{ [KJ/kg]}$

$\eta_{iso,c} = 0,9$
 $h_{5s} = 1279 \text{ [KJ/kg]}$
 $PES_{uda} = 0,289$
 $\dot{q}_{evap} = 255290 \text{ [KW]}$
 $\dot{q}_{hartu,urte} = 6,686E+09 \text{ [KW]}$
 $s_{5s} = 6,522 \text{ [KJ/kg*K]}$
 $\dot{w}_{neto} = 427076 \text{ [KW]}$
 $w_{gas,T2} = 396,9 \text{ [KJ/kg]}$

$\eta_{iso,reg} = 0,87$
 $h_{7s} = 1305 \text{ [KJ/kg]}$
 $\dot{q}_{beroa,neguan} = 56971 \text{ [KW]}$
 $\dot{q}_{evap,udan} = 2,349E+08 \text{ [KW]}$
 $\dot{q}_{hotza,udan} = 50641 \text{ [KW]}$
 $w_{b1} = 0,002562 \text{ [KJ/kg]}$
 $\dot{w}_{neto,neguan} = 6,449E+08 \text{ [KW]}$
 $w_{gas,T3} = 396,9 \text{ [KJ/kg]}$

Irudia 57 EES-ko emaitzak

$\eta_{iso,t,1} = 0,89$
 $h_{9s} = 1236 \text{ [KJ/kg]}$
 $\dot{q}_{berria} = 107612 \text{ [KW]}$
 $\dot{q}_{evap,urte} = 2,236E+09 \text{ [KW]}$
 $Ref_c = 5$
 $w_{b1,real} = 0,002562 \text{ [KJ/kg]}$
 $\dot{w}_{neto,udan} = 3,929E+08 \text{ [KW]}$
 $w_{steam,T1} = 1873 \text{ [KJ/kg]}$

$\eta_{iso,t,2} = 0,9455$
 $h_{2s} = 1239 \text{ [KJ/kg]}$
 $\dot{q}_{condensador} = 63301 \text{ [KW]}$
 $\dot{q}_{hartu} = 763290 \text{ [KW]}$
 $Ref_E = 0,4177$
 $w_{b2} = 239,6 \text{ [KJ/kg]}$
 $\dot{w}_{neto,urte} = 3,741E+09 \text{ [KW]}$
 $w_{steam,T2} = 1873 \text{ [KJ/kg]}$

$\eta_{iso,t,3} = 0,811$
 $m_{steam} = 25 \text{ [kg/s]}$
 $\dot{q}_{condensador,neguan} = 9,558E+07 \text{ [KW]}$
 $\dot{q}_{hartu,neguan} = 1,153E+09 \text{ [KW]}$
 $Ref_H = 0,89$
 $w_c = 733,5 \text{ [KJ/kg]}$
 $\dot{w}_{ura} = 134486 \text{ [KW]}$
 $w_{steam,T3} = 1873 \text{ [KJ/kg]}$

Irudia 58 EES-ko emaitzak

8. Bibliografía

- <https://www.bbe.es/descripcion-tecnica/introduccion/>
- Turbinak:

<https://www.directindustry.es/prod/siemens-power-generation/product-23116-2019614.html>

<https://www.directindustry.es/prod/siemens-power-generation/product-23116-2019628.html>
- Ponpak:

<https://www.directindustry.es/fabricante-industrial/bomba-central-termica-156226.html?originalFilter=39374d3866572b79396a664f56764f4e55636177776d3749516b4e6e354e485178354f6b396975782b584d643846674c6e7632574c6450796a70577a4a50456f4953614f514c324177323758646e39654a7875476678732f4571753674684352375637565a6d4e454159434571426838666641434d31306c475633786c524c434b4f6d5a61524e7941447962656a38574c6e4137752f31384a7034646c6a3370743966666e4f6c726d386f48644c576372546366474f72783343314b2b4a634c4c4f3354534c705456426e56523830746f4373585744595a43794f2b6d594e327a565a6c715632314c6d733d>
- Kondentsadorea:

<https://www.directindustry.es/prod/kelvion-germany-gmbh/product-105023-2260367.html>
- Bero trukagailua:

<https://www.directindustry.es/prod/beijing-holtop-artificial-environment-technology-co-ltd/product-102339-2463356.html>
- Desgasifikadorea:

<https://www.directindustry.es/prod/sandvik-tps/product-33239-1706507.html>
- EHU-ko apunteak
- “Centrales térmicas de ciclo combinado, teoría y proyecto” liburua
- “Operación y mantenimiento de centrales de ciclo combinado”