

INDUSTRIA TEKNOLOGIAREN INGENIARITZAKO  
GRADUA

# GRADU AMAIERAKO LANA

*AIRE-UR BERO-PONPAN  
OINARRITUTAKO INSTALAZIO BATEN  
SIMULAZIOA ETA OPTIMIZAZIOA*

**Ikaslea:** Lertxundi Sáez, Aner

**Zuzendaria :** Pérez Iribarren, Estibaliz

**Ikasturtea:** 2018-2019

**Data:** Bilbon, 2019ko ekainaren 27an



## LABURPENA

Gradu Amaierako Lan honek, aire-ur bero-ponpan oinarrituta, etxebizitza familiabakar baten berokuntza eta UBS instalazioak simulatzea eta optimizatzea du helburu. Egungo eredu energetikoaren bilakaera dela eta, mota honetako teknologien erabilpena eta azterketa oso egokia bihurtzen da etxebizitzaren sektorean. Izan ere, gero eta helburu garrantzitsuagoak diren NEG isurien murrizketa eta energiaren kontsumo efizientea lortzeko teknologia lagungarria da. Honek ez baitu NEG isurketarik sortzen eta erabiltzen duen energia iturri nagusia berriztagarria da, beti ere kontuan edukita elektrizitate kontsumo baten beharra duela. Hala ere, etxebizitza baten energia termikoaren urteko eskari osoa hornitzeko duen gaitasun eza aintzat hartuta, erredukzioa galdara eta inertzia depositua bezalako teknologien bidez lagunduko da funtzionamendu egokia bermatze aldera.

Hortaz, instalazioaren kostuak, errendimendua eta ingurumen inpaktua aztertu nahian, instalazioaren analisia egin da termodinamikaren legeak erabiliz eta balantze energetiko eta exergetikoetaz baliatuz. Modu berean, ondoren, instalazioaren optimizazioa gauzatu da ikuspuntu ekonomikotik, emaitza hoberenak nola lortu daitezkeen eta nolakoak diren aztertzeko. Horrela, behin emaitzak ezagututa eta aztertuta, ondorio erabilgarriak lortuz.

**Hitz gakoak:** UBS sistema, beroketa sistema, aire-ur bero-ponpa, optimizazio ekonomikoa, NEG murrizketa, simulazioa.

## RESUMEN

Este Trabajo de Fin de Grado tiene como objetivo simular y optimizar la instalación de calefacción y ACS de una vivienda unifamiliar que se basa en la tecnología de bomba de calor aire-agua. Teniendo en cuenta la evolución del modelo energético de hoy en día, el uso y análisis de este tipo de tecnología es muy apropiado en el sector residencial, de hecho, es apropiada para conseguir objetivos como: reducir las emisiones de GEI y conseguir un consumo eficiente de energía. Esto es posible dado que no emite GEI y la principal fuente de energía que utiliza es renovable, siempre teniendo en cuenta que también necesita electricidad. Sin embargo, hay que considerar también la incapacidad de esta tecnología para suministrar toda la energía térmica demandada por un hogar a lo largo de un año, por ello la instalación se apoyará con tecnologías como la caldera de combustión y el depósito de inercia, para así asegurar su correcto funcionamiento.

Por tanto, se han analizado los costes, el rendimiento y el impacto medioambiental analizando la instalación por medio de la utilización de las leyes de la termodinámica y los balances de energía y exergía. Asimismo, se ha llevado a cabo la optimización de la instalación desde un punto de vista económico, para analizar cómo se pueden conseguir los mejores resultados y cuál es su valor. Consiguiendo así conclusiones útiles, una vez conocidos y analizados los resultados.

**Palabras clave:** sistema de ACS, sistema de calefacción, bomba de calor aire-agua, optimización económica, reducción de GEI, simulación.

## **ABSTRACT**

This End-of-Degree essay aims to simulate and optimize the heating and DHW installation of a single-family home that is based on air-water heat pump technology. The use and analysis of this type of technology is very appropriate in the residential sector, considering the evolution of the contemporary energy mode. In fact, it is an appropriate technology to help achieve the objectives of reducing GHG and achieve efficient energy consumption, since it does not emit GHG and the main source of energy it uses is renewable, always keeping in mind that it also needs electricity. However, we must also consider the inability of this technology to supply all the thermal energy required by a home over a year, so it is supported by technologies such as the combustion boiler and the inertia tank to ensure its proper operation.

Therefore, in order to analyse the costs, efficiency and environmental impact of this system, the analysis of the installation has been made using the laws of thermodynamics, through energy and exergy balances. In the same way, the optimization of the installation is carried out from an economic point of view, so as to analyse how the best results can be achieved and what their value is, finally getting useful conclusions, once the results are known and analysed.

**Keywords:** DHW system, heating system, air-water heat pump, economic optimization, GHG reduction, simulation.

## AURKIBIDEA

1.	TAULA, IRUDI, GRAFIKO ETA AKRONIMOEN ZERRENDA .....	1
1.1	TAULAK .....	1
1.2	IRUDIAK.....	2
1.3	GRAFIKOAK.....	3
1.4	AKRONIMOAK .....	4
2.	SARRERA.....	5
3.	TESTUINGURUA .....	6
4.	IRISPENA.....	11
5.	HELBURUAK.....	12
6.	PROIEKTUAREN ONURAK .....	13
6.1	ONURA TEKNIKO/TEORIKOAK.....	13
6.2	ONURA ENERGETIKOAK .....	13
6.3	ONURA EKONOMIKOAK.....	14
6.4	INGURUMEN ONURAK.....	14
7.	METODOLOGIA .....	15
7.1	INSTALAZIOAREN DIMENTSIONAMENDUA.....	15
7.2	INSTALAZIOAREN DEFINIZIOA .....	17
7.3	KONTROL ESTRATEGIA.....	20
7.4	SIMULAZIOA.....	21
7.5	OPTIMIZAZIO ALGORITMOA .....	24
7.6	EMAITZEN AZTERKETA.....	25
7.6.1	Optimizatu gabeko funtzionamendua .....	25
7.6.2	Ekonomikoki optimizatutako funtzionamendua .....	27
7.7	KALKULU PROZESUA.....	30
8.	ALTERNATIBEN ANALISIA: BIOMASA GALDARA DAUKAN INSTALAZIOA.....	35
9.	ZEREGINEN DESKRIBAPENA. GANTT DIAGRAMA.....	37
10.	AURREKONTUA .....	39
11.	ONDORIOAK.....	41
12.	INFORMAZIO ITURRIAK .....	42
1.	ERANSKINA: EMAITZAK .....	43

# 1. TAULA, IRUDI, GRAFIKO ETA AKRONIMOEN ZERRENDA

## 1.1 TAULAK

1. Taula. Simulazioan erabilitako Type ezberdinak.....	23
2. Taula. Erregaien araberako exergia ratioak.....	33
3. Taula. Kasu ezberdinen operazio kostuak .....	36
4. Taula. Kasu ezberdinen CO2 isuriak .....	36
5. Taula. Barne orduen kostuen kalkulua.....	40
6. Taula. Amortizazioen kostuen kalkulua.....	40
7. Taula. Gastuen kalkulua .....	40
8. Taula. Aurrekontuaren guztizko kostuen kalkulua .....	40
9. Taula. Energiak optimizatu gabeko egoeran .....	43
10. Taula. Operazio kostua optimizatu gabeko egoeran .....	43
11. Taula. Errendimendu energetikoak optimizatu gabeko egoeran .....	43
12. Taula. Exergiak eta errendimendu exergetikoa optimizatu gabeko egoeran.....	43
13. Taula. CO2 isuriak optimizatu gabeko egoeran .....	43
14. Taula. Energiak egoera optimizatuan.....	44
15. Taula. Operazio kostua egoera optimizatuan.....	44
16. Taula. Errendimendu energetikoak egoera optimizatuan.....	44
17. Taula. Exergiak eta errendimendu exergetikoa egoera optimizatuan .....	44
18. Taula. CO2 isuriak egoera optimizatuan .....	44
19. Taula. Energiak biomasa galdaran .....	45
20. Taula. Errendimendua biomasa galdaran.....	45
21. Taula. Operazio kostua biomasa galdaradun instalazioan .....	45
22. Taula. CO2 isuriak biomasa galdaradun instalazioan.....	45

## 1.2 IRUDIAK

1. Irudia. Instalazioaren eskema .....	17
2. Irudia. Aire-ur bero-ponpa .....	18
3. Irudia. Kondentsazio galdara .....	18
4. Irudia. Inertzia depositua .....	19
5. Irudia. Bero disipagailua .....	19
6. Irudia. Instalazioaren eskema Trnsys 17 simulazio programan .....	23
7. Irudia. Biomasa galdara daukan instalazioaren eskema Trnsys 17 simulazio programan .....	35
8. Irudia. Gantt diagrama .....	38

### 1.3 GRAFIKOAK

1. Grafikoa. Munduko energia primarioaren kontsumoen bilakaera .....	6
2. Grafikoa. Espainiako energia primarioaren kontsumoen bilakaera .....	7
3. Grafikoa. CO <sub>2</sub> isuri kopuruen bilakaera munduan .....	7
4. Grafikoa. NEG isuri kopuruen eraldaketa Espainian .....	8
5. Grafikoa. Europako amaierako energia kontsumoaren eraldaketa sektoreko .....	9
6. Grafikoa. Espainiako etxebizitza kontsumoak erabilera bakoitzaren arabera .....	9
7. Grafikoa. Etxebizitzaren berokuntza eskaria urte osoan zehar .....	16
8. Grafikoa. Etxebizitzaren berokuntza eskariaren kurba monotonoa .....	17
9. Grafikoa. Etxebizitza baten urteko berokuntza eskariaren erreferentziazko eguna .....	22
10. Grafikoa. Bero-ponparen potentzia termiko eta elektrikoa egun batean.....	26
11. Grafikoa. Galdararen potentzia termikoa egun batean .....	26
12. Grafikoa. Galdararen potentzia termikoa goizeko 6 h-tan.....	27
13. Grafikoa. Deposituaeren deskarga egoera.....	27
14. Grafikoa. Optimizazio ekonomikoan bero-ponparen potentziak egun batean .....	28
15. Grafikoa. Optimizazio ekonomikoan galdararen potentzia termikoa egun batean .....	29
16. Grafikoa. Optimizazio ekonomikoan Galdararen potentzia termikoa goizeko 5 h-tan .....	29
17. Grafikoa. Deposituaeren deskarga egoera optimizazio ekonomikoan .....	30



## 1.4 AKRONIMOAK

- UBS: ur bero sanitarioa.
- NEG: negutegi efektuko gasak.
- Mtpb: milioi tona petrolio baliokide.
- Mt: milioi tona.
- EKT: eraikuntza kode tekniko.
- EITA: eraikinetarako instalazio termikoen araudia.
- COP: errendimendu koefizientea (coefficient of performance).
- kW: kilo Watt.
- MW: mega Watt.
- IDAE: Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía.
- kWh: kilo Watt ordu.

## 2. SARRERA

Garai honetako eredu energetikoaren joera dela eta, gero eta garrantzi handiagoa hartzen ari dira NEG isuriak ekidin eta energia minimoa xahutzen dituzten instalazioak, hau da efizientzia maximizatzen dituztenak.

Horien artean, errendimendu egokiko aire-ur bero-ponpa kokatu ahalko litzateke, zeina giroko airearen energia termikoaz baliatzen den ondoren ur sistema sare bati igortzeko, tartean jariakin konprimagarri bat erabiliz. Sistema hauek bereziki egokiak dira etxebizitza baten energia termikoaren eskaria asebetetzeko, berokuntza eta UBS erabileren kasuan adibidez. Aire girotu sistemetan erabiltzeko aukera ere badago, baina kasu hauetan bero-ponpa itzulgarri bat izango da.

Teknologia mota honek abantaila nabaria dauka ohiko errektuntza galdarekin alderatuta NEG isuriei dagokionez, ez baitu emisiorik sortzen eta gainera errektuntzarik ez edukitzeak segurtasunaren alde egiten du. Beste aldetik bere lehengai energetiko nagusia giroko tenperatura da, hau da, iturri garbi, berriztagarri eta doakoa, nahiz eta energia elektrikoaren beharra era baduen.

Horrela, txosten honetan, aire-ur bero-ponpan oinarritutako instalazio baten simulazioa eta optimizazioa egingo da. Horretarako, Gasteizen kokatuta dagoen etxebizitza familiabakar baten berokuntza eta UBS sistemen baldintzak erabiliko dira berau energia termikoz hornitzeko.

Dokumentuaren informazioa gaiaren inguruko testuinguruaren azalpenarekin hasi da. Jarraian, proiektuak duen irispina eta honen helburuak azaldu dira, txostena non hasi eta bukatzen den definituz. Ondoren, instalazioak eta honen optimizazioak eragindako onurak aipatuko dira. Honen ondoren, proiektuaren metodologia aurkeztuko da, zeinetan instalazioaren dimentsionamendua eta definizioa, kontrol estrategia, modelizazioa eta simulazioa, optimizazio algoritmoa, kalkuluak eta emaitzen azterketa eta optimizazioen azalpena egingo den, optimizatu gabeko instalazioarekin alderatuz.

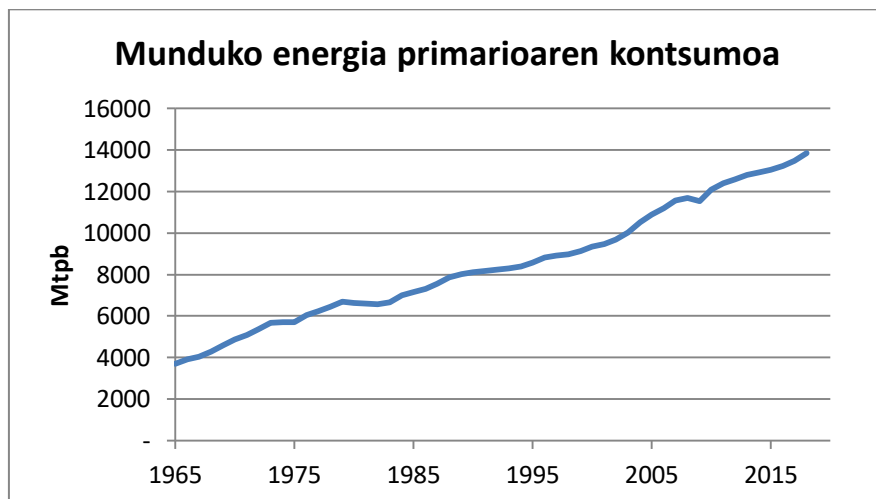
Behin hau azalduta, biomasa erregai moduan erabiltzen duen galdara batekin alderatuko da. Horrela, eskari energetiko berdinen aurrean bata zein bestea erabiltzearen arteko onurak eta desabantailak aztertuko dira hainbat ikuspegitatik.

Gainera, lanaren zereginen kronograma adierazi da Gantt diagrama baten bidez eta proiektuaren aurrekontu bat ere egin da. Amaitzeko, txostenean ateratako ondorioak erakutsi dira eta txostena egiteko erabilitako informazio iturriak jarri dira baita ere.

### 3. TESTUINGURUA

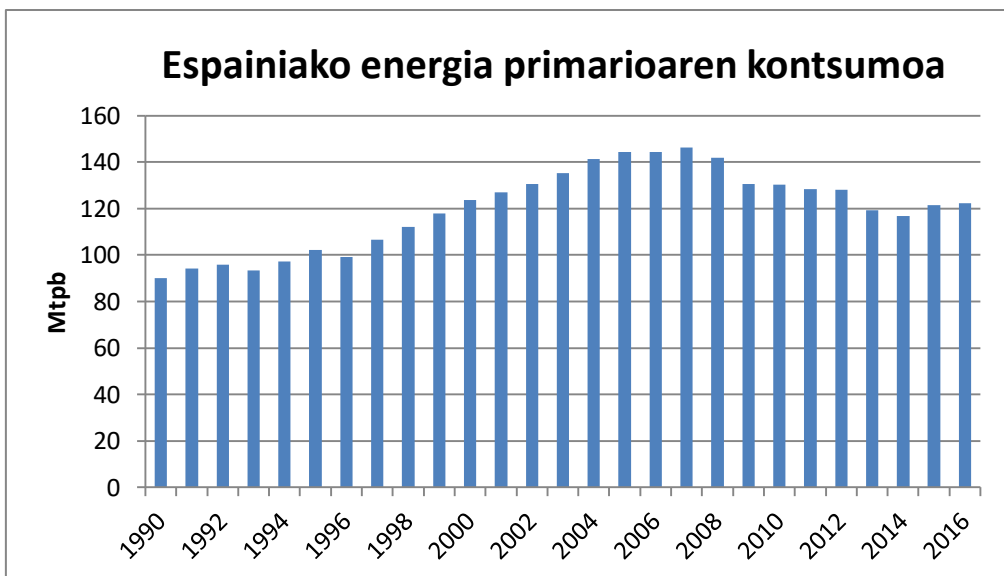
Egun, energiaren erabilerari dagokionez, mundu mailan hainbat erronka ezberdin daude gai honen joerak dakartzan arazoan ondorioz. Horien artean, alde batetik, energia eskariaren etengabeko igoerari (krisialdi ekonomikoaren salbuespenarekin) aurre egitearen erronka dago eta bestetik, NEG isuriek eragindako klima aldaketaren aurka egitearen erronka.

Izan ere 1. grafikoan adierazten den munduko energia eskariari dagokionez, 1990-2013 urteen artean %55eko hazkundera izan du, 13.560 milioi petrolio tona baliokidetan (Mtpb) kokatuz eta gainera, egoerak berdin jarraitzen badu, energia-politika berdinekin, 2040rako egungo munduko energia eskaria %45 igotzea espero da. Beste arrazoien artean, munduan gero eta biztanle gehiago baikara, aurreikuspenek diotenez 2040. urterako 9.000 milioi biztanle inguru egongo dira munduan, egun baino 2.000 milioi gehiago. Bestalde, orain garapen bidean dauden herrialdeak (India, Txina...) izugarritzko hazkuntza ekonomikoa izaten ari dira eta izango dute hurrengo hamarkadetan, horrek dakartzan behar energetikoen gorakadarekin. Horretaz gain, herrialde garatuetan, adibidez Europan, krisialdia gainditzeak eta ekonomiaren berrabiarazteak kontsumoaren handipena suposatuko du.



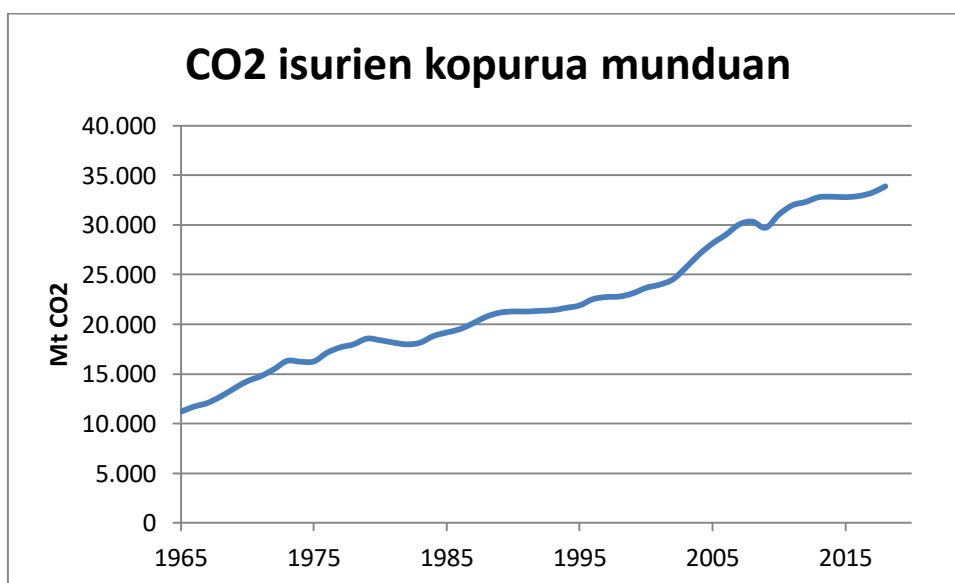
1. Grafikoa. Munduko energia primarioaren kontsumoen bilakaera

Espaniari dagokionez, 2. grafikoan aztertzen da nola joera globalak baino gorakada leunagoa izan duela, nahiz eta, mundu mailan gertatu bezala, krisialdi ekonomikoaren ondorioz energia primarioaren kontsumoak beherantz egin duen arte. Beherakada hau krisialdi ekonomikoaren ondorioz eta baita igoera horri aurre egiteko hartutako eredu energetikoaren aldaketaren neurrien ondorioz eman da. Baina beherakada hori 7 urte igaro ondoren berriro gorako joera hartu du 2014tik aurrera.



2. Grafikoa. Espainiako energia primarioaren kontsumoen bilakaera

Klima aldaketaren aurkako jarduerari dagokionez, 3. grafikoa ikus daitekeenez, mundu mailan etengabeko gorakada izan du, krisialdi ekonomikoaren garaian izan ezik. Hori dela eta, 2015. urtean, Pariseko COP21 konferentzian, aldaketa klimatikoari aurre egiteko lehen akordio unibertsal baina sinbolikoa egin zen eta 2016. urtean COP22 konferentziarekin aurretik adostutakoa praktikan jartzea zen helburua. Bertan hartutako neurriek berokuntza globalari aurre egitea zuten helburu, atmosferara egindako NEG isurien kopurua murriztuz. Hala ere, hiru urteko egonkortzearen ondoren CO<sub>2</sub> isurien kopurua berriro gorako joera hartu du 2017an, zeinetan energiari elkarlotutako isurien kopurua %1,6 igo zen.

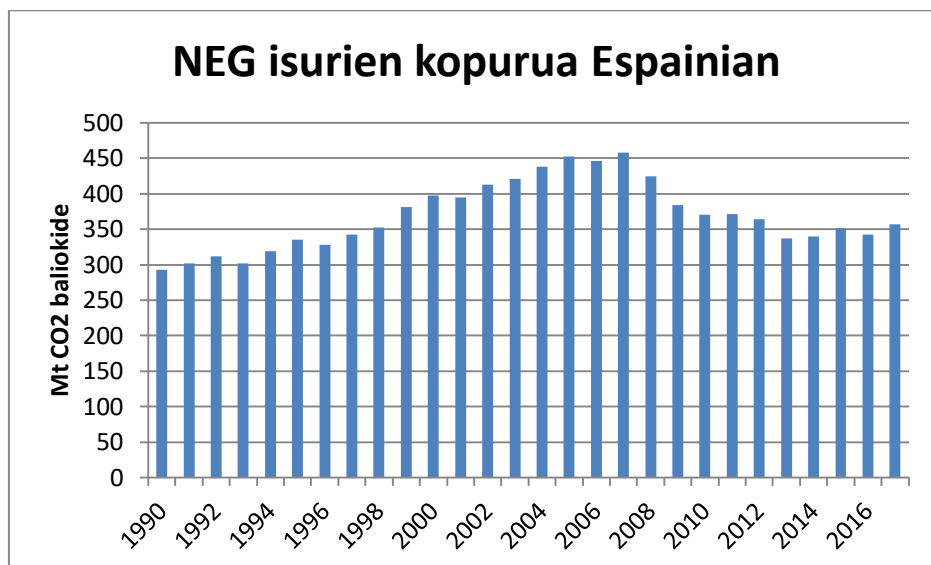


3. Grafikoa. CO<sub>2</sub> isuri kopuruen bilakaera munduan

Izan ere ikerketek diotenez, munduan egungo CO<sub>2</sub> gasen isuria 33.000 Mt ingurukoa da eta bai politika berdinekin eta baita politika berriak deiturikoekin 2025. urtean CO<sub>2</sub> gasen isuria 35.500 Mt eta 33.400 Mt ingurukoa izatea espero da hurrenez hurren. Urteak igarota gainera joera berdina izango luke eta bi politika eredu horiekin 2040rako 42.700 Mt CO<sub>2</sub> eta 35.700 Mt CO<sub>2</sub> isurketa inguru

izatea espero da. Hori dela eta, garapen jasangarriko politikak aztertzen dira, non teknologia eraginkorrak eta energia berriztagarriak funtsezko bihurtzen diren isurien murrizpenean duten ahalmenagatik. Horrela, efizientziaren eta energia berriztagarrien bidez 2025 urterako 2.946 Mt CO<sub>2</sub> eta 1.706 Mt CO<sub>2</sub> gasen isuria murriztea espero da hurrenez hurren, politika berrien egoerarekin alderatuz. Guztira, CO<sub>2</sub> gasen harrapaketa eta biltegitratzea bezalako beste hainbat neurriekin batera, joera jasangarri horretan 5.169 Mt CO<sub>2</sub> isuri murriztea espero da 2025erako eta 17.265 Mt CO<sub>2</sub> 2040rako. Murrizketa horien %90 2025ean eta %80 2040 eraginkortasun eta energia berriztagarrien teknologien erabileraren ondorio dira.

Espainiako egoera erreparatuz NEG isurketei dagokienez, 4. grafikoan ikus daiteke nola, aurretik aipatutako kasuetan bezala, gorako joera izan duen krisialdi ekonomikoaren garaira heldu arte. Ondoren beherakada nabarmena izan dute NEG isuriek eta urte batzuetan zehar egonkor mantendu dira, nahiz eta badirudien azken urteetan goranzko joera hartu berri duela. Beraz joera horren ondorioz, 2013. urtetik aurrera mugan betetzen zen Kioto protokoloaren konpromisoa betetzeari utzi dio. Protokolo horretan NEG isurien kopurua 1990. urtean Espainian izandako isurien kopurua %15 baino gehiago ez gainditzeko konpromisoa zehazten zen.



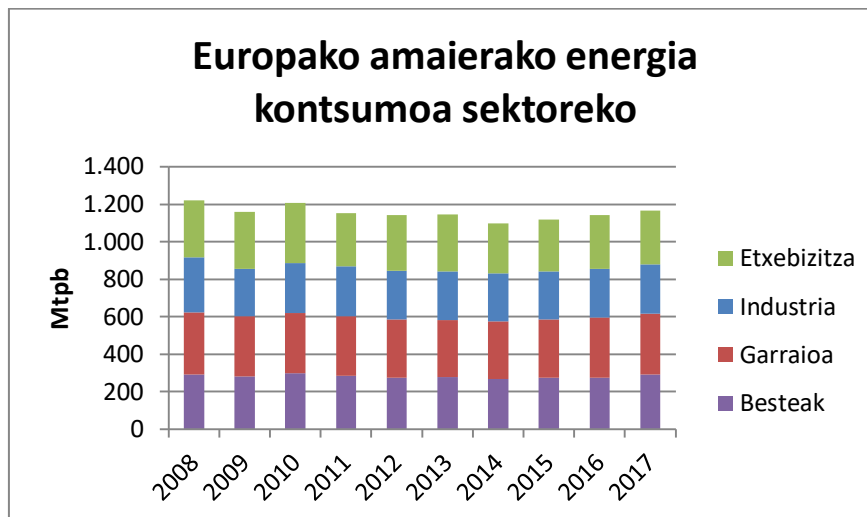
4. Grafikoa. NEG isuri kopuruen eraldaketa Espainian

Egoera hau kontuan edukita, Europar Batasunak neurriak hartzeko autua egi du eta NEG isurien neutraltasunera heltzeko helburua dauka, Lurraren batz besteko tenperaturaren igoera gelditu nahian. Honek, Espainiarentzat bere NEG isuriak 14 Mt CO<sub>2</sub> eta 88 Mt CO<sub>2</sub> tartean mantentzea suposatuko du, egungo balioetatik oso urrun dagoena.

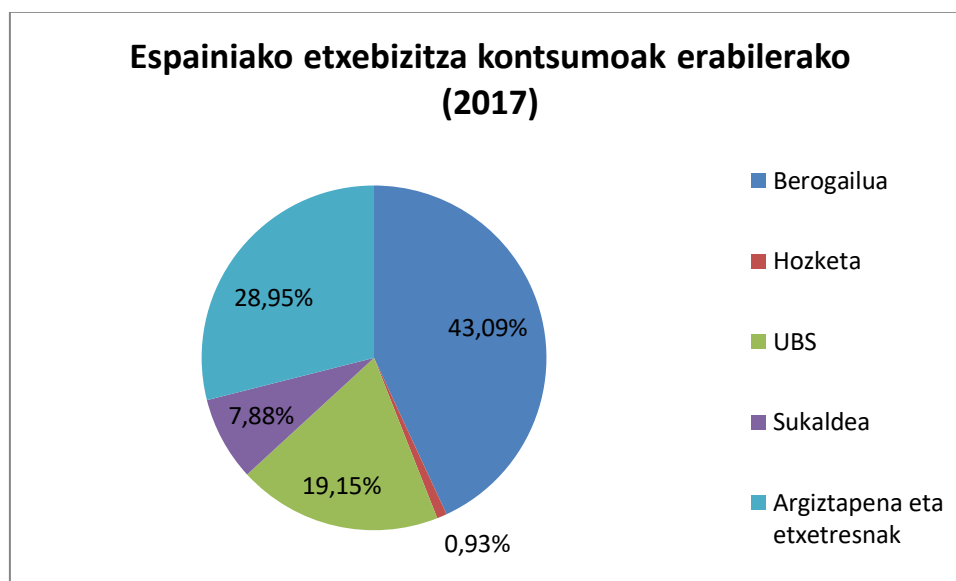
Honen ondorioz, eredu energetikoa aldatuz doa eta arazo hauei aurre egingo dien eredu berri baterako trantsizioan dago, zeinetan teknologia eraginkor eta garbienek garrantzi nabarmena izango duten. Teknologia hauek izango baitira gehien lagunduko dutenak NEG isuriak murrizten eta eskaria era jasangarriagoan eskaintzen.

Europako kontsumoa sektoreka aztertuz, 5. grafikoan ikusten da nola etxebizitzaren sektoreak %25 inguruko kontsumoa eragiten duela eta beraz aipatutako neurriak hartzerakoan kontuan edukiko den sektore garrantzitsua da. Etxebizitza sektorearen barnean erabileraren arabera bereizten badugu

energia kontsumoa, ikus daiteke nola berokuntza (%43,09) eta ur bero sanitarioak (UBS) (%19,15) kontsumoaren zati handi bat direla; argiztapen eta etxetresna elektrikoaren (%28,95) kontsumoarekin batera, 6. grafikoan ikus daitekeen bezala. Baina azken hauek energia elektrikoa besterik ez dute kontsumitzen. Hori dela eta, berokuntza eta UBS sistemetan ulergarria da teknologia eraginkor eta berriztagarrien erabileraren aldeko autua egitea.



5. Grafikoa. Europako amaierako energia kontsumoaren eraldaketa sektoreko



6. Grafikoa. Espainiako etxebizitza kontsumoak erabilera bakoitzaren arabera

Jasangarritasun energetiko helburu hauek lortzeko betebeharrak minimoak 314/2016 Errege Dekretuaren ondorioz sortutako Eraikuntzako Kode Teknikoa (EKT) araudian agertzen dira, Energiaren Aurrezpenaren Oinarrizko Agirian (DB-HE) hain zuzen ere. Agiri honek 5 atal ditu eta bertan beste hainbat neurriren artean, eskari energetikoaren muga eta instalazio termikoen errendimendua zehazten du (HE-1 eta HE-2 atalean). Horetaz gain, UBS sistemarako eguzki energiaren ekarpen minimoa ezartzen du baita (HE-4 atalean).

Honetaz gain, 1027/2007 Errege dekretuak ezarritako Eraikinetako Instalazio Termikoen Araudia (EITA) dago, zeinek efizientzia energetikoa duen helburu teknologia eraginkor eta berriztagarriak bultzatuz.

Egoera honetan, trantsizio energetiko honetan onuragarria izan daiteke aire-ur bero-ponpen erabilera etxebizitzetako berokuntza eta UBS sistemetan. Izan ere, teknologia berriztagarritzat hartzen da 2,5 COP balio minimoko eraginkortasuna badu eta NEG isuriak murrizten laguntzen du. 2017an aerotermia teknologien ahalmena aztertuz, Espainian 21.816 MW zeuden instalatuta, zeinetatik 2.053 MW aire-ur motako bero-ponpak ziren.

## 4. IRISPENA

Dokumentu honek, Gasteizen kokatua dagoen eta aire-ur bero-ponpa teknologia oinarri duen familia bakarreko etxebizitza baten berokuntza eta UBS instalazioen simulazioa eta optimizazioa du helburu nagusia. Hori dela eta, instalazioko tresnen analisi energetiko eta exergetikoak egin dira termodinamikaren legeetaz baliatuz, ekipo hauen kontsumoak eta errendimenduak kalkulatzeko, gerora instalazioaren kostuak, errendimendua eta ingurumen inpaktua aztertzeko.

Horren ildotik, proiektua instalazioaren eskari energetikoaren simulazioarekin hasten da, tresna bakoitzaren eta instalazio osoaren errendimendu eta eskari termikoa kalkulatu jarraitzen du eta instalazioaren optimizazioarekin bukatzen da, ikuspuntu ekonomikitik.

Horrela, hasiera batean, etxebizitzaren berokuntza eta UBS sistemen energia eskariaren kalkulurako beharrezkoak diren hasierako datu bilketa gauzatuko da. Horretarako kontuan hartuz, besteak beste, etxebizitzako pertsona kopurua, kokalekuaren batz besteko UBS sistemen kontsumoa etxebizitza bakoitzeko, kokalekuko egoera klimatikoa eta kokalekuaren batz besteko berokuntza sistemaren erabilera.

Behin hasieran beharrezkoak diren datuak jakinda, simulazio programa bat erabiliko da etxebizitzaren eskari eta funtzionamendu energetikoa ezagutzeko. Hori dela eta, simulazio programaz baliatuz, egoera erreal batekiko hurbilpen erabilgarri bat lortu nahi da etxebizitzaren eskari eta funtzionamendu energetikoari dagokionez. Kasu honetan, simulazio programa gisa Trnsys 17 programa erabili da.

Simulazioaren bidez funtzionamendua ezagututakoan, honen puntu guztietako emarien eta tenperaturen balioak ezagutuko dira une oro, minutu bateko tarteetan. Gerora, datu hauek, beharrezkoak izango direnak propietate termodinamikoak kalkulatzeko eta, ondorioz, balantze energetiko eta exergetikoak gauzatzeko.

Aurrekoa gauzatu ondoren, gaitasuna edukiko da ekipo bakoitzaren eta instalazio osoaren potentziak eta errendimenduak kalkulatzeko. Hauen bidez, bere funtzionamendua ezagutuko da eta ondoren, instalazioaren funtzionamendua ikuspegi ekonomikitik optimizatuko da.

Amaitzeko, behin optimizazioak gauzatuta, biomasazko galdara bat oinarri duen instalazio batekin konparatuko da ikuspegi ekonomikitik eta ingurugiroaren ikuspegitik. Ondoren, helburua ondorio erabilgarri eta zehatz batzuk lortzea izango da. Bertan funtzionamendu optimoa ezagutu eta aztertuko da eta honek ekarriko dituen onura ekonomiko eta ingurugiroarekiko onurak zenbatetsi eta analizatuko dira.



## 5. HELBURUAK

Lan honen helburu nagusia, Gasteizen kokaturiko etxebizitza erreal baten berokuntza eta UBS sistemen eskari energetikoen baldintzak simulatzea, aztertzea eta ondoren, ikuspuntu ekonomikoari dagozkion optimizazioak gauzatzea da. Beti ere aire-ur bero-ponpa batean oinarrituta eskari hauek asebetetzeko, zeinak garrantzia hartu dezakeen NEG isurien murrizketak eta energiaren erabilera efizientea gero eta helburu sendoagoak diren eredu energetiko honetan.

Horretaz gain, lanak baditu ere beste hainbat helburu:

- Aire-ur bero-ponpa teknologien erabilera etxebizitzaren sektorean ezagutzea. Teknologia mota honek etxebizitzaren eskari energetikoan egin ditzakeen ekarpenak aztertuz bai ahalmen aldetik eta baita ere onuren aldetik, eredu energetikoaren bilakaera ezagututa.
- Trnsys 17 simulazio programak duen funtzionamendua eta ahalmena ulertzea. Aplikazio mota hauetan tresna erabilgarria bihurtzen delako, azterketa hobea egiteko gaitasuna handitzen baitu, egoera errealarekiko hurbilketa eginez.
- Etxebizitza baten berokuntza eta UBS sistemek izango luketen eskari energetikoaren kalkulua egitea.
- Aire-ur bero-ponpa batean oinarritutako instalazio osoko ekipamendu guztiek eta instalazioak berak daukaten kontsumoa eta errendimendu energetiko eta exergetikoak lortzea termodinamikaren legeetaz baliatuz.
- Lortutako emaitzen bidez instalazioaren funtzionamendua ulertzea eta behin hau gauzatzen dela, ekipamenduaren eta instalazioaren bideragarritasuna eta hobekuntza posibleak aztertzea eta aplikatzea, aldagai ezberdinak kontuan hartuz. Kasu honetan ikuspegi ekonomikoa kontuan izanda.
- Biomasa bezalako beste iturri berriztagarri bat erabiltzen duen instalazioarekin konparaketa ekonomikoa eta isurien konparaketa egitea.
- Lan honek eragiten dituen kostuen aurrekontu baten kalkulua egitea.

## **6. PROIEKTUAREN ONURAK**

Egungo testuingurua aztertuta, mundu mailan NEG isurien murrizketen eta energiaren xahuketa txikiagotzeen erronkak nagusi dira, beste hainbaten artean, eta beraz horiek gainditzeko neurrien ezarpena nabaria da.

Horrek eragin zuzena du sektore guztietan eta, noski, energiaren arloan baita ere. Izan ere, zerikusi zuzena dauka erronka horiekin eta, beraz, ahalmen handia ere bai eraldaketak lortzeko. Hori dela eta, ikuspuntu ekonomikoak, ingurumenarekiko ikuspuntuak, efizientziaren ikuspuntuak eta, orokorrean, jasagarritasunaren ikuspuntuak errotiko garrantzia daukate.

Egoera kontuan edukita, energiaren arloan efizientzia bezalako aldagaiak funtsezko bilakatu dira. Beraz, hauen kalkulu eta azterketa eta ondorengo hobekuntzen analisia interes handikoa da. Hobekuntza hauen analisisen eraginez, sistemen optimizazioa lortzen da eta hau hainbat ikuspegi ezberdinetatik gauzatu daiteke onura ezberdinak lortuz.

Ondorioz, lanak izan ditzakeen onurak hurrengo azpiataletan adieraziko dira.

### **6.1 ONURA TEKNIKO/TEORIKOAK**

Energiaren kontsumoaren beharra eta honek eredu energetikoan duen eragina ukazina da. Horrela, eredu honen helburuen bidean, onuragarri bihurtzen dira etxebizitzetako berokuntza eta UBS sistemak efizientzia eta ingurugiro ikuspuntutik optimizatzen dituzten teknologiak.

Hori da zehazki lortu nahi dena lan honetan aire-ur bero-ponpa baten oinarritutako instalazioa aztertu eta optimizatzerakoan. Horrela txosten honetan horretarako metodologia azaltzen da, analisi energetiko eta exergetikoak aurrera eramanez, horrela errendimenduak eta ahalmenak kalkulatzuz.

Gainera, instalazio erreal batean oinarritzen den heinean, instalazioaren dimentsionamendua eta ekipamenduaren funtzionamendua ezagutarazten da. Baita ere instalazio hau eta antzerako sistemak izan ditzaketen erlazioak kontuan edukita, hauen energia kontsumoa kalkulatzeko balio du, izan ere, honetan jardungo du dokumentu honek.

### **6.2 ONURA ENERGETIKOAK**

Lehen aipatu bezala, etxebizitzaren sektoreak eragin handia dauka energiaren arloan, horren kontsumoaren zati garrantzitsu bat baita. Beraz, energia baliabideen erabilera optimoaren bidean energiaren xahutze murrizpenek eragina izango dute sektore honetan baita ere.

Alde batetik, aire-ur bero-ponpa teknologiak baliogarria da baliabideen erabilera jasagarriaren helburua lortzeko. Izan ere, darabilen energia iturri nagusia giroko tenperatura da eta hau iturri berriztagarria da.

Beste aldetik, instalazioaren simulazioa eta azterketa egiterakoan, honen funtzionamendua eta errendimenduak aztertu ahalko ditugu lortutako balioen bidez. Horren arabera, instalazioko ekipamenduaren eta instalazio osoaren efizientzia balioztatu daiteke. Gainera, lortutako informazioa ebaluatu daiteke efizientzia hori nola hobetu daitekeen jakiteko eta gerora hobekuntza horiek aplikatzeko.

Beraz, azterketa honi esker etxebizitza baten eskari energetikoari modu efiziente batean hornitzeko baliabideak lortzen dira, bai instalazioko ekipamenduaren efizientziaren aldetik eta baita energia iturria berriztagarria izatearen aldetik.

### **6.3 ONURA EKONOMIKOAK**

Ikuspuntu ekonomikotik, energiaren xahutze ezak, hau da energiaren erabilera efizienteak, onura zuzenak dakartza. Izan ere, xahututako kontsumoak murriztean berarekin dakartzan kostuak murrizten baititu.

Etxebizitzaren arloan, teknologia efizienteen inplementazioak bat-bateko kostuen aurrezteak ez dakarren arren, epe luzera badauka eragina kostuen murrizpenean. Bat-batekotasun eza hasierako inbertsio baten beharraren ondorio da. Hori dela eta, gero eta ohikoagoa da efizientzia energetikoa hobetzen dituzten teknologia erabiltzea etxebizitzetan, argiztapenaren erabileran LED teknologiarekin gertatzen den bezala.

Gainera, erabilitako ekipamenduaren azterketa egiten bada ondoren ekonomiaren aldetik era optimoan lan egin dezan, kostuen murrizpenen aldeko emaitza lortuko da. Era berean, aire-ur bero-ponpan oinarritutako instalazioarekin helburu bera lortzea espero da. Horrela instalazioko ekipamenduen efizientziak lortu eta aztertuko dira, ondoren instalazioaren efizientziaren hobekuntza lortzeko. Optimizazio horren bitartez lortzen baita baliabide erabilera gehiegizkoaren murrizpena eta, ondorioz, kostu ekonomikoen murrizpena.

### **6.4 INGURUMEN ONURAK**

Energia kontsumo jasangarriaren lorpenaren bidean, ingurumenari dagokionez, NEG isurien murrizketa eta baliabide energetikoen xahutzea murriztea funtsezko helburuak dira. Horrela, helburu hauek lortzeko lagungarriak diren teknologia erabiltzea eta hauen erabilera optimizatzea ezinbestekoa da.

Kasu honetan, aire-ur bero-ponpa teknologiaren erabilerari esker, etxebizitza baten beroketa eta UBS sistemen eskari energetikoa hornitzeko NEG isuriak guztiz deuseztatzen dira, ohiko erredukzio galdarekin ez bezala. Izan ere, ohiko erredukzio galdaretan gertatutako konbustioaren ondorioz NEG barne dauden CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, ... bezalako gasak isurtzen dira.

Horretaz gain, bere funtzionamenduaren analisia egin eta gero optimizatzen bada ekipamenduaren eta, beraz, instalazioaren efizientzia hobetu nahian, energia galerak murriztea lortuko da. Horrela, energia horren erabilerarako konbertsioak lotuta daukan kutsadura ekidinez eta baita baliabideen urritasuna ekidinez

## **7. METODOLOGIA**

Proiektuaren atal honetan, aire-ur bero-ponpa teknologian oinarritutako etxebizitza baten beroketa eta UBS instalazioaren simulazio eta optimizazioak lortzeko erabilitako metodoen azalpena egiten da, hainbat atal ezberdinetan banatuta.

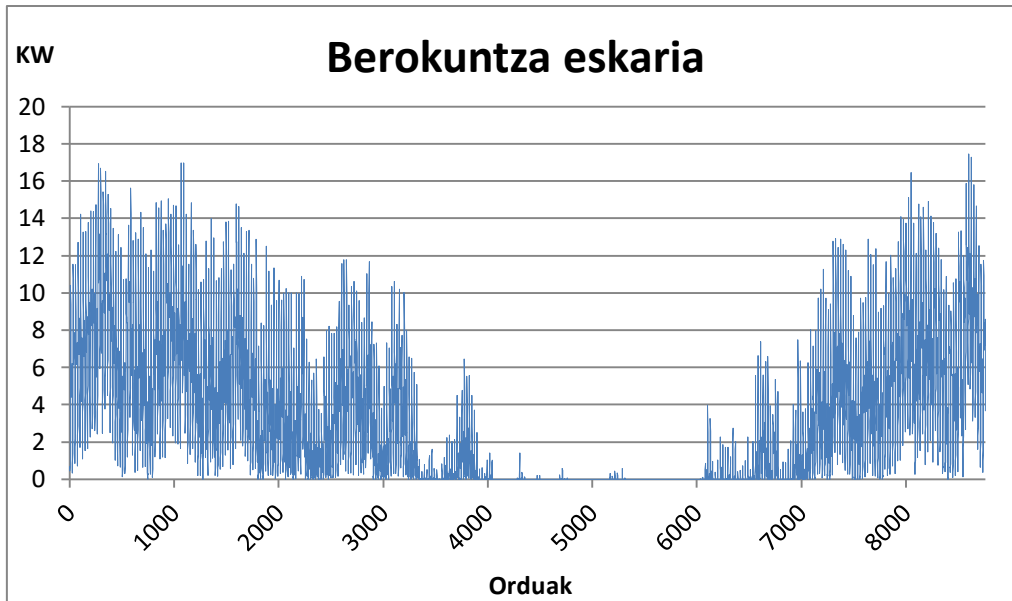
Aurretik aipatu den bezala, lanaren helburu nagusia etxebizitza erreal baten berokuntza eta UBS sistemen simulazioaren bidezko hurbilketa lortzea da eta behin hori aztertuta, horren optimizazioa gauzatzea. Hau kontuan izanda, helburu horretara iristeko emandako urratsak hurrengoak izan dira:

1. Instalazioari dagozkion hasierako datuak jasotzea.
2. Instalazioaren simulazioa gauzatzea.
3. Simulazioan jasotako datuak aztertzea.
4. Lortutako datuen bitartez instalazioaren analisirako beharrezkoak diren balioak kalkulatzeko.
5. Balio horien bidez instalazioaren analisi energetikoa eta exergetikoa egitea.
6. Instalazioaren optimizazio ekonomikoa.
7. Lortutako datu optimizatuak baloratzea.

### **7.1 INSTALAZIOAREN DIMENSIONAMENDUA**

Instalazioaren azterketa egiteko, lehenik eta behin, honen neurriak ezarri behar dira hasierako baldintzak zeintzuk diren ezagutzeko. Ikerlan honetan, Gasteizen kokaturiko familia bakarreko etxebizitza baten beroketa eta UBS sistemen energia termikoen eskariak hornitzeko diseinaturiko instalazio bat aztertzen da, horretarako aire-ur bero-ponpa teknologiaz baliatuz.

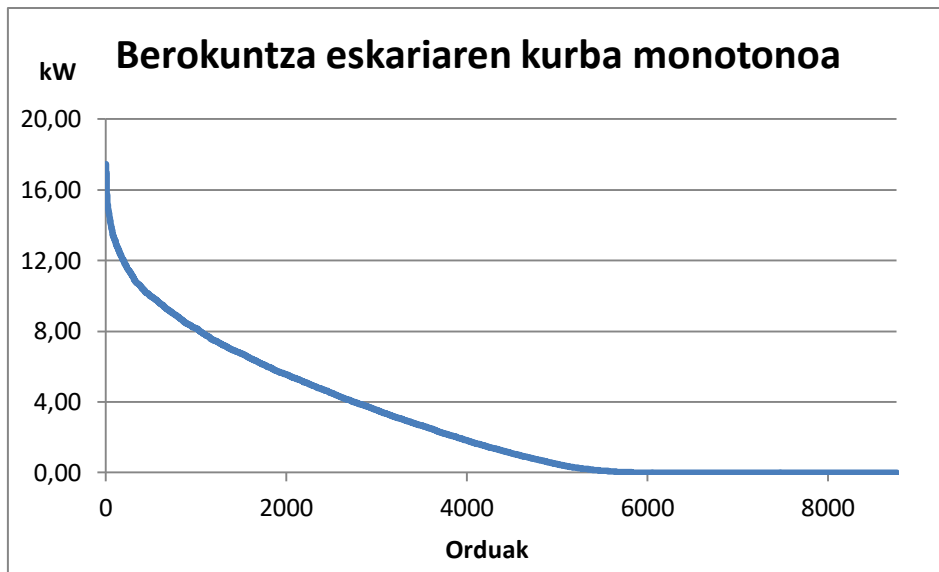
Hori dela eta, aire-ur bero-ponpa dimentsionatzerako orduan, kontuan eduki behar da etxebizitzaren urte oso eskari termikoa zein den. Horrela, eskari horri aurre egiteko ahalmen egokiko gailua lortuko da. Hau lortzeko, etxebizitzaren jokaeraren simulazioa egin da eta urteko egun tipo bakoitzaren arabera orduko potentzia datuak bildu dira, 7. grafikoan ikusten den bezala. Simulazioa aurrera eramateko etxebizitzaren okupazio perfila, kokapenaren klima, barne bero irabaziak, infiltrazioak, IDAEk definituriko beroketaren kontsigna tenperaturak eta EKT dokumentuak zehaztutako beharrezko aireztapena bezalako datuak kontuan hartu dira.



7. Grafikoa. Etxebizitzaren berokuntza eskaria urte osoan zehar

Datu hauek bilduta, ondoren, berokuntza eskariaren kurba monotonoa deiturikoa erdiesten da. Honen bidez, ekipoaren dimentsionamendua egokia izan dadin lortu nahi da, ekipoak etxebizitzaren urteko ordu kopuru maximoaren eskariari aurre egiteko ahalmena izan dezan baina, aldi berean, honen gaindimentsionamendua ekidinez. Izan ere, ekipoaren ahalmena potentzia maximoaren bidez dimentsionatzen bada ziurtatuko da urte osoan eskaria hornitzeko ahalmena baina, hori urte osoko une batean gertatzen denez, gaizki dimentsionatuta egongo litzateke urte oso beste ordu guztietan eta horrek galerak eta xahutzeak sortuko lituzke.

Gauzak horrela, eskari maximoko ordutik eskari minimoko ordura ordenatzen dira balioak, orduak ardatz horizontalean eta potentziak ardatz bertikalean jarriz. Honen bidez, eskariaren kurba monotonoa lortzen da, zeinetan adierazten den urteko zenbat ordutan dagoen potentzia eskariaren balio bakoitza. Behin hau lortuta, urte osoan energia gehien hornituko lukeen ekipoaren potentzia eta ordu kopurua zenbatesten dira, horrela hurbilketa bat erdiesteko. Hori lortzeko, kurbaren azpiko azalera maximoko laukizuzena kalkulatu da eta honen ebaki puntuak bi ardatzekin adieraziko ditu aurretik aipatutako datuak. Horrela 8. grafikoa ikusten denez, urtean zehar energia gehien hornituko duen potentzia 4.9 kW-koa da, zeinak 2306 orduko guztizko jardunean 11300 kWh hornituko dituen. Darabilen ordu kopurua dela eta, baliagarria da biltegi termiko bat erabiltzea, horrela era jarraituagoan hornitzeko gaitasuna izan dezan eta lanorduak handiagotzeko.

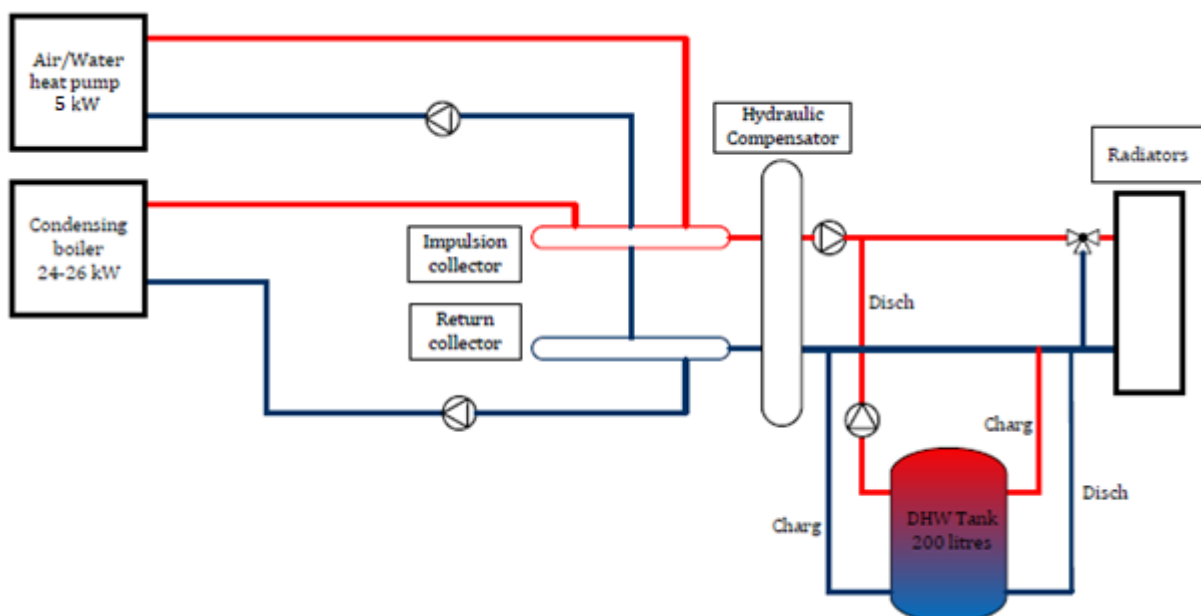


8. Grafikoa. Etxebizitzaren berokuntza eskariaren kurba monotonoa

Gutzizko eskaria behar bezala hornitzen dela bermatzeko beharrezkoa bihurtzen da ohiko errekontza galdara bat ekipo lagungarri bezala erabiltzea, aire-ur bero-ponpa eskaria hornitzera heltzen ez denean ekipo lagungarri honek bete ditzan. Gainera errekontza galdarak funtzionamendua hasi eta eteteko inertzia baxuagoa duenez, aire-ur bero-ponpa oinarrizko eskari energetikoa betetzeko erabiliko da eta gainerako eskaria gas naturala darabilen kondentsazio galdara batek hornituko du.

## 7.2 INSTALAZIOAREN DEFINIZIOA

Behin dimentsionamendua egin dela, lortutako datuak kontuan edukita instalazioa definituko da eta baita instalazioa osatzen duen ekipamendua. 1. irudia instalazioaren eskema adierazten da, instalazio hau osatzen duten ekipoak eta haien arteko loturak adieraziz.



1. Irudia. Instalazioaren eskema

Instalazioa hurrengo ekipamenduarekin osatuta dago:

- **Aire-ur bero-ponpa:**

Etxebizitzaren eskari termikoa hornitzeko oinarrizko tresna izango da. Ikerlan honetan Vaillant marka komertzialaren VWL 55/2 A 230V modeloa erabiliko da. Hau, giroko energia termikoaz baliatzen da R 410 A hozgarria darabilen zirkuitura igortzeko. Horrela honen lurrunketa, konpresio, kondentsazio eta hedapenaren bitartez etxebizitzako beroketa eta UBS sistemara energia termikoa transmititzeko. Ekipoak 5 kW-ko potentzia termiko nominala dauka eta %98-ko efizientzia energetikoa. Horretaz gain hainbat aplikazio muga ditu gailuak beroketa lanean jarduten duenean. Batetik, uraren lan tenperatura 22 °C eta 62 °C bitartean egon behar da eta, bestetik, airearen giroko tenperatura -15 °C eta 46 °C bitartean egon behar da.



2. Irudia. Aire-ur bero-ponpa

- **Galdara:**

Sistema lagungarri gisa, errekontza galdara erabiltzen da, hau erabiliko da aire-ur bero ponpa energia termikoaren eskaria asebetetzeko gai ez denean. Erabiliko den modeloa, erregai gisa gas naturala darabilen BaxiRoca markako BIOS 24/28F kondentsazio galdara izango da. Galdara honek tenperatura baxu (40-60 °C) edo altuekin (60-80 °C) lan egiteko gai da eta horren arabera bere potentzia termikoa 26 kW edo 24 kW izango da hurrenez hurren. Era berean, errendimendu nominali erreparatuz, %107ko balioa izango du tenperatura baxuekin lanean ari denean eta %97ko balioa edukiko du tenperatura altuekin jarduterakoan.



3. Irudia. Kondentsazio galdara

- **Biltegitratze termikoa:**

Aire-ur bero-ponpak duen energia eskaria hornitzeko gaitasuna modu jarraituagoan eta ordu kopuru gehiagotan zehar lortzeko erabiltzen da. Azterlan honetan, Vaillant VPS R 200/1 B modelo erabiliko da metatze inertzial depositu gisa, zeinak 200 litroko bolumen ahalmena duen.



4. Irudia. Inertzia depositua

- **Berogailua:**

Berogailuaren eskaria bero disipaziorako gailu baten bitartez simulatuko da. Horretarako, fancoil Sedical-Rhoss Yardi HP modelo erabiliko da. Honek, sarrerako uraren tenperaturaren arabera potentzia termiko nominal ezberdinak izango ditu. Horrela, tenperatura hau 50 °C-koa denean bere potentzia termiko nominal maximoa 24,9 kW-koa izango da eta, aldiz, 70 °C-koa denean 42,8 kW-koa.



5. Irudia. Bero disipagailua

- **Bestelakoak:**

Aurretik aipatutako ekipoez gain, konpentsagailu hidraulikoa eta ponpek instalazioa osatuko dute. Lehengoak sarean zehar sortu daitezkeen desorekak orekatzea du helburu, funtzionamendu egokia bermatuz. Amaitzeko, eskariaren banaketa tenperatura altuko nahaste ponpa baten bitartez burutzen da.



### 7.3 KONTROL ESTRATEGIA

Kontrol strategiaren bidez, instalazioaren funtzionamendua zehazteko aginduak definitzen dira. Beraz, instalazioaren funtzionamendua aztertzea beharrezkoa da eta ekipo bakoitza maneiatzeko kontsigna seinaleak kontuan izango dira kontrola aurrera eramateko.

Eragiketa estrategia honetan hasierako puntutzat ekipo guztiak amatatuta dauden egoera hartuko da. Behin instalazioa martxan jarri nahi denean, bero-ponpak bere funtzionamenduari ekingo dio tenperatura zehatz bat lortzen duen arte. Hau lortzerakoan, bero-ponparen barne kontrolak inpultsio ponpa aktibatzeke seinalea igorriko du eta instalazioan emaria zirkulatuko du.

Eskaria altua denean bero-ponpak hori hornitzeko ahalmenik ez izatea gerta daiteke, kasu honetan gailura itzultzen den emariaren tenperaturak ( $T_{bp1}$ ) beherakada bat jasango luke eta beraz, beharrezkoa litzateke galdara bero-ponparekiko paraleloan funtzionatzen hastea. Hasiera batean ezezaguna da galdara funtzionatzen hasteko  $T_{bp1}$  tenperaturak izan beharko lukeen balioa ( $T_{itz}$ ), beraz optimizazio modeloaren bitartez lortuko baita. Hala ere, hasiera batean  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ko balio minimoa inposatuko zaio eskariaren horniketa zuzena bermatzeko. Horrela, bero-ponparen  $T_{bp1}$  itzulera tenperatura  $T_{itz}$  baino txikiagoa bada galdara piztuko da eta kontrakoa gertatzen bada amatatuta mantenduko da. Gainera, galdararen etengabeko pizte eta amatatzeak dakartzan kalteak ekiditeko, egoera hori 2 minututan zehar gutxienez irautea inposatzen da, horrela beharrezko baldintza bihurtuz egoera batetik bestera igarotzeko.

Aldiz eskaria baxua denean,  $T_{bp1}$  itzulera tenperatura handituko litzateke eta beraz, ekipoaren segurtasunagatik balio maximo bat ezarri behar zaio. Kasu honetan  $62\text{ }^{\circ}\text{C}$ -koa da balio maximo hori eta hortik gorako balioetan bero-ponpa itzaliko litzateke, baina distribuzio ponpak martxan jarraituko luke sistemak daukan energia termikoa baliatzen jarraitzeko.

Beste aukera bat da aire-ur bero-ponpak ahalmena izatea eskaera hornitzeko eta bero dissipazio gailutik itzultitako uraren tenperatura ( $T_{bp2}$ ) inertzia deposituaren biltegitratze tenperatura ( $T_{d1}$ ) baino altuagoa izatea, kasu horretan merezi du energia hori biltegitratzea. Inertzia depositua kargatzen hasteko balioa ( $g_k$ ) optimizatu beharrekoko beste aldagai bat izango da. Horrela aipatutako bi tenperaturen diferentzia ( $T_{bp2}-T_{d1}$ ) optimizatu beharrekoko  $g_k$  aldagaia baino handiagoa bada, inertzia depositua kargatzeko balbula ireki eta honen kargarekin hasiko da. Beste  $b_k$  balio bat baino baxuagoa denean aldiz, karga balbula itxi eta karga etengo da.

Instalazioaren konfigurazioa dela eta, inertzia deposituaren karga eta deskarga ezin dira aldi berean gertatu, beraz, deskarga bakarrik aplikatu daiteke energia nahikoa biltegitratuta dagoenean, aprobetxagarria izan daitekeen horniketa tenperaturaren. Horretaz gain, ezin da energia eskaria hornitu sorkuntza ekipoekin (bero-ponpa eta galdara) eta inertzia deposituaren deskargarekin aldi berean. Hori dela eta, deskarga egoeran sorkuntza ekipoak itzalita egongo dira eta egoera aldaketa hauek instalazioko kontrol balbulen bitartez gauzatuko dira. Gainera, egoera honetan sorkuntza ekipoak itzaltzen direnez, hauen segurtasuna ziurtatu nahian, deskarga egoera hau gertatzeko bero-ponpa gutxienez ordu betez egon behar izatearen baldintza minimoa ere ezartzen da. Horrela, horretarako ezarritako baldintzak betetzerakoan, inertzia deposituaren deskarga aprobetxagarria izan daiteke honek  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ -tik gorako tenperatura daukanean. Ondorioz, deposituaren tenperaturaren eta tenperatura aprobetxagarriaren arteko diferentziaren balioaren arabera baldintzatuko da

deskarga. Hortaz,  $T_{d1-40}$  °C diferentzia  $g_{dk}$  balioa baino handiagoa denean sorkuntza gailuak amaturatu eta deskarga emango da, baina  $b_{dk}$  balioa baino txikiagoa denean deskarga geldituko da.

Bestalde, instalazioak ahalbidetzen du sorkuntza gailuak eta inertzia deposituaren karga aldi berean aktibatuta egotea, horrela sistemaren funtzionamendu egonkorra eta distribuzio tenperaturen gorabeherak gutxitzea lortuz.

## 7.4 SIMULAZIOA

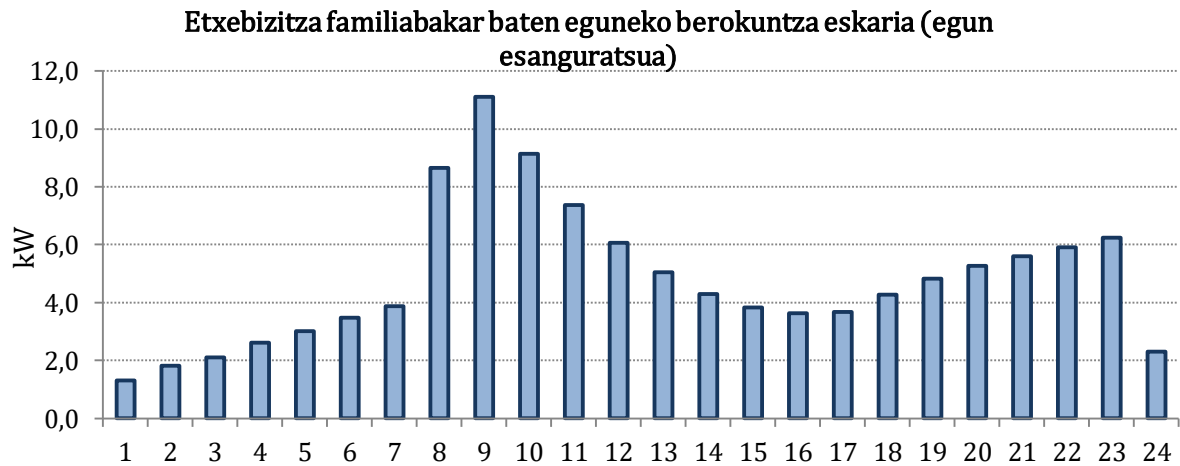
Instalazioaren dimentsionamendua, ekipamenduaren definizioa eta funtzionamendua aztertu eta gero, honen simulazioari hasiera emango zaio. Lehenago aipatu den bezala, simulazioa Trnsys 17 programa informatikoaren bitartez gauzatu dira, egun tipo esanguratsu bat erabiliz, 48 orduko analisia eginez eta minutu bateko tartetan banatuz. Horrela, hasiera batean Gasteizen kokaturiko etxebizitza familiabakar baten beroketa eta UBS sistemen eskari energetikoa zein den lortuko da eta ondoren, simulazioaren bidez sistemaren erantzuna eskuratuko da. Behin datu horiek edukita, aztertu eta optimizatzeko aukerak ikusi eta aplikatzeko.

- **Etxebizitzaren simulazioa**

Instalazioaren dimentsionamendua azaldu den atalean aipatu bezala, etxebizitzaren jokaeraren simulazioa aurrera eramateko etxebizitzaren okupazio perfila, kokalekuaren klima, barne bero irabaziak, infiltrazioak, IDAEk definituriko beroketaren kontsigna tenperaturak eta EKT dokumentuak zehaztutako beharrezko aireztapena bezalako datuak kontuan hartu dira. Gero datu horien Trnsys 17 programan barneratzeko.

Horretaz gain, kontuan izan da EKT dokumentuan eguneko eta pertsonako UBS eskaria 28 litrokoa dela ezartzen duela familia bakarreko etxebizitzentzat. Horretaz gain, familia bakarreko etxebizitzaren logela kopurua 4 dela finkatzen bada, dokumentu berak 4 pertsona bizi direnaren simulazioa egin behar dela ezartzen du. Gainera, UBS-ren ohiko erabilerak denbora tarte txikietan gertatzen direnez, instalazioak ahalmena izan behar du eskari horri denbora tarte txiki horretan aurre egiteko eta beraz, beharrezkoak bihurtzen dira errekontza galdarak bezalako inertzia baxuko ekipoak edota inertzia deposituak.

Simulazioa gauzatzeko, 9. grafikoan ikus daitezkeen bezala, erreferentziazko egun tipo bat definitu da, zeina urteko bataz besteko kalkuluaren bitartez zenbatetsi den. Honi esker, jakingo da aurrera eramane beharrezko kontrol estrategia.



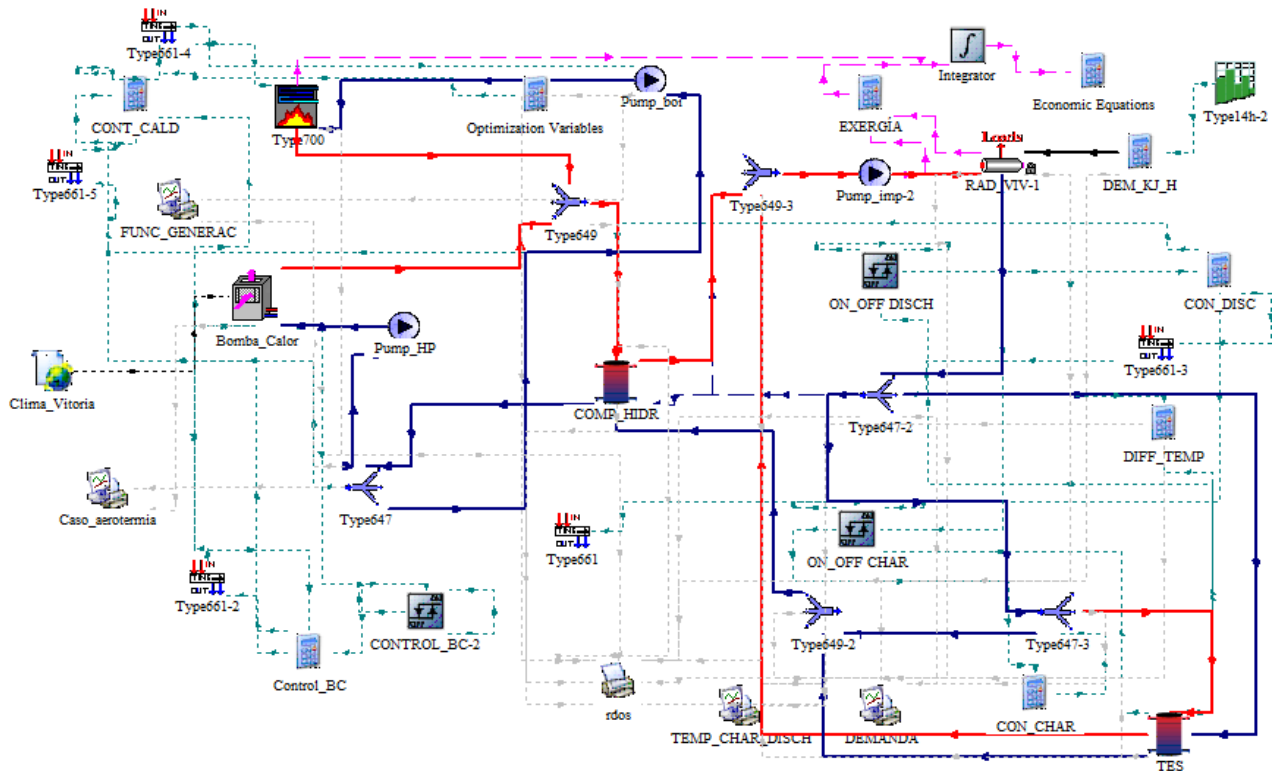
9. Grafikoa. Etxebizitza baten urteko berokuntza eskariaren erreferentziako eguna

- **Instalazioaren simulazioa**

Behin etxebizitzaren simulazioa eginda dagoela, bere eskari energetikoaren hurbilpena lorturik, jarraian etxebizitzak behar duen eskari hori asebetetzeko instalazioaren simulazioa gauzatzen da Trnsys 17 programaren bitartez baita ere. Lehen aipatu den bezala simulazio hau 48 ordutan zehar egingo da minutu bateko tarteetan aztertuz. Honen bidez, fluxu bakoitzaren propietate termodinamikoak eta instalazioko ekipamenduaren kontsumoak ezagutuko dira.

Simulaziorako erabiliko den ekipamendua definitu behar da, 8.2 atalean egin den bezala, eta ondoren, ekipo horietako bakoitza programan barneratu behar da simulazioa aurrera eramateko. Horrela, 6. irudian azter daitekeen bezala, simulazio programan aire-ur bero ponparen eta kondentsazio galdararen bidez hornitutako beroketa eta UBS sistemak lortzen dira. Zeinetan emari banaketa sarea gorritz eta urdinez irudikatutako lerroen bidez adierazten diren, marra gorriek energia termiko aprobetxagarria dauzkaten korronteak irudikatzen dituzte eta urdinek kontrakoa. Bertan agertzen diren gailu ezberdinak eta erabilitako datuak hurrengoak dira:

- **Bomba\_Calor:** Aire-ur bero-ponpa.
- **Type700:** Gas naturala darabilen kondentsazio galdara.
- **RAD\_VIV-1:** Berokuntza eskaria simulatzen duen bero disipagailua.
- **TES:** Inertzia depositua.
- **COMP\_HIDR:** kondentsagailu hidraulikoa.
- **Clima\_Vitoria:** Etxebizitzaren kokapenaren baldintza klimatikoak.
- **Type14h-2:** Etxebizitzaren eskari termikoak



6. Irudia. Instalazioaren eskema Trnsys 17 simulazio programan

Horretaz gain, simulazio programan gailuak definitzeko erabilitako Type ezberdinak 1.taulan irudikatu dira eta baita hauek lortzeko erabilitako liburutegia.

GAILUA	MODELOA	ITURRIA
Kondentsazio galdara	Type 700	TESS
Aire-ur bero-ponpa	Type 941	TESS
Inertzia depositua	Type 4a	Standard
Konpentsadore hidraulikoa	Type 38	Standard
Emari konstanteko ponpa	Type 114	Standard
Emari aldakorreko ponpa	Type 110	Standard
Emari banagailua	Type 11f	Standard
Emari nahasgailua	Type 11h	Standard
Bero disipagailua	Type 682	TESS

1. Taula. Simulazioan erabilitako Type ezberdinak

Hasiera batean lortutako instalazioaren funtzionamenduaren azterketa egingo da atal honetan, inolako optimizaziorik burutu gabe, hori jarraian egingo baita. Lehen aipatu bezala, funtzionamendu egoera ezberdinak aukeratzeko baldintzak ezartzen dituzten aldagaiak  $T_{itz}$ ,  $g_k$ ,  $b_k$ ,  $g_{dk}$  eta  $b_{dk}$  izango dira. Lehen unean hauen balioak ezezagunak direnez hurrengo balioak ezartzea erabaki da:

- $T_{itz} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$
- $g_k = 2 \text{ }^\circ\text{C}$
- $b_k = 0 \text{ }^\circ\text{C}$
- $g_{dk} = 6 \text{ }^\circ\text{C}$
- $b_{dk} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$

Aldagai hauen esanahia eta hauen araberako funtzionamendu egoeren aldaketen nondik norakoak kontrol estratagiaren zatian (8.3 atala) azaldu dira. Honen arabera, galdara martxan jarriko da, bero-ponpa funtzionamenduan egonda, honen itzulera tenperatura ( $T_{st1}$ ) 40 °C baino txikiagoa denean 2 minututan zehar gutxienez. Aldiz, galdara amatatuko da itzulera tenperatura horrek, denbora tarte minimo horretan zehar, 40 °C gainditzen baditu.

Inertzia deposituaren karga, aztertutako kasu honetan, bero disipazio gailuaren irteera tenperatura ( $T_{st2}$ ) inertzia deposituaren tenperatura ( $T_{d1}$ ) baino 2 °C altuagoa denean emango da, baina inertzia deposituaren tenperaturaren berdina edo txikiagoa denean karga etengo da.

Inertzia deposituaren deskargari dagokionez, hau eskaria hornitzea ahalbidetzen duen energia termiko nahikoa duenean emango da. Beraz, ezarritako balioen arabera, deposituan erdietsitako tenperatura ( $T_{d1}$ ) 46 °C denean deskargari ekingo dio 40 °C-ko baliora heldu arte.

## 7.5 OPTIMIZAZIO ALGORITMOA

Kontrol estratagian  $T_{itz}$ ,  $g_k$ ,  $b_k$ ,  $g_{dk}$  eta  $b_{dk}$  balioak definitu dira baldintza ezberdinak zehazteko eta horrela, horien arabera, instalazioa zein egoeratan dagoen definituko da. Horrela, optimizazioaren bitartez aldagai hauen baliorik egokienak lortuko dira.

Simulazioaren optimizazioa GenOpt softwarearen bidez egin da, zeina Trnsys 17 programaren simulazio softwareara akoplatu daitekeen TrnOpt interfazearen bidez. Horrela, GenOpt softwareak lortu nahi den helburua minimizatzen dituzten aldagaiak identifikatzen ditu eta ondoren, GenOpt Trnsys 17 softwareen artean iterazio prozesu bat burutzen da zeinetan azken honek aztergaia simulatzen duen aldagai horiekiko.

Hasierako funtzionamendu moduaren erantzuna aztertuta, instalazioa ikuspuntu ekonomikotik optimizatuko da, horrela eragiketa kostuak minimizatzeko asmoz. Hau hurrengo ekuazioa minimizatuz lortuko da:

$$C = \sum_{t=0}^{1440} F_{gald} \cdot c_{GN} + E_{BP} \cdot c_E$$

Zeinetan, aldagaiek hurrengo esanahia duten:

$F_{gald}$ : galdarak kontsumitutako gas naturala (kWh)

$c_{GN}$ : gas naturalaren kostua (€/kWh)

$E_{BP}$ : bero-ponpak kontsumituriko elektrizitatea (kWh)

$c_E$ : elektrizitatearen kostua (€/kWh)

## 7.6 EMAITZEN AZTERKETA

Etxebizitzaren eta instalazioaren simulazioa egin eta gero, disipatutako beroa eta erregai kontsumoa bezalako datuak lortuta, ekonomikoki optimizatu dira. Horretarako, operazio kostu totala kontuan hartuz hau minimizatzea izan da helburua.

Beraz, bi kalkuluak, optimizatu gabekoak eta optimizatuak, lortu eta alderatu dira. Hori azaltzeko puntuka egoera bakoitza azaldu da.

Emaitzak aztertzerako unean, simulazioa bi egunetan zehar minuturoko tartetan gauzatu bada ere, hasierako egoerak sorturiko fluktuazioak ekidin nahian, bigarren eguneko datuak bakarrik izan dira kontuan bai kalkuluak egiterako unean eta baita erantzuna grafiko batean erakusteko unean ere.

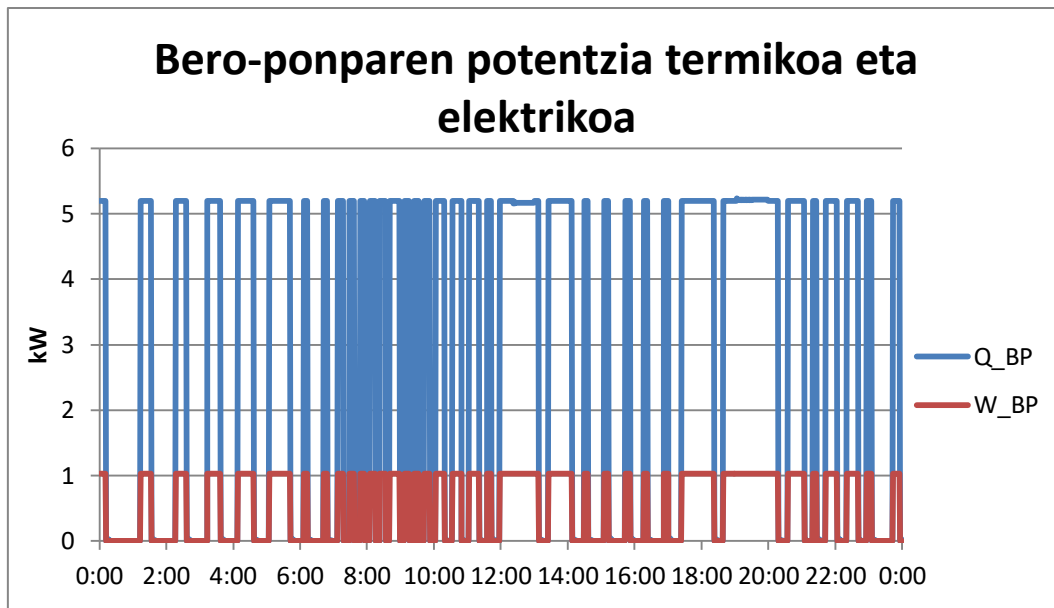
### 7.6.1 Optimizatu gabeko funtzionamendua

Simulazioaren emaitzen arabera, instalazioan kontsumitutako gas natural totalaren balioa, galdaran kontsumitutako energia hain zuzen, egun oso baterako 47,76 kWh-koa izan da optimizatu gabeko estrategian. Horretaz gain, aire-ur bero-ponpak sistemari emandako energia termiko erabilgarria 62,11 kWh-koa izan da eta kontsumitu duen energia elektrikoaren balioa 12,36 kWh, egun batean zehar. Beraz honek 5.03 COP balioko errendimendu energetikoa izan du eta instalazioaren guztizko errendimenduari dagokionez 3.84 COP-ekoa izan da. Instalazioaren COP exergetikoa aztertuta, honek 0,2326-ko balioa izango du. Errendimendu exergetiko baxu honek energiaren aprobetxamendua oso baxua dela adierazten du. Ingurunearekin desoreka termiko baxua daukalako gertatzen da hau, izan ere tenperaturen arteko diferentzia oso txikia da.

Era berean, operazio modu honi elkartutako guztizko kostua 4,07€-koa izango da. Hau kalkulatzeko kontuan izan da galdaran erregaiaren kontsumoa, gas naturala kasu honetan, eta baita bero-ponparen kontsumo elektrikoa ere.

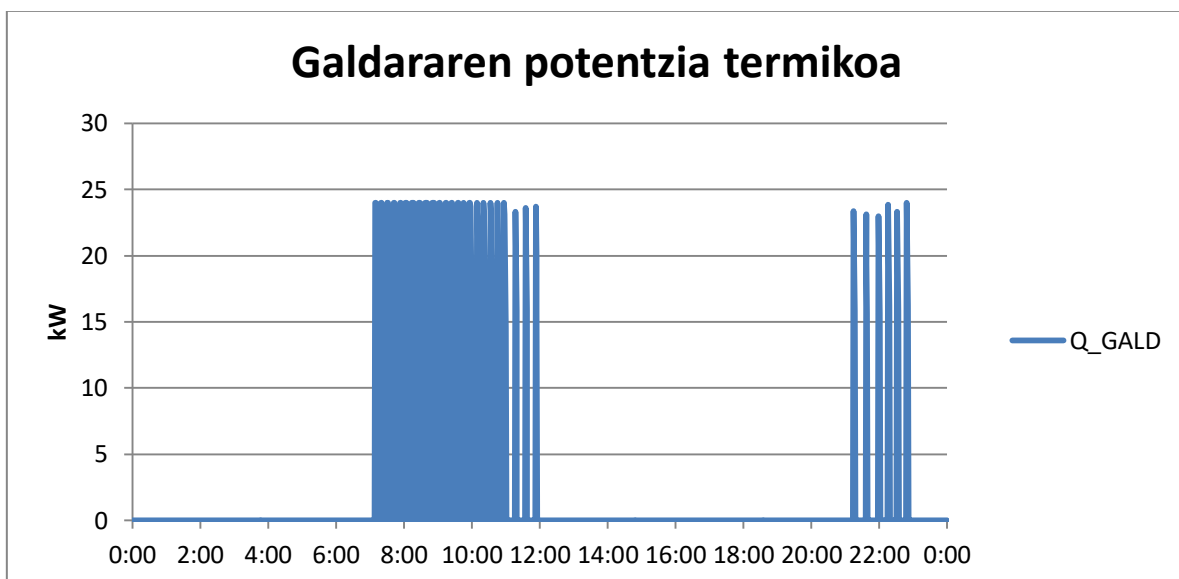
Horretaz gain, ingurugiroarekiko inpaktuaren alderdia aztertuz, ikusten da isurien balioa 16,13 kg CO<sub>2</sub> izan dela. Bertan eragin handiena gas naturalaren errekontzak izan du 12,04 kg CO<sub>2</sub> sorraraziz (guztizkoaren %74,64), elektrizitatearen kontsumoa 4,09 kg CO<sub>2</sub> isuriren erantzule den bitartean (guztizkoaren %25,36).

10. grafiko honetan, aire-ur bero-ponpak eguneko 24 ordutan zehar sortutako potentzia termikoa eta kontsumitutako potentzia elektrikoa adierazten dira. Azter daiteke bere funtzionamendua ez dela jarraitua, deskarga egoeran honen itzaltzearen eraginez.

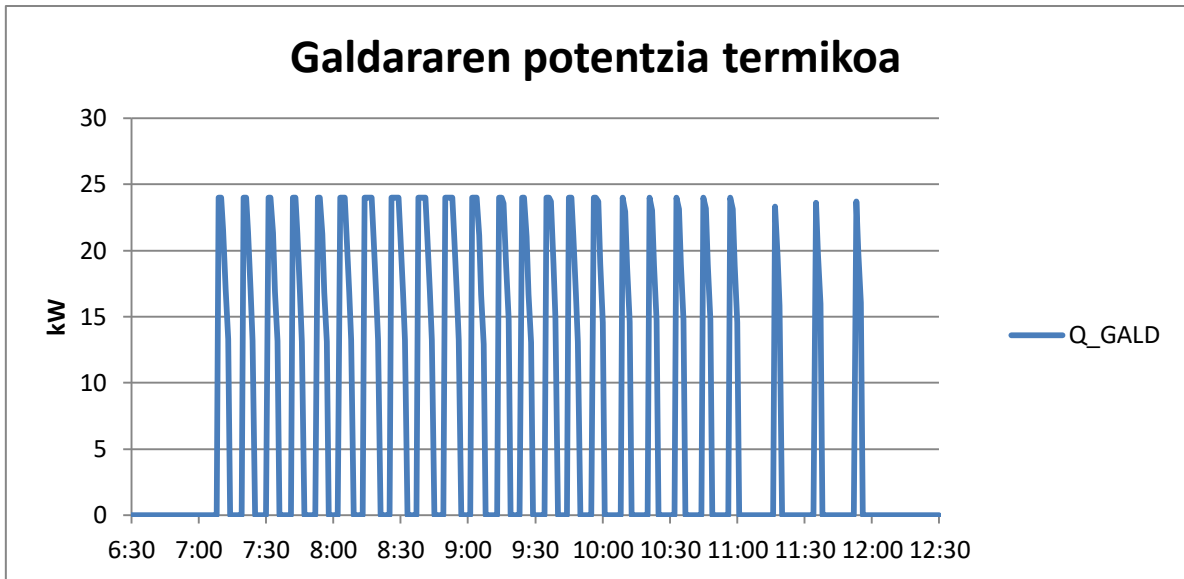


10. Grafikoa. Bero-ponparen potentzia termiko eta elektrikoa egun batean

Ondoren, galdararen funtzionamendua ulertu nahian, bi iruditzen adierazi da galdararen potentzia termikoa denbora tarte batean zehar. Alde batetik 11. grafikoa, egun bateko 24 orduetan zehar galdarak emandako potentzia azter daiteke. Azter daiteke nola lan egoeran dagoela bai goizeko lehen orduetan eta baita arratsaldeko azken orduetan. Izan ere denbora tarte horiek dira etxebizitzetan energia eskari altuenak dauden uneak, bertan bizi direnen energia kontsumoen uneak baitira. Beraz, aldiune horietan bero-ponpa ez da gai bera bakarrik eskari horri aurre egiteko eta ondorioz, ekipo lagungarria den galdara martxan jartzen da. Beste aldetik, galdararen erantzunaren grafikoa ulerterrazagoa eta adierazgarriagoa bihurtzeko nahian, 12. grafikoa aurreko irudian adierazi den potentzia aztertu da baina goizeko 6 orduko denbora tartean zehar, zeinetan galdara martxan egongo den.

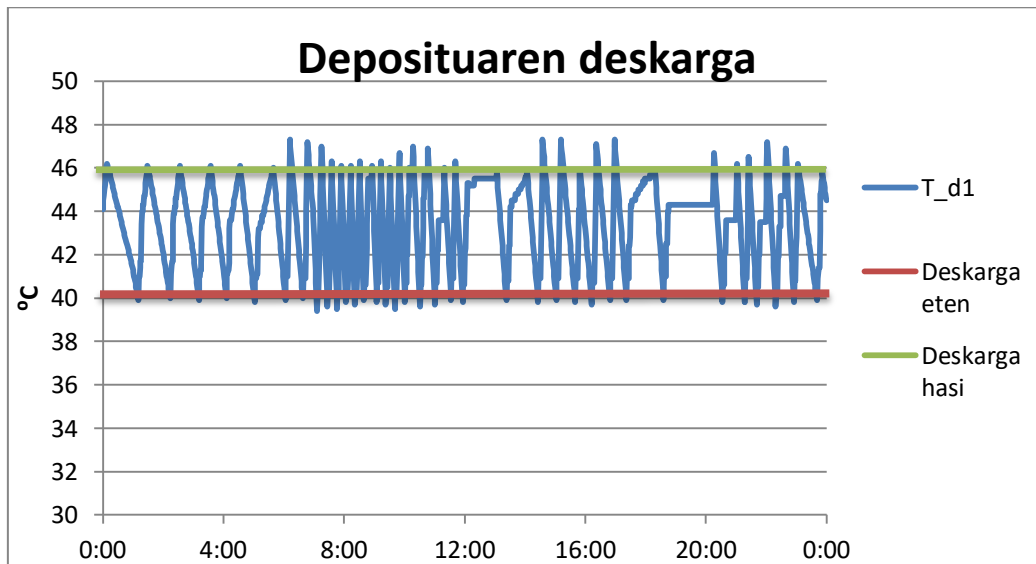


11. Grafikoa. Galdararen potentzia termikoa egun batean



12. Grafikoa. Galdararen potentzia termikoa goizeko 6 h-tan

Aurrekoaz gain, adierazgarria izan daiteke inertzia deposituaren deskarga egoera aztertzea. Izan ere, honek eragingo du sorkuntza gailuen amatazea eta ondorioz, aurretik aztertutako sistemaren fluktuazioen erantzulea izango da. Helburua fluktuazio hauek, ahal den heinean, ekiditea da instalazioaren funtzionamendu jarraitua lortzeko eta modu egonkorrago batean lan egiteko. Horrela, 13. grafikoan deposituaren deskarga egoera aztertzeko, deposituaren temperatura adierazi da eta baita deskarga egoera baldintzatzen dituzten balio minimo eta maximoak. Bertan nabaria da etengabe ari dela deskarga egoeratik sartzen eta irteten.



13. Grafikoa. Deposituen deskarga egoera

### 7.6.2 Ekonomikoki optimizatutako funtzionamendua

Optimizazio ekonomikoa aplikatuz kalkulaturako instalazioan eta egun bateko balioak aztertuz, gas naturalaren kontsumoa galdaran 15,67 kWh-koa izan da, ondorioz erregaiaren kontsumoa %67,2 jaitsi da optimizatu gabeko kasuarekin alderatuz. Aire-ur bero-ponpak berriz, bere energia elektrikoaren kontsumoa igo du denbora luzeagoan jardun duelako, bere balioa 20,7 kWh-koa izan



da, optimizatu gabeko kasuan baino %67,5 gehiago. Aldiz, honek 103,98 kWh energia termiko igorri dizkio sistemari eta beraz, bere errendimendua 5,02 COP-ekoa izan da. Instalazioari dagokionez, bere guztizko errendimendu energetikoa 3,17 COP baliora jaitsi da baina COP exergetikoari dagokionez, 0.39-ko baliora igo da zeina energiaren aprobetxamendua hobea den adierazten duen. Hala ere oso baxua jarraitzen du izaten lehen aipatutako ingurunearekiko desoreka termiko baxua dela eta.

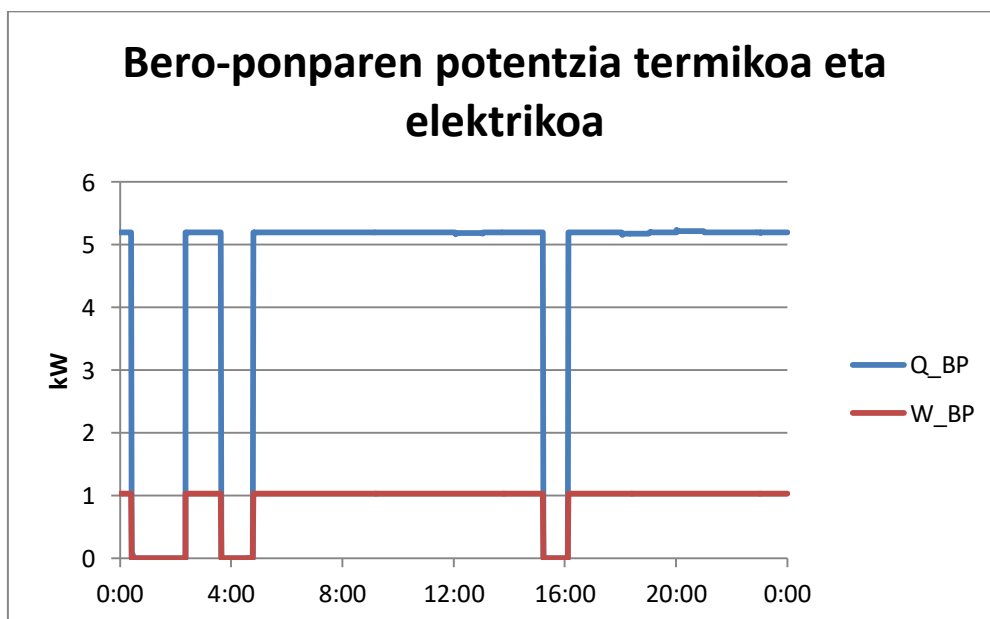
Guztira, instalazioari dagokion kostu totala eguneko 24 ordutan zehar 3,35€-koa izan da eta optimizatu gabeko kostuan aldiz 4,06€-koa, beraz, alderatuz, optimizazio ekonomikoarekin 0,71€ aurreztu dira operazio kostuan egun batean zehar.

Egun osoko isuriei dagokionez guztira 10,8 kg CO<sub>2</sub> isuri dira atmosferara, optimizatu gabeko kasuan baino 5,33 kg CO<sub>2</sub> gutxiago. Honek %33,04 isurien murrizpena suposatuko du instalazioaren funtzionamenduan. Ekonomikoki optimizatzearekin batera ingurugiroarekiko onurak lortzen dira, batez ere galdararen funtzionamendu orduak asko murriztu direlako.

Beste aldetik, egoera ezberdinen kontrolerako aldagaien balioei dagokionez hurrengo balioak hartzen dituzte optimizazio ekonomikoa burutzerakoan:

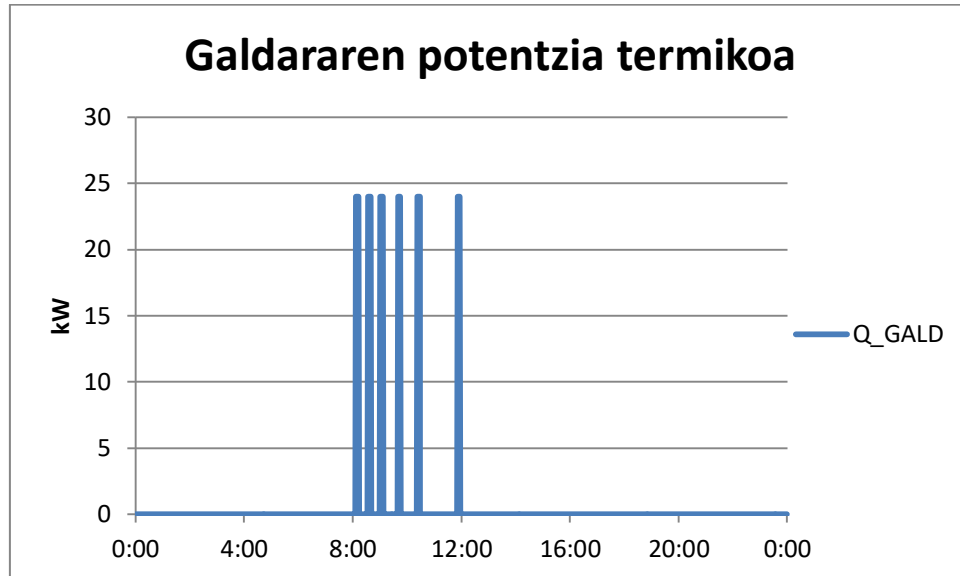
- $T_{itz} = 35,4^{\circ}\text{C}$
- $g_k = -24,4^{\circ}\text{C}$
- $b_k = -25,5^{\circ}\text{C}$
- $g_{dk} = 25,7^{\circ}\text{C}$
- $b_{dk} = 23,2^{\circ}\text{C}$

Lan baldintza hauetan, bero-ponparen portaera aztertzen bada, aurreko egoerarekin alderatuta modu jarraituago eta egonkorrago batean jarduten duela ikus daiteke, 14. grafikoa azter daitekeen bezala. Izan ere, deskarga egoerara irauteko  $T_{itz}$  balio berri honekin bero ponpa une gutxiagotan amatatzen da eta honek erantzun egonkorrago bat lortzea laguntzen du.

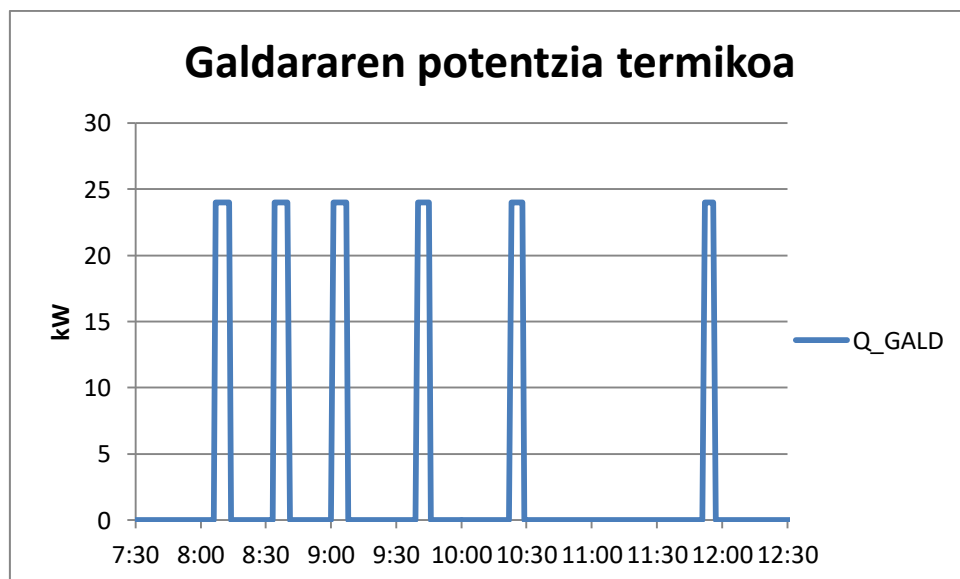


14. Grafikoa. Optimizazio ekonomikoan bero-ponparen potentziak egun batean

Lehen bezala galdararen portaera bi denbora tarte ezberdinetan aztertzen bada, 15. grafikoan eta 16. grafikoan, egun osoko 24 ordutan eta goizeko 5 ordu esanguratsuenetan izandako erantzuna ikusiko da. Bi irudi horietan antzematen da galdararen erabilera baxuagoa dela, kontsumitutako gas naturalaren beherakadak adierazten zuen bezala. Beraz, berriro ere aztertzen da sistemaren portaera egonkorragoa dela, galdararen piztu eta itzaliak murrizten direlako.

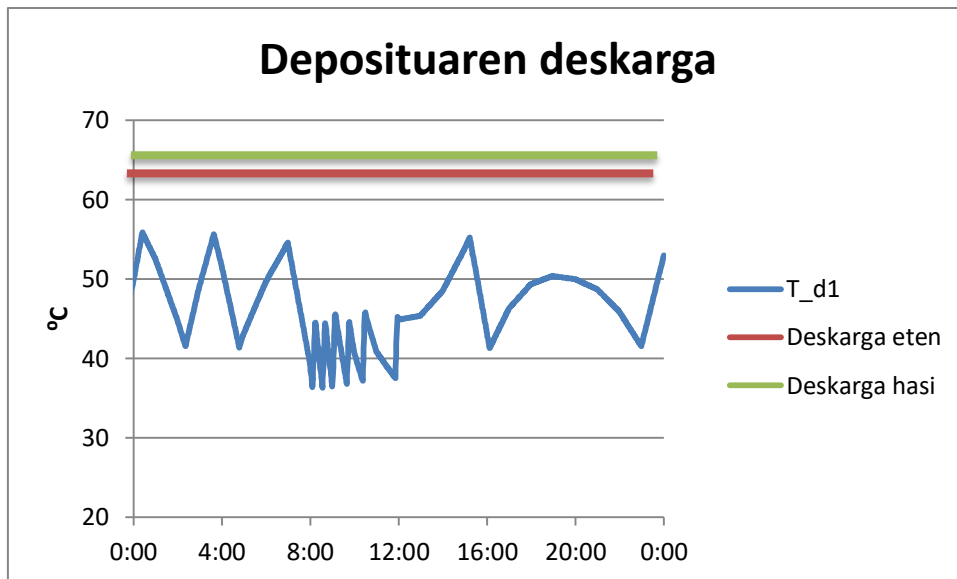


15. Grafikoa. Optimizazio ekonomikoan galdararen potentzia termikoa egun batean



16. Grafikoa. Optimizazio ekonomikoan Galdararen potentzia termikoa goizeko 5 h-tan

Bukatzeko, optimizatu gabeko simulazioan egin den bezala, deposituaren deskarga egoera aztertu da bere tenperaturaren arabera 17. grafikoan. Horretarako, deposituaren tenperatura funtzioa irudikatzeaz gain, deskarga baldintzak ezartzen dituzten mugak ere adierazi dira. Ikus daiteke nola ez den deskarga egoerara jartzeko baldintzetara heltzen, hori dela eta, egoera honetan eskariari aurre egiteko gailu bezala lan egin beharrean sistemari egonkortasun eta jarraitutasun handiagoa emateko biltegi bezala funtzionatzen du.



17. Grafikoa. Deposituen deskarga egoera optimizazio ekonomikoan

## 7.7 KALKULU PROZESUA

Puntu honetan aurreko ataletan eman diren emaitza guztien balioak lortzeko kalkuluen nondik norakoak azalduko dira, horretarako, termodinamikaren legeetan oinarriturik. Batetik energiaren kontserbazio printzipioa erabiltzen da eta bestetik termodinamikaren bigarren legea. Azken honek baieztatzen du, ezin dela existitu inolako prozesu ziklikorik zeinetan sistema bera eta bere ingurugiroa berriz hasierako egoera termodinamiko berdinerantz itzul daitezkeen, hau da, sistema isolatu batek exergia galerak sorrarazten dituen prozesuak bakarrik jasan ditzake. Printzipio hauetaz baliatuz, energia eta exergia balantzeak egin ahal izango dira bai instalazio osoan eta baita ekipu bakoitzean ere, horrela hauen funtzionamendua eta errendimenduak ezagutzeko.

Simulazioaren bidez, zirkuituaren fluidoaren puntu ezberdinetako temperatura eta emariak ezagutuko dira, kasu honetan urarenak. Honen bidez, energia eta exergia balantzeak egiteko beharrezkoak diren aldagai termodinamiko ezberdinak kalkulatu ahal izango dira, behin hauek eskuratuta balantze horiek egiteko. Horrela lortuko da jakitea uraren energia eta exergia kantitatea zenbatekoa den zirkuituaren puntu ezberdinetan, gero datu hauen azterketa egin ahal izateko.

Kalkulu prozesuak hurrengo pausuak jarraituko ditu:

### 1. Aldagai termodinamikoaren kalkulua:

Energia eta exergiaren kalkulurako beharrezko aldagai termodinamikoak entalpia eta entropia dira. Hauek hurrengo formula eta sinplifikazioen bidez lortu dira:

$$\text{Entalpia: } h - h_0 = c_p \cdot (T - T_0)$$

$$\text{Entropia: } s - s_0 = c_p \cdot \ln T / T_0$$

Formula hauetan entropia kalkulatzeko tenperaturak 0 absolutuarekiko jarri behar dira, Kelvinetan. Bestalde, 0 azpiindizedun balioak erreferentziazko puntu bat ezarri lortzen dira. Kasu honetan uraren puntu hirukoitza erabiliko da erreferentzia bezala, zeinetan  $T_0 = 0,01 \text{ } ^\circ\text{C}$  eta

$h_0 = 0 \text{ KJ}/\text{kg} \cdot \text{K}$  balioak hartzen dituen. Horrez gain, nahiz eta bero espezifikokoaren balioa tenperaturaren arabera aldatzen den, lan honetan hurbilketa bat egin da eta konstantetzat hartu da, beraz bere balioa  $c_p = 4,19 \text{ KJ}/\text{kg} \cdot \text{K}$

## 2. Exergia fluxuen kalkulua:

Jariakinaren korrante bakoitzaren exergia fluxuak hurrengo formula eta sinplifikazioekin kalkulatu dira:

$$bf = (h - h_0) - T_0 \cdot (s - s_0) + \frac{v^2}{2} + g \cdot z \quad \left[ \frac{\text{KJ}}{\text{kg}} \right]$$

Hau kalkulatzekoan ere hurbilketak egin dira, fluxuaren energia zinetiko eta potentziala arbuizatu, ez baitute eragin handirik.

## 3. Energia balantzeak:

Energia balantzeak esanguratsuak izango dira aire-ur bero-ponpa, kondentsazio galdara eta bero disipagailua bezalako tresnetan. Izan ere, horrela hauek transmititutako potentzia termikoa kalkulatu ahal izango da hurrengo formularen bitartez:

$$\dot{Q} = \frac{\dot{m} \cdot (h_{irt} - h_{sar})}{3600} \quad [kW]$$

Zeinetan hurrengo aldagaiak dauden:

$\dot{Q}$ : transmititutako potentzia termikoa (kW)

$\dot{m}$ : darabilen fluxuaren emari masikoa (kg/h)

$h_{irt}, h_{sar}$ : irteerako eta sarrerako fluxuen entalpiak hurrenez hurren (kJ/kg)

## 4. Gas naturalaren eta elektrizitatearen kontsumoa:

Galdarak kontsumitutako gas naturala eta bero-ponpak kontsumitutako elektrizitatea kalkulatzeko, kontuan izan behar da simulazioak emandako balioen bidez egun batean zehar minuturo lortzen direla datuak. Beraz, egun batean 1440 minutu eta ordu batean 60 minutu egonda, instalazioko gas naturalaren eta elektrizitatearen kontsumoa horrela kalkulatu da:

$$Konts_{GN} = \left( \sum_{t=1}^{1440} F_{GALD} \right) \cdot \frac{1}{60} \quad [kWh]$$

$$Konts_{ELEK} = \left( \sum_{t=1}^{1440} E_{BP} \right) \cdot \frac{1}{60} \quad [kWh]$$

Zeinetan:

$Konts_{GN}$ : gas naturalaren kontsumoa instalazioan (kWh)

$F_{GALD}$ : galdarak minutuko kontsumitutako gas naturala (kW)

$Konts_{ELEK}$ : elektrizitatearen kontsumoa instalazioan (kWh)

$E_{BP}$ : aire-ur bero-ponpak minutuko kontsumitutako elektrizitatea (kW)

### 5. Operazio kostu ekonomikoak:

Aurreko kontsumoen bidez eta kontsumitutako baliabide bakoitzak energia unitateko duen prezioa jakinda kalkulatu da sistemaren operazio kostua. Prezio hauek aldakorrak dira konpainia, kokaleku eta kontratuaren arabera. Azterlan honetan, elektrizitatearen eta gas naturalaren kostuak energia unitateko 0.12136 €/kWh eta 0.05371€/kWh direla ezarri da.

Horrela, behin datu hauek jakinda, formula honen bidez kalkulatu da operazio kostua:

$$C = \sum_{t=0}^{1440} (F_{GALD} \cdot c_{GN} + E_{BP} \cdot c_E) \quad [€]$$

Zeinetan, aldagaiek hurrengo esanahia duten:

$F_{GALD}$ : galdarak kontsumitutako gas naturala (kWh)

$c_{GN}$ : gas naturalaren kostua (€/kWh)

$E_{BP}$ : bero-ponpak kontsumituriko elektrizitatea (kWh)

$c_E$ : elektrizitatearen kostua (€/kWh)

### 6. Errendimendu energetikoak:

Errendimenduen kalkulua adierazgarria da bero-ponparen, galdararen eta instalazioaren funtzionamendua aztertzeke, zeinetan COP koefizientearen bidez kalkulatu den bero-ponparen eta zirkuituaren kasuan. Errendimendu energetikoa, gailuak transmititzen duen energia eta honen eskura jartzen den energia zatituz kalkulatu da. Gailua edozein dela ere hurrengo formularen bidez kalkulatu da:

$$\eta = \frac{E_{hor}}{E_{konts}}$$

Non,

$E_{hor}$ : hornitutako energia (kWh)

$E_{konts}$ : kontsumitutako energia (kWh)

Aztertu nahi den atalaren arabera, hornitutako eta kontsumitutako energiak aldagai ezberdinez osatu dira, horrela bero-ponparen kasuan adibidez energia termikoa hornituko du eta energia elektrikoa kontsumitu. Horretaz gain, lehen aipatu bezala, kontuan izan behar da simulazio programak minutuko ematen dituela balioak, beraz egun osoko minutuen balioak batu eta ordu batean dauden 60 minutuengatik zatitu behar da energia kWh-tan lortzeko

## 7. Exergia balantzeak:

Bero-ponparen, galdararen eta bero disipagailuaren exergia balantzeak kalkulatu bakoitzaren fluxu exergia lortuko da hurrengo formularen bitartez:

$$\dot{B}_f = \frac{\dot{m} \cdot (b_{irt} - b_{sar})}{3600} \quad [kW]$$

Zeinetan hurrengo aldagaiak dauden:

$\dot{B}_f$ : gailuaren fluxu exergia (kW)

$\dot{m}$ : darabilen fluxuaren emari masikoa (kg/h)

$b_{irt}, b_{sar}$ : irteerako eta sarrerako fluxuen exergiak hurrenez hurren (kJ/kg)

Galdararen kasuan hala ere suposizio batzuk egin dira, izan ere irtendako gasek eta bero galerak duten exergia itzulezintasunen barnean sartu dira. Hau da, galdara zeharkatzen duen fluxuak daukan exergia ez dena itzulezintasuntzat hartu da

## 8. Gas naturalaren exergia:

Kalkulu hau gas naturalaren exergia kimikoaren kalkulatu beharko da. Horretarako, honen errekuntza motaren arabera goi bero ahalmena (GBA) edo behe bero ahalmena (BBA) kontuan izan behar dira, horien arabera ratio ezberdinen balioa lortzeko, 2. taulan ageri den bezala.

ERREGAIA	Rex (BBA)	Rex (GBA)
Ikatz	1,09	1,04
Lignitoa	1,17	1,04
Fuel-olioa/Gas-olioa	1,07	1,02
Gas naturala	1,04	0,94
Biomasa	1,15	1,05

2. Taula. Erregaien araberako exergia ratioak

Azterketa honetan erregaia gas naturala izanik eta BBA-rekiko lan eginez, ratio horren balioa 1,04koa da eta gas naturalaren exergiaren kalkulua hurrengo eran egingo da:

$$B_{GN} = 1,04 \cdot \sum_{t=0}^{1440} F_{GALD} \quad [kWh]$$

Bertan hurrengo aldagaiak agertzen dira:

$B_{GN}$ : gas naturalak duen exergia (kWh)

$F_{GALD}$ : galdarak kontsumitutako gas naturala (kWh)

## 9. Errendimendu exergetikoa:

Errendimendu energetikoa kalkulatzeko azaldu bezala, ulertzeko era berean kalkulatu da errendimendu exergetikoa. Bertan, aztertutako sistemak askatzen duen exergia eta honen eskura jartzen den exergiaren arteko zatiketa gisa kalkulatu da:

$$\varepsilon = \frac{B_{hor}}{B_{konts}}$$

Non,

$B_{hor}$ : hornitutako exergia (kWh)

$B_{konts}$ : kontsumitutako exergia (kWh)

Aztertu nahi den atalaren arabera, hornitutako eta kontsumitutako exergiak aldagai ezberdinez osatzen dira. Horretaz gain, lehen aipatu bezala, kontuan izan behar da simulazio programak minutuko ematen dituela balioak, beraz egun osoko minutuen balioak batu eta ordu batean dauden 60 minutuengatik zatitu behar da energia kWh-tan lortzeko





OPERAZIO KOSTUA	Erregaia(€)	Elektrizitatea(€)	Guztira(€)
Optimizatu gabe	2,57	1,5	4,07
Optimizazio ekonomikoa	0,84	2,51	3,35
Biomasa galdara	7,14	0	7,14

3. Taula. Kasu ezberdinen operazio kostuak

Bestetik, ingurugiroaren ikuspuntutik aztertuta ikusiko da emaitza onuragarrienak biomasa galdara duen instalazioak lortuko dituela. Izan ere, nahiz eta bero-ponpak konbustiorik ez izan, elektrizitatea kontsumitzen du eta errekontza galdararen beharra dauka eta hauen isurpen faktoreak (0.331 kg CO<sub>2</sub>/kWh eta 0.252 kg CO<sub>2</sub>/kWh, hurrenez hurren) biomasaren isurpen faktorea baino askoz handiagoak dira (0.018 kg CO<sub>2</sub>/kWh). Honek, biomasaren kasuan, atmosferara egindako isuriak baxuagoak izatea eragiten du. 4. taula emaitza absolututan ikus daiteke nola optimizatu gabeko bero-ponparen kasuan 16,13 kg CO<sub>2</sub> isurtzen dituela, optimizatutako bero-ponparen kasuan 10,80 kg CO<sub>2</sub> eta biomasa galdararen kasuan aldiz 2,29 kg CO<sub>2</sub>.

ISURIAK	Erregaia(kg CO2)	Elektrizitatea(kg CO2)	Guztira (kg CO2)
Optimizatu gabe	12,04	4,09	16,13
Optimizazio ekonomikoa	3,95	6,85	10,80
Biomasa galdara	2,29	0	2,29

4. Taula. Kasu ezberdinen CO2 isuriak

Ondorioztatu daiteke beraz biomasa galdarak ikuspuntu ekonomikotik desabantailak eragiten dituela baina ingurumen inpaktuari dagokionez onuragarriagoa da. Orduan aplikatu beharreko testuinguruaren arabera egokia izango da teknologia bakoitza, lehenetsunaren arabera.

## 9. ZEREGINEN DESKRIBAPENA. GANTT DIAGRAMA

Atal honetan lana aurrera eramateko egindako pausuak azalduko dira. Alde batetik puntuka adieraziko dira zeregin nagusiak eta ondoren Gantt diagrama bezalako kronograma baten bidez zeregin horien denbora irudikatuko da 8. irudian, horrela zeregin baten iraupena aztertu ahal izateko. Lanaren guztizko iraupena urte erdikoak izan da eta emandako pausuak hurrengoak izan dira:

### 1. Gaiaren inguruko ikasketa bibliografikoa

Lehen zeregina beste edozer gauzarekin hasi baino lehen, gaiaren inguruko informazioa bereganatzea ezinbestekoa da. Alde batetik, bai beroketa eta UBS sistemen inguruko informazioa eta baita berau osatuko duten ekipoen informazioa. Horrez gain, kalkulu eta analisirako beharrezkoak izango diren kontzeptu termodinamikoak ere jakin behar dira. Dokumentazio honetan jakintza arlo honen inguruko liburuak, artikuluak eta internet bezalako baliabideak erabili dira.

### 2. Instalazioaren ezagutza

Behin alde aurretiko informazio lorpena eginda dagoela, aztertuko den instalazioa eta hau osatzen dituzten ekipoak teknikoki ezagutu dira. Horretarako, batetik ekipoak banaka aztertu dira hauek duten portaera eta ezaugarriak aztertuz, gerora kalkulu prozesurako datuak lortzeko. Bestetik, ekipo denek batera nola egingo duten lan aztertu da, honek izango dituen lan egoera ezberdinen nondik norakoak ezagutzuz. Ondoren, erabilgarria izango da instalazioaren analisi zehatza egiteko eta beraz, optimizazioak eta ondorioak lortzeko.

### 3. Instalazioaren modelizazioa eta simulazioa

Instalazioaren funtzionamendua aztertu eta datuak biltzeko, Trnsys 17 simulazio programa erabili da. Horregatik, hasiera batean, simulazio programa hau ulertu eta ezagutu behar izan da eta behin hau eginda, hasierako baldintzen datuak programan sartu dira. Horrela, etxebizitzaren energia eskariaren eta beroketa eta UBS sistemaren erantzunaren datuak lortuko dira. Hauen bidez hobekuntza posibleak aurrera eraman eta ondorioak aterako dira.

### 4. Kalkuluak egin

Aurreko kalkulu prozesuaren atalean aipatu bezala (8.6 atala), hainbat kalkulu ezberdinen segida egin da termodinamikaren printzipioetan oinarrituz beti ere. Kalkulu hauek burutzeko, beharrezkoak izan dira Trnsys 17 simulazio programa eta Excel kalkulu programa, hauen bidez hasierako propietate termodinamikoak ezagutu dira eta horiei esker kalkuluak egin dira hurrenez hurren. Bertan, kalkulu segida horien zatirik esanguratsuenak adieraziko dira, aurreko atal horretako puntu guztiak berriro ez jarri eta errepikakorra ez izatearren.

Beraz, hauek izan dira kalkulu bloke nagusiak:

- ***Aldagai termodinamikoaren kalkulua***

Hasiera batean, simulazio programaren bidez, lan jariakinaren tenperatura eta emariak ezagutu dira bi egunetan zehar, instalazioko puntu ezberdinetan eta minutu bateko tartetan. Hauen bidez, energia eta exergia balantzeak egiteko beharrezkoak diren entalpiak eta entropiak kalkulatu dira.

- **Energia eta exergia balantzeak**

Balantzeak aurreko aldagai termodinamikoek bidez kalkulatu dira. Haei esker, ekipo bakoitzaren eta instalazioaren ahalmen energetiko eta exergetikoak kalkulatu dira, transmititutako bero potentzia jakinez besteak beste. Gainera, behin hori jakinda, errendimendu energetiko eta exergetikoak ezagutu dira ekipoetan eta instalazioan. Datu hauek erabilgarriak izango dira hauen funtzionamendua ezagutzeko.

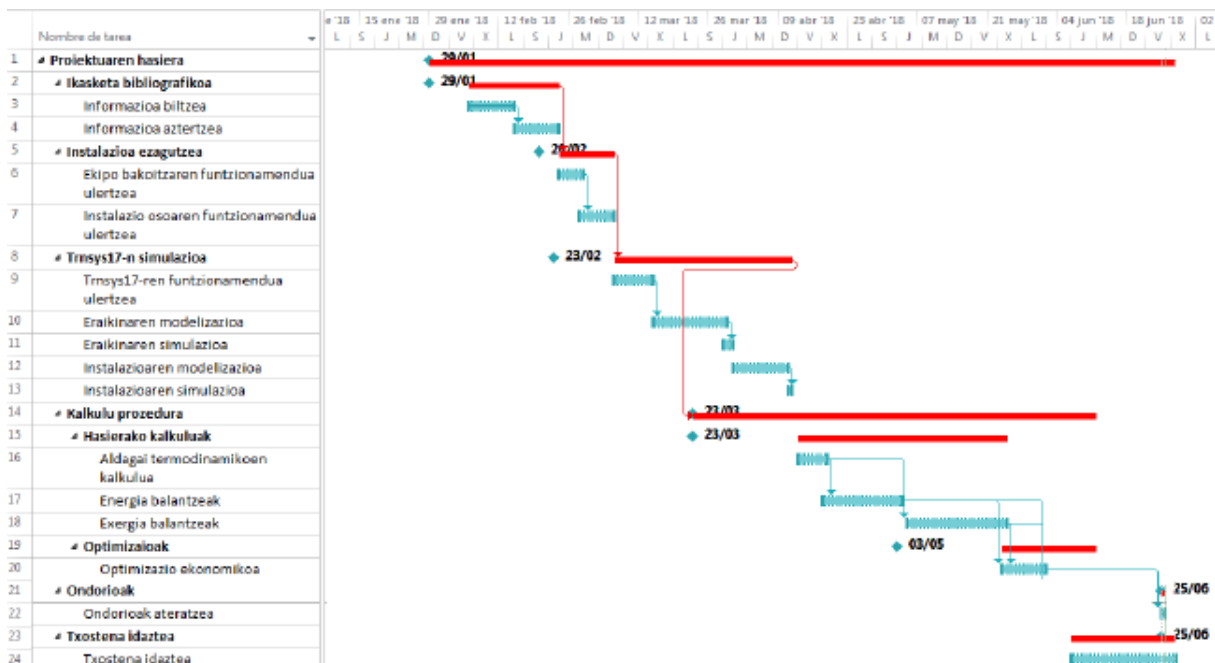
- **Ekipoen kontsumoa eta sistemaren operazio kostua**

Ekipoen funtzionamendua ezagututa, hauek egun oso batean zehar kontsumitutako erregai eta elektrizitatea kalkulatu da eta baliabide hauen prezioa jakinda instalazioaren eguneko operazio kostua lortu da. Horrela, honen bidez optimizazio ekonomikoa burutu ahal izango da, zeinetan operazio kostuaren aldagaia minimizatzen saiatu den kostuaren baliorik onena lortzeko

### 5. Ondorioak bereganatu eta dokumentua idatzi

Azkenik, kalkulu guztietatik lortutako balioak aztertuko dira eta hauen arabera ondorio batzuk aterako dira. Ondoren, lana bukatzeko, hasieratik lortutako informazioa bildu eta informazio gehigarria erabilita dokumentua idatzi da.

Atal honekin bukatzeko, hasieran esan den bezala, Gantt diagrama irudikatu da lanaren kronologia irudikatzen.



8. Irudia. Gantt diagrama

## 10. AURREKONTUA

Atal honen bidez, proiektua gauzatzeko beharrezko kapitalaren eta honen errentagarritasunaren hasierako hurbilketa egingo da. Horrela, hurbilketa honen bidez proiektuaren kostua estimatzen denez, berau egiteko bideragarritasuna ezagutuko da, honen arabera proiektua gauzatzearen edo ez gauzatzearen erabakia hartzeko. Behin proiektua amaitzen denean, benetako kostuarekin alderatuko da.

Aurrekontua lanaren guztizko kostua aurreikusi behar denez, iturburu ezberdineko kostuak aztertuko dira. Hauek zehazteko helburuarekin, hurrengo puntuetan azaldu dira:

- Barne orduen kostua: lana egiteko beharrezkoak diren langileen lanorduen kostuak.
- Amortizazioak: ordenagailuak eta programen lizentziak bezalako aktibo finkoak, lanerako beharrezkoak direnak.
- Gastuak: proiektu hau egiterakoan hainbat kontzeptu ezberdinek sortutakoak eta berrerabili ezin direnak, erabilitako materiala bezala.
- Kostu ez-zuzenak: proiektuaren eginkizun prozesuari lotuta doazkion kostuak dira, normalean kostu zuzenen portzentai modura kalkulatuak direnak. Bertan, balio hori %5-ekoa dela hartu da.
- Ustekabeko kostuak: aurreikusi ezin daitezkeen kostuak dira eta beraz, gainontzeko kostuen portzentai kopuru bat direla estimatzen da. Bertan, %5-eko balioa eman zaio baita ere.

Barne orduen kostuaren kalkulua egiteko, kontuan izan dira lan egindako ordu kopurua eta langilearen araberrako orduko kostua. Nahiz eta proiektuaren unearen arabera astean lan egindako orduak ezberdinak izan, batz besteko balioak erabili dira aste baten lan egindako ordu kopurua kalkulatzeko.

Amortizazioak kalkulatzeko ordenagailuak eta erabilitako programen lizentziak izan dira kontuan. Hauen bizitza erabilgarriak ez direnez ezagutzen, batz besteko bizitza erabilgarria eta erabilera denbora erabili dira.

Guztira proiektu hau egitearen kostua 6.272,35 €-tan aurreikusten da.

Jarraian egindako kalkuluak adieraziko dira:

<b>BARNE ORDUAK</b>					
Langilea	Ordu asteko	Aste kop.	Ordu kop.	Orduko kos.	Kostua
Ingeniaria	6 h	22	132 h	30 €/h	3.960 €
Goi ingeniaria	2 h	15	30 h	50 €/h	1.500 €
<b>GUZTIRA</b>					<b>5.460 €</b>

5. Taula. Barne orduen kostuen kalkulua

<b>AMORTIZAZIOAK</b>					
Kontzeptua	Bizitza erabilg.	Erabilera	Hasiera kos.	Orduko kos.	Kostua
Ordenagailua	12500 h	140 h	800 €	0,064 €/h	8,96 €
Trnsys 17 lizentzia	15000 h	30 h	1.500 €	0,1 €/h	3,00 €
Office lizentzia	20000 h	100 h	50 €	0,0025 €/h	0,25 €
<b>GUZTIRA</b>					<b>12,21 €</b>

6. Taula. Amortizazioen kostuen kalkulua

<b>GASTUAK</b>	
Inprenta	7 €
Liburuak	95 €
Desplazamenduak	115 €
<b>GUZTIRA</b>	<b>217 €</b>

7. Taula. Gastuen kalkulua

<b>AURREKONTUA</b>	
Barne orduak	5.460 €
Amortizazioak	12.21 €
Gastuak	217 €
Kostu zuzenak	5.689,21 €
Kostu ez-zuzenak	284,46 €
<b>AZPITOTALA</b>	<b>5.973,67 €</b>
Ustekabekoak	298,68 €
<b>GUZTIRA</b>	<b>6.272,35 €</b>

8. Taula. Aurrekontuaren guztizko kostuen kalkulua

## 11. ONDORIOAK

Lan honetan, Gasteizen kokaturiko etxebizitza erreal baten berokuntza eta UBS sistemen eskari energetikoen baldintzak simulatu, aztertu eta ondoren, ikuspuntu ekonomikoari dagokion optimizazioa gauzatu da, hori guztia aire-ur bero-ponpa batean oinarrituta eskari hauek asebetetzeko. Horretarako, instalazioaren ekipamendua eta honen funtzionamendua optimizatu gabeko egoeran eta egoera optimizatuan aztertu dira.

Honen bidez, etxebizitzaren sektorean energiaren erabileraren nondik norakoak ezagutu dira eta baita bertan aire-ur bero-ponpa bezalako teknologiak egin ditzakeen ekarpenak. Izan ere, ikusi da onurak dakartzala NEG isurien murrizketak eta energiaren erabilera efizientea lortzeko eta aldi berean, etxebizitzaren eskari energetikoa hornitzeko gai dela ekipo lagungarriak erabiliz.

Bestalde, funtzionamendu orokorra ikusi eta gero, optimizazio ekonomikoa gauzatu da. Honen bidez, instalazioaren eta ekipoen efizientzia handitzea lortu da, behar diren baliabideen kontsumoa murriztuz. Horrela, kontrol estrategia egoki baten bitartez, gas naturalaren kontsumoa %67,2 murriztea lortu denez, errektuntzan sortutako NEG isurien kopuruaren murrizpen handia lortu da eta gainera, aldi berean, eguneko operazio kostua %17,5 murriztea lortu da. Horrez gain, aipatu behar da egoera optimizatuan errendimendu exergetikoa nabarmen igotzen dela eta beraz baliabide energetikoen aprobetxamendu egokiagoa egiten da.

Horretaz gain, aipatzekoa da, egoera optimizatuan inertzia deposituaren erabilera aztertzerakoan, hau onuragarriagoa dela sistemarentzat biltegi modura lan egiten duenean deskargen bidez eskaria hornitzen duenean baino. Izan ere, portaera honi esker, nolabaiteko egonkortasuna eta jarraitutasuna ematen dio instalazioaren funtzionamenduari eta baita sorkuntza ekipoei (aire-ur bero-ponpa eta kondentsazio galdara).

Funtzionamendu egokia lortzeko kontrol strategiari dagokionez, ekipoen modelaketa zuzena izatea garrantzitsua da. Izan ere, lortutako emaitzak errealitatearekiko doitu nahi badira, erabilitako modeloak funtzionamendu errealeko balioekin bat egin behar du.

Gainera, biomasa erabiltzen duen galdara duen instalazioarekin alderatu da baita ere. Bertan antzeman da ikuspuntu ekonomikotik askoz interesgarriagoa dela aire-ur bero-ponpa erabiltzea baina ingurumen inpaktuari dagokionez kontrakoa gertatzen da, honek isuri gehiago eragiten dituelako atmosferara. Beraz aplikazioaren arabera ikusi beharko da zeintzuk diren lehentasunak eta zenbaterainoko kalteak dakartzan.

Bukatzeko, instalazio honek etxebizitza erreal baten eskari energetikoari aurre egiteko gaitasuna daukala eta aurrekontuan hau aurrera eramateko beharreko kapitala ikusita esan daiteke proiektu bideragarria izan daitekeela. Izan ere, egungo eredu energetikoan gero eta garrantzi gehiago hartzen ari dira NEG isuriak eta energiaren xahutzeak ekiditen dituzten sistemak eta bide horretan, aire-ur bero-ponpan oinarritutako beroketa eta UBS sistemek funtzio garrantzitsua egin dezakete. Gainera ekonomikoki optimizatzen bada, honen inplementazioa errazagoa eta bideragarriagoa izango da.

## 12. INFORMAZIO ITURRIAK

AVEBIOM. (2019). *Índice precio de pellets AVEBIOM 2019*. Berreskuratua:

<http://www.avebiom.org/es/ind-precios-biomasa>

Climate Watch. (2014). *All GHG emissions in the World*. Berreskuratua:

[https://www.climatewatchdata.org/data-explorer/historical-emissions?historical-emissions-data-sources=34&historical-emissions-end\\_year=2014&historical-emissions-gases=143&historical-emissions-regions=All Selected,WORLD&historical-emissions-sectors=411&historical-emissions-start\\_year=1990&page=1](https://www.climatewatchdata.org/data-explorer/historical-emissions?historical-emissions-data-sources=34&historical-emissions-end_year=2014&historical-emissions-gases=143&historical-emissions-regions=All Selected,WORLD&historical-emissions-sectors=411&historical-emissions-start_year=1990&page=1)

Deloitte. (2018). *Cuadernos De Energía*, Nº55. Berreskuratua:

<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/es/Documents/energia/Deloitte-ES-Energia-cuadernos-energia-n55.pdf>

Eurostat. (2019). *Greenhouse gas emissions by source sector*. Berreskuratua:

[http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env\\_air\\_gge&lang=en](http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_air_gge&lang=en)

Eurostat. (2019). *Simplified energy balances*. Berreskuratua:

[http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg\\_bal\\_s&lang=en](http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_bal_s&lang=en)

Foro de la industria nuclear española. (2018). *Energía 2018*. Madrid: Algor.

IDAE. (2013). *Poderes caloríficos de las principales fuentes energéticas*. Berreskuratua:

[http://idae.es/uploads/documentos/documentos\\_PCI\\_Combustibles\\_Carburantes\\_final\\_valor\\_es\\_Update\\_2014\\_0830376a.xlsx](http://idae.es/uploads/documentos/documentos_PCI_Combustibles_Carburantes_final_valor_es_Update_2014_0830376a.xlsx)

IDAE. (2014). *Factores de emisión de CO<sub>2</sub> y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España*. Madrid: Ministerios de Industria, Energía y Turismo, y Ministerio de Fomento.

International Energy Agency. (2015). *World Energy Outlook*. Berreskuratua:

<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2015.pdf>

Moran, M. J. & Shapiro, H. N. (2007). *Ingeniaritza-Termodinamikaren oinarriak*. Bilbo: Euskal Herriko Unibertsitateko Argitalpen Zerbitzua.

Ritchie, H. & Roser, M. (2017). CO<sub>2</sub> and other Greenhouse Gas Emissions. *Our World in Data*.

Berreskuratua: <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions#data-sources>

The World Bank Group. (2019). Total greenhouse gas emissions (kt of CO<sub>2</sub> equivalent). *The World Bank*. Berreskuratua: <https://data.worldbank.org/indicator/en.atm.ghgt.kt.ce>

## 1. ERANSKINA: EMAITZAK

Bertan lanerako kalkuluak egiterakoan lortutako emaitzak irudikatuko dira, hauek simulatutako bi egunetatik bigarren eguneko datuak bakarrik erabiliz lortu dira, hasierako efektu iragankorrak ekiditeko asmoz.

- **Optimizaziorik gabeko emaitzak**

ENERGIA	kWh
Q_BP	62,11
E_BP	12,36
Q_GALD	46,33
F_GALD	47,76
Q_RAD	-115,38

9. Taula. Energiak optimizatu gabeko egoeran

OPERAZIO KOSTUA	kWh	€/kWh	€
Konts_GN	47,76	0,05371	2,57 €
Konts_ELEKT	12,36	0,12136	1,50 €
<b>GUZTIRA</b>			<b>4,07 €</b>

10. Taula. Operazio kostua optimizatu gabeko egoeran

ERRENDIMENDUAK	COP
Bero-ponpa	5,027
Instalazioa	1,92

11. Taula. Errendimendu energetikoak optimizatu gabeko egoeran

EXERGIA	kWh
GN_ex	49,67
ELEKT_ex	12,36
Qrad_ex	14,43
ε_EX_tot	23,26%

12. Taula. Exergiak eta errendimendu exergetikoa optimizatu gabeko egoeran

ISURIAK	konts. (kWh)	Isurpen fak. (kg CO <sub>2</sub> /kWh)	CO <sub>2</sub> isuriak (kg CO <sub>2</sub> )
Konts_GN	47,76	0,252	12,04
Konts_ELEKT	12,36	0,331	4,09
<b>GUZTIRA</b>			<b>16,13</b>

13. Taula. CO<sub>2</sub> isuriak optimizatu gabeko egoeran



▪ Optimizazio ekonomiko eginda lortutako emaitzak

ENERGIA	kWh
Q_BP	103,98
E_BP	20,7
Q_GALD	15,2
F_GALD	15,67
Q_RAD	-115,38

14. Taula. Energiak egoera optimizatuan

OPERAZIO KOSTUA	kWh	€/kWh	€
Konts_GN	15,67	0,05371	0,84 €
Konts_ELEKT	20,7	0,12136	2,51 €
<b>GUZTIRA</b>			<b>3,35 €</b>

15. Taula. Operazio kostua egoera optimizatuan

ERRENDIMENDUAK	COP
Bero-ponpa	5,024
Instalazioa	3,17

16. Taula. Errendimendu energetikoak egoera optimizatuan

EXERGIA	kWh
GN_ex	16,3
ELEKT_ex	20,7
Qrad_ex	14,43
$\epsilon_{EX\_tot}$	39,00%

17. Taula. Exergiak eta errendimendu exergetikoa egoera optimizatuan

ISURIAK	konts. (kWh)	Isurpen fak. (kg CO <sub>2</sub> /kWh)	Isuriak (kg CO <sub>2</sub> )
Konts_GN	15,67	0,252	3,95
Konts_ELEKT	20,7	0,331	6,85
<b>GUZTIRA</b>			<b>10,80</b>

18. Taula. CO<sub>2</sub> isuriak egoera optimizatuan

▪ Biomasa galdara duen instalazioaren emaitzak

ENERGIA	kWh
F_GALD	127,08
Q_GALD	115,64

19. Taula. Energiak biomasa galdaran

ERRENDIMENDUA	
Galdara	91%

20. Taula. Errendimendua biomasa galdaran

OPERAZIO KOSTUA	kWh	€/kWh	€
F_GALD	127,08	0,0562	7,14 €

21. Taula. Operazio kostua biomasa galdaradun instalazioan

ISURIAK	konts. (kWh)	Isurpen fak. (kg CO <sub>2</sub> /kWh)	Isuriak (kg CO <sub>2</sub> )
Konts_Biomasa	127,08	0,018	2,29

22. Taula. CO<sub>2</sub> isuriak biomasa galdaradun instalazioan