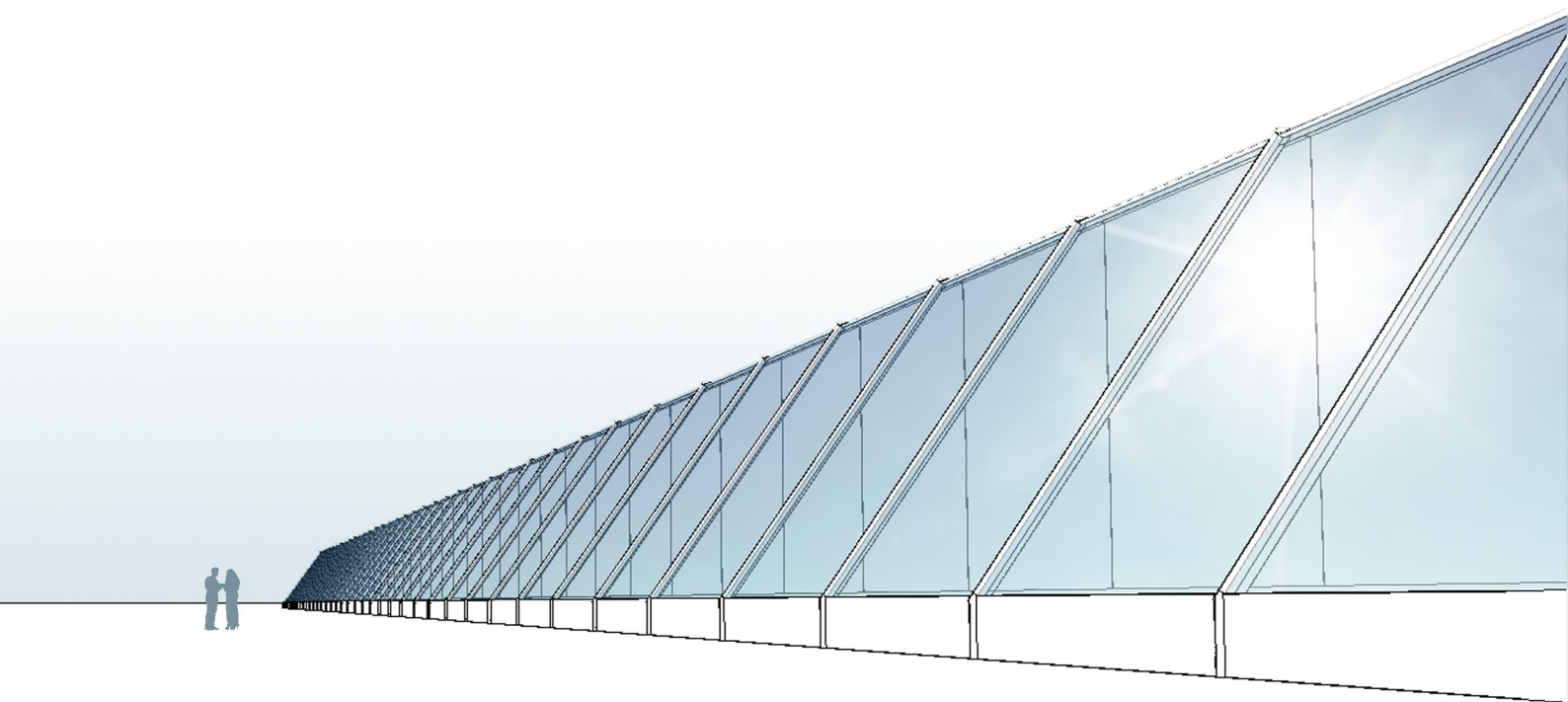


DOKTOREGO TESIA

**ENERGIA AURREZTEKO, AIREZTAPEN SISTEMAREN
SARRERA-AIREA AURREBEROTZEKO BEROTEGIEN ERABILERA**

JOSEBA GAINZA BARRENCUA



Zuzendariak:

**Rufino Javier Hernández Minguillón
Moises Odriozola Maritorena**

2021eko iraila

Arkitektura Goi Eskola Teknikoa

Energia Eraginkortasuna eta Jasangarritasuna Ingeniaritzan eta Arkitekturaren Doktoregoa



Universidad
del País Vasco Euskal Herriko
Unibertsitatea

Klima-aldaketaren ondorioak arintzeko berotegi-efektuko gasen isurketak murrizteko helburuarekin, funtsezkoa da eraikinetan jardutea. Europako Batasunaren helburua 2050ean ekonomia hipokarbonikoa lortzea da. Horretarako, Batasunak % 80 murriztu beharko ditu berotegi-efektuko gasen isurketak, 1990eko mailekin alderatuta. Eraikuntzaren sektorean energia-kontsumoa murriztea eta energia berriztagarriak erabiltzea neurri garrantzitsuak dira helburu hori lortzeko. Horrela, eraikitzen diren eraikin berri guztiek energia-kontsumo ia nulukoak izan beharko dute. Testuinguru horretan, eraikuntzak gero eta isolatuagoak eta hermetikagoak egiten dira, eta horrek, aireztapen sistema mekaniko bat instalatu beharra dakar, barneko airearen kalitatea egokia izateko. Berotegien erabilerak aireztapen-sistemaren sarrera-airea aurreberotzeko balio dezake, eta, horrela, eraikinen berokuntzan energia-kontsumoa aurrezteko lortuko da. Doktorego Tesi honek berotegi mota hauek izan behar dituzten ezaugarrietan eta hauen errendimenduan eragina duten baldintzatzaileetan sakontzen du.

Teknikaren egoera sakon aztertu ondoren, eraikinen estalkian instalatzeko berotegi bat diseinatu da. Berotegiak eraikinen teilatu lauetan kokatzeak zenbait hobekuntza dakartza fatxadari atxikita daudenekin alderatuta. Abantaila garrantzitsuenetako bat, berotegi horiek eraikinaren aireztapen-sistemarekin konbinatzea erraza dela da; izan ere, bai kanpoko aire-sarrera, bai erauzketa aire-irteera, estalkian koka daitezke. Sistemaren funtzionamendua sinplea da: kanpoko airea beiraz hornitutako espazioan sartu eta, bere barrualdean, berotegi efektuari esker berotu egiten da. Ondoren, aireztapen sistema mekanikoaren bidez, modu sinple eta eraginkorrean sartu egiten da eraikinaren geletan. Sarrera-airea aurreberotzen denez, eraikina behar bezala aireztatzeak eragiten dituen galera termikoak murriztu egiten dira, eta horrela, energia aurrezpen handiak lortzen dira. Berotegia bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema batekin ere konbina daiteke. Kasu horretan, airea bero-berreskuragailuan aurreberotu ondoren sartzen da berotegian, eta horrela, are gehiago aurrezten da eraikinaren berokuntzan. Diseinua modularra izatea aukeratu da, eskura dagoen espazioa, behar den energia aurrezpen maila eta egin beharreko inbertsio ekonomikoaren arabera berotegiaren tamaina aukeratu ahal izateko. Gainera, bere diseinuari esker, moduluak seriean edo paraleloan instala daitezke, eta horrek aldatu egingo du haien portaera. Seriean, airea berotegiaren mutur batetik sartzen da, berotzen den bitartean modulu guztiak zeharkatzen ditu eta beste muturretik ateratzen da, eraikinaren barrura joateko. Paraleloan konektatzean, berriz, airea konpartimentu estankoa osatzen duen modulu bakoitzaren beheko aldetik sartzen da, eta, berotu

ondoren, modulu bakoitzaren goiko aldetik ateratzen da, aireztapen-sistemaren bidez azkenik eraikinean sartzeko.

Berotegia diseinatu ondoren, modulu baten prototipoa eraiki da egoera meteorologiko errealetan aztertzeko. Urteko garai desberdinetako aldiak aukeratu dira azterketarako, kanpoko tenperatura eta eguzki-erradiazio desberdinekin. Prototipo bera inertziaz gabe eta, inertzia hobetzeko, ur-deposituak gehitzen zaizkionean aztertu da. Emaitez erakusten dute baldintza meteorologikoek garrantzi handia dutela horrelako sistemetan, batez ere eguzki-erradiazioa. Egiaztatu ahal izan denez, eguzki-erradiazio handiko egunetan oso tenperatura handiak lortzen dira berotegiaren irteeran, kanpokoak baino askoz ere handiagoak izanik. Eguzki-erradiazio gutxiko egunetan, aldiz, tenperaturak ez dira asko aldatzen kanpokoaren aldean. Eguneko orduetan prototipoan lortutako tenperatura altuak oso azkar jaisten dira eguzki-erradiazioa desagertzean, kanpo-tenperaturetara arin hurbildu arte. Ur-deposituak instalatzean, inertzia termikoa pixka bat hobetzen da eta, ondorioz, berotegiko tenperaturak ez dira hain bortizki jaisten.

Prototipoa simulazio informatikoaren eredu baliokotzeko ere erabili da. Datu esperimentalak simulazio bidez lortutakoekin alderatu dira, eta bien artean adostasun handia dagoela frogatu da aztertutako aldi guztietan. Baliokotu ondoren, simulazio-eredua erabili da berotegiaren portaera aztertzeko.

Doktorego Tesian zehar berotegiaren errendimenduari eragiten dioten eraikuntza ezaugarri nagusiak aztertu dira. Horretarako, azterketa-kasu bat hautatu da, eta berotegiko konfigurazio desberdinekin lortzen diren energia-aurrezkiak kuantifikatu dira. Hainbat beira-aldaeraren erabilerak, berotegiko ingurutzailerak opakoaren isolamendua mailak eta inertzia termiko handiagoa lortzeko ur-deposituak erabiltzeak duen eragina aztertu da. Halaber, berotegiekin batera bero-berreskurapena duen aireztapen sistema erabiltzea komeni den analizatu da. Aldi berean, moduluak seriean edo paraleloan instalatzeak nola eragiten duen aztertu da. Aldagai horien konbinazioak, guztira 96 berotegi mota aztertzea ekarri du. Aldagai bakoitzaren garrantzia eta haien arteko elkarrengana zehaztu dira.

Berotegi mota hauen errendimenduan klima funtsezkoa da. Bere garrantzia aztertzeko, Eraikuntzaren Kode Teknikoaren (EKT) klima-zona desberdinetako emaitzak alderatu dira. Egiaztatu ahal izan denez, berotegi mota horiek erabiltzeak ez du interes handirik klima beroenetan; izan ere, berokuntza-eskaria txikia denez, lortutako aurrezkiak ere oso txikiak dira, eta, beraz, inbertsioaren itzulera-epeak oso handiak dira. Neguko klimagogortasuna handitu ahala, lortutako energia-aurrezkiak handituz doaz, eta horrek itzulera-epeak gutxituz joatea eragiten du. Logikoa denez, eguzki-erradiazioak ere badu garrantzia lortutako energia-aurrezketan, eta, beraz, eguzki-erradiazio altuko

berokuntza-eskari handiko klimetan lortzen dira emaitzarik onenak. Berotegiek izan behar dituzten ezaugarriak ere aldatu egiten dira zona klimatikoaren arabera. Horrela, klima-zona bakoitzean berotegi konfigurazio optimoak ezarri dira, bai lortutako energia-aurrezkiaren ikuspegitik, bai inbertsioaren itzulera-epeen ikuspegitik. Klima-zona bakoitzaren arabera, Eraikuntzaren Kode Teknikoak energia primarioaren kontsumo-mugak ezartzen ditu, bai totalak, bai berriztaezinak. Doktorego Tesiak, horrelako berotegien erabilerak muga horiek betetzen zenbateraino lagun dezakeen ere aztertzen du.

Azkenik, beste klima batzuetan duten portaera aztertzeko, Europako hiri nagusietan osatu da analisia. Emaitzek erakusten dutenez, neguko klima-gogortasuna handitu dhala, berotegiei esker aurrezten dena areagotzen da. Klima hotzenetan, aurrezpen benetan handiak lortzen dira, are gehiago eguzki-erradiazio handia badute.

Doktorego Tesi honek frogatu egiten du aireztapen-sistemaren sarrera-airea aurreberotzeko berotegiak erabiltzea oso tresna baliagarria izan daitekeela eraikinetako berokuntzan energia aurrezteko.

Doktorego Tesi hau egiten lagundu didaten pertsona guztiei eskerrak eman nahi dizkiet. Lehenik eta behin, nire zuzendariak izan diren Moises Odriozola Maritorea eta Rufino Javier Hernández Minguillónekin hasi nahiko nuke. Eskerrik asko Moises, eskatu dizudan une guztietan eskaini didazun dedikazio handiagatik, eta azken emaitza honetara iristeko lagundu didaten kritiketan izan duzun zorrotasunagatik. Eskerrik asko Rufino, zure ezagutza guztia eta horrelako lanetan hain beharrezkoa den baikortasun puntu hori une oro helarazteagatik.

Euskal Herriko Unibertsitateko Arkitekturako Goi Eskola Teknikoari, Arkitektura Sailari eta Bizi Kalitatea Arkitekturan (Caviar) ikerketa-taldeari eskerrak eman nahi nizkieke ere. Era berean, Eusko Jaurlaritzako Ingurumen, Lurralde Plangintza eta Etxebizitza Sailak emandako laguntza ez nuke ahaztu nahi, ez eta Hazitek Cavesia proiektuari esker jasotako laguntza ere; izan ere, funtsezkoa izan zen haien partaidetza prototipoa eraikitzeko. Halaber, eskerrak eman nahi nizkieke Eusko Jaurlaritzako Eraikuntzaren Kalitatearen Kontrolerako Laborategiari eta, zehazkiago, Carlos García Gáfarori eta Daniel Pérez González eskainitako laguntza guztiagatik.

Ez nuke esker on hauekin amaitu nahi nire familia osoaz gogoratu gabe. Bere etengabeko sostengu eta laguntza gabe Tesi hau ezin izango nuen burutu. Eskerrik asko Mariví, itzulpenaren zuzenketan egin duzun lan zoragarriagatik. Eskerrik asko Xabi, zure aholku guztiengatik eta artikulua idazten emandako laguntza paregabeagatik. Eskerrik asko aita, zu gabe ezin izango nukeelako prototipoa martxan jarri. Eskerrik asko Anton eta Miren, lan hau egiteko zuekin egoteari utzi diodan denbora berreskuratutako ahal izatea espero dut.

Azkenik, Joanerentzako aipamen berezi batekin amaitu nahiko nuke. Eskerrik asko prozesuaren une zail bakoitzean eman didazun laguntzagatik eta lorpen txiki bakoitza nirekin ospatzeagatik. Ez dago nire esker ona helarazteko adina hitz edo orririk. Zure ondoan dena errazagoa da.

ENERGIA AURREZTEKO, AIREZTAPEN SISTEMAREN SARRERA- AIREA AURREBEROTZEKO BEROTEGIEN ERABILERA

EDUKIEN AURKIBIDEA

| | |
|--|-----------|
| AURKEZPEN-LABURPENA | 1 |
| ESKERRAK | 5 |
| EDUKIEN AURKIBIDEA | 7 |
| IRUDI ETA TAULEN AURKIBIDEA | 11 |
| IRUDIEN AURKIBIDEA | 11 |
| TAULEN AURKIBIDEA | 16 |
| EKUAZIOEN AURKIBIDEA | 19 |
| LABURTZAPENAK | 21 |
| 1. ATALA. SARRERA | 25 |
| 1.1. LANAREN TESTUINGURUA | 25 |
| 1.2. TEKNIKAREN EGOERA | 26 |
| 1.2.1. ZEHARKAKO EGUZKI-IRABAZIEN SISTEMAK | 26 |
| 1.2.2. BEROTEGIAK | 29 |
| 1.2.2.1. BEROTEGIAREN ORIENTAZIOA | 30 |
| 1.2.2.2. KLIMAREN ERAGINA BEROTEGIETAN | 31 |
| 1.2.2.3. BEROTEGIAREN FORMA | 32 |
| 1.2.2.4. BEIRA MOTAK | 33 |
| 1.2.2.5. INERTZIA TERMIKOA ETA BERO-BILTEGIRATZEA | 34 |
| 1.2.2.6. GAINBEROTZE ARAZOAK | 35 |
| 1.2.2.7. ISOLAMENDUA | 36 |
| 1.2.2.8. BEROTEGIEN ERRENDUMENDUA | 36 |
| 1.2.2.9. SIMULAZIO ENERGETIKOA | 37 |
| 1.2.2.10. BEROTEGIEN ERABILERA ESTALKIETAN | 38 |
| 1.2.3. AIREZTAPENA | 39 |
| 1.2.4. BEROTEGIEN ETA AIREZTAPEN SISTEMEN ARTEKO KONBINAZIOA | 41 |
| 1.2.5. TEKNIKAREN EGOERAREN ONDORIOAK | 43 |

| | |
|--|------------|
| 1.3. HELBURUAK | 43 |
| 1.4. IKERKETAREN JUSTIFIKAZIOA. EKARPENAK | 45 |
| 1.5. TESIAREN EGITURA | 45 |
| 2. ATALA. BEROTEGIAREN DISEINUA ETA PROTOTIPOAREN ERAIKUNTZA | 49 |
| 2.1. BEROTEGIAREN DISEINUA | 49 |
| 2.1.1. SERIEAN INSTALATUTAKO MODULUAK | 50 |
| 2.1.2. PARALELOAN INSTALATUTAKO MODULUAK | 53 |
| 2.1.3. BEIRAREN INKLINAZIO-ANGELU OPTIMOAREN ANALISIA | 55 |
| 2.1.3.1. ERABILITAKO METODOLOGIA | 55 |
| 2.1.3.2. ANGELU OPTIMOAREN SIMULAZIO EMAITZAK | 57 |
| 2.2. ERAIKITAKO PROTOTIPOA | 59 |
| 2.2.1. PROTOTIPOAREN ERAIKUNTZA | 60 |
| 2.2.2. PROTOTIPOAREN MONITORIZAZIOA | 63 |
| 2.2.3. PROTOTIPOAN SARTUTAKO AIRE-EMARIAREN AZTERKETA | 66 |
| 2.2.3.1. ERABILITAKO METODOLOGIA | 66 |
| 2.2.3.2. EMAITZAK | 67 |
| 2.2.4. PROTOTIPOAREN PORTAERA TERMIKOA | 69 |
| 2.2.4.1. ERABILITAKO METODOLOGIA | 69 |
| 2.2.4.2. EMAITZAK | 70 |
| 2.2.5. SIMULAZIO-EREDUA BALIOZKOTZEA | 80 |
| 2.2.5.1. ERABILITAKO METODOLOGIA | 80 |
| 2.2.5.2. EMAITZAK | 83 |
| 3. ATALA. BEROTEGIAREN PORTAERAREN AZTERKETA ETA OPTIMIZAZIOA | 91 |
| 3.1. METODOLOGIA OROKORRA | 91 |
| 3.1.1. AZTERKETA-KASUAREN HAUTAKETA | 91 |
| 3.1.2. ERAIKINEAN JARTZEKO BEROTEGIAREN DESKRIBAPENA | 96 |
| 3.1.3. AZTERTUTAKO ALDAGAIK | 97 |
| 3.1.4. SIMULAZIOA. METODOLOGIA OROKORRA | 106 |
| 3.2. BEROTEGIAREN BARRUAN LORTUTAKO TENPERATUREN AZTERKETA | 107 |
| 3.2.1. ERABILITAKO METODOLOGIA | 107 |
| 3.2.2. EMAITZAK | 109 |
| 3.2.2.1. BEIRA MOTA | 110 |
| 3.2.2.2. ISOLAMENDUAREN LODIERA | 114 |
| 3.2.2.3. INERTZIA TERMIKOA | 117 |
| 3.2.2.4. BERO-BERRESKURAPENAREN ERABILERA | 119 |
| 3.2.2.5. SERIEAN EDO PARALELOAN INSTALATZEA | 122 |
| 3.2.3. ONDORIO PARTZIALAK | 128 |

| | |
|---|------------|
| 3.3. AZTERKETA ENERGETIKOA | 129 |
| 3.3.1. ERABILITAKO METODOLOGIA | 129 |
| 3.3.2. EMAITZAK | 131 |
| 3.3.2.1. BEIRA MOTA | 133 |
| 3.3.2.2. ISOLAMENDU MAILA | 137 |
| 3.3.2.3. INERTZIA TERMIKOA | 140 |
| 3.3.2.4. BERO-BERRESKURAPENA | 144 |
| 3.3.2.5. SERIEAN EDO PARALELOAN INSTALATZEA | 148 |
| 3.3.3. ONDORIO PARTZIALAK. KONFIGURAZIORIK ONENAK | 152 |
| 3.4. AZTERKETA EKONOMIKOA. INBERTSIOAREN ITZULERA | 153 |
| 3.4.1. ERABILITAKO METODOLOGIA | 153 |
| 3.4.2. EMAITZAK | 157 |
| 3.4.2.1. BEIRA MOTA | 157 |
| 3.4.2.2. ISOLAMENDU MAILA | 161 |
| 3.4.2.3. INERTZIA TERMIKOA | 164 |
| 3.4.2.4. BERO-BERRESKURAPENA | 167 |
| 3.4.2.5. SERIEAN EDO PARALELOAN INSTALATZEA | 170 |
| 3.4.3. ONDORIO PARTZIALAK. KONFIGURAZIORIK ONENAK | 173 |
| 3.5. BEROTEGIAREN TAMAINAREN ERAGINAREN AZTERKETA | 174 |
| 3.5.1. ERABILITAKO METODOLOGIA | 174 |
| 3.5.2. EMAITZAK | 175 |
| 3.5.3. ONDORIO PARTZIALAK | 178 |
| 4. ATALA. KLIMAREN ERAGINAREN AZTERKETA | 181 |
| 4.1. EKT KLIMA-ZONEN KONPARKETA | 181 |
| 4.1.1. ERABILITAKO METODOLOGIA | 181 |
| 4.1.2. EMAITZAK | 182 |
| 4.1.2.1. AZTERKETA ENERGETIKOA | 182 |
| 4.1.2.2. AZTERKETA EKONOMIKOA. INBERTSIOAREN ITZULERA | 188 |
| 4.1.2.3. FAKTOREEN ANALISIA | 191 |
| 4.1.3. ONDORIO PARTZIALAK. KONFIGURAZIORIK ONENAK | 210 |
| 4.2. EKT BETETZEKO BEROTEGIEN ERABILERAREN AZTERKETA | 214 |
| 4.2.1. ERABILITAKO METODOLOGIA | 214 |
| 4.2.2. EMAITZAK | 217 |
| 4.2.3. ONDORIO PARTZIALAK | 221 |
| 4.3. EUROPAKO KLIMA DESBERDINEN ANALISIA | 221 |
| 4.3.1. ERABILITAKO METODOLOGIA | 221 |
| 4.3.2. EMAITZAK | 225 |
| 4.3.3. ONDORIO PARTZIALAK | 229 |

| | |
|--|------------|
| 5. ATALA. ONDORIOAK ETA ETORKIZUNeko IKERKETA-ILDOAK | 233 |
| 5.1. ONDORIOAK | 233 |
| 5.1.1. BEROTEGIAREN DISEINUA ETA PROTOTIPOAREN ERAIKUNTZA | 233 |
| 5.1.2. BEROTEGIAREN PORTAERAREN AZTERKETA ETA OPTIMIZAZIOA | 237 |
| 5.1.2.1. BEIRA MOTA | 237 |
| 5.1.2.2. INGURATZAILE OPAKUAREN ISOLAMENDU MAILA | 239 |
| 5.1.2.3. INERTZIA | 239 |
| 5.1.2.4. BERO-BERRESKURAPENA | 240 |
| 5.1.2.5. SERIEAN EDO PARALELOAN INSTALATZEA | 240 |
| 5.1.3. BEROTEGIAREN TAMAINA | 241 |
| 5.1.4. KLIMAREN ERAGINA | 242 |
| 5.1.4.1. ESPAINIAKO KLIMA-ZONEN AZTERKETA | 242 |
| 5.1.4.2. EUROPAKO KLIMA DESBERDINEN ANALISIA | 244 |
| 5.1.5. ERAIKUNTZAREN KODE TEKNIKO A BETETZEKO BEROTEGIEN ERABILERA | 245 |
| 5.1.6. ONDORIO OROKORRA | 246 |
| 5.2. ETORKIZUNeko IKERKETA-ILDOAK | 247 |
| 6. BIBLIOGRAFIA | 253 |
| 7. ERANSKINAK | 265 |
| 7.1. TESIAREKIN ERLAZIONATUTAKO ARGITARATU DEN ARTIKULUA | 265 |

IRUDIEN AURKIBIDEA

1. Añala

| | |
|---|----|
| 1.1 Irudia. Trombe etxea, 1967an Felix Trombek eta Jacques Michelek eraikia..... | 27 |
| 1.2 Irudia. Barra-Costantini Sistema..... | 28 |
| 1.3 Irudia. Lacaton eta Vassal arkitektoen Latapie etxebizitzan berotegi atxikia. | 29 |
| 1.4 Irudia. UAB-ko CTA-ICB eraikinean beirazko galeria aireztatzeko sistema. | 35 |
| 1.5 Irudia. Barazkiak hazteko berotegiak UABeko ICTA-ICB eraikinaren estalkian. | 39 |
| 1.6 Irudia. "Home With a Skin" Proiektuaren funtzionamendu eskema. | 43 |
| 2.1 Irudia. Diseinatutako berotegiaren irudia. | 49 |
| 2.2 Irudia. Seriean instalatutako berotegiaren eraikuntza-prozesuaren eskema. | 51 |
| 2.3 Irudia. Seriean instalatutako berotegiaren funtzionamenduaren eskema. | 51 |
| 2.4 Irudia. Berotegiaren funtzionamendu-eskema, moduluak seriean instalatzen direnean eta bero-berreskurapena duen aireztapen-sistemarekin konbinatzen denean. | 52 |
| 2.5 Irudia. Paraleloan instalatutako berotegiaren eraikuntza-prozesuaren eskema. | 53 |
| 2.6 Irudia. Paraleloan instalatutako berotegiaren funtzionamenduaren eskema. | 54 |
| 2.7 Irudia. Berotegiaren funtzionamendu-eskema, moduluak seriean instalatzen direnean eta bero-berreskurapena duen aireztapen-sistemarekin konbinatzen denean. | 55 |
| 2.8 Irudia. Aztertutako inklinazio-angeluak | 57 |
| 2.9 Irudia. Beirazko metro karratu bakoitzeko eguzki-irabaziaz inklinazio-angeluaren arabera, hautatutako hiri bakoitzean. | 58 |
| 2.10 Irudia. Eraikitako prototipoa. | 59 |
| 2.11 Irudia. Prototipoaren eraikuntza-prozesuaren argazkiak..... | 61 |
| 2.12 Irudia. Prototipoan erabilitako isolamenduen irudia. | 62 |
| 2.13 Irudia. Inertzia termiko gehiago lortzeko prototipoan jarritako ur-deposituak..... | 62 |
| 2.14 Irudia. Airearen sarrera eta irteera erakusten dituen prototipoaren argazkia..... | 63 |
| 2.15 Irudia. Instalatutako sentsoeen kokapena. | 64 |
| 2.16 Irudia. Erabilitako sentsoerak. | 65 |
| 2.17 Irudia. Lortutako datuak erregistratzeko aparatuak gordetzeko armairua. | 66 |
| 2.18 Irudia. Aztertutako hiru epeetan erregistratutako aire-abiaduren orduko batezbestekoak. | 68 |
| 2.19 Irudia. Airearen tenperatura A1, A2, A3 eta A4 aldietan. | 71 |
| 2.20 Irudia. Airearen tenperatura A5, A6, A7 eta A8 epeetan. | 74 |
| 2.21 Irudia. Gainazaleko tenperaturak A1, A2, A3 eta A4 aldietan. | 78 |

| | |
|--|-----|
| 2.22 Irudia. Gainazaleko tenperaturak A5, A6, A7 eta A8 aldietan. | 79 |
| 2.23 Irudia. Tenperatura esperimentalen eta simulazio-tenperaturen konparaketa inertziarik gabeko aldietan (A1, A2, A3 eta A4)..... | 84 |
| 2.24 Irudia. Tenperatura esperimentalen eta simulazio-tenperaturen konparaketa inertzia duten aldietan (A5, A6, A7 eta A8)..... | 85 |
| 3.1 Irudia. Aukeratutako eraikinaren hegoaldeko altxaera. | 91 |
| 3.2 Irudia. Aukeratutako eraikinaren oinplano tipoa..... | 92 |
| 3.3 Irudia. Etengabeko erauzketa-sistemaren aireztapen eskema. | 94 |
| 3.4 Irudia. Fluxu bikoitzeko bero-berreskurapena duen aireztapenaren eskema. | 95 |
| 3.5 Irudia. Eraikinaren infografia berotegiarekin. | 97 |
| 3.6 Irudia. Etengabeko sarrera-sistemaren aireztapen eskema, seriean instalatutako moduluekin (4.1/5.1 aukera). | 102 |
| 3.7 Irudia. Bero-berreskurapena duen aireztapen sistemaren eskema, seriean instalatutako moduluekin (4.2/5.1 aukera)..... | 103 |
| 3.8 Irudia. Etengabeko sarrera-sistemaren aireztapen-eskema, paraleloan instalatutako moduluekin (4.1/5.1 aukera). | 104 |
| 3.9 Irudia. Bero-berreskurapena duen aireztapen-sistemaren eskema, paraleloan instalatutako moduluekin (4.2/5.2 aukera)..... | 105 |
| 3.10 Irudia. Ohiko astean eta muturreko astean berotegiaren irteeran lortutako tenperaturak, 1.3/2.1/3.2/4.1/5.1 konfigurazioarekin. | 109 |
| 3.11 Irudia. Ohiko astean eta muturreko astean, beira motaren arabera berotegiaren irteeran lortutako tenperaturak..... | 111 |
| 3.12. Irudia. Ohiko astean eta muturreko astean, isolamendu lodieraren arabera berotegiaren irteeran lortutako tenperaturak. | 114 |
| 3.13 Irudia. Ohiko astean eta muturreko astean, inertiaren arabera berotegiaren irteeran lortutako tenperaturak..... | 117 |
| 3.14 Irudia. Ohiko astean eta muturreko astean, bero-berreskurapenaren erabileraren arabera berotegiaren irteeran lortutako tenperaturak. | 120 |
| 3.15 Irudia. Seriean instalatutako berotegiko modulu bakoitzean lortutako tenperaturak neguko ohiko astean eta muturreko astean. (1.3/2.1/3.2/4.1/5.1 konfigurazioa). | 123 |
| 3.16 Irudia. Ohiko astean eta muturreko astean, moduluak seriean edo paraleloan jartzen diren arabera, berotegiaren irteeran lortutako tenperaturak..... | 124 |
| 3.17 Irudia. Ohiko astean eta muturreko astean, aireztapen-sistemaren arabera berotegiaren irteeran lortutako tenperaturak. | 127 |
| 3.18 Irudia. Eraikinaren energia primarioaren kontsumo totala, berotegiko konfigurazio desberdinak jartzerakoan ($\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{urte}^{-1}$)..... | 132 |

| | |
|--|-----|
| 3.19 Irudia. Berokuntzan eta eraikinaren aireztapen-sistemaren operazioan energia primarioaren kontsumo totalaren batezbestekoak, berotegiko beira motaren arabera ($\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{urte}^{-1}$)..... | 134 |
| 3.20 Irudia. Konfigurazio desberdinen energia primarioaren urteko kontsumoa, beira motaren arabera taldekatuta. | 135 |
| 3.21 Irudia. Beira motak faktore ezberdinekin dituen elkarreraginen grafikoak. | 136 |
| 3.22 Irudia. Berokuntzako eta eraikinaren aireztapen-sistemaren eragiketako energia primarioaren kontsumo totalaren batezbestekoak ($\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{urte}^{-1}$), isolamendu mailaren arabera. | 137 |
| 3.23 Irudia. Konfigurazio desberdinen energia primarioaren urteko kontsumoa, inguratzaille opakuaaren isolamendu lodieraren arabera taldekatuta..... | 138 |
| 3.24 Irudia. Isolamendu lodierak faktore ezberdinekin dituen elkarreraginen grafikoak. | 139 |
| 3.25 Irudia. Berokuntzako eta eraikineko aireztapen-sistemaren eragiketako energia primarioaren kontsumo totalaren batezbestekoak ($\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{urte}^{-1}$), inertiaren erabileraren arabera..... | 140 |
| 3.26 Irudia. Konfigurazio desberdinen energia primarioaren urteko kontsumoa, inertiaren erabileraren arabera taldekatuta. | 141 |
| 3.27 Irudia. Inertiak faktore ezberdinekin dituen elkarreraginen grafikoak..... | 143 |
| 3.28 Irudia. Berokuntzako eta eraikineko aireztapen-sistemaren eragiketako energia primarioaren kontsumo totalaren batezbestekoak ($\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{urte}^{-1}$), bero-berreskurapenaren erabileraren arabera. | 144 |
| 3.29 Irudia. Konfigurazio desberdinen azken energiaren urteko kontsumoa, bero-berreskurapenaren erabileraren arabera taldekatuta..... | 145 |
| 3.30 Irudia. Konfigurazio desberdinen energia primarioaren urteko kontsumoa, bero-berreskurapenaren erabileraren arabera taldekatuta..... | 145 |
| 3.31 Irudia. Bero-berreskurapenak faktore ezberdinekin dituen elkarreraginen grafikoak. | 147 |
| 3.32 Irudia. Berokuntzako eta eraikineko aireztapen-sistemaren eragiketako energia primarioaren kontsumo totalaren batezbestekoak ($\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{urte}^{-1}$), moduluak instalatzeko eraren arabera. | 148 |
| 3.33 Irudia. Konfigurazio desberdinen energia primarioaren urteko kontsumoa, instalatzeko moduaren erabileraren arabera taldekatuta. | 149 |
| 3.34 Irudia. Moduluak seriean edo paraleloan instalatzeak faktore ezberdinekin dituen elkarreraginen grafikoak..... | 151 |
| 3.35 Irudia. Inbertsioaren itzulera-epeen batezbestekoak, berotegiko beira motaren arabera. | 158 |

| | |
|---|-----|
| 3.36 Irudia. Inbertsioaren itzulera-epeen emaitzak, beira motaren arabera antolatuta. | 159 |
| 3.37 Irudia. Beira motak faktore ezberdinekin dituen elkarreraginen grafikoak. | 160 |
| 3.38 Irudia. Inbertsioaren itzulera-epeen batezbestekoak, berotegiko isolamendu mailaren arabera..... | 161 |
| 3.39 Irudia. Inbertsioaren itzulera-epeen emaitzak, inguratzaille opakuaren isolamendu mailaren arabera antolatuta. | 162 |
| 3.40 Irudia. Isolamendu mailak faktore ezberdinekin dituen elkarreraginen grafikoak. | 163 |
| 3.41 Irudia. Inbertsioaren itzulera-epeen batezbestekoak, inertzia mailaren arabera. . | 164 |
| 3.42 Irudia. Inbertsioaren itzulera-epeen emaitzak, inertziaren arabera antolatuta..... | 165 |
| 3.43 Irudia. Inertziak faktore ezberdinekin dituen elkarreraginen grafikoak..... | 166 |
| 3.44 Irudia. Inbertsioaren itzulera-epeen batezbestekoak, bero-berreskurapena erabiltzen den edo ez den arabera. | 167 |
| 3.45 Irudia. Inbertsioaren itzulera-epeen emaitzak, bero-berreskurapena erabiltzen den edo ez den arabera antolatuta. | 168 |
| 3.46 Irudia. Bero-berreskurapenaren erabilerak faktore ezberdinekin dituen elkarreraginen grafikoak..... | 169 |
| 3.47 Irudia. Inbertsioaren itzulera-epeen batezbestekoak, moduluak instalatzeko eraren arabera (seriean edo paraleloan). | 170 |
| 3.48 Irudia. Inbertsioaren itzulera-epeen emaitzak, moduluak instalatzeko eraren arabera antolatuta (seriean edo paraleloan)..... | 171 |
| 3.49 Irudia. Moduluak seriean edo paraleloan jartzeak faktore ezberdinekin dituen elkarreraginen grafikoak..... | 172 |
| 3.50 Irudia. Energia primarioaren aurrezki totalak, berotegiaren tamainaren arabera. | 175 |
| 3.51 Irudia. Berotegien kostua guztira eta modulu bakoitzeko, berotegiaren tamainaren arabera | 176 |
| 3.52 Irudia. Inbertsioaren itzulera, berotegiaren tamainaren arabera | 177 |
| 4.1 Irudia. 0 Kasuarekin alderatuta, energia primarioaren kontsumoaren batezbestekoak hiri desberdinetan..... | 182 |
| 4.2 Irudia. Hiri bakoitzean, energia primarioaren urteko aurrezpenen konparazioa, berotegi-konfigurazio desberdinekin..... | 184 |
| 4.3 Irudia. Sarrigurenen eta Madrilen, eguzki-erradiazioaren eta berokuntza graduegunen konparaketa. | 186 |
| 4.4 Irudia. Sarrigurenen eta Madrilen, energia primarioaren hileko aurrezkien konparaketa..... | 187 |
| 4.5 Irudia. 0 Kasuarekiko inbertsioaren itzulera-epeen batezbestekoak, Madril, Sarriguren eta Burgosen. | 189 |

| | |
|--|-----|
| 4.6 Irudia. Inbertsioaren itzulera-epeen konparaketa, Madril, Sarriguren eta Burgosen..... | 190 |
| 4.7 Irudia. Hiri bakoitzean beira mota desberdinekin lortutako energia primarioaren kontsumoen batezbestekoak ($\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{urte}^{-1}$)..... | 191 |
| 4.8 Irudia. Hiri bakoitzean, konfigurazio desberdinen arabera, energia primarioaren urteko kontsumoa, beira motaren arabera taldekatuta..... | 192 |
| 4.9 Irudia. Inbertsioaren itzulera-epeen batezbestekoak Madril, Sarriguren eta Burgosen, beira motaren arabera..... | 193 |
| 4.10 Irudia. Konfigurazio desberdinen inbertsioaren itzulera-epeak Madril, Sarriguren eta Burgosen, beira motaren arabera taldekatuta..... | 194 |
| 4.11 Irudia. Hiri bakoitzean isolamendu maila desberdinekin lortutako energia primarioaren kontsumoen batezbestekoak ($\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{urte}^{-1}$)..... | 195 |
| 4.12 Irudia. Hiri bakoitzean, konfigurazio desberdinen arabera, energia primarioaren urteko kontsumoa, isolamendu mailaren arabera taldekatuta..... | 196 |
| 4.13 Irudia. Inbertsioaren itzulera-epeen batezbestekoak Madril, Sarriguren eta Burgosen, beira motaren arabera..... | 197 |
| 4.14 Irudia. Konfigurazio desberdinen inbertsioaren itzulera-epeak Madril, Sarriguren eta Burgosen, isolamendu mailaren arabera taldekatuta..... | 197 |
| 4.15 Irudia. Hiri bakoitzean inertiaren arabera lortutako energia primarioaren kontsumoen batezbestekoak ($\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{urte}^{-1}$)..... | 198 |
| 4.16 Irudia. Hiri bakoitzean, konfigurazio desberdinen arabera, energia primarioaren urteko kontsumoa, inertiaren arabera taldekatuta..... | 199 |
| 4.17 Irudia. Inbertsioaren itzulera-epeen batezbestekoak Madril, Sarriguren eta Burgosen, inertiaren erabileraren arabera..... | 200 |
| 4.18 Irudia. Konfigurazio desberdinen inbertsioaren itzulera-epeak Madril, Sarriguren eta Burgosen, inertiaren erabileraren arabera taldekatuta..... | 201 |
| 4.19 Irudia. Hiri bakoitzean erabilitako aireztapen sistemaren arabera lortutako energia primarioaren kontsumoen batezbestekoak ($\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{urte}^{-1}$)..... | 202 |
| 4.20 Irudia. Hiri bakoitzean, konfigurazio desberdinen arabera, energia primarioaren urteko kontsumoa, bero-berreskurapena erabiltzen den edo ez den arabera taldekatuta..... | 203 |
| 4.21 Irudia. Inbertsioaren itzulera-epeen batezbestekoak Madril, Sarriguren eta Burgosen, bero-berreskurapenaren erabileraren arabera..... | 205 |
| 4.22 Irudia. Konfigurazio desberdinen inbertsioaren itzulera-epeak Madril, Sarriguren eta Burgosen, bero-berreskurapenaren erabileraren arabera taldekatuta..... | 206 |
| 4.23 Irudia. Hiri bakoitzean moduluak seriean edo paraleloan instalatzen diren arabera lortutako energia primarioaren kontsumoen batezbestekoak ($\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{urte}^{-1}$)..... | 207 |

| | |
|--|-----|
| 4.24 Irudia. Hiri bakoitzean, konfigurazio desberdinen arabera, energia primarioaren urteko kontsumoa, moduluak seriean edo paraleloan jartzen diren arabera taldekatuta..... | 208 |
| 4.25 Irudia. Inbertsioaren itzulera-epeen batezbestekoak Madril, Sarriguren eta Burgosen, moduluak seriean edo paraleloan jartzen diren arabera..... | 209 |
| 4.26 Irudia. Konfigurazio desberdinen inbertsioaren itzulera-epeak Madril, Sarriguren eta Burgosen, moduluak seriean edo paraleloan jartzen diren arabera taldekatuta. | 210 |
| 4.27 Irudia. Hirien sailkapena, eguneko batez besteko eguzki-erradiazio globalaren ($\text{Wh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{egun}^{-1}$) eta $\text{GE}_{\text{bero}_18}$ -ren arabera. | 224 |
| 4.28 Irudia. Eraikinaren energia primarioaren kontsumo totala (berokuntza + haizagailuak) hiri guztietan: 0 kasua, 0-BB kasua eta 1.3/2.3/3.2/4.1/5.2 eta 1.3/2.3/3.1/4.2/4.2/5.2 konfigurazioak. | 225 |
| 4.29 Irudia. 0 kasuarekin alderatuta, energia primarioaren aurrezkiak hiri guztietan..... | 226 |
| 4.30 Irudia. Hiri guztietan, 1.3/2.3/3.1/4.2/5.2 konfigurazioarekin lortutako energia primarioaren aurrezpena 0-BB kasuarekiko. | 228 |
| 5.1 Irudia. Proiektatutako berotegiaren irudia. | 234 |
| 5.2 Irudia. Bero-berreskurapenik gabeko berotegien funtzionamenduaren eskema, moduluak seriean eta paraleloan instalatzen direnean. | 235 |
| 5.3 Irudia. Bero-berreskurapena duten berotegien funtzionamenduaren eskema, moduluak seriean eta paraleloan instalatzen direnean. | 236 |
| 5.4 Irudia. Laborantza bertikala..... | 249 |

TAULEN AURKIBIDEA

1. Atala

| | |
|---|----|
| 1.1 Taula. Lokal bizigarrietan emari konstantean aireztatzeko gutxieneko emariak, EKTren arabera..... | 40 |
|---|----|

2. Atala

| | |
|---|----|
| 2.1 Taula. Aukeratutako hirien ezaugarri klimatikoak..... | 56 |
| 2.2 Taula. Inklinazio optimoarekiko beiraren angelu desberdinen eguzki-irabazien ehunekoa..... | 58 |
| 2.3 Taula. Erabilitako sentsoreen ezaugarriak..... | 65 |
| 2.4 Taula. Berotegiaren aire-emaria. | 67 |
| 2.5 Taula. Minutuz minutu lortutako datuen batez besteko abiadura, bariantza, desbideratze tipikoa eta aldakuntza-koefizientea..... | 69 |
| 2.6 Taula. Neurketa-aldiak..... | 70 |
| 2.7 Taula. Kanpoko eta barruko aire-tenperaturaren arteko diferentzien batezbestekoa eta gehieneko diferentziak, A1, A2, A3 eta A4 aldietan. | 72 |

| | |
|--|----|
| 2.8 Taula. Kanpoko tenperaturaren eta barrukoaren arteko batezbesteko eta gehieneko diferentziak, A5, A6, A7 eta A8 aldietan. | 75 |
| 2.9 Taula. Eguneko batezbesteko eguzki-erradiazioa eta kanpoko tenperaturaren eta berotegi barruko tenperaturaren arteko batezbesteko diferentziak aldi bakoitzean. | 76 |
| 2.10 Taula. Simulazio-ereduak baliozkotzeko irizpideak. | 83 |
| 2.11 Taula. NMBE, CV (RMSE) eta R2 indizeen emaitzak kalibratze-aldietarako. | 87 |

3. Atala

| | |
|--|-----|
| 3.1 Taula. Aukeratutako eraikinaren ezaugarri termikoak. | 92 |
| 3.2 Taula. Bizitegi-erabilera pribatuan egokitutako espazioen operazio-baldintzak, EKTren HE Energia Aurreztearen Oinarriko Dokumentuaren arabera [9]. | 93 |
| 3.3 Taula. Bizitegi-erabilera pribatuko espazioen erabilera-profila, EKTren HE Energia Aurreztearen Oinarriko Dokumentuaren arabera [9]. | 93 |
| 3.4 Taula. Lokal bizigarrietan emari konstanteko q_v gutxiengo emariak, EKTren Osasungarritasunaren (HO) Oinarriko Dokumentuaren arabera [74]. | 96 |
| 3.5 Taula. Aztertutako aldaeren ezaugarriak. | 100 |
| 3.6 Taula. Neguko ohiko asteko eta muturreko asteko tenperaturak eta eguzki-erradiazioa. | 108 |
| 3.7 Taula. Berotegiaren oinarriko konfigurazioa. | 108 |
| 3.8 Taula. Berotegiaren irteera-airearen eta kanpo-airearen arteko eguneko tenperatura diferentzia maximoa eta batez bestekoa, beira motaren arabera, neguko ohiko astean. | 112 |
| 3.9 Taula. Berotegiaren irteera-airearen eta kanpo-airearen arteko eguneko tenperatura diferentzia maximoa eta batez bestekoa, beira motaren arabera, neguko muturreko astean. | 112 |
| 3.10 Taula. Berotegiaren irteera-airearen eta kanpo-airearen arteko eguneko tenperatura diferentzia maximoa eta batez bestekoa, isolamendu lodieraren arabera, neguko ohiko astean. | 115 |
| 3.11 Taula. Berotegiaren irteera-airearen eta kanpo-airearen arteko eguneko tenperatura diferentzia maximoa eta batez bestekoa, isolamendu lodieraren arabera, neguko muturreko astean. | 116 |
| 3.12 Taula. Berotegiaren irteera-airearen eta kanpo-airearen arteko eguneko tenperatura diferentzia maximoa eta batez bestekoa, inertziaren arabera, neguko ohiko astean. | 118 |
| 3.13 Taula. Berotegiaren irteera-airearen eta kanpo-airearen arteko eguneko tenperatura diferentzia maximoa eta batez bestekoa, inertziaren arabera, neguko muturreko astean. | 118 |

| | |
|--|-----|
| 3.14 Taula. Berotegiaren irteera-airearen eta kanpo-airearen arteko eguneko temperatura diferentzia maximoa eta batez bestekoa, bero-berreskurapenaren erabileraren arabera, neguko ohiko astean..... | 121 |
| 3.15 Taula. Berotegiaren irteera-airearen eta kanpo-airearen arteko eguneko temperatura diferentzia maximoa eta batez bestekoa, bero-berreskurapenaren erabileraren arabera, neguko muturreko astean..... | 122 |
| 3.16 Taula. Berotegiaren irteera-airearen eta kanpo-airearen arteko eguneko temperatura diferentzia maximoa eta batez bestekoa, moduluak seriean edo paraleloan instalatzen diren arabera, neguko ohiko astean. | 125 |
| 3.17 Taula. Berotegiaren irteera-airearen eta kanpo-airearen arteko eguneko temperatura diferentzia maximoa eta batez bestekoa, moduluak seriean edo paraleloan instalatzen diren arabera, neguko muturreko astean. | 125 |
| 3.18 Taula. AIVCk gomendatutako SFP balioak, erabilitako aireztatze-sistema bakoitzerako. | 130 |
| 3.19 Taula. Azken energiatik energia primarioa bihurtzeko faktoreak. | 130 |
| 3.20 Taula. Bariantza-analisia energia primarioaren kontsumorako - III. motako karratuen batura..... | 133 |
| 3.21 Taula. Energiaren ikuspegitik, Sarrigurenen konfigurazio optimoen kontsumoak eta aurrezkiak. | 152 |
| 3.22 Taula. Aldaera bakoitzaren kostua..... | 154 |
| 3.23 Taula. Gas naturalaren Azken Baliabideko Tarifa (TUR), 2018tik 2021erarte..... | 155 |
| 3.24 Taula. Elektrizitaterako "Kontsumitzaile Txikientzako Borondatezko Prezioa"-ren Tarifa (PVPC) 2019tik 2021era. | 155 |
| 3.25 Taula. Bariantza-analisia inbertsioaren itzulera-epeentzako - III. motako karratuen batura..... | 157 |
| 3.26 Taula. Energiaren ikuspegitik eta inbertsioaren itzulera-epeen ikuspegitik, konfigurazio optimoen kontsumoak eta aurrezkiak Sarrigurenen. | 173 |

4. Atala

| | |
|--|-----|
| 4.1 Taula. Aukeratutako hirien ezaugarri klimatikoak. | 182 |
| 4.2 Taula. Berotegien konfigurazio onenen energia kontsumo totalak, energia aurrezki totalak eta inbertsioaren itzulera-epeak..... | 212 |
| 4.3 Taula. Energia-kontsumoaren mugako balioak, EKTren HE 0 oinarriko dokumentuaren arabera..... | 214 |
| 4.4 Taula. Aztertutako eraikinaren konfigurazioak | 215 |
| 4.5 Taula. 1-HE1 Eraikineko energia-eskaria mugatzeko muga-balioak, klima-eremuaren arabera | 216 |

| | |
|--|-----|
| 4.6 Taula. Berotegiko konfigurazio onenen berokuntzako eta haizagailuen eragiketako energia primarioaren kontsumoa, energia primarioaren aurrezkiak eta inbertsioaren itzulera-epeak, 0. kasuarekin eta 0-BB kasuarekin alderatuta. | 217 |
| 4.7 Taula. Etxeko ur beroaren energia primarioaren kontsumoen konparaketa hiri desberdinetan..... | 218 |
| 4.8 Taula. Eraikinaren energia primarioaren kontsumoen eta EKTren HE 0 Oinarrizko Dokumentuan ezarritako mugen arteko konparaketa..... | 219 |
| 4.9 Taula. Hautatutako Europako hirien ezaugarri klimatikoak..... | 222 |
| 4.10 Taula. Hirien sailkapena GE_{bero} eta eguzki-erradiazioaren arabera..... | 223 |
| 4.11 Taula. Aztertutako berotegi konfigurazioak..... | 225 |

5. Atala

| | |
|--|-----|
| 5.1 Taula. Konfigurazio onenak klima-eremuaren arabera | 243 |
|--|-----|

EKUAZIOEN AURKIBIDEA

2. Atala

| | |
|------------------------------|----|
| 2.1 Ekuazioa. MBE..... | 81 |
| 2.2 Ekuazioa. NMBE | 82 |
| 2.3 Ekuazioa. CV (RMSE)..... | 82 |
| 2.4 Ekuazioa. R^2 | 82 |

3. Atala

| | |
|-------------------------|-----|
| 3.1 Ekuazioa. SFP | 129 |
| 3.2 Ekuazioa. ROI | 156 |

LABURTZAPENAK

| | |
|--------------------|--|
| AA sentsorea | Aire Abiadura sentsorea |
| AEA | Azken-energia aireztapen-sistemako haizagailuetan |
| AEB | Azken-energia berokuntzan |
| AIVC | Air Infiltration and Ventilation Centre |
| ANOVA | bariantza-analisisa (Analysis of variance) |
| ASHRAE | American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers |
| AT sentsorea | Aire-tenperatura sentsorea |
| $C_{ep, tot lim}$ | Energia primario totalaren kontsumoaren muga-balioa |
| $C_{ep, nren lim}$ | Energia primarioa berriztaezinaren kontsumoaren muga-balioa |
| CV | Aldakuntza-koefizientea |
| CV(RMSE) | Batez besteko errore koadratikoaren aldakuntza-koefizientea (Coefficient of Variation of the Root Mean Square Error) |
| EKT | Eraikigintzaren Kode Teknikoa |
| EPA | Energia-primarioa aireztapen-sistemako haizagailuetan |
| EPB | Energia-primarioa berokuntzan |
| FEMP | Federal Energy Management Program |
| GE_{bero} | Berokuntza gradu-egunak |
| GT sentsorea | Gainazal-tenperatura sentsorea |
| HVAC | Heating, Ventilation, Air conditioning |
| IPVMP | International Performance Measurements and Verification Protocol |
| MBE | Batez besteko alborapen-errorea (Mean Bias Error) |
| NMBE | Batez besteko alborapen-errore normalizatua (Normalized Mean Bias error) |
| PVPC | Kontsumitzaile Txikientzako Borondatezko Prezioa (Precio Voluntario al Pequeño Consumidor) |
| R^2 | Determinazio-koefizientea (coefficient of determination) |
| ROI | Inbertsio- itzulera (Return of investment) |
| SFP | Haizagailuaren Potentzia Espezifikokoaren (Specific Fan Power) |
| SHGC | Eguzki-bero irabazien koefizientea (Solar Heat Gain Coefficient) |
| TUR | Azken Baliabideko Tarifa (Tarifa de Último Recurso) |
| U | Transmitantzia termikoa |
| σ | Desbideratze tipikoa |
| σ^2 | Bariantza |

1. ATALA

SARRERA

1. ATALA. SARRERA

1.1. LANAREN TESTUINGURUA

Klima-aldaketaren ondorioak murrizteko berotegi-efektuko gasen isuriak minimizatu behar dira eta horrek energia modu jasangarriagoan erabiltzea dakar. Horretarako, energia-eskaria murriztea, sistemen eraginkortasuna maximizatzea eta energia berriztagarriak erabiltzea beharrezkoa da. Testuinguru honetan, eraginkortasun energetikorako Europako Batzordearen ekintza-planak, 1990eko mailekin alderatuta, berotegi-efektuko gasen emisioak % 20 murriztea, energia berriztagarrien erabilera % 20 handitzea eta eraginkortasun energetikoa % 20an hobetzea ezarri zituen Batasunaren helburutzat [1]. Europako Batzordeak 2030erako dituen helburuak handiagoak dira oraindik: berotegi-efektua eragiten duten gasen emisioa gutxienez % 40 murriztea 1990eko datuekin alderatuta, energia berriztagarrien kuota gutxienez % 32koa izatea eta energia-eraginkortasuna gutxienez % 32,5ekoa izatea lortu nahi du [2]. 2050erako helburua ekonomia hipokarbonikora iristea da, eta, horretarako, Europar Batasunak berotegi-efektuko gasen emisioa % 80 murriztu beharko du, 1990eko mailekin alderatuta [3]. Bizitegi-sektoreko eta hirugarren sektoreko eraikinen energia-kontsumoa Europar Batasuneko kontsumo osoaren % 40 inguru denez, eraikuntzaren sektorean energia-kontsumoa murriztea eta energia berriztagarriak erabiltzea oinarritzeko neurriak dira Batasunaren helburuak lortzeko. Sektore horretan erabilitako energiaren laurdena baino gehiago aurreztu daitekeela eta, zifra horretara iritsiz gero, energia-kontsumo osoaren % 11 inguru txikitu daitekeela kalkulatu da. Bizitegi-sektoreak bakarrik, Europako azken kontsumo osoaren % 25 suposatzen du, Espainiako estatuan % 17 delarik [4]. Espainiako batez besteko etxebizitzaren azterketa zehatzak, gainera, berokuntza dela energia-kosturik handiena duen zerbitzua, eta etxebizitza baten kontsumo osoaren % 47 inguru suposatzen duela adierazten du. Beraz, berokuntzaren eskarian eta energia-eraginkortasunean esku hartzea ezinbestekoa da kontsumoa murrizteko helburua lortzeko.

Eraikinen Eraginkortasun Energetikoaren Europako Zuzentarauak (2010/31/EC) ezartzen duenez, 2020tik aurrera eraikiko diren eraikin berri guztiak energia kontsumo ia nulukoak izan behar dira. 2018/844/EE Europako Zuzentarauaren arabera, estatu kide bakoitzak epe luzerako berritze estrategiak ezarri beharko ditu eraikinen parke nazionalak, publikoak zein pribatuak, berritzen laguntzeko. Hala, 2050. urtea baino lehen, parke horiek energia eraginkortasun handikoak eta deskarbonizatuak bihurtu beharko dira. Eraikinek, beraz, energia eraginkortasun maila oso altua izan beharko dute, eta behar duten energia kantitate ia nulua edo oso txikia, iturri berriztagarrietatik etorri beharko da neurri handi batean. Testuinguru horretan, eraikinen energia kontsumoa murriztuko duten sistema berritzaileak bilatu behar dira. Horrela, hurrengo urteetan, elementu

pasiboen eta energia berriztagarriak erabiltzen dituzten sistemen erabileran sakontzea funtsezko erronka izango da.

Energia kontsumo ia nuluko eraikinak lortzeko helburuarekin, eraikuntzak gero eta isolatuagoak eta hermetikoagoak egiten dira, eta horrek aireztapen sistema mekaniko bat instalatzeko beharra dakar, barnealdean aire kalitate egokia lortzeko. Hala ere, beharrezko aireztapenak energia-eskaria handitzea eragiten du. Eraikinak eraginkorragoak egiten diren heinean (isolatuagoak eta hermetikoagoak), aireztapenari dagokion energia kontsumoaren ehunekoa gero eta handiagoa da, eta, beraz, aireztapenean esku hartzeak energia aurrezteko potentzial handia du.

Berokuntzaren kontsumoa murrizteko beste estrategia egoki bat berotegiak erabiltzea da. Eguzki-erradiazioaren eraginez berotegien barruko airea berotzen da modu sinple, ekonomiko eta eraginkorrean, berotegi-efektua aprobeztatuz. Eguzki-erradiazioak beira zeharkatzen du eta barruko objektuek xurgatzen dute. Objektu horiek berotu eta uhin luzeko erradiazioa igortzen dute. Beirak uhin laburreko erradiazioa pasatzen uzten du, baina ez uhin luzekoa, eta horrek barruko espazioa berotzea eragiten du. Berotegiko airea berotu ondoren, eraikinean sar daiteke berotzeko, edo, bestela, espazio hori eraikinaren barnealdearen eta kanpoaldearen arteko koltxoi termiko gisa erabil daiteke, eraikinaren berokuntzaren energia kontsumoa murriztuz.

Bi estrategia hauek konbina daitezke berotegiak erabiliz aireztapen-airea aurreberotzeko. Doktorego Tesi honek bere abantailak aztertzen ditu eta energia aurrezki handienak lortzeko bere diseinu optimoan sakontzen du.

1.2. TEKNIKAREN EGOERA

Atal honetan, orain arte sortutako ezagutza aztertzeko, teknikaren egoeran sakonduko dugu. Lehenik eta behin, zeharkako eguzki-irabazien sistema desberdinak aztertuko dira, ondoren berotegien erabilera zehatzean arreta jartzeko. Aireztapenak eraikinen energia-kontsumoan duen eragina ere analizatuko da. Azkenik, berotegiak eta eraikinaren aireztapen-sistemak konbinatzeari buruz orain arte ikertutakoa ikustatuko dugu.

1.2.1. ZEHARKAKO EGUZKI-IRABAZIEN SISTEMAK

Eguzki-energia erabiltzea oso tresna baliagarria izan daiteke berokuntza-eskaria murrizteko. Eguzki-sistema pasibo sinpleena eguzkira bideratutako leiho bat bada ere (zuzeneko irabazia), zeharkako sistemek, hala nola Trombe hormek edo berotegiek, hobeto aprobeztatzen dituzte eguzki-irabazi horiek. Kisilewiczek [5] ondorioztatu zuenez, bi sistemen eguzki-irabazi erabilgarriak antzekoak badira ere, zeharkakoek nabarmen murrizten dute eraikina gainberotzeko arriskua. Sánchez-Ostiz et al.ek [6], era

berean, aurrefabrikatutako berotegi bat leiho batekin alderatu zuten, eta lehenengoak portaera hobea duela ondorioztatu zuten.

Zeharkako eguzki-sistemen artean Trombe horma aurkitzen da. 1881ean, Edward L. Morseri Trombe hormaren jatorria den eguzki-energiaren aprobetxamendu pasiboarekin lotutako patente bat eman zioten [7]. Sistema hori ez zen ezagutarazi harik eta 1964an Félix Trombe ingeniariak eta Jacques Michel arkitektoak patente hori hainbat etxebizitzatan erabili zuten arte. Beste patente bat eman zieten, eta eguzki-atzipeneko sistema horiek Trombe horma edo Trombe-Michel horma izendatzen hasi ziren [8]. 1.1 Irudian, Trombe etxea agertzen da, 1967an eraikia.



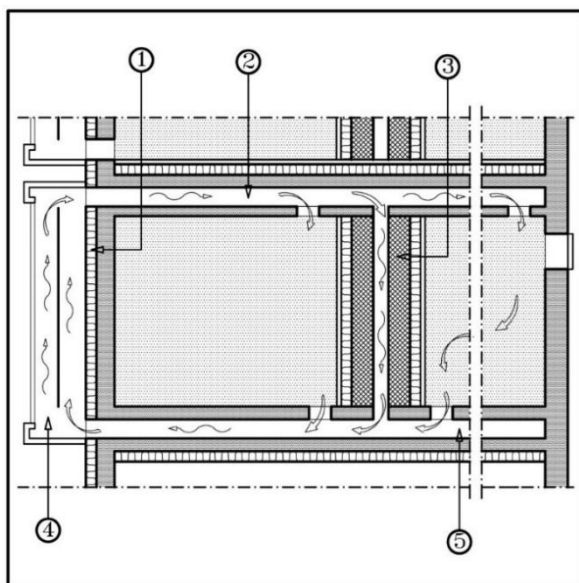
1.1 Irudia. Trombe etxea, 1967an Felix Trombek eta Jacques Michelek eraikia.

Iturria: <http://hiddenarchitecture.net/ungreen-trombe-wall>.

Eraikigintzaren Kode Teknikoaren (aurrerantzean, EKT) Energia Aurrezteko Oinarrizko Dokumentuan [9] definitzen den bezala, Trombe horma "birzirkulazioaren bidez eraikinaren barruko airea berotzeko eguzki-energia aprobetxatzen duen itxitura" da. Eguzkira begira dagoen inertzia termiko handiko horma bat da, normalean kolore ilunekoa (xurgagarritasuna handitzeko). Aurretik beira bat jartzen zaio, eta bien artean aire-ganbera bat uzten da. Egunez, eguzki-erradiazioak beira zeharkatu eta horma berotzen du. Beroa poliki-poliki hormatik askatzen doa erradiazio infragorri bihurtuz eta, beira erradiazio-mota horri erdi-opakua denez, hormaren eta beiraren artean harrapatutako airea berotu egiten da eta goranzko korrante bat sortzen da.

Normalean, sistemak goiko eta beheko irekidurak izaten ditu hormaren eta eraikinaren artean. Gorantz doan aire beroaren eraginez, gelako aire hotza beheko irekiduretatik sartzen da ganberara, eta berotu ondoren, hormaren goiko irekiduretatik irteten da berriz ere eraikinaren barrualderantz joanez, eraikina berotzea lortuz. Aire-zirkulazio hori mekanikoa ere izan daiteke.

Barra-k eta Costantini-k [10] aire beroa eraikineko beste gela batzuetara eramateko berokuntza sistema pasibo bat garatu zuten, Trombe hormaren eboluziotzat har daitekeena. Sistema, hegoaldera begira dagoen beira batez, aire-ganbera batez, metal iluneko plaka batez eta kanpoaldetik isolatuta dagoen horma batez osatuta dago. Ganbera sabai faltsuetan kokatutako hodiekin konektatuta dago, airea eraikineko beste gela batzuetara banatzeko (ikus 1.2 Irudia). Neguan, berotegi-efektuari esker, ganberaren tenperatura igo egiten da, eta aire-korrente gorakorra sortzen da sabai faltsuko hodiedarantz, aire beroa aireztapen-saretoen bitartez gelatan sartuz. Aire hotza ganberara itzultzen da lurrean kokatutako hodian bitartez, berriro berotzeko eta horrela, zikloa berriz hasten da. Udan, beirateko eta barneko geletako goiko saretoak irekitzean, sistemak eguzki-tximinia moduan funtzionatzen du eta gelen aireztapen naturala ahalbidetzen du.



1.2 Irudia. Barra-Costantini Sistema.

1. Isolamendu termikoa; 2. sarrerako kanalizazioa; 3. horma termikoa; 4. eguzki-kolektorea eta 5. Airearen ateratzeko kanala. Iturria: <http://www.ecoedilicity.it>

1979an Fuchs-ek eta McClelland-ek [11] "Transwall" izeneko beste eguzki-sistema pasibo bat proposatu zuten. Beirazko gainazal paraleloek eta horien artean kokatzen zen urez edo beste likido batez betetako pareta gardeneko edukiontzi batek osatzen zuten sistema. Maloney-ek eta Habib-ek [12] ere urezko horma prototipo bat diseinatu eta

eraiki zuten. Sistema horiek uraren bero espezifiko handia aprobetxatzen zuten beroaren transmisioa atzeratzeko, alboko lokalean argia sartzea ahalbidetzen zutelarik.

1.2.2. BEROTEGIAK

Beirazko galeria eta atxikitako berotegia, eraikinak berotzeko eguzki-erradiazioa erabiltzen duten zeharkako sistemak dira ere, baina, eguzki-sistema hauetan, kanpoko beirazko paretaren eta barrualdearen arteko tartea Trombe horman baino askoz zabalagoa da. Gainera, barrualdean normalean beirazko partizio bat izaten dute, alboko lokalera argi naturala pasatzeko aukera ematen duena. Horrelako berotegien adibide bat Lacaton eta Vassal [13] arkitektoen Latapie Etxean aurki dezakegu, 1.3 Irudian ikus daitekeen moduan.



1.3 Irudia. Lacaton eta Vassal arkitektoen Latapie etxebizitzan berotegi atxikia.

Iturria: <http://www.lacatonvassal.com>

EKTko Energia Aurrezteko Oinarrizko Dokumentuak [9] honela definitzen du berotegi atxikia:

“Azaleraren ehuneko handi bat beirazkoa duen kanpoko itxitura batez osatutako egokitu gabeko esparrua, eraikin baten fatxadara atxikituta jartzen dena. Berotegia eta eraikinaren barneko guneak bereizten dituen fatxadak beirak eduki ditzake ere. Normalean behartua den aire-zirkulazio bat egon daiteke, barneko airea berriz

zirkularaziz edo aireztatzeko erabiltzen den kanpoko airea aurreberotuz. Katgoria horren barruan sartzen dira galeriak eta balkoi beiraztatuak."

Berotegi bat diseinatzeko orduan, espazio horren helburuak aztertzea garrantzitsua da. Bere energia-portaeraren errendimenduak garrantzia handia dauka, baina, horrez gain, eraikinaren testuinguruan duen balio arkitektonikoa, nola erabiliko den eta barruan espero den erosotasun maila ere inportanteak dira [14]. Urteko une askotan erabiltzeko gela gisa, neguko lorategi gisa, trantsizio-espazio gisa edo, besterik gabe, etxebizitza berotzeko eguzki-energia hartzeko elementu gisa erabili nahi badugu, eskatuko zaion erosotasun maila ez da berdina izango. Jakina, eguzki-kaptadore bezala baino erabiltzen ez bada, beste erabilerarik gabe, tenperatura altuagoak lortu dhal izango dira barnean, eta, ondorioz, aurrezki energetikoak handiagoak izango dira.

1.2.2.1. BEROTEGIAREN ORIENTAZIOA

Ipar hemisferioan errendimendurik handiena hegoaldeko orientazioarekin lortzen da, bertan jasotzen baita erradiazio handiena. Atxikitako berotegietan ekialdea mendebaldea baino hobea izaten da, goizean beroketa pasiboa erabilgarriagoa delako. Gainera, mendebaldeko eguzki-irabaziak bereziki gogaikarriak izan daitezke garai beroetan. Hego hemisferioan, aldiz, kontrakoa gertatzen da, eguzki irabazi handienak iparraldeko fatxadan lortzen dira.

Etxebizitza-blokeak zaharberritzerakoan irtenbiderik errazena fatxada eguzkitsuetan dauden balkoiak edo terrazak beiraz ixtea izaten da. Espainiako estatuan, hegoaldearekiko 30° ekialdera edo mendebaldera dagoen orientazioekin eguzki-energia potentzial estatikoaren % 90 inguru lortuko da [15]. Edonola ere, orientaziorik onena berotegia non kokatu ahal den arabera eta ingurunearen ezaugarrien arabera izango da: berotegia itzalez estali dezaketan elementuak kontuan hartu behar dira, hala nola landaredia edo inguruko eraikinak.

Mihalakakou-k eta Ferrante-k [16] Milango berotegi batean orientazioaren eragina aztertu zuten. Hegoaldera begira zegoen berotegiarekin lortu ziren tenperaturarik handienak, bai bere barnealdean eta baita eraikinean ere. Iparraldetik hegoalderako orientazio-aldaketak 7 °C inguruko hazkundera ekarri zuen uda garaian, hala nola negu garaian ere.

Eraikinen fatxada guztiak ezin direnez egon hegoaldera begira, Tan-ek [17] elkarren artean lotutako bi berotegiz osatutako sistema bat proposatu zuen, bata hegoaldeko fatxadari atxikia eta bestea iparraldekoari. Bere sisteman, hegoaldeko berotegiko aire beroa sabai faltsuan zeuden hodietatik iparraldeko berotegira bideratzen zen zirkulazio naturalaren bitartez; iparraldeko berotegiko aire hotza, berriz, hegoaldeko berotegira zihoan, zoladura azpian jarritako aire-hodien bidez, bi berotegien tenperaturak

orekatuz. Sistema horren helburu nagusia ez da barne-espazioak eguzki-energiaren bidez berotzea, baizik eta berotegien tenperatura handitzea eta, horrela, barne-espazioen bero-galera murriztea. Kontrako berotegien sistema hori ekialdeko eta mendebaldeko orientazioetan ere aplikatu daiteke. Kasu horretan, eguerdia baino lehen, ekialdeko berotegian lortutako eguzki-energia mendebaldeko eguzki-espaziora transferitzen da eta arratsaldean, berriz, sistema alderantzikatu egiten da.

Berotegiak eraikinen estalki lauan jartzen direnean, fatxadei atxikitakoetan ez bezala, eraikinaren bolumenak eta orientazioak ez dute horrenbesteko garrantzirik izango. Eguzkira begira jar daitezke, fatxadaren lerroari jarraitu gabe, eta beraz, berotegiaren orientazioa ez da hain baldintzatua egongo.

1.2.2.2. KLIMAREN ERAGINA BEROTEGIETAN

Tokiko klima ezagutzea funtsezkoa da berotegien diseinuan. Erradiazio-maila eta lekuko gainerako ezaugarri klimatikoak ezagutzea beharrezkoa da berotegiak behar bezala diseinatzeko. Sistema hauek oso klima desberdinetan erabili izan dira mundu osoan zehar, baina toki bakoitzeko baldintza klimatikoen arabera egokitu behar dira, orain arte egindako ikerketetan erakusten den bezala. Chiesa et al.ek [18], adibidez, Europako hegoaldean eta erdialdean berotegiak erabiltzearen egokitasuna ikertu zuten. 50 hiri aztertu ondoren, berotegiak instalatzeak eragindako berokuntza-kontsumoaren murrizketa leku bakoitzeko berokuntza gradu-egunekin lotuta dagoela ondorioztatu zuten. Zenbat eta berokuntza-premia handiagoa, orduan eta aurrezki handiagoak lortzen dira eraikinean. Erlazio hori erabili zuten berotegien erabilgarritasuna zehazteko, leku bakoitzeko berokuntza gradu-egunen arabera. Sailkapen horren arabera, Europako hegoaldean erabilgarritasuna txikia da, are gehiago eraikinak ondo isolatuta baldin badaude. Europaren erdialdean, ordea, erabilera probetxugarria izan daiteke, batez ere eraikinak ondo isolaturik ez daudenean. Mihalakakou-k [19], bere aldetik, berotegi atxikien portaera aztertu zuen Europako lau hiritan: Milan, Dublin, Atenas eta Florentzian. Bere erabilerak asko lagun dezake berokuntza-eskaria murrizten neguan, baina udan, batez ere Atenas bezalako Europako hegoaldeko eremuetan, gainberotze arazoak gerta daitezke. Arazo horiek saihesteko, hiru teknika hauek aztertu zituen: lurperatutako hodiak, gaueko aireztapena eta itzala egiteko elementuak. Hiru metodoen erabilera konbinatuari esker, urteko garai beroan gehiegi berotzea saihesten zen. Passerini-k [14] Alemaniako Friburgo hiriko bizitegi eraikin batean kristalezko galeriak erabiltzeak energia asko aurrezteko zekarrela egiaztatu zuen. Aelenei et al.ek [20] eraikinak zaharberritzekoan berotegien erabilera aztertu zuten ere, baina kasu honetan Portugalgo bost hiritan honako aldagai hauekin: aireztapen naturalarekin eta gabe, itzaleztatze elementuekin eta gabe, beira bakun edo bikoitzarekin eta orientazio ezberdinekin. Zenbait aldagairen komenigarritasuna,

beira bakun edo bikoitzaren erabilera kasu, hiri bakoitzaren ezaugarri klimatikoen araberakoa zela ondorioztatu zuten. Oliveti et al-ek [21] Mediterraneoko kliman sistema hauen berotzeko gaitasuna aztertu zuten, eta Bakos-ek eta Tsagas-ek [22] bezala, eguzki-erradiazioa handia duten klimetan kokatutako eraikinentzat eguzki-sistema pasibo oso egokia dela egiaztatu zuten. Bataineh-k eta Fayed-ek [23] Jordaniako Amman hirian berotegi atxiki baten portaera aztertu zuten. Berotegiaren berotze pasiboko teknikak eta udan gainberotzea saihesteko gaueko aireztapena eta barne-itxala erabiliz, aurrezki handiak lortzen dira energia-eskarian Amman bezalako klima batean. Atxikitako berotegi horien erabilera Espainiako Estatuan ere ikertu da. Torra et al.ek [24] Bartzelonan berotegiek izan behar duten diseinuan sakondu zuten eta Monge-Barrio-k eta Sánchez-Ostiz-ek [25] bere erabilera Iruñako hirian aztertu zuten. Análisi horietan ondorioztatzen da eraikina berotzeko orduan berotegi atxikien erabilerak energia-aurrezpen handiak lortzen dituela, baina udan, batez ere klima beroenetan, gainberotzea saihesteko, berotegiak aireztatzea eta itzalez estaltzea beharrezkoa dela. Sistema horiek klima hotzetan duten portaerari buruzko ikerketan egin dira ere. Reichenbach-ek [26] berotegien geometriek, beira desberdinen erabilerak eta aireztapen eta itzaltze estrategia desberdinen aplikazioak klima nordikoetako berokuntza-eskarian dituzten ondorioak ebaluatu zituen. Hilliatho et al. entzat [27], Europako iparraldeko klimetan hegoaldekoetan baino energia gehiago aurrezteko lor daiteke. González-ek [28] Andeetako Patagonian kokatutako berotegi batetan urtean zehar erregistratutako tenperaturak aztertu zituen. Berotegiko batez besteko tenperaturek ez zuten neguan, udaberrian eta udazkenean barruko giroa berotzea lortzen, baina berotegia koltxoi termiko bezala erabil zitekeen.

Ikusi ahal izan denez, atxikitako berotegien erabilera energia-eskaria murrizteko oso tresna baliagarria izan daiteke oso klima desberdinetan, baina haien ezaugarriak tokiko baldintzetara egokitzea beharrezkoa da. Klima hotzetan, berotegiek eraikinetako berokuntzan aurrezpen handia ekar dezakete. Epeletan ere bai, baina ezinbestekoa da udan gainberotzea saihestea.

1.2.2.3. BEROTEGIAREN FORMA

Berotegi batek izan behar duen forma optimoa zehazteko, eguzki-erradiazioarekiko esposizioa, bolumena eta trinkotasuna, eta gainazal opakuen eta beiradunen inklinazioa kontuan hartu behar dira. Berotzeko beharra dagoenean, eguzki-erradiazio maximoa jasotzeko forma egokia bilatu beharko da. Zenbat eta beirarekiko perpendikularragoa heldu eguzki-erradiazioa, orduan eta handiagoak izango dira eguzki-irabaziak. Baina eguzkiaren posizioa lekuaren latitudearen araberakoa da, eta egunean zehar zein urtaroen zehar aldatzen da. Berokuntza-denboraldian egoki den beiratearen angelua klimaren, latitudearen eta nahi den eguzki-irabazi termikoen

kopuruaren arabera da. Estatu espainiarrean, neguan berokuntzarako eguzki-aprobetxamendurik handiena duen angelua tokiko latitudeari 10° - 15° gehituz kalkula daiteke, gutxi gorabehera [15].

Reichenbach-ek [26], atxikitako berotegien geometriek berokuntza-eskarian duten eragina aztertu zuen. Ulpiani et al.ek [29] berotegi atxiki baten konfigurazio desberdinen onura energetikoak ebaluatu eta alderatu zituzten eta, aztertutako sakonera ezberdinen artean (150 cm, 200 cm, 220 cm, 250 cm) emaitzarik onenak 150 cm-rekin lortzen zirela ondorioztatu zuten. Vukadinović et al.ek [30] negutegiaren eta eraikinaren geometriek energia-errendimenduan duten ondorioak aztertu zituzten ere.

Berotegiak teilatu lauetan jartzen direnean, ez gaude fatxadari atxikita ipintzen direnean bezain mugatuak formarekin, eta, beraz, errazagoa da bolumen optimoa bilatzea ahalik eta eguzki-irabazi handienak lortzeko.

1.2.2.4. BEIRA MOTAK

Beira mota egokiena, transmitantzia termiko baxuenarekin eguzki-transmisiorik altuena duena da. Hala ere, zenbat eta transmitantzia termiko baxuagoa izan, orduan eta txikiagoa izaten da normalean eguzki-transmisioa ere. Emisibitate baxuko beirak erabiltzeak, adibidez, murriztu egiten ditu beiratik ematen diren galerak, batez ere gauez, baina mota horretako beiraren eguzki-faktorea (F_s) eta eguzki-bero irabazien koefizientea (SHGC) murriztu egin daitezke emisibitate baxuko geruza hori aplikatzearen ondorioz, eta, beraz, eguzki-irabaziak egunean zehar murriztu egin daitezke. Hori dela eta, beiraren bidez lortzen diren eguzki-irabazien eta ahalmen isolatzailearen artean oreka bat bilatzea beharrezkoa da.

Ulpiani et al.ek [29], beira bakun eta bikoitz baten emaitzak alderatu zituzten, beira bikoitzarekin aurrezpen handiagoak lortzen direla ondorioztatzeko. Mihalakakou-k eta Ferrante-k [16], berriz, negutegi bera aztertu zuten beira bakun batekin eta emisibitate baxuko beira bikoitzarekin. Barruko airearen tenperatura $1,5^{\circ}\text{C}$ -raino aldatu egin zen emisibitate baxuko beira bikoitzaren erabilerekin. Charelle et al.en [31] arabera, emisio baxuko beira batek energia gehiago aurrezten duen arren, ohiko beira bikoitz batek kostuen eta aurreztutako energiaren arteko erlazio hobea eskaintzen du. Chiesa et al.ek [18] negutegi atxikien erabilera lau beira mota ezberdinekin konparatu zuten Europako erdialdeko eta Hegoaldeko 50 hiritan. Beira horietako bakoitzaren egokitasuna aztertu zuten, hirien eta jasotako eguzki-erradiazioaren arabera. Aztertutako kasuetarako, beira bakuna, galera termikoak eta energia-kontsumoa murrizteko eta, aldi berean, instalazio-kostu handiegiak ekiditeko irtenbide egokia izan zitekeela ondorioztatu zuten. Nolanahi ere, beira isolatzaile eta beira tradizionalen arteko prezioen aldea gero eta txikiagoa da, eta, beraz, haien portaera termiko

hobeari esker, beraien erabilera egokiagoa izatera heldu daiteke. Ma et al.en [32] arabera, Txinako eskualde oso hotz batean dagoen landa-eraikin baten analisisan, beira bikoitza erabiltzearekin beira bakunarekin baino tenperatura altuagoak lortzen dira negutegian. Gainera, ganbera argoiarekin eta, batez ere, kriptoiarekin betetzen bada airearen orde, berotegiaren errendimendu hobetzen dela egiaztatu zuten. Aipatzekoa da gas mota bakoitzak ganbera lodiera balio optimo bat duela non energia-kontsumoa minimizatu egiten den.

1.2.2.5. INERTZIA TERMIKOA ETA BERO-BILTEGIRATZEA

Inertzia termikoa material batek jasotako energia termikoa biltegiratzeko eta pixkanaka askatzeko duen gaitasuna da. Berotegiari inertzia emateak barnealdeko tenperatura-gorabeherak txikiagoak izatea eragingo du. Tenperatura maximoak ez dira hain altuak izango, baina, aldi berean, minimoak ez dira hain baxuak izango ere. Inertzia termikoari esker, kanpoko energia-ekarpen handiena dagoen orduetan lortutako energia biltegiratu daiteke, eta txikiagoa den orduetan askatu. Horrela, inertzia termiko nahiko edukiz gero, beroa egunez aprobetxatzeaz gain, pilatu egiten da eta era honetan, gauzez eraikina berotzen jarraitzen da. Sistemari inertzia emateko, garrantzitsuak dira berotegiaren eta eraikinaren arteko horman edo forjatu bereizlean aukeratutako materialak. Inertzia masa termikoaren, materialen bero espezifikoaren eta transmitantzia termikoaren koefizientearen araberakoa da. Eraikinarekiko itxitura bereizlea, zorua eta alboko hormez gain, beste elementu batzuek ere inertzia areagotu dezakete. Sistemari energia metatzeko, ur-deposituak edo legarra erabil daitezke. Bistoni et al.ek [33] [34] legarrez osatutako metagailu bat eta urezko beste bat konparatu zituzten. Chen-ek eta Liu-k [35] [36] porositateak, bero-ahalmenak eta biltegiratze-sistema termikoaren eroankortasunak sistemaren portaera termikoan nola eragiten zuten aztertu zuten. Fernández-González-ek [37], bost eguzki-estrategia pasiboren errendimendu termikoa aztertu ondoren, harri-horma eta hormigoiarekin konparatuz, uraren eraginkortasuna biltegiratze termiko bezala frogatu zuen. Sanchez-Ostiz et al.ek [6], bestalde, ur-metagailu bat zuen leiho bikoitz batez osatutako fatxadari atxikitutako berotegi-prototipo baten diseinua aztertu zuten, bero-biltegiratzeak nabarmen hobetzen zuela sistemaren portaera ondorioztatuz. Owrak et al.ek [38] urak errendimendua hobetzen zuela baieztatu zuten ere.

Fase-aldaketa materialen bidez beroa ere gorde daiteke. Vukadinović et al.en [39] arabera, berotegia eta etxebizitza bereizten dituzten hormetan fase-aldaketa materialak erabiltzeak eraikinaren energia-kontsumoa murriztea dakar. Lu et al.ek [40] ere frogatu zuten, berotegiak fase-aldaketa materialeko zoru eta hormekin konbinatuz gero, posible dela energia-kontsumoa murriztea.

1.2.2.6. GAINBEROTZE ARAZOAK

Batez ere hilabete beroetan gerta daitezkeen gainberotze arazoak saihesteko tekniketako bat eguzki-babesak erabiltzea da. Itzala lortzeko edozein pantaila opaku erabil daiteke, ahal izanez gero negutegiaren kanpoaldean kokatuta. Elementu mugikorak, hala nola olanak, lamak, pertsianak edo kontraleihoak, oso eraginkorrak izan daitezke, beharrezkoa denean eguzki-erradiazioak beiran eragina izatea ahalbidetzen baitute, baina aldi berean desiragarria ez denean itzala sortzen baitute. Beste aukera bat hegal egoki bat eraikitzea da: neguan etzanago dagoenean eguzkia sartzen uzten duena, baina udan altuago dagoenean itzala egiten duena. Hosto erorkorreko landaredia ere erabil daiteke, neguan eguzki-erradiazioa sartzeko, baina udan negutegia babesteko.

Berotegia aireztatzea ere teknika egokia izan daiteke gainberotzea ekiditeko, 1.4 Irudian ageri den Universitat Autònoma de Barcelona-ko ICTA-ICP eraikinean egiten den bezala. Aireztapen gurutzatu egokia erabiltzeak are gehiago hobetu dezake berotegien portaera.



1.4 Irudia. UAB-ko CTA-ICB eraikinean beirazko galeria aireztatzeko sistema.

Iturria: <http://www.harquitectes.com/projectes/centre-recerca-uab-icta-icp>

Mihalakakou-k [19], eta Bataineh-k eta Fayez-ek [23] egiaztatu zutenez, gaueko aireztapenarekin batera, itzala egiteko elementuek negutegietan eman daitezkeen gainberotze arazoak saihestu ditzakete. Oliveti et al.ek [41], Cosenza, Milan eta Erromako hirietan kokatutako berotegiei buruzko azterlanean, itzaleztatzearen eta aireztapenaren bidez, urte osoan zehar berotegia erabiltzeko tenperatura nahikoa lor zitekeela ondorioztatu zuten. Aelenei et al.ek [20] eta Monge-Barrio-k eta Sanchez-Ostiz-ek [25] ere negutegiak gehiegi berotzea saihesteko itzala egiteko elementuen garrantzia baieztatu zuten. Santamouris et al.ek [42] negutegi bat hozteko gaueko

aireztapenaren inpaktua eta bere kalkulua aztertu zituzten. Aireztapenari esker, egunez pilatutako beroa murrizteko gaueko aire hotzagoa sar daiteke. Cabrerizo et al.ek [43] Zaragozan atxikitako berotegien portaera ebaluatu zuten, eta haien emaitzen arabera, zenbat eta handiagoa izan berotegiaren irekiera-ehunekoa, orduan eta errazagoa da gainberotzea ekiditzea. Ignjatović et al.ek [44], berriz, Serbian kokatutako negutegiak irekiera-portzentaje desberdinekin aztertu ondoren, ondorioztatu zuten irekiduraren % 50 baino gehiagok ez duela gainberotzea saihesteko aireztapena hobetzen.

Berotegia eraikinetik behar bezala isolatzen bada, eguzki-kaptadore erara erabiltzen bada eta konfort maila behar duen erabilerarik ematen ez bazaio, bere barnealdean eman daitezkeen tenperatura altuek ez dute zertan eraikina gainberotu behar. Eraikina beharrezkoa den beroa baino transferitzen ez bada, ez da horrelako arazorik sortuko. Berotegi horiek eraikinen estalkian jartzen baditugu, errazagoa izango da gainberotze-arazoak saihestea. Oro har, eraikinaren argiztapena eta aireztapena ahalbidetzen dituzten baok fatxadara irekitzen dira eta ez estalkira, eta, beraz, berotegia teilatu lauan jartzen denean, eraikinetik isolatzea errazagoa da. Gainera, udan, berokuntzarik behar ez denean, berotegia estaltzea posible izaten da, gainberotzea saihestuz eta eraikinaren argiztapenari eta aireztapen naturalari eragin gabe.

1.2.2.7. ISOLAMENDUA

Berotegiko beirarik gabeko itxiturak ondo isolatuta egon beharko dira, galera termikoak saihesteko. Reconsost Proiektuak [15], eguzki-irabazi isolatuko sistemei buruzko txostenean, berotegiaren ekialdeko eta mendebaldeko hormetan isolamendu termikoa jartzea gomendatzen du klima oso hotzetan, beira hegoaldeko fatxadan bakarrik utziz. Klima hotzetan, batez ere egunez pilatutako beroaren gaueko galerak gutxitzeko, beira estali dezakeen isolamendu mugikor bat instala daiteke ere, hala nola pertsiana isolatzaileak. Domotikak eskaintzen dituen aukeren bidez, berotegia eraginkorragoa izateko mekanismoak automatiza daitezke, erabiltzaileei erabilera erraztuz. Hala ere, automatizazioak energia-kontsumoa, kostu handiagoa eta mantentze-lan egokiak eskatzen ditu. Isolamendu mugikorren sistema horiek soluzioa garestitu dezakete.

1.2.2.8. BEROTEGIEN ERRENDUMENDUA

Atxikitako berotegien errendimendua faktore askoren araberakoa da, hala nola, klima, kokapena, orientazioa, forma, ezaugarriak... Horregatik, horrelako sistemen dimentsionamendua zein izan behar den jakitea oso zaila da. Mazria-ren [45] arabera, neguko egun oskarbi batean eraikinaren barrualdea 15 eta 21 °C arteko tenperaturan mantendu dadin adina energia lortzeko, negutegiak honako kristalezko azalera hauek

izan beharko lituzke: klima hotzetan, berotu beharreko azalera erabilgarriaren metro karratu bakoitzeko, hegoaldera begira ipinitako 0,65 eta 1,5 m² arteko azalera duen beira bikoitza erabili behar da eta klima epeletan, berriz, 0,33 eta 0,9 m² arteko azalerakoa. Jakina, balio horiek orientagarritzat hartu behar dira, berotegiaren eta eraikinaren ezaugarrien eta klima motaren arabera nabarmen alda baitaitezke.

Sistema pasibo horien errendimendua ebaluatzeko, kasu zehatz bakoitza aztertu behar da. Bakos eta Tsagas-en [22] arabera, Grezia iparraldeko familia bakarreko etxebizitza batean berotegi atxikia instalatuz, eraikina berotzeko behar den energiaren % 80 aurreztu daiteke. Chareille et al.ek [31] familia bakarreko etxebizitza bati eta apartamentu-bloke bati beirazko galeria bat gehitzeak eskari energetikoaren murrizketan zer-nolako eragina duen aztertu zuten. Etxebizitza motaren eta beira motaren arabera, galeria horiekin % 4tik % 23ra bitarteko aurrezpena lortzen zen. Suárez et al.ek [46] Asturiasko eraikin batean beiraz hornitutako galeria batekin energiaren % 25 inguru aurrezten zela egiaztatu zuten. Beste hainbat autorek berotegien energia-aurrezkiak zenbatetsi zuten, emaitza desberdinak lortuz. Beraz, lekuaren eta ezaugarrien arabera berotegien edo beirazko galerien aurrezkiak asko aldatzen direla ondorioztatu daiteke.

1.2.2.9. SIMULAZIO ENERGETIKOA

Bere mugak baditu ere, simulazio energetikoak eraikin baten energia-portaera aurreikusteko aukera ematen du eta hori energia-diseinu eraginkorrerako tresna egokia izan daiteke. Jakina, simulazio-eredua ondo kalibratuta egon behar da, emaitzak errealitatekin ahelik eta hurbilen egon daitezen. Berotegien kasuan, simulazio informatikoak bere diseinua eta errendimendua optimizatzeko balio dezake. Berotegiak simulatzeko programa asko erabili dira. Mottard-ek eta Fissore-k [47], adibidez, berotegiekin erabiltzeko simulazio termikoko eredu berri bat garatu zuten, eta lortutako emaitzek esperimentalekin adostasun handia erakutsi zuten. Torra et al.ek [24] Bartzelonan hiru berotegi diseinatzeko SLR (Solar Load Ratio) metodoa erabili zuten. Mihalakakou-k [19] Trnsys programa erabili zuen Europako hainbat hiritako berotegien erabilera aztertzeko. Suarez et al.ek [46, 48, 49] Fluent programaz baliatu ziren Asturiasko galeria bati buruzko ikerketan. Oliveti et al.ek [41], berriz, Derob LTH programarekin Italiako hiri desberdinen berotegien ikerketa garatu zuten.

Horrelako azterketetan gehien erabili den programetako bat EnergyPlus [50] izan da, Ameriketako Estatu Batuetako Energia Departamentuaren programa. Programa honek sistema edo energia-iturri desberdinekin eraikinak berotzeko eta hozteko behar den energia kalkulatu dezake. EnergyPlus kokapenean eta eraikinaren posizioan oinarritzen da, baita parametro meteorologikoetan eta eraikinaren inguruko kanpo-baldintzatzaileetan ere. Sarrerako datuek latitudea, longitudea, altitudea eta ordu-

eremua barne hartzen dituzte ere, eta, horri esker, urteko edozein egunetan eguzkiak duen posizioa kalkula dezake. Hainbat ikerketatan erabili eta baliozkotu da EnergyPlus programa; esaterako, Rempel et al.ek [51] Oregonen kokatutako lau etxeetako negutegien azterketan. Chiesa et al.ek [18], Europako hegoaldeko eta erdialdeko baldintza klimatikoetan berokuntza-eskaria murriztean berotegien eragina zehazteko erabili zuten ere. Beste ikertzaile batzuek ere programa honetaz baliatu ziren berotegien energia-simulazioetarako [6, 29, 30, 52].

Simulazio energetikoa erabiltzen duten hainbat ikerketa egin diren arren, simulazio-eredua erabili aurretik balioztatzea komeni da. Balioztatze-irizpideak ezartzen dituzten hiru iturri nagusiak hauek dira: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Federal Energy Management Program (FEMP) [53, 54, 55] eta International Performance Measurements and Verification Protocol (IPVMP) [56]. Autore askok erabili dituzte irizpide hauek simulazio-ereduak baliozkotzat jotzeko [57, 58, 59].

1.2.2.10. BEROTEGIEN ERABILERA ESTALKIETAN

Eraikinen fatxadari atxikitako berotegien erabileraren ikerketan asko sakondu den arren, estalkietan instalatzeak ekar dezakeen energia-aurrezkia ez da hainbeste aztertu, nahiz eta abantaila handiak izan. Lehenik eta behin, berotegiak estalki lauetan jartzen direnean, forma eta bolumena ez daude hain mugatuta. Teilatu lauetan, eraikinaren orientazioak ez du berotegiaren kokapena mugatzen; izan ere, fatxada-lerroari jarraitu gabe jartzeko aukera dagoenez, hegoalderantz begira ipini daitezke. Gainera, beirak horizontalarekiko angelu egokian jar daitezke, eta, horri esker, eguzki-irabazi handiagoak lortu. Bestalde, baldintza estetikoak eta hirigintzakoak txikiagoak izaten dira. Gainera, estalkian beste eraikin eta elementu batzuek negutegiari itzal egitea zailagoa da. Azkenik, gainberotzea saihestea ere errazagoa da. Normalean, leihoak fatxadan irekitzen dira, eta ez estalkian. Horregatik, teilatuan jartzean, berotegia estali edo aireztapen-sistematik deskonektatu egin daiteke, aireztapen naturalari edo eraikinaren argiztapenari eragin gabe.

Aurreko ikerketen arabera, estalkiko berotegiek hiri-baratzeak egiteko onuragarriak izan daitezke. Laborantza-baldintzak hobetzeko eraikinaren hondar-beroa, kanporatze-aireko CO₂ kontzentrazioa eta euri-uren bilketa aprobeztatzea posible da, Universitat Autònoma de Barcelona-ko ICTA-ICP eraikinean gertatzen den bezala [60] [61] (ikus 1.5 Irudia). Phileas proiektuak [62], adibidez, erdiko atari batera konektatutako berotegi bat garatu zuen estalkian. Landare-produkzioaz gain, eguzki-espazio horiek eraikinaren energia-errendimendua hobetu dezakete. Wang et al.ek [63] negutegi bat proposatu zuten Txinako landa-eraikin baten estalkian. Berotegia berotu beharreko geletatik forjatu baten bidez bereizten zen, partzialki beirazkoa zena argi naturala sartu ahal

izateko eta saretak zituena aireztapena ahalbidetzeko. Teilatuaren eta forjatuaren arteko aireari esker isolamendu handiagoa lortzen zen, eraikinaren energia kontsumoa murriztuz.



1.5 Irudia. Barazkiak hazteko berotegiak UABeko ICTA-ICB eraikinaren estalkian.
Iturria: <http://www.harquitectes.com/projectes/centre-recherche-uab-icta-icp>.

Adibide guzti horiek ez dute berotegietan sortutako beroa aprobetxatzen aireztapenaren sarrerako airea aurreberotzeko. Hala ere, fluxu bikoitzeko aireztapen-sistemak dituzten eraikin askok sarrera-airea teilatuan hartzen dutenez, estalkietako berotegiak eta aireztapen mekanikoa konbinatu daitezke. Ikusi dugunez, fatxadari atxikitako berotegi gehienetan, aurreberotutako airea ondoko gelan bakarrik sartzen da. Estalkian jartzen direnean, ordea, airea modu uniforme eta eraginkorrean bana daiteke eraikin osoan zehar, aireztapen mekanikoko sistema kolektiboa aprobetxatuz.

1.2.3. AIREZTAPENA

Barneko airearen kalitate optimoa eraikineko okupatzaileen osasunarekin eta konfortarekin lotuta dago, United States Environmental Protection Agency [64] eta European Environment Agency [65] erakundeek adierazten duten bezala. Beraz, airea behar bezala berritu behar da, baina aireztatze premia horrek energia-eskaria handitzen du. Hamahiru herrialde industrializatuetako merkataritza eta etxebizitza sektoreetan airea berritzearen ondorioz urtean kontsumitzen den energia aztertu zuen Orme-k [66] eta aireztapenak, gutxi gorabehera, berokuntzaren kontsumoaren % 48 suposatzen zuela ondorioztatu zuen. Awbi-k [67], berriz, aireztapenari dagokion ehunekoa guztizkoaren % 30 eta % 60 bitartekoa zela kalkulatu zuen. Antzeko balioak ezartzen dituen literatura zabala dago [68] [69] [70] [71]. Gainera, portzentai hori handitu egiten da eraikinak termikoki eraginkorragoak diren heinean, hau da,

isolamendu termiko eta hermetikotasun maila handiagoa duten heinean. Beraz, aireztapenak duen energia aurrezteko potentziala oso garrantzitsua da.

Eraikinek airearen kalitate egokia izan dezaten, herrialde bakoitzak gutxieneko aireztapen-emari batzuk eskatzen ditu. Guillen-Gamboa et al.ek [72], Ameriketako Estatu Batuetako, Alemaniako, Erresuma Batuetako, Frantziako eta Espainako araudietan ezarritako aireztapen fluxuak eta estrategiak alderatu zituzten Passivhaus estandarrarekin. Aireztapen-fluxu maximoak antzekoak, baina kontrol-prozedurak oso desberdinak direla, ondorioztatu zuten. Espainiaren kasuan, ETK [73], bere Osasungarritasuna Oinarizko Dokumentuan [74], etxebizitzetako lokal bizigarrietan behar adinako kanpoko aire-emaria sartu behar dela ezartzen du, lokal bakoitzean urteko batez besteko CO₂-aren kontzentrazioa 900 ppm baino txikiagoa izan dadin eta 1.600 ppm gorako urteko CO₂-aren metaketa 500.000 ppm·h baino txikiagoa izan dadin. Gainera, kanpoko aire-emaria nahikoa izan behar da giza presentziarekin zuzenean lotuta ez dauden kutsatzaileak eliminatzeko. Okupatzen ez den aldietan bizigarria den lokal bakoitzeko 1,5 l·s⁻¹eko gutxieneko emaria ezartzearekin betetzat jotzen da baldintza hori. Aldi berean, aurreko bi baldintzak betetzen direla kontsideratzen da 1.1 Taularekin bat datorren emari konstanteko aireztapen batekin.

1.1 Taula. Lokal bizigarrietan emari konstantean aireztatze gutxieneko emariak, EKTren arabera

| Etxebizitza mota | Eskatutako gutxieneko aireztapen-emaria (q _v), l·s ⁻¹ -etan | | | | |
|-----------------------|--|-------------------|---------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| | Lokal lehorrak ^{(1) (2)} | | | Lokal hezeak ⁽²⁾ | |
| | Logela nagusia | Gainerako logelak | Egongelak eta jangelak ⁽³⁾ | Gutxienekoa guztira | Lokal bakoitzeko gutxienekoa |
| 0 logela edo logela 1 | 8 | - | 6 | 12 | 6 |
| 2 logela | 8 | 4 | 8 | 24 | 7 |
| 3 logela edo gehiago | 8 | 4 | 10 | 33 | 8 |

(1) Hainbat erabileratarako etxebizitzetako lokal lehorretan, emari handieneko erabilerari dagokion emaria hartzen da kontuan.

(2) Lokal berean lokal lehor eta hezearen erabilerak ematen direnean, zona bakoitzak dagokion emaria eduki beharko du

(3) Antzeko erabilerak dituzten etxebizitzetako beste lokal batzuk (jolas-gelak, bulegoak, etab.)

Bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema bat instalatzeak energia aurrezki handiak ekar ditzake eraikinetan. Bero-berreskuratzailea eraikin baten barneko aire girotuaren energiaren zati bat berreskuratzeko aukera ematen duen ekipoa da. Bero-trukagailu baten bidez, ateratzen den barneko aireak sartzen den kanpoko airea berotzen du, bi zirkuituetako airea nahastu gabe. Horrela, eraikinaren aireztapenak eragiten dituen galera termikoak murrizten dira. Guillén-Gamboa et al.ek [72] Passivhaus estandarraren berokuntza eta hozte energia eskaera maximoak egungo

aireztapen-estrategiekin bete daitezkeen aztertu zuten. Eraitzen arabera, klima hotzenetan, muga horiek ezin dira lortu bero-berreskurapenik gabe. Klima epelagoetan, transmitantzia balioak murrizten badira, aireztapen-galerak etxebizitza baten berokuntza-eskari totalaren ia baliokideak izan daitezke. Guillén-Gamboa et al.en arabera, leku beroenetan dauden eraikinak, hala nola Espainiako hegoaldean, aireztapenak eragindako hondar-beroa berreskuratu gabe berokuntza eta hozte eskaerak betetzeko gai diren bakarrak izango dira. Hala ere, sarrerako airea berotzeko beste metodo batzuk erabil daitezke, hala nola berotegiak. Are gehiago, berotegiak eta bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema konbinatzeko aukera dago, eta horrek oraindik gehiago hobetu dezake eraikinen eraginkortasuna.

1.2.4. BEROTEGIEN ETA AIREZTAPEN SISTEMEN ARTEKO KONBINAZIOA

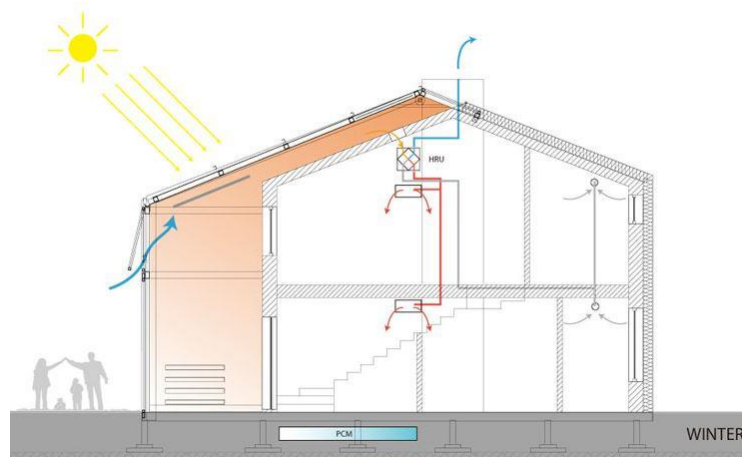
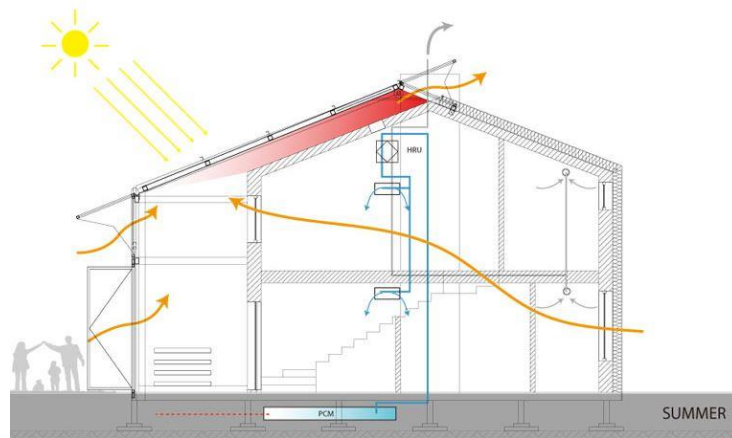
Berotegien erabileraren arazoetako bat eraikin osoan zehar berotutako airea era egokian banatzen lortzea da. Berotegi atxikietan, berotegiko airearen eta alboko gelaren arteko beroaren transmisioa indartzeko, lotura konbektiboak erabil daitezke, banaketa-hormaren behealdean eta goialdean irekidurak jarritik, tenperatura-diferentziaren ondoriozko aire-trukea sortzeko [75]. Aire beroa berotegitik igotzen da, eta ondoko espaziora igarotzen da goiko irekiduren bidez; gelako aire hotza, berriz, hormaren behealdeko irekiduren bidez berotegian sartzen da, berotzeko eta zikloarekin jarraitzeko. Sistema horren arazoa aurreberotutako airea ondoko espazioan soilik sartzen dela da, eta, ondorioz, ez dela behar bezala banatzen eraikinean zehar.

Aire-truke hori hobetzeko, behartutako aireztapen sistemak erabili daitezke. Allesina eta al.ek [76] eta Pedrazzi et al.ek [77] ondorioztatu zuten, hegoaldera begira zeuden balkoiak kristalez ixtea eta fluxu sinpleko sistema baten bidez aire berotua etxebizitzaren barrura sartzea irtenbide egokia izan daiteke bizitegi-eraikinen birgaitzeko; izan ere, horrela, nahiko modu errazean, energia aurrezten da berokuntzan. Ma et al.ek [52] behartutako aireztapena zuen berotegi bat instalatzean lortzen ziren aurrezkiak aztertu zituzten. Aireztapen hori ondoko gelaren eta berotegiaren arteko tenperatura-diferentziaren arabera aktibatzen zen. Ikerketa horren helburua emari eta martxan jartzeko tenperatura diferentzia desberdinekin eguzki-espazioaren errendimendua aztertzea zen. Horrela, aireztapen kontrolatua izateak aurrezte handiagoa ekar dezakeela ondorioztatu zuten. Ulpianik et al.ek [78] ere, beirazko espaziora eta ondoko gelaren arteko tenperatura-diferentziaren arabera martxan jartzen zen aireztapen mekaniko kontrolatuko sistema zuten berotegien erabilerari buruz ikertu zuten. Irtenbide horiek, ordea, muga batzuk dituzte, etxebizitza bakoitzak bere aireztapen sistema izan behar baitu. Gainera, aurre berotutako airea ondoko gelan bakarrik sartzen da. Berotegiak eraikinen estalkian instalatuz gero, aireztapen sistema kolektiboak erabil daitezke aire hori etxebizitza osoan modu erraz

eta ekonomikoan sartzeko, sistema berriak instalatu behar gabe. Are gehiago, fluxu bikoitzeko aireztapen kolektiboaren bidez, berotegi horiek bero-berreskurapenarekin konbina daitezke.

Ma et al.ek [79], aire girotuko sistema zentral bat zuen familia bakarreko etxebizitza batean atxikitako berotegi baten errendimendu termikoa aztertu zuten esperimentalki. Berokuntzaren energia-kontsumoa murrizteko, berotegiko aire beroa instalakuntza-gelara bidaltzen zen, eta handik etxebizitzan zehar banatzen zen. Ikerketa honek familia bakarreko etxebizitza bat analizatzen zuen, baina berotegien erabilera airea aurreberotzeko etxebizitza-blokeetan ere aplikatu daiteke, aireztapen sistema kolektiboa aprobeztatuz.

Solar Decathlon Europe 2014ean Delft University of Technology-k aurkeztu zuen "Home With a Skin" proiektuan [62], familia bakarreko eraikinak ilaran birgaitzeko "azal" berria proposatzen zen (ikus 1.6 Irudia). Proposamenak, fatxadari eta estalkiaren hegoaldeko isurialdeari atxikitako berotegi bat zeukan. Bere leihoak neguan itxi zitezkeen berotegi-efektua sortzeko eta udan zabaldu, aireztapen naturala ahalbidetzeko. Neguan, berotegian aurre-berotutako airea bero-berreskuratzaile batetik igarotzen zen, aireztapen sistema mekanikoaren bidez etxebizitzan sartu aurretik. Hala ere, berreskuratzailean iristen diren fluxuen artean zenbat eta tenperatura-contraste handiagoa egon, orduan eta handiagoa izango da haren errendimendua. Hori dela eta, komeniko litzatekeena zera da: berreskuratzailea eraikinetik kanporatuko airearen eta berotegira sartzen den airearen artean jartzea, ondoren, eraikinean sartu aurretik airea berotegian gehiago berotzeko.



1.6 Irudia. "Home With a Skin" Proiektuaren funtzionamendu eskema.

Iturria: www.solardecathlon2014.fr

1.2.5. TEKNIKAREN EGOERAREN ONDORIOAK

Teknikaren egoera aztertu ondoren, aireztapen sistemaren sarrerako airea aurreberotzeko berotegien erabilerrari buruz ikerketa batzuk badaude ere, gehiago sakondu behar dela ondoriozta daiteke. Etxebizitza kolektiboetan duten erabilera gutxi aztertu da eta are gutxiago eraikinen estalkian jartzen direnean. Bero-berreskurapena duen aireztapen-sistemarekin batera erabiltzeak ere azterketa sakonagoa merezi du. Beraz, beharrezkotzat jotzen da sistema horiek izan behar dituzten ezaugarrietan sakontzea.

1.3. HELBURUAK

Doktorego Tesiaren helburu orokorra, aireztapen sistemaren sarrerako airea aurreberotzeko negutegiak instalatzeak eraikinen berokuntzan suposatzen duen energia aurrezteko potentziala aztertzea da.

Aipatutako xede orokorra lortzeko, lehenengo helburua berotegi modular bat diseinatzea izango da, eraikinen berokuntzan ahalik eta energia gehien aurrezteko gai izango dena, baina, aldi berean, aurrekontu, klima eta kokapen desberdinen

baldintzetara egokitu ahal izango dena. Horrela, berotegiak izan behar duen forma eta ezaugarri konstruktiboak aztertuko dira.

Berotegia diseinatu ondoren, haren portaeraren azterketa esperimentalak egitea izango da hurrengo helburua, eta, horretarako, prototipo bat eraikiko da. Egoera meteorologiko desberdinetan nola funtzionatzen duen aztertzeko, prototipoa monitorizatu egingo da, eta erregistratutako datuen bidez, bere portaera termikoa aztertuko da.

Tesian zehar, berotegien portaeraren analisia simulazio energetikoaren bidez egingo da, baina horretarako simulazio-eredua baliozkotu beharko da. Prototipoaren monitorizazioan lortutako datuak simulazio-eredukoekin alderatuko dira, berotegiaren portaera aztertzeko erabiliko den tresna informatikoa baliozkotzeko helburuarekin.

Ikerketaren helburuetako bat, ahalik eta aurrezki energetiko handienak lortzeko, negutegiek izan behar dituzten ezaugarriak azterzea izango da. Berotegiaren errendimenduan eragiten duten ezaugarri nagusiak aztertuko dira: beira mota, itxitura opakaren isolamendu lodiera, inertzia termikoaren eragina, bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema berotegiarekin konbinatzea komeni den... Aldagai hauen arteko konbinazio posible guztiak aztertuko dira, elkarren artean duten eragina zehazteko, eta ezaugarri bakoitzak sistemaren funtzionamenduan duen garrantzia ezarriko da. Ezaugarri guzti horiek energia aurreztearen ikuspegitik aztertuko dira, baina baita kostu ekonomikoaren ikuspegitik ere, bi alderdien arteko oreka ezartzeko.

Ikerketaren beste helburuetako bat era horretako berotegiak erabiliz lor daitezkeen energia-aurrezkiak kuantifikatzea da. Horretarako, azterketa-kasu zehatz batean landuko da. Aurrezkiak zenbatzeko, berotegirik gabeko bizitegi eraikin bateko berokuntzaren energia-kontsumoa eta berotegi konfigurazio desberdinak eraikin horretan instalatzerakoan ematen den kontsumoa alderatuko dira.

Berotegiaren konfigurazio bakoitzarekin aurrezki jakin batzuk lortuko dira, baina, aldi berean, soluzio bakoitzaren kostua aldatu egingo da. Lan honen xedetariko bat berotegi-konfigurazio bakoitzarekin egin behar den inbertsio eta lortzen diren aurrezkiak kuantifikatzea da, alternatiba bakoitzaren itzulera-urteak zehazteko.

Klimak berotegi horien errendimenduan funtsezko eragina duenez, kokapen desberdinetan duten portaera aztertuko da. Espainiako klima-eremu desberdinetan erabiltzea komeni den aztertuko da eta baita ETK ezarritako energia-kontsumoaren mugak betetzen lagun dezakeen ere. Beste klima batzuen eragina ikusteko, Europako hiri garrantzitsuenetara zabalduko da azterketa.

1.4. IKERKETAREN JUSTIFIKAZIOA. EKARPENAK

Klima-aldaketaren ondorioak arintzeko eta energiaren erabilera jasangarriagoa egiteko, eraikinek energia ia nulukoak izan behar dute, eta, horretarako, beharrezkoa da haien energia-portaera hobetzeko sistema berriak bilatzea. Ildo horretan, eguzki-energia berotegien bidez aprobetxatzea aukera egokia izan daiteke eraikinen berokuntza-kontsumoa murrizteko. Familia bakarreko etxebizitzetan eta, batez ere, hegoaldera orientatutako beirazko galeria gisa etxebizitza kolektiboetan atxikitako berotegien erabilera asko aztertu den arren, eraikinen teilatuetan berotegi hauen erabileraren azterketan ez da sakondu, nahiz eta abantaila handiak izan fatxadari atxikitakoekin konparatuz. Estalkietan jartzerakoan, baldintzatzaileak aldatu egiten direnez, ikerketa osatu behar dela ikusten da.

Berotegiak aireztapen-sistemaren sarrera-airea aurreberotzeko erabiltzen badira, galera termikoak nabarmen murriztu daitezke, eta horrek energia asko aurrezteko eragingo du. Aireztapen sistema mekanikoaren kanpoko aire-sarrera eta erauzketa aire-irteera, askotan teilatuan kokatzen dira; beraz, berotegiak erabil daitezke sarrera-aire hori berotzeko eta eraikinaren barruan erraztasunez eta eraginkortasunez sartzeko. Hala ere, berotegien eta aireztapen mekanikoaren arteko konbinazioa ez da sakon aztertu, are gutxiago eraikinaren aireztapen kolektiboaren sistemarekin. Klima hotzetan, berotegiak eta bero-berreskurapena duen aireztapen-sistemak konbinatzeak, energia asko aurrezteko lor dezake, eta horregatik gehiago ikertu beharreko alderdia da. Antzemandako hutsune hori betetzeko, ikerketa honek berotegien bitartez aireztapen-sistemaren sarrera-airea aurreberotzeak ekar dezakeen aurrezte-potentziala aztertzeak aukera emango du. Horretarako, estalkien kokaleku desberdinetara, egoera klimatiko desberdinetara eta eraikin mota desberdinen energia-beharretara egokitzeko gai den berotegi baten diseinua aurkeztuko da. Halaber, berotegi mota horiek izan behar dituzten ezaugarri nagusietan sakonduko da, baita klimak haien funtzionamenduan duen eraginean ere. Ikerketak, beraz, balio zientifiko batez gain, benetako aplikagarritasuna dauka ere, beste eraikin batzuetan berotegiak erabiltzeko gida izan baitaiteke. Ondorioztu daiteke Doktorego Tesi hau ekarpen bat dela eraikinen energia-kontsumoa murrizteko sistemak lortzeko funtsezko erronkan.

1.5. TESIAREN EGITURA

Tesia bost kapitulutan banatzen da. Lehenengoa sarrera honi dagokio, non azterlanaren testuingurua eta teknikaren egoera aztertzen diren. Lanaren helburuak ere definitzen dira, baita bere garrantziaren justifikazioa ere.

Bigarren kapituluan, proposatutako berotegiaren diseinua deskribatu eta justifikatzen da. Haren eraikuntza-prozesua, erabilitako materialak, forma eta abar aztertzen dira.

Diseinu horri jarraituz eraiki zen prototipoa deskribatzen da, eta haren portaera sakon aztertzen da. Monitorizazioaren ondoren lortutako emaitzak aztertu eta simulazioaren emaitzekin alderatzen dira, hurrengo analisietan erabiliko den simulazio-eredua baliozkotzeko.

Hirugarren kapituluan, diseinatutako berotegiaren portaera zehatz-mehatz aztertzen da. Azterketa-kasu zehatz baten bidez, berotegiaren portaera termikoa eta hura instalatzeak eraikinean sortzen dituen energia aurrezkiak analizatzen dira. Berotegiaren eraikuntza-aldagai nagusiak eta lortutako aurrezkieta duten eragina arakutzen dira. Era berean, azterlan ekonomikoa ere egiten da, egindako inbertsioaren itzulera lortzeko behar diren urteak zehaztuz. Azkenik, berotegiaren tamainak lortutako aurrezkieta duen eragina aztertzen da. Horrela, azterketa-kasurako berotegi-konfigurazio onenak ezartzen dira.

Laugarren kapituluan klimaren eragina aztertzen da. Lehenik eta behin, ETK [9] ezarritako klima-zonetan, azterketa-kasuko emaitzak konparatzen dira, eta klima-zona bakoitzean lortutako aurrezkiak eta berotegiaren konfigurazio optimoak ezartzen dira. Halaber, sistema horiek EKTren energia kontsumoaren mugei dagokienez duten eraginkortasuna konprobatzen da. Azkenik, klimaren eraginaren ikerketa, Europako klimetara zabaltzen da, Europako hiri nagusiak aztertuz.

Amaitzeko, bosgarren kapituluan, lan honen ondorioak eta etorkizuneko ikerketa-ildoak azaltzen dira.

2. ATALA

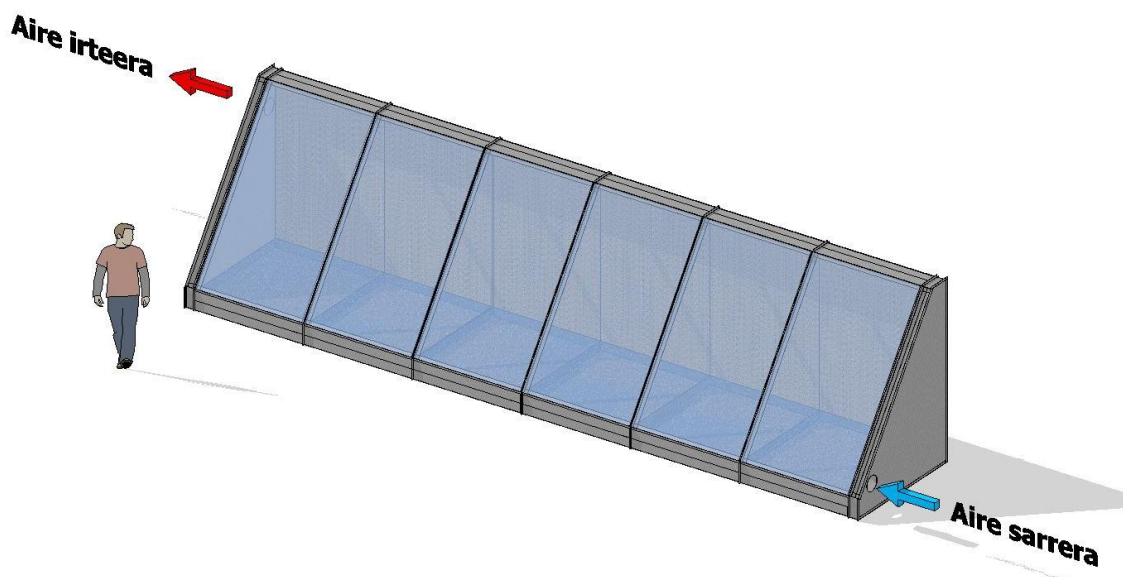
BEROTEGIAREN DISEINUA ETA
PROTOTIPOAREN ERAIKUNTZA

2. ATALA. BEROTEGIAREN DISEINUA ETA PROTOTIPOAREN ERAIKUNTZA

2.1. BEROTEGIAREN DISEINUA

Aireztapen-sistemaren sarrera-airea aurreberotzeko, eraikinen estalkian instalatzeko berotegi bat diseinatu da. Kanpoko airea beiraz hornitutako espazioan sartzen da, eta berotegi efektuari esker berotzen da, geroago aireztapen sistema mekanikoaren bidez eraikinean sartzeko. Sarrerako airea aurreberotzen denez, eraikinaren beharrezko aireztapenak dakartzan galera termikoak murriztu egiten dira, energia aurreztea lortuz.

Berotegiaren diseinuan, eraikuntza-prozesua sinplifikatu eta kostuak merkatzea lortu nahi izan da. Aldi berean, garraiatzeko eta muntatzeko erraza izatea bilatu da. Berotegia prisma triangeluar formarekin egitea erabaki da, triangelu angeluzuzeneko sekzioarekin (ikus 2.1 Irudia). Hipotenusari dagokion aurpegia guztiz beiraztatuta eta hegoalderantz begira proiektatu da, ahalik eta eguzki-erradiazio handiena jasotzeko. Gainerako gainazalak, berriz, opakuek eta ondo isolatuak diseinatu dira, bero-galerak saihesteko.



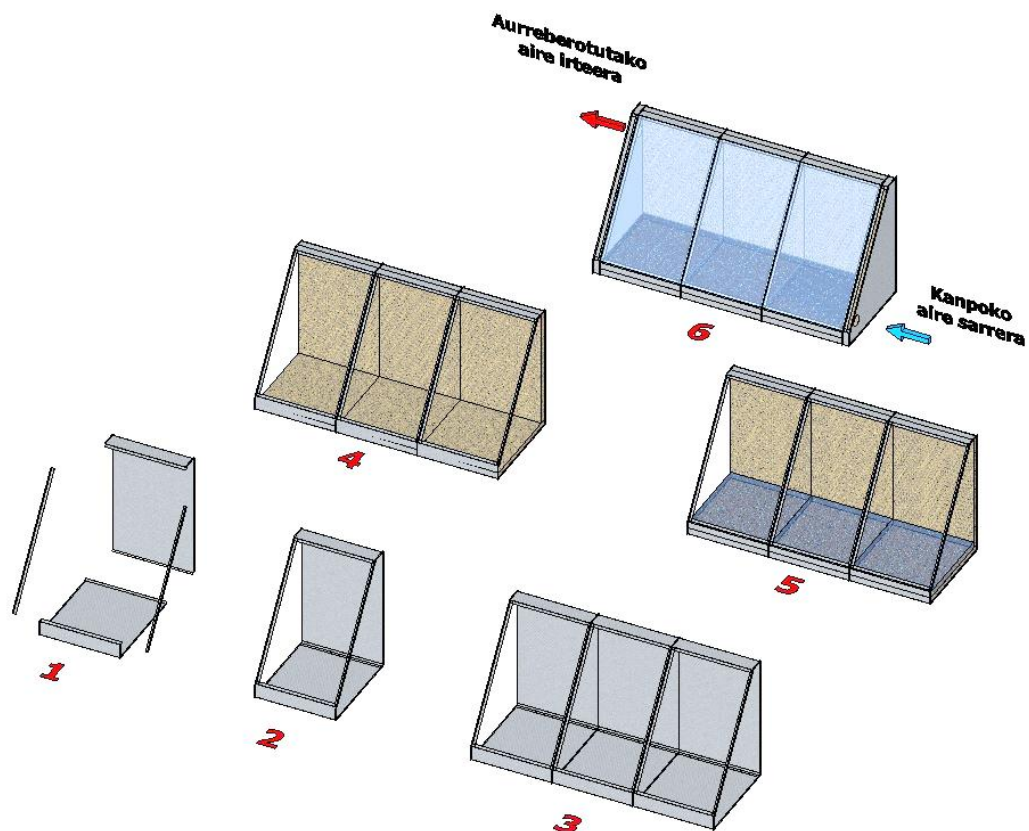
2.1 Irudia. Diseinatutako berotegiaren irudia.

Diseinu modularra aukeratu da, zeinetan moduluak elkarren artean akoplatuz joan daitezkeen, berotegi handiago bakar bat osatzeko. Horrela, berotegia hobeto egokitzen da estalkien kokalekuetara eta eraikin mota desberdinen energia-beharretara. Eskuragarri dagoen espazioa, behar den energia-aurrezpena eta egin daitezkeen inbertsio ekonomikoaren arabera, berotegia osatzen duten moduluen kopurua hauta daiteke. Moduluen tamaina ezartzeko, 1,25 m-ko zabalera eta 2,5 m-ko luzera duen beira aukeratu da, erraz maneiatzeko moduko neurria baita, eta merkatuan eskuragarri dagoen tamaina estandarri egokitzen baitaio. Moduluak

seriean nahiz paraleloan konekta daitezke, eta horrek aldaketa txikiak dakartza diseinuan. Jarraian, aukera bakoitzaren eraikuntza-prozesua aurkezten da.

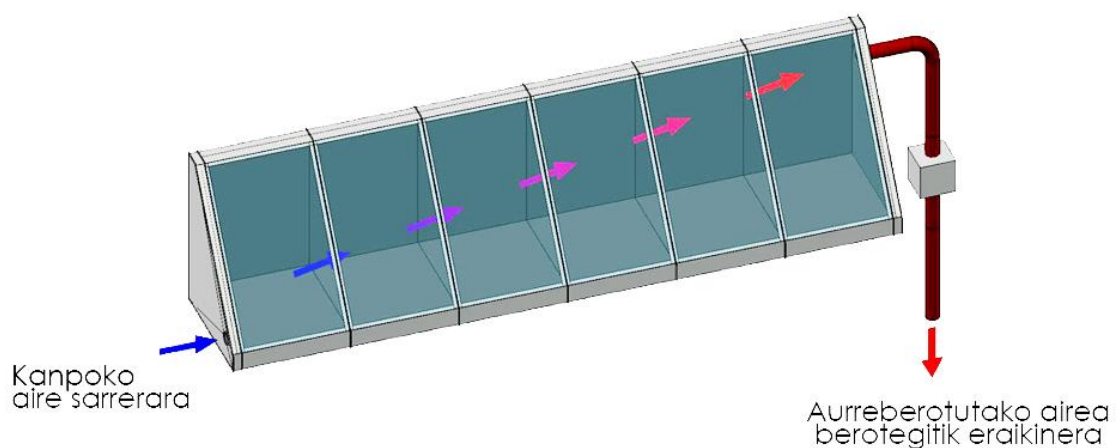
2.1.1. SERIEAN INSTALATUTAKO MODULUAK

2.2 Irudiak erakusten duen bezala, berotegiko modulu bakoitzak txapa galbanizatu tolestuzko lau pieza ditu, egitura osatzeko, elkarri torlojuz lotzen direnak (1. eta 2. urratsak). Piezetako batek berotegiaren lurzorua osatzen du, beste batek iparraldeko aurpegia, eta gainerako bi piezek diagonalak eratzen dituzte, multzo osoa txarrantzatzeaz gain beirari eusteko balio dutenak. Lau piezak torlojutu eta egitura eraikitakoan, moduluak elkarren artean lotu daitezke behar den tamainako berotegia sortzeko (3. urratsa). Altzairuzko xaflazko eskeletoa osatu ondoren, isolamendu-panelak jartzen dira itxituraren gainazal opakuetan, hau da, zoruan eta iparraldeko aurpegian (4. urratsa). Zoruko isolamenduaren gainean ur-deposituak jarriz, berotegiari inertzia eman dakioke (5. urratsa). Bero-metagailuak erabiltzeak berotegien barruko tenperaturak egonkorragoak izatea eragiten du [35, 36, 80] eta horrek, kasu askotan, energia aurrezteak dakar eraikinetan [6, 37, 38]. Diseinu honetan, eraikinaren energia-kontsumoa murrizteko, inertzia egokia ote den egiaztatuko da. Trombe hormetan gertatu ohi den bezala, berotegiaren barruko akabera iluna izatea erabaki da, eguzki-erradiazioaren xurgapena handitzeko. Eraikuntza-prozesuaren azken urratsa, berotegiaren hegoaldea ixten duen beira jartzea da (6. urratsa). Muturretan, xafla tolestuzko pieza batzuk diseinatu dira alboetako itxitura gisa, barrutik ere isolatzen direnak.



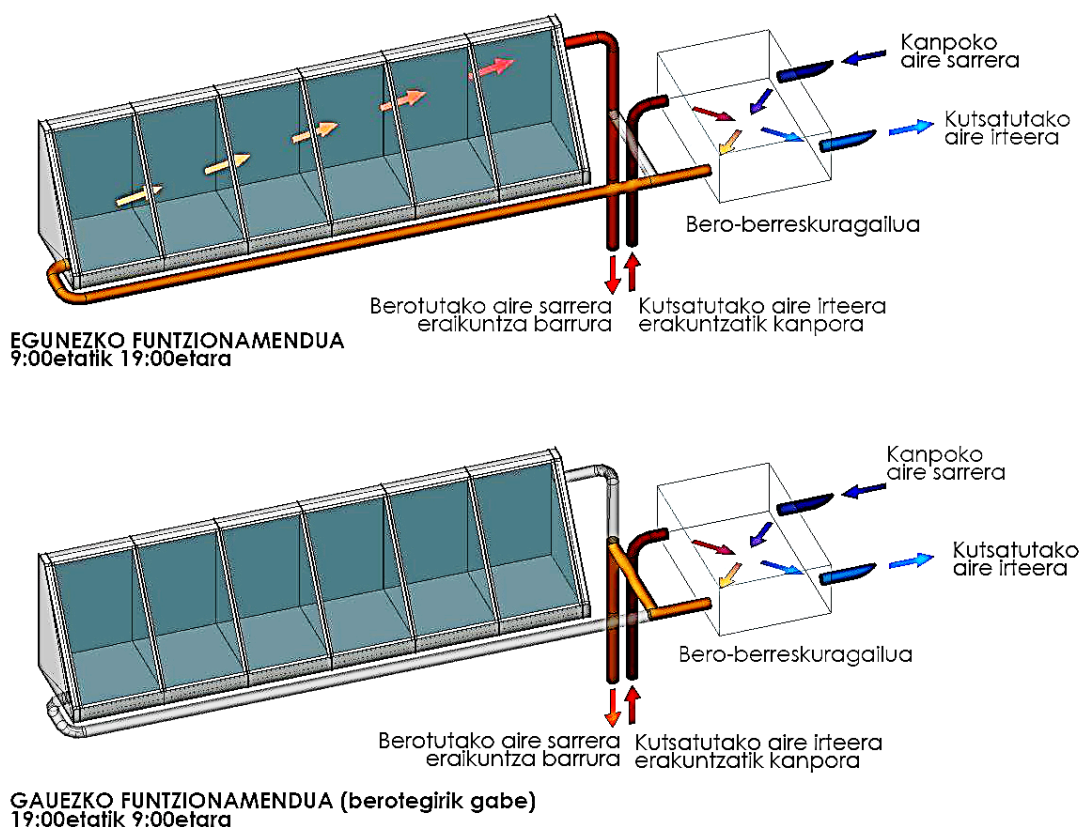
2.2 Irudia. Seriean instalatutako berotegiaren eraikuntza-prozesuaren eskema.

Berotegia eraikinaren aireztapen sistema mekanikora konektatuta dago. 2.3 Irudian adierazten den bezala, kanpoko airea berotegiaren mutur baten behealdetik sartzen da, eta moduluak zeharkatzen dituen heinean berotzen doa. Berotutakoan, beste muturraren goiko aldetik irteten da, eta, ondoren, aireztapen sistema mekanikoaren bidez eraikinean sartzen da.



2.3 Irudia. Seriean instalatutako berotegiaren funtzionamenduaren eskema.

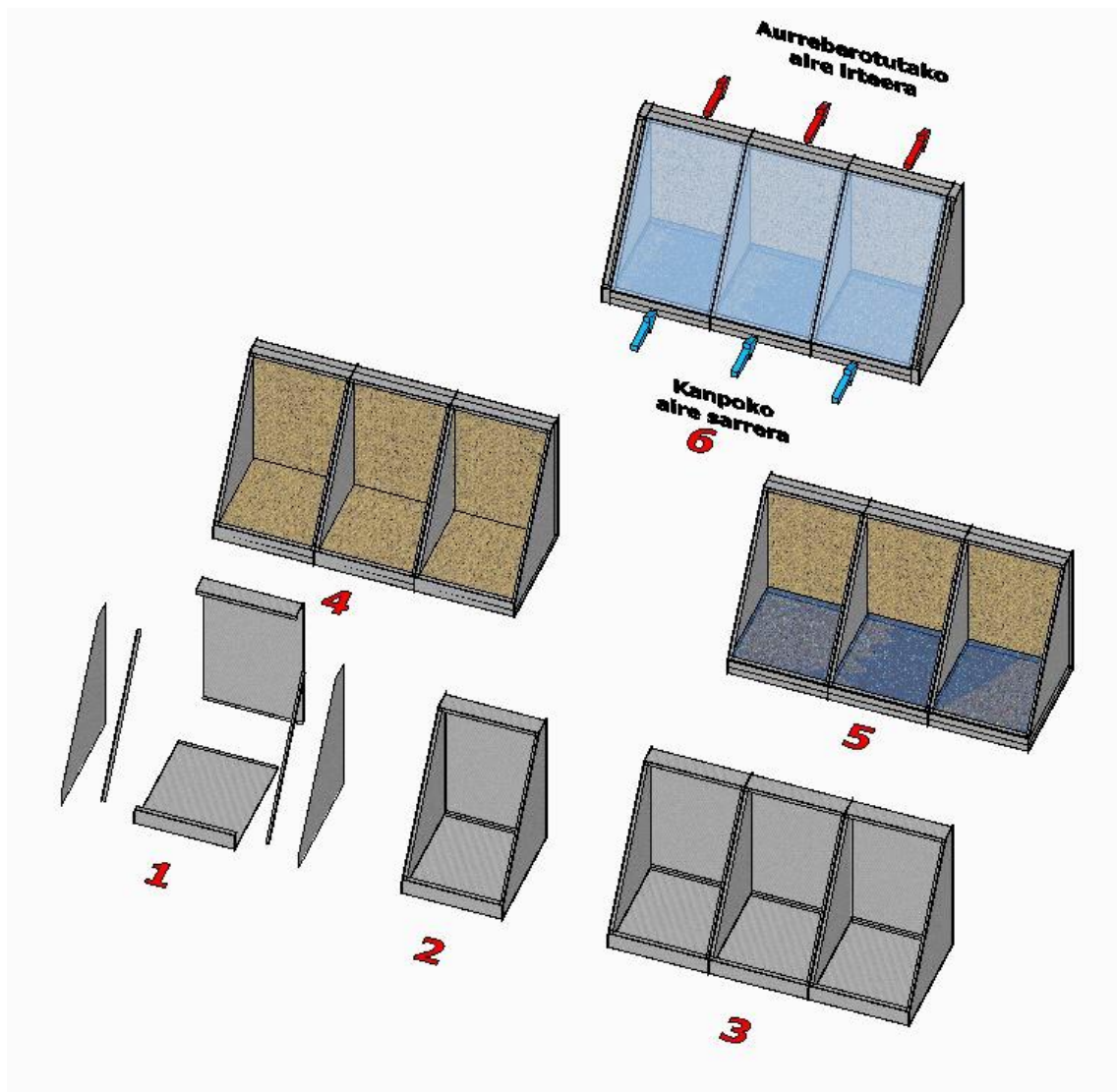
Bero-berreskurapena duten aireztapen-sistemak instalatzeak eraikinetan energia asko aurrezteko suposa dezake. Gainera, diseinatutako berotegiekin konbinatzen bada, aurrezkiak are handiagoak izan daitezke. Bero-berreskuragailua eraikinetan kutsatutako kanporatze-areia eta berotegiko sarrera-arearen artean jartzen denean, airea aurreberotuta sartzen da negutegira. Berotegi-efektuari esker, oraindik gehiago berotzen da eraikinetan sartu aurretik, eta horrek eraikinetan berokuntzan energia gehiago aurrezteko eragiten du. Bero-berreskuragailuan aurreberotutako airea hoztu ez dadin, airea berotegitik eguneko orduetan soilik pasatuko da. Aurretik egindako simulazioen arabera, eguzki-erradiazioa desagertzean, berreskuragailutik datorren airea, berotegian gehiago berotu beharrean, hoztu egingo litzateke gauez. Beraz, gaueko orduetan, beroa berreskuratzeko unitatetik igaro ondoren, airea eraikinetan zuzenean sartzen da, bypass baten bitartez, berotegitik pasatu gabe. Bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema batekin konbinatzen denean, berotegiak duen funtzionamenduaren eskema erakusten da 2.4 Irudian.



2.4 Irudia. Berotegiaren funtzionamendu-eskema, moduluak seriean instalatzen direnean eta bero-berreskurapena duen aireztapen-sistemarekin konbinatzen denean.

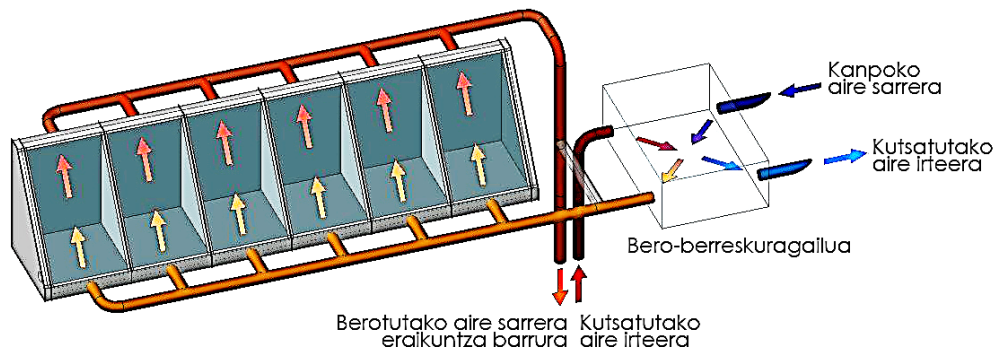
2.1.2. PARALELOAN INSTALATUTAKO MODULUAK

2.5 Irudian ikus daitekeenez, moduluak paraleloan jartzen direnean, berotegia eraikitzeko prozesua seriean egiten denaren oso antzekoa da. Kasu honetan, konpartimentu estankoak egiten dira, eta, horretarako, xaflazko itxitura bat jartzen da moduluen artean, bakoitzaren airea besteenarekin ez nahasteko. Moduluak osatu ondoren (2. urratsa), elkarren artean lotzen dira berotegi handiagoa sortzeko (3. urratsa), isolatu egiten dira (4. urratsa), inertzia ematen zaie (5. urratsa) eta, azkenik, beira jartzen zaie (6. urratsa).

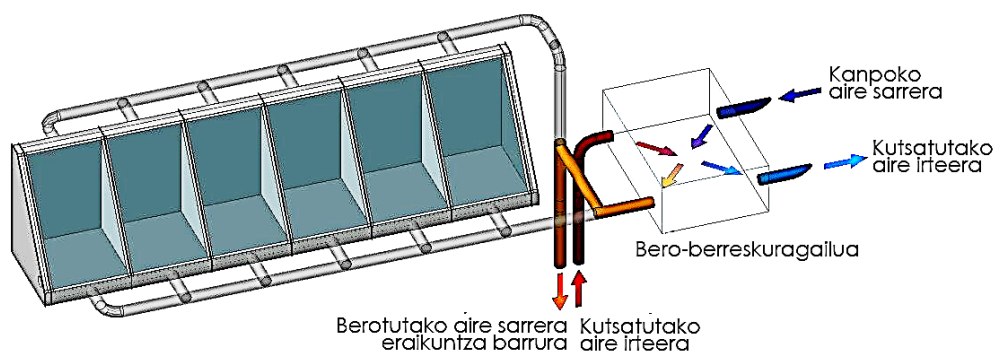


2.5 Irudia. Paraleloan instalatutako berotegiaren eraikuntza-prozesuaren eskema.

Moduluak paraleloan jartzen direnean berotegiaren funtzionamendu eskema agertzen da 2.6 Irudian. Aire-emari guztia berotegiaren mutur batean sartu eta modulu guztietatik pasatu ondoren kontrako itxuratik atera beharrean, airea modulu bakoitzean berotu egiten da. Kanpoko airea konpartimentu bakoitzaren beheko aldetik sartzen da, aurreberotzeko eta goiko aldetik ateratzeko hodi komun batera,



EGUNEZKO FUNZIONAMENDUA
9:00etatik 19:00etara



GAUEZKO FUNZIONAMENDUA (berotegirik gabe)
19:00etatik 9:00etara

2.7 Irudia. Berotegiaren funtzionamendu-eskema, moduluak seriean instalatzen direnean eta bero-berreskurapena duen aireztapen-sistemarekin konbinatzen denean.

2.1.3. BEIRAREN INKLINAZIO-ANGELU OPTIMOAREN ANALISIA

Berotegiaren diseinuan, bere azken forma definitzeko, beiratearen angelu egokia ezartzea alderdi garrantzitsua da. Zenbat eta perpendikularrago heldu beirara eguzki-erradiazioa, orduan eta handiagoak izango dira eguzki-irabaziak berotegian, baina, eguzkiaren posizioa eta inklinazioa urtean zehar lekuaren latitudearen arabera aldatzen denez, beiratearen angelu optimoa aldatu egingo da bere kokapenaren arabera. Era berean, tokiko klimak ere eragina du jasotako eguzki erradiazioan. Beraz, azterketa sakonagoa egin behar da angelu optimoa aukeratzekoan.

2.1.3.1. ERABILITAKO METODOLOGIA

EKtk, neguko klimaren larritasunaren arabera, bost klima-zona bereizten ditu estatu espainiarrean (A, B, C, D, E, negu leunenetik hotzenera). Klimak zer-nolako eragina duen aztertzeko, klima-zona bakoitzeko hiririk populatuena aukeratu da analisisian. Honako hiri hauek aukeratu dira: Malaga (A zona), Valentzia (B zona), Bartzelona (C zona), Madril (D zona) eta Burgos (E zona). 2.1 Taulan, aukeratutako hirien ezaugarri klimatiko nagusiak erakusten dira: berokuntza gradu-egunak (aurrerantzean GE_{bero}), eguzki erradiazioa (horizontal globala, zuzeneko normala eta horizontal difusoa) eta

batez besteko tenperatura. 18 °C aukeratu dira gradu-egunak kalkulatzeko oinarriko tenperatura gisa. Hiri bakoitzaren latitudea ere erakusten da taulan.

2.1 Taula. Aukeratutako hirien ezaugarri klimatikoak.

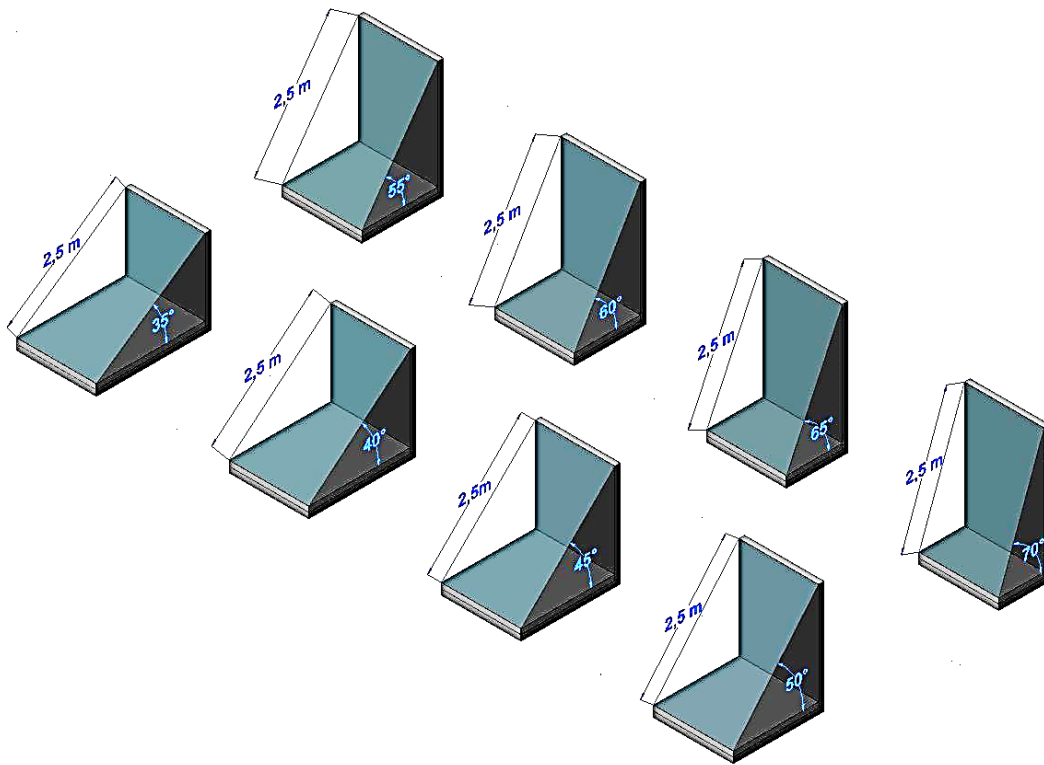
| Hiria | | Malaga | Valentzia | Bartzelona | Madril | Burgos |
|-----------------------------|------------------------------|---------|-----------|------------|---------|---------|
| Latitudea | | 36° 40' | 39° 30' | 41° 16' | 40° 27' | 42° 21' |
| | EKT | A3 | B3 | C2 | D3 | E1 |
| Sailkapen klimatikoa | Köppen Geiger | Csa | Csa | Csa | Csa | Cfb |
| | Urritik Maiatzera* | 796 | 1051 | 1418 | 1936 | 2812 |
| GE_{bero_18} | Urte osoa | 796 | 1052 | 1419 | 1965 | 2990 |
| | Horizontal globala | | | | | |
| | Urritik Maiatzera* | 3934 | 3574 | 3210 | 3452 | 2814 |
| | Urte osoa | 4828 | 4464 | 3995 | 4420 | 3916 |
| | Zuzeneko normala | | | | | |
| | Urritik Maiatzera* | 4637 | 3687 | 2975 | 3467 | 2864 |
| | Urte osoa | 5436 | 4348 | 3449 | 4217 | 4102 |
| | Horizontal difusoa | | | | | |
| | Urritik Maiatzera* | 1389 | 1540 | 1583 | 1537 | 1325 |
| | Urte osoa | 1531 | 1747 | 1862 | 1779 | 1484 |
| | Batez besteko T° [°C] | | | | | |
| | Urritik Maiatzera* | 15,04 | 13,89 | 12,26 | 10,08 | 6,38 |
| | Urte osoa | 17,96 | 17,26 | 15,68 | 14,29 | 9,88 |

Köppen-Geiger sailkapena [81], AEMETen Klima Iberikoaren Atlasaren [82] arabera.

GE_{bero} datuak, eguzki-erradiazioa eta batez besteko tenperatura, Energy Plus Weather Datatik ateratakoak.

*EKTren berokuntza-aldia

Hiri bakoitzean, beiraren inklinazio-maila desberdinekin simulatu da berotegia. Emaitzak alderatu ahal izateko, itxituraren ezaugarri berdinak eta beira azalera berdina mantendu dira. Inklinazio bakoitzarekin lortutako eguzki-irabaziak aztertu dira, horizontalarekiko 35°-tik hasita 70°-raino, 5°-ko tarteetan (ikus 2.8 Irudia). Simulazio horiek egiteko, EnergyPlus kalkulu-motor gisa erabiltzen duen Design Builder programa erabili da. Ikusi dugunez, programaren sarrerako datuek latitudea, longitudea, altuera eta ordu-eremua barne hartzen dituzte, eta horrek urteko edozein egunetan eguzkiaren posizioa kalkulatzeko ahalbidetzen du. Gainera, programak, datu meteorologiko gisa airearen tenperatura, hezetasun erlatiboa, presio atmosferikoa, eguzki-erradiazio zuzen eta difusoa, hodeiak eta haizearen norabidea eta abiadura erabiltzen ditu. Beraz, beiren inklinazio bakoitzarekin berotegian lortzen diren eguzki-irabaziak kalkulatzeko gai da EnergyPlus.



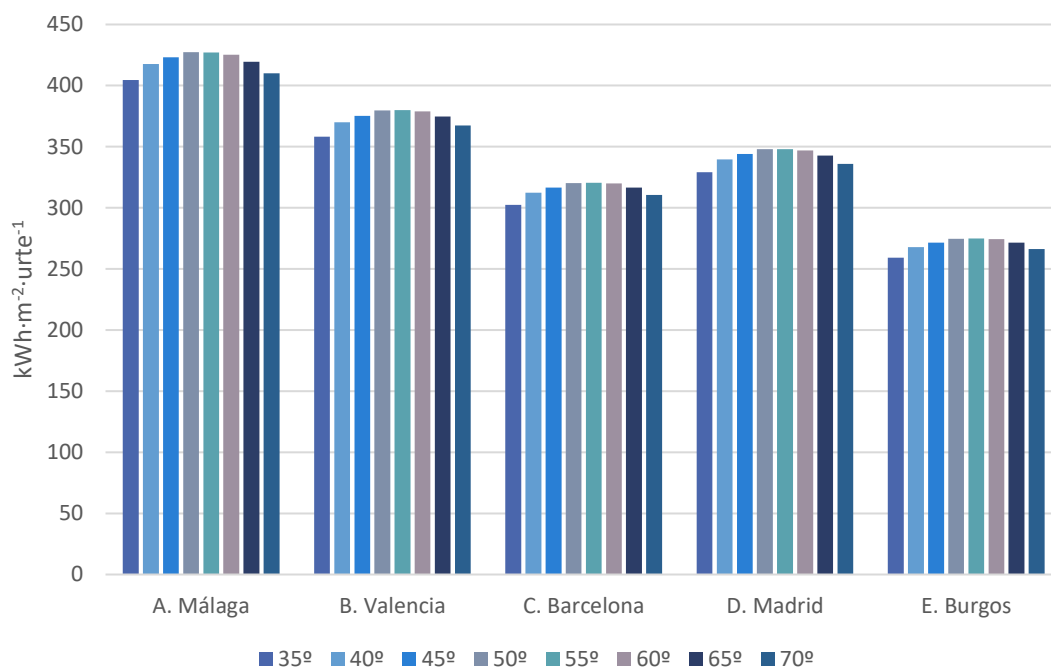
2.8 Irudia. Aztertutako inklinazio-angeluak

Simulazioak, berokuntza-aldian baino ez dira egin, hori baita eraikina berotzeko beharra dagoen urteko unea, eta, beraz, ahalik eta eguzki-erradiazio gehien jaso nahi denean. Urteko gainerako sasoietan ez da aireztapen-areia aurreberotu beharrik izango. Are gehiago, eraikina gainberotzea saihesteko, berotegia estali edo aireztapen-sistematik isolatzeko bypass bidezko sistema bat jarri behar da.

Analisia egiteko, emisibitate baxuko beira bikoitza aukeratu da, $1,4 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ -eko transmitantzia termikoarekin eta 0,592 eguzki-bero irabazien koefizientearekin (Solar heat gain coefficient, SHGC aurrerantzean).

2.1.3.2. ANGELU OPTIMOAREN SIMULAZIO EMAITZAK

2.9 Irudian, hiri bakoitzean inklinazio-angelu desberdinekin beirazko metro karratuko lortutako eguzki-irabaziak erakusten dira.



2.9 Irudia. Beirazko metro karratu bakoitzeko eguzki-irabaziak inklinazio-angeluaren arabera, hautatutako hiri bakoitzean.

Logikoa denez, emaitzek erakusten dute kokaleku bakoitzeko eguzki-erradiazioak eragin handia duela berotegiaren eguzki-irabazietan. Lehenik eta behin, azpimarratu behar da Madrilek, klima-zona hotzago batean egon arren, Bartzelonak baino eguzki-erradiazio gehiago jasotzen duela, eta, beraz, eguzki-irabazi handiagoak dituela. 2.2 Taulak inklinazio hoberenarekiko angelu desberdinen eguzki-irabazien ehunekoa erakusten du.

2.2 Taula. Inklinazio optimoarekiko beiraren angelu desberdinen eguzki-irabazien ehunekoa.

| Angelua | Eguzki-irabaziak % | | | | |
|---------|--------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | A. Malaga | B. Valentzia | C. Bartzelona | D. Madril | E. Burgos |
| 35° | 94,65 | 94,26 | 94,38 | 94,57 | 94,28 |
| 40° | 97,70 | 97,38 | 97,43 | 97,61 | 97,38 |
| 45° | 98,97 | 98,76 | 98,77 | 98,91 | 98,74 |
| 50° | 100,00 | 99,93 | 99,92 | 100,00 | 99,91 |
| 55° | 99,90 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 60° | 99,46 | 99,76 | 99,80 | 99,70 | 99,80 |
| 65° | 98,14 | 98,65 | 98,75 | 98,53 | 98,74 |
| 70° | 95,94 | 96,69 | 96,87 | 96,52 | 96,84 |

Malagan izan ezik, hiri guztietan 55°-ko inklinazioarekin lortzen dira emaitzarik onenak. Malagan, eguzki-irabazi handienak 50°-rekin lortzen dira, baina 55°-rekin lortutakoekiko aldea baztergarritzat jotzen da, % 0,10era baino ez baita iristen. Ikus daitekeenez, inklinazio angelu optimotik urrundu ahala, aldeak gero eta handiagoak dira. Hala ere,

aztertutako angeluen artean garrantzi gutxikoak direla ikus daiteke: angelu egokienaren eta desegokienaren bidez lortutako eguzki-irabazien arteko diferentzia ez da % 6ra iristen. Angelu optimoaren eta segituan datozen angeluen irabaziak konparatuz gero, aldeak minimoak dira, handiena % 1 ingurukoak izanik.

Lortutako emaitzak ikusita, industrializazioaren eta estandarizazioaren mesedetan, 55°-ko beira angelua ezar liteke Espainiako estatuarentzat. Nolanahi ere, berotegiak latitude oso desberdinetan eta muturreko klimetan eraikiz gero, alderdi hori egiaztatu beharko litzateke. Emaitzek erakusten dute ere, ez dagoela beiraren inklinazio desberdinen artean hainbesteko eguzki-irabazien diferentziarik eta, beraz, ez dela uste zen bezain faktore garrantzitsua.

2.2. ERAIKITAKO PROTOTIPOA

2.10 Irudian ikus daitekeenez, berotegi modularra diseinatu ondoren, modulu baten prototipoa eraiki zen Euskal Herriko Unibertsitateko (UPV/EHU) Arkitektura Goi Eskola Teknikoaren terrazan. Prototipo horrek, bere portaera baldintza errealetan aztertzeko eta erabilitako simulazio energetikoaren eredia balioztatzeko balio izan du.



2.10 Irudia. Eraikitako prototipoa.

2.2.1. PROTOTIPOAREN ERAIKUNTZA

Prototipoa eguzki-erradiazio handiena jasotzen zuen terrazako tokian kokatu zen, beira hegoalderantz begira orientatu zelarik. Beira, horizontalarekiko 55°-ko inklinazioarekin jarri zen; izan ere, 2.1.3 atalean aztertu den bezala, angelu horrekin lortzen dira eguzki-irabazi handienak.

2.11 Irudiak modulua eraikitzeko egin ziren urratsak erakusten ditu. Lehenik eta behin, xafla tolestuzko piezak elkarri torlojuz lotuz, egitura eratu zen. Modulua bere lekuan jarri eta hegoalderantz orientatu eta gero, isolamendua jarri zen 6 cm-ko lodiera zuten estrusionatutako poliestireno bi panelez osatua, $0,034 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ -eko transmitantzia termikoarekin. Isolamendua beltzez margotu zen absorbitibitatea handitzeko. Azkenik, beira jarri zen, eta, horretarako, $1,4 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ -eko transmitantzia termikoa (U_g) zuen eta $0,592$ eguzki-bero irabazien koefizientea (SHGC) zuen emisibitate baxuko beira bikoitza aukeratu zen, argoiz betetako ganberarekin.



2.11 Irudia. Prototipoaren eraikuntza-prozesuaren argazkiak.

2.12 Irudiaren ezkerreko argazkiak erakusten duen bezala, poliestireno estrusionatuak ez zituen jasan berotegian lortutako tenperatura altuak, eta, horren orde, 8 cm-ko lodiera zuen kortxozko aglomeratu iluna jarri zen, $0,037 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ transmitantzia termikoko koefizientearekin. Eskuineko argazkian ikusten den bigarren isolamendu horrek portaera egokia izan zuen, eta arazorik gabe jasan zituen emandako tenperatura altuak.



2.12 Irudia. Prototipoan erabilitako isolamenduen irudia.

Berotegiaren azterketa inertziarik gabe egin ondoren, ur-deposituak gehitu zitaizkion bero-metagailu gisa (2.13 Irudia). Berotegiko zoruaren isolamenduaren gainean litro bateko edukiera zuten 75 unitate jarri ziren guztira. Eguzki-erradiazioaren xurgapena handitzeko, ilunez margotu ziren



2.13 Irudia. Inertzia termiko gehiago lortzeko prototipoan jarritako ur-deposituak.

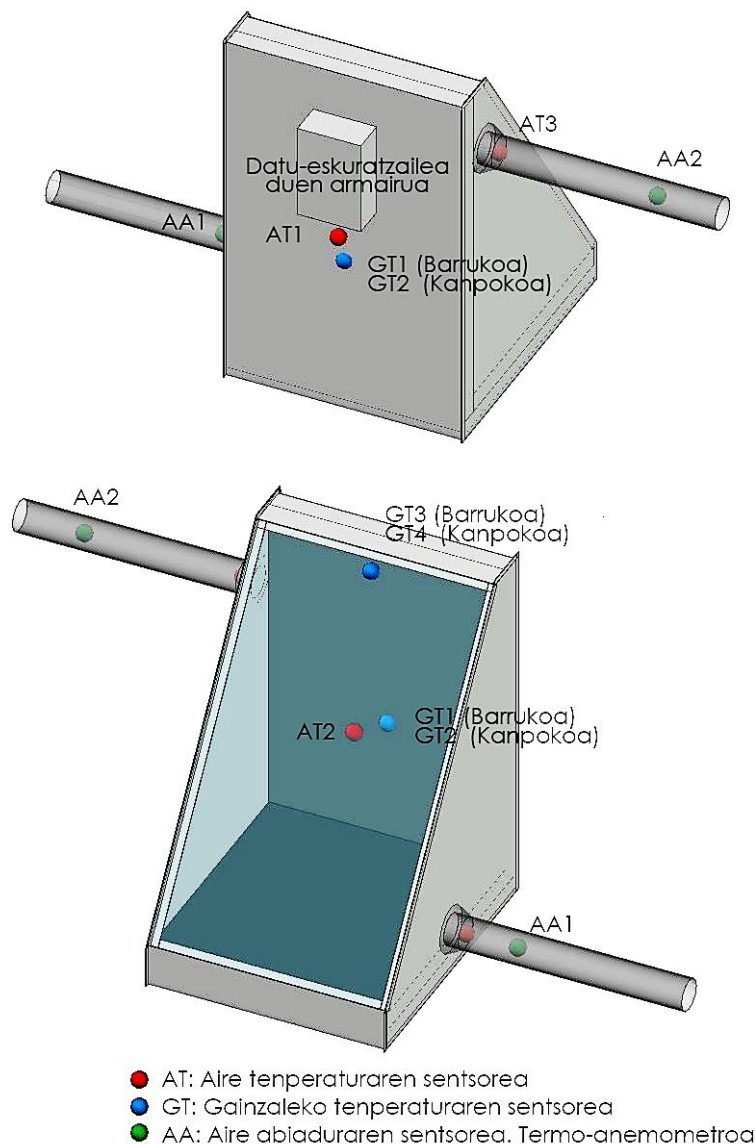
Baldintza errealetan bezala jarduteko helburuarekin, prototipoari $180 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ inguruko emaria zuen haizagailu helikoidala akoplatu zitzaion, honako ezaugarri hauekin: atzera ezineko uhatea, bola-errodamenduko 230V-50Hz motorra, IP45, II. klasekoa eta babes termikoaekin. 2.14 Irudiak erakusten duen bezala, kanpoko airea haizagailu horren bidez sartzen zen moduluaren albo baten behealdetik, eta, behin berotu ondoren, itxituraren beste aldearen goialdean zegoen saretotik ateratzen zen. Horrela, ohiko funtzionamenduan izango zuen portaera simulatzea lortu zen, non sarrera-airea berotegian aurreberotuko zen, aireztapen sistema mekanikoaren bidez eraikineko geletan sartu aurretik. Haizagailuaren emaria erregulatzeko, tentsio-erreguladore bat instalatu zen.



2.14 Irudia. Airearen sarrera eta irteera erakusten dituen prototipoaren argazkia.

2.2.2. PROTOTIPOAREN MONITORIZAZIOA

Berotegiaren portaera termikoa monitorizatzeko helburuarekin, sentsoreak eta datu-eskuratzaile bat jarri ziren prototipoan neurketak erregistratzeko. 2.15 Irudian prototipoan jarritako sentsoreen kokapena agertzen da.



2.15 Irudia. Instalaturako sentsoreen kokapena.

Airearen tenperatura lau puntutan neurtu zen: airearen sarreran, irteeran, barruko espazioko puntu batean eta kanpoaldean. Itxituraren erresistentzia termikoa aztertzeko, iparraldeko fatxadaren eta beiratearen bi aldeetan gainzaleko tenperatura-sentsoreak instalatu ziren. Era berean, airearen abiadura zehazteko eta, horrela, berotegian sartzen zen emaria zenbateteko, hari beroko bi termo-anemometro jarri ziren, bata airearen sarreran eta bestea irteeran. Turbulentziak saihesteko eta abiadura horiek behar bezala neurtu ahal izateko, termo-anemometroak 200 mm-ko diametroa eta 1.500 mm-ko luzera zuten hodian barruan jarri ziren. Bestalde, une jakin batzuetan, airearen emaria zehaztasunez erregistratu zen emari-neurgailu elektronikoko bat erabiliz,

KIMO DMB610C modelokoa. 2.16 Irudian, erabilitako sentsoreak eta neurgailuak erakusten dira, eta 2.3 Taulan, ezaugarri nagusiak laburbiltzen dira.



2.16 Irudia. Erabilitako sentsoreak.

Ezkerretik eskuinera: aire-tenperaturaren sentsorea (AT); gainazal-tenperaturaren sentsorea (GT); termoanemometroa (AA) eta KIMO DMB610C emari-neurgailu elektronikoa.

2.3 Taula. Erabilitako sentsoreen ezaugarriak.

| Sentsoreak | Ezaugarriak |
|-------------------------------------|--|
| Aire-tenperatura sentsorea (AT) | Pt100, 1/3 klasea, 4 hari Altzairu herdoilgaitzeko zorroa. AISI 316, Ø3mm, luzera 50 mm Lan-tartea: -75 °C-tik 250 °C-ra Zuzeneko irteera krinpatua 4 x 0,5 mm-ko hari anitzeko kablea, PFArekin isolatua. |
| Gainazal-tenperatura sentsorea (GT) | Pt100 malgu itsasgarria Silikonazko inguratzailea 1/3 klaseko elementua, 4 hari PFA duen kable isolatua Neurriak: 30x14x3,4 mm |
| Aire-abiadura sentsorea (AA) | Hari beroko termo-anemometroak Neurketa-tartea, 0-5 m·s ⁻¹ -etik hasita Tenperatura-tartea: -20 ... 60 °C / -4 ... 140 °F |

Datu guztiak Datalogger SenNet DL170 modeloko datu-eskuratzaile baten bidez erregistratu ziren. Datu-eskuratzaile horri, alde batetik, lau sarrera zituzten bi RTD/RS485 MODBUS modulu akoplatu zitzaizkion, non tenperatura-sentsoreak konektatzen baitziren. Bestetik, ADAM-4017 modulu bat akoplatu zitzaion, non termo-anemometroak

konektatzen baitziren. Moduluaren atzeko aldean armairu bat jarri zen, lortutako datuak erregistratzeko aparatu guztiak gordetzeko, 2.17 Irudian agertzen den bezala.



2.17 Irudia. Lortutako datuak erregistratzeko aparatuak gordetzeko armairua.

1. ADAM-4017 modulua; 2. Elikatze-iturria; 3. Datalogger SenNet DL170; 4. RTD/RS485 MODBUS modulua, 4 sarrerarekin eta 5. haizagailuaren abiadura-erregulagailua.

Eguzki-sistema horien portaera hain garrantzitsuak diren meteorologia-datuak AEMETen (Estatuko Meteorologia Agentzia) Igeldoko estazioetik lortu ziren [84]. Estazio hori Donostiako Aita Orkolaga pasealekuko 44an dago, prototipoaren kokalekutik 2 km ingurura. Datu horiek, era berean, Eusko Jaurlaritzako Ingurumen, Lurralde Plangintza eta Etxebizitza Sailak Donostiako Andrestegi kaleko 2. zenbakian duen estazio meteorologikoarekin alderatu ziren, kokalekutik 350 m-ra lerro zuzenean dagoena. Honako datu meteorologiko hauek erabili ziren: airearen tenperatura, hezetasun erlatiboa, eguzki-erradiazioa (zuzena, difusoa eta globala), presio atmosferikoa, hodeitza eta haizearen norabidea eta abiadura. Kanpoko airearen tenperatura prototipoaren kanpoaldean jarritako sentsoreak erregistratutako tenperaturetatik hartu zen.

2.2.3. PROTOTIPOAN SARTUTAKO AIRE-EMARIAREN AZTERKETA

2.2.3.1. ERABILITAKO METODOLOGIA

Haizagailuak berotegian sartzen zuen aire-emia zehazteko, emari-neurgailu elektronikoarekin 20 neurketa-txanda egin ziren, bai airearen irteeran, bai sarreran. Neurketak baldintza desberdinetan egin zitezten, egun eta ordu desberdinetan gauzatu

ziren. Emariak egonkorak zirela egiaztatzeko, desbideratze tipikoa (σ) eta aldakuntza-koefizientea (Coeficiente de variación, aurrerantzean CV) kalkulatu ziren. Emari-neurgailua etengabe instalatuta edukitzea ezinezkoa denez, emaria epe luzeetan ere aldaketa handirik gabe mantentzen zela egiaztatzeko, termo-anemometroetan erregistratutako abiadurak aztertu ziren. Astebeteko hiru epe aztertu ziren, non desbideratze tipikoa eta erregistratutako abiaduren aldakuntza-koefizientea kalkulatu ziren. Abiadura egonkorra baldin bada, emaria ere halakoa izango da. Beraz, aire-abiadura aztertuz, berotegian sartzen zen emariak dispersio baxua aldi luzeetan bazuen, egiaztatu ahal izan zen ere.

2.2.3.2. EMAITZAK

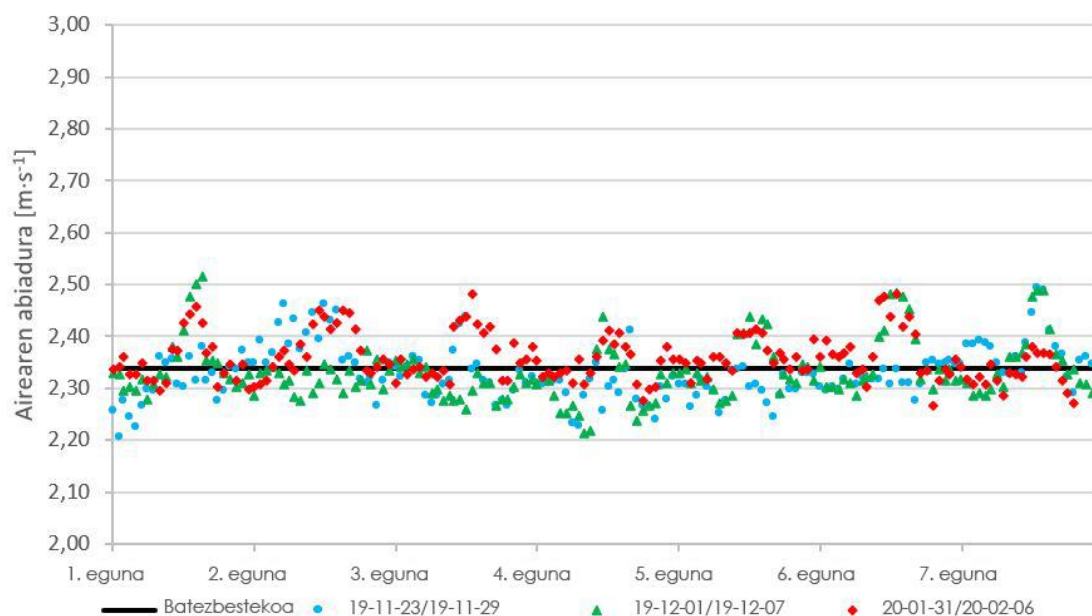
2.4 taulak, emari-neurgailu elektronikoaren bidez lortutako emaitzak erakusten ditu, aire sarreran eta irteeran egindako neurketa-txandetan. Batezbestekoa, bariantza, desbideratze tipikoa eta aldakuntza-koefizientea ere erakusten dira.

2.4 Taula. Berotegiaren aire-emaria.

| Neurketa-zk | Sarreran | | | Irteeran | | |
|---|------------|-------------|---|------------|-------------|---|
| | Data | Ordua | Emaria [m ³ h ⁻¹] | Data | Ordua | Emaria [m ³ h ⁻¹] |
| 1 | 2019/10/29 | 15:45-15:50 | 133,50 | 2019/10/26 | 8:48-8:53 | 132,30 |
| 2 | 2019/10/29 | 15:59-16:04 | 128,80 | 2019/10/26 | 16:45-16:50 | 131,80 |
| 3 | 2019/11/15 | 15:14-15:19 | 137,50 | 2019/12/03 | 15:05-15:10 | 136,30 |
| 4 | 2019/11/12 | 15:14-15:19 | 131,30 | 2019/12/03 | 15:22-15:27 | 133,20 |
| 5 | 2019/12/10 | 15:30-15:35 | 132,00 | 2019/12/03 | 15:46-15:51 | 134,60 |
| 6 | 2021/01/11 | 10:40-10:45 | 120,40 | 2021/01/11 | 10:22-10:27 | 121,20 |
| 7 | 2021/01/11 | 10:49-10:54 | 126,30 | 2021/01/11 | 10:31-10:36 | 124,30 |
| 8 | 2021/01/11 | 11:10-11:15 | 124,20 | 2021/01/11 | 10:58-11:03 | 129,00 |
| 9 | 2021/01/11 | 11:27-11:32 | 115,80 | 2021/01/11 | 11:19-11:24 | 129,10 |
| 10 | 2021/01/11 | 11:45-11:50 | 116,00 | 2021/01/11 | 11:36-11:41 | 129,20 |
| 11 | 2021/02/25 | 10:48-10:53 | 133,70 | 2021/02/25 | 11:01-11:06 | 128,60 |
| 12 | 2021/02/25 | 11:10-11:15 | 129,20 | 2021/02/25 | 11:21-11:26 | 131,20 |
| 13 | 2021/02/25 | 11:31-11:36 | 119,40 | 2021/02/25 | 11:40-11:45 | 129,90 |
| 14 | 2021/02/25 | 11:48-11:53 | 127,20 | 2021/02/25 | 11:56-12:01 | 134,60 |
| 15 | 2021/02/25 | 12:04-12:09 | 139,90 | 2021/02/25 | 12:14-12:19 | 140,40 |
| 16 | 2021/03/02 | 12:24-12:29 | 121,80 | 2021/03/02 | 12:17-12:22 | 132,40 |
| 17 | 2021/03/04 | 11:04-11:09 | 130,70 | 2021/03/02 | 12:33-12:38 | 140,10 |
| 18 | 2021/03/04 | 11:10-11:15 | 125,70 | 2021/03/04 | 11:19-11:24 | 134,60 |
| 19 | 2021/03/04 | 11:27-11:32 | 126,00 | 2021/03/04 | 11:37-11:42 | 135,20 |
| 20 | 2021/03/04 | 11:45-11:50 | 114,20 | 2021/03/04 | 11:54-11:59 | 132,20 |
| Batezbestekoa | | | 126,68 | | | 132,01 |
| Desbideratze tipikoa (σ) | | | 7,17 | | | 4,62 |
| Bariantza (σ^2) | | | 51,41 | | | 21,30 |
| Aldakuntza-koefizientea CV | | | 5,66% | | | 3,50% |

Emaitzen arabera, irteerako emariaren batezbestekoa sarrerakoa baino handixeagoa izan zen. Irteeran batez besteko emaria $132,01 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ -ekoa izan zen, eta sarreran $126,68 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ -ekoa. Halaber, bi kasuetan dispertsioa txikia izan bazen ere, irteeran txikiagoa izan zela ikus daiteke. Irteeran, desbideratze tipikoa $4,62 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ -ekoa izan zen, eta aldakuntza-koefizientea % 3,50-ekoa; sarreran, berriz, $7,17 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ -ekoa eta % 5,66-koa, hurrenez hurren. Irteerako hodia haizetik babestuago dago, eta, ondorioz, datuen dispertsioa txikiagoa da. Horregatik, irteerako datuak fidagarriagoak dira, eta, ondorioz, emaria kalkulatzeko datu horiek baino ez erabiltzea erabaki da.

Berotegiaren irteerako aire-abiadurak denboran zehar konstante mantentzen ziren egiaztatzeko, astebeteko hiru epe aztertu ziren: 2019ko azaroaren 23tik 29ra, 2019ko abenduaren 1etik 7ra eta 2020ko urtarrilaren 31tik otsailaren 6ra. 2.18 Irudian, epe bakoitzean berotegitik irtetean erregistratutako orduko batez besteko abiadura-balio guztiak erakusten dira, baita batez besteko balio totala ere. Era berean, 2.5 taulan termoanemometroek minutuz minutu erregistratutako datuen batez besteko abiadura, bariantza, desbideratze tipikoa eta aldakuntza-koefizientea erakusten dira, hirualdi desberdinetan.



2.18 Irudia. Aztertutako hiru epeetan erregistratutako aire-abiaduren orduko batezbestekoak.

2.5 Taula. Minutuz minutu lortutako datuen batez besteko abiadura, bariantza, desbideratze tipikoa eta aldakuntza-koefizientea.

| | 19-11-23/19-11-29 | 19-12-01/19-12-07 | 20-01-31/20-02-06 | GUZTIRA |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------|
| Batez besteko abiadura | 2,33 | 2,33 | 2,36 | 2,34 |
| Bariantza | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Desbideratze tipikoa | 0,14 | 0,13 | 0,13 | 0,14 |
| Aldakuntza koefizientea | % 6,13 | % 5,55 | % 5,57 | % 5,78 |

Lehenengo eta bigarren periodoetako batez besteko abiaduraren balioa $2,33 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ izan zen, eta hirugarrenekoa $2,36 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, hiru epeetako batezbestekoa $2,34 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ -ekoa izanik. Beraz, batezbestekoen arteko aldeak oso txikiak izan ziren. Emaitez ere erakusten dute datuen dispersioa baxua izan zela; horrek esan nahi du aztertutako aldietan abiadurak oso egonkorak izan zirela, eta, beraz, haizagailuak sartutako aire-emia ere oso egonkorra izan zela.

Erregistratutako datuekin, berotegian batez besteko $132 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ -eko emaria sartzen zela ontzat har daiteke, emari-neurgailu elektronikoaren bidez egindako neurketen batezbestekoa baita. Hurbilketa horren errorea minimoa izango da, egiaztatu ahal izan baita bai unean-unean neurtutako emariak bai aldi luzeagoetan neurtutako abiadurak oso egonkorak izan direla.

2.2.4. PROTOTIPOAREN PORTAERA TERMIKOA

2.2.4.1. ERABILITAKO METODOLOGIA

Eraikitako moduluaren portaeraren analisia, baldintza meteorologiko desberdineko astebeteko zortzi aldietan egin da. Bere portaera urteko hainbat sasotan aztertu da, kanpoko tenperatura eta eguzki-erradiazio desberdinekin. 2.6 Taulan agertzen dira hautatutako aldiak eta haien ezaugarriak. Aldi horiek simulazio-eredua baliozkotzeko ere erabili dira.

2.6 Taula. Neurketa-aldiak

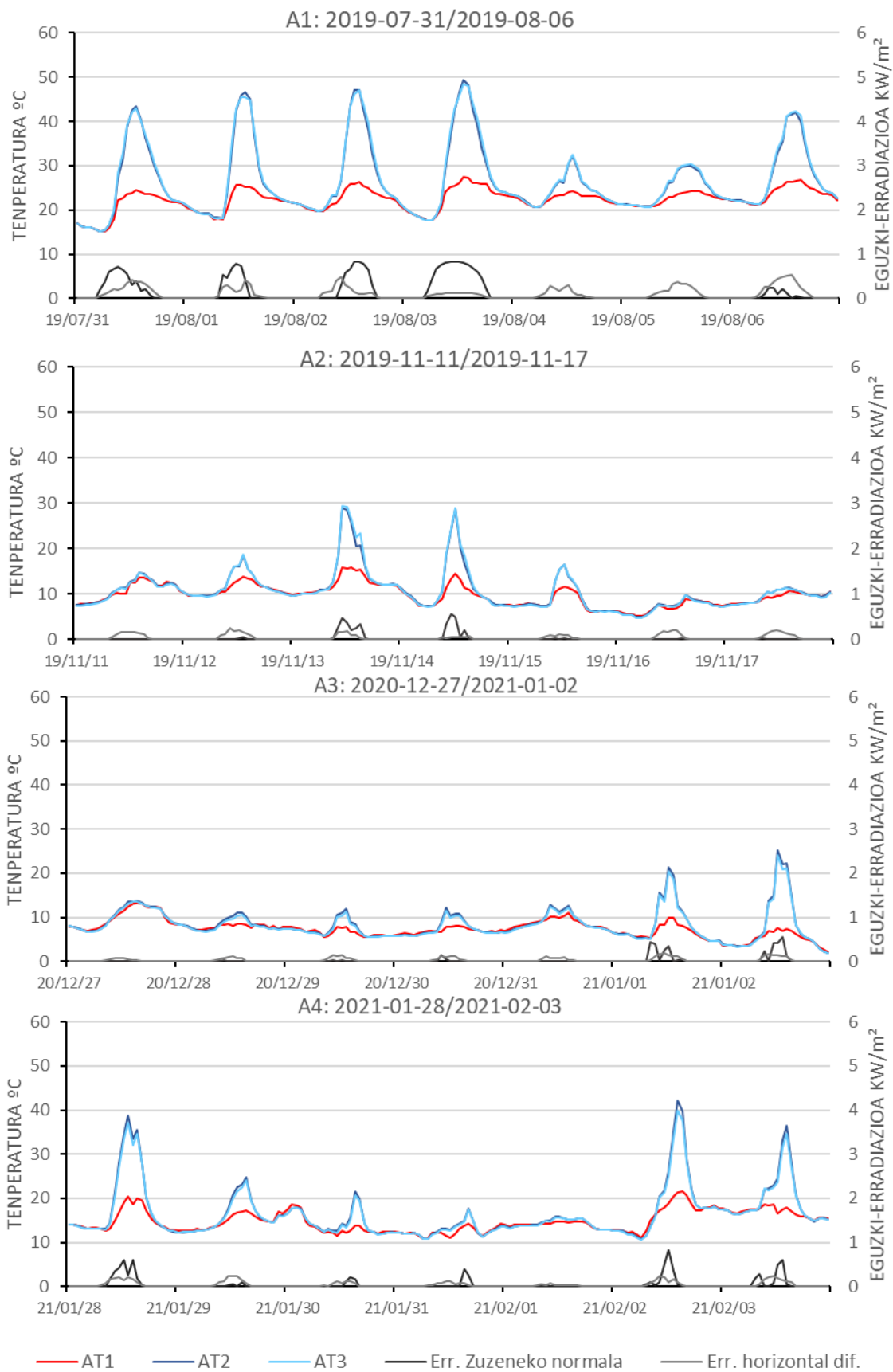
| Aldia | Data | Ezaugarriak | | |
|-------|-------------------------|-------------|----------|---------------------------------|
| | | Inertzia | Urtaroa | Berokuntza-aldia EKTren arabera |
| A1 | 2019-07-31 / 2019-08-06 | Ez | Uda | Ez |
| A2 | 2019-11-11/2019-11-17 | Ez | Udazkena | Bai |
| A3 | 2020-12-27/2021-01-02 | Ez | Negua | Bai |
| A4 | 2021-01-28/2021-02-03 | Ez | Negua | Bai |
| A5 | 2020-02-05 / 2020-02-11 | Bai | Negua | Bai |
| A6 | 2020-08-10/2020-08-16 | Bai | Uda | Ez |
| A7 | 2020-11-15/2020-11-21 | Bai | Udazkena | Bai |
| A8 | 2021-02-12/2021-02-18 | Bai | Negua | Bai |

Prototipoaren portaera termikoa aztertzeko, 2.15 Irudian agertzen diren sentsoreetan erregistratutako tenperaturak konparatu dira. Aire-tenperaturen azterketa konparatiboa zortzi neurketa-aldietan egin da, kanpoko aire-tenperatura (AT1 sentsorea), berotegiaren barrukoa (AT2 sentsorea) eta irteeran lortutakoa (AT3 sentsorea) alderatuz. Moduluaren itxituraren gainazal-tenperaturak ere aztertu dira: iparraldeko fatxadako barnealdeko (GT1 sentsorea) eta kanpoaldeko (GT2 sentsorea) tenperaturak analizatu dira, baita beiraren barnealdeko (GT3 sentsorea) eta kanpoaldeko (GT4 sentsorea) tenperaturak ere.

2.2.4.2. EMAITZAK

AIRE-TENPERATURA

2.19 Irudian, inertziarik gabeko aldietan (A1, A2, A3 eta A4 aldietan), kanpoaldean, prototipoaren barrualdean eta airearen irteeran lortutako tenperaturak agertzen dira. Zuzeneko eguzki-erradiazio normala eta horizontal difusoa ere erakusten dira, parametro hauek duten eragina aztertzeko.



2.19 Irudia. Airearen temperatura A1, A2, A3 eta A4 aldietan.

AT1, kanpoko temperatura; AT2, barruko temperatura; AT3, Temperatura berotegitik irtetean.

Emaitzek erakusten dutenez, berotegi barruko tenperaturaren (AT2 sentsorea) eta irteerako airearen tenperaturaren (AT3 sentsorea) arteko aldea oso txikia da. Egun bakoitzeko baldintza meteorologikoen arabera, tenperatura hauen eta kanpoaldearen tenperaturaren (AT1 sentsorea) arteko diferentzia, aldiz, benetan esanguratsua izan daiteke. Eguzki-erradiazio handiko egunetan tenperatura oso altuak lortzen dira berotegiaren barnealdean, abuztuko egun eguzkitsuenetan argi ikusten den bezala. Erradiazio txikia dagoenean, berriz, barnealdean lortutako tenperaturak baxuak dira eta kanpoaldearekiko aldea oso txikia da, adibidez, azaroaren 16an eta 17an A2 aldian gertatzen den bezala. 2.7 Taulan, inertziarik gabeko aldietarako, egun bakoitzean ematen diren barneko eta kanpoko aire-tenperaturen arteko diferentziaren batezbestekoa erakusten da. Tenperatura diferentzia horiek, eguneko orduetan (9:00etatik 19:00etara), gaueko orduetan (19:00etatik 9:00etara) eta egun osoan (0:00etatik 24:00etara) erakusten dira. Egun bakoitzean lortutako gehieneko diferentzia ere adierazten da. Taulak, era berean, eguneroko eguzki erradiazioa erakusten du, parametro honek nola eragiten duen egiaztatzeko.

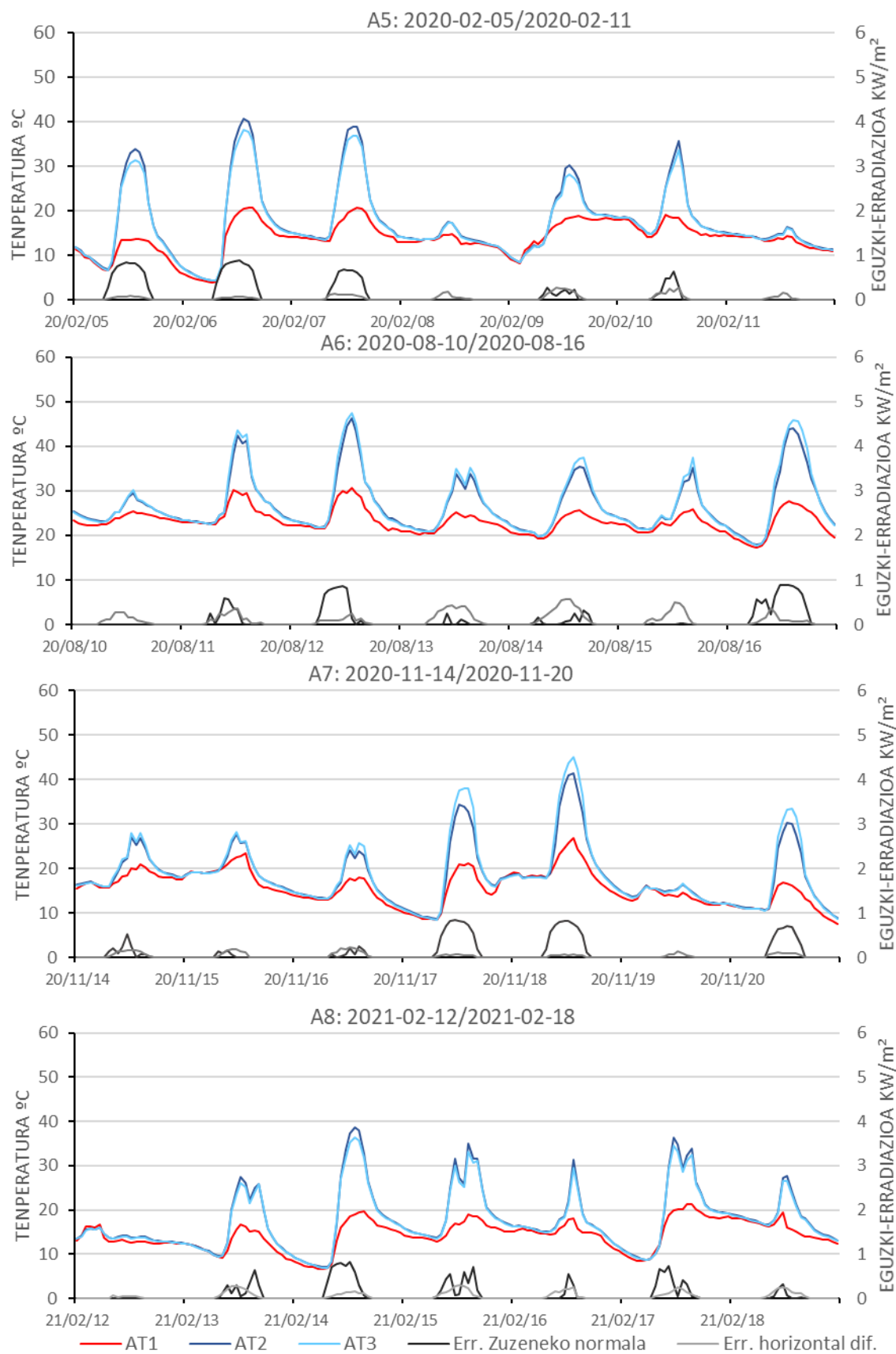
2.7 Taula. Kanpoko eta barruko aire-tenperaturaren arteko diferentzien batezbestekoa eta gehieneko diferentziak, A1, A2, A3 eta A4 aldietan.

| Aldia | Eguna | Eguzki-erradiazioa | | | Tenperatura diferentzien batezbestekoa | | | Tenperatura diferentzia maximoa °C |
|-------|-------------------------|--------------------|--------------------------------------|--------------------|--|------------------|----------------------|------------------------------------|
| | | Horizontal globala | Zuzeneko normala kWh m ⁻² | Horizontal difusoa | Guztira 0h-24h | Egunez 9h-19h °C | Gauetz 0h-9h/19h-24h | |
| A1 | 2019/07/31 | 6,69 | 4,99 | 3,23 | 5,1 | 11,6 | 0,5 | 19,0 |
| | 2019/08/01 | 5,26 | 3,69 | 2,16 | 4,9 | 11,4 | 0,3 | 21,5 |
| | 2019/08/02 | 6,19 | 4,97 | 2,50 | 5,3 | 11,8 | 0,6 | 21,2 |
| | 2019/08/03 | 7,40 | 8,87 | 1,41 | 6,1 | 13,8 | 0,5 | 21,9 |
| | 2019/08/04 | 1,80 | 0,00 | 1,80 | 1,7 | 3,6 | 0,4 | 7,8 |
| | 2019/08/05 | 2,61 | 0,01 | 2,60 | 2,0 | 4,3 | 0,4 | 5,9 |
| | 2019/08/06 | 4,76 | 1,16 | 3,90 | 4,5 | 10,0 | 0,6 | 15,4 |
| | A1 BATEZBESTEKOA | 4,96 | 3,38 | 2,51 | 4,2 | 9,5 | 0,5 | |
| A2 | 2019/11/11 | 0,57 | 0,01 | 0,56 | 0,2 | 0,7 | -0,1 | 1,2 |
| | 2019/11/12 | 1,00 | 0,11 | 0,96 | 0,8 | 1,8 | 0,0 | 4,5 |
| | 2019/11/13 | 1,82 | 1,91 | 1,09 | 2,3 | 5,5 | 0,0 | 13,0 |
| | 2019/11/14 | 1,90 | 1,64 | 1,20 | 2,2 | 5,0 | 0,2 | 14,2 |
| | 2019/11/15 | 0,81 | 0,07 | 0,78 | 0,7 | 1,8 | -0,1 | 4,9 |
| | 2019/11/16 | 0,37 | 0,03 | 0,36 | 0,1 | 0,5 | -0,1 | 1,0 |
| | 2019/11/17 | 0,60 | 0,02 | 0,60 | 0,3 | 0,8 | 0,0 | 1,3 |
| | A2 BATEZBESTEKOA | 1,01 | 0,54 | 0,79 | 1,0 | 2,3 | 0,0 | |
| A3 | 2020/12/27 | 0,38 | 0,00 | 0,38 | 0,2 | 0,5 | 0,0 | 1,0 |
| | 2020/12/28 | 0,55 | 0,05 | 0,54 | 0,4 | 1,2 | -0,1 | 2,5 |
| | 2020/12/29 | 0,67 | 0,05 | 0,65 | 0,6 | 1,7 | -0,2 | 4,2 |
| | 2020/12/30 | 0,66 | 0,21 | 0,60 | 0,6 | 1,7 | -0,2 | 4,5 |
| | 2020/12/31 | 0,55 | 0,01 | 0,55 | 0,3 | 1,2 | -0,3 | 2,8 |
| | 2021/01/01 | 1,28 | 1,54 | 0,93 | 1,9 | 4,7 | 0,0 | 11,6 |
| | 2021/01/02 | 1,46 | 1,77 | 0,90 | 3,0 | 7,4 | -0,1 | 17,6 |
| | A3 BATEZBESTEKOA | 0,79 | 0,52 | 0,65 | 1,0 | 2,6 | -0,1 | |
| A4 | 2021/01/28 | 2,25 | 2,61 | 1,31 | 3,9 | 9,6 | -0,1 | 18,3 |
| | 2021/01/29 | 1,24 | 0,21 | 1,16 | 1,2 | 3,3 | -0,2 | 7,6 |
| | 2021/01/30 | 0,80 | 0,51 | 0,65 | 1,0 | 2,4 | -0,1 | 7,8 |
| | 2021/01/31 | 0,74 | 0,66 | 0,65 | 0,5 | 1,3 | -0,1 | 3,3 |
| | 2021/02/01 | 0,37 | 0,02 | 0,36 | 0,3 | 0,7 | 0,0 | 1,1 |
| | 2021/02/02 | 1,97 | 2,04 | 1,11 | 3,2 | 8,1 | -0,3 | 20,9 |
| | 2021/02/03 | 1,84 | 1,72 | 1,25 | 2,8 | 7,1 | -0,2 | 18,6 |
| | A4 BATEZBESTEKOA | 1,32 | 1,11 | 0,93 | 1,9 | 4,6 | -0,1 | |

A1 aldian, barnealdearen eta kanpoaldearen arteko egun osoko batez besteko alderik handiena 6,1 °C-koa da, eta txikiena, 1,7 °C-koa; A2an, handiena 2,3 °C-koa eta txikiena 0,1 °C-koa; A3an, 3,0 °C-koa eta 0,2 °C-koa, eta A4an, 3,9 °C-koa eta 0,3 °C-koa. Ikusten dugu, beraz, alde handiak daudela egun bakoitzeko baldintza meteorologikoen arabera. Egun eguzkitsuen eta lainotuen arteko desberdintasun horiek are handiagoak dira egunez (9:00etatik 19:00etara). A1ean, eguneko orduen batez besteko alderik handiena 13,8 °C-koa da, eta txikiena, berriz, 3,6 °C-koa; A2an, 5,5 °C-koa handiena eta 0,5 °C-koa txikiena; A3an, 7,4 °C-koa eta 0,5 °C-koa, eta A4an, 9,6 °C-koa eta 0,7 °C-koa. Gaueko orduetan (19:00etatik 9:00etara), ordea, kanpoko eta barneko tenperaturen arteko aldeak minimoak dira. Lau aldietako gau guztietan, -0,3 °C eta 0,6 °C arteko tartean baino ez daude diferentziak. Prototipoak inertziarik ez duenez, eguzki-erradiazioa desagertzen denean, berotegiko tenperatura azkar jaisten da, kanpoaldekoarekin berdindu arte, 2.19 Irudian ikus daitekeen bezala.

Jakina, tenperatura diferentzia maximoak egun eguzkitsuenen eguerdian izaten dira. Gehieneko aldeak 21,9 °C-koak dira A1 aldian, 14,2 °C-koak A2an, 17,6 °C-koak A3an eta 20,9 °C-koak A4an. Aldi bakoitzeko eguzki-erradiazio txikieneko egunak aztertuz gero, berriz, balio maximoa 7,8 °C-ra baino ez da iristen A1ean, 1 °C-ra A2an eta A3an eta 1,1°C-ra A4an. Baldintza meteorologikoek berotegiaren portaeran duten garrantzia erakusten da berriz ere.

2.20 Irudian, kanpoko tenperaturak, barrukoak eta irteeran lortutakoak erakusten dira, baina kasu honetan prototipoari inertzia emateko ur-deposituak instalatu diren aldietan (A5, A6, A7 eta A8 aldietan).



2.20 Irudia. Airearen temperatura A5, A6, A7 eta A8 epeetan.

AT1, kanpoko temperatura; AT2, barruko temperatura; AT3, Temperatura berotegitik irtetean.

Berotegiaren barnealdean erregistratutako tenperaturen (AT2 sentsorea) eta irteeran erregistratutakoen (AT3 sentsorea) arteko diferentziak ez dira oso esanguratsuak berriro ere, nahiz eta inertziarik gabeko aldiekin alderatuta, zertxobait handiagoak izan. Barneko (AT2 sentsorea) eta kanpoko tenperaturen (AT1 sentsorea) arteko aldeak garrantzitsuak dira berriz ere, batez ere eguzki erradiazio handiko egunetan. Inertziarik gabeko aldietan ez bezala, berotegian sartutako ur-deposituei esker, egunez lortutako barne-tenperatura ez da hain azkar jaisten eguzki-erradiazioa desagertzen denean. Hala ere, biltegien eragina txikia da eta tenperaturak ez dira oso egonkor mantentzen. 2.8 Taulak, inertzia duten aldietan, barneko eta kanpoko tenperaturaren arteko eguneko batez besteko diferentziak aurkezten ditu.

2.8 Taula. Kanpoko tenperaturaren eta barrukoaren arteko batezbesteko eta gehieneko diferentziak, A5, A6, A7 eta A8 aldietan.

| Aldia | Eguna | Eguzki-erradiazioa | | | Tenperatura diferentzien batezbestekoa | | | Tenperatura diferentzia maximoa °C |
|-------------------------|-------------------------|---------------------|------------------|--------------------|--|---------------|----------------------|------------------------------------|
| | | kWh m ⁻² | | | °C | | | |
| | | Horizontal globala | Zuzeneko normala | Horizontal difusoa | Guztira 0h-24h | Egunez 9h-19h | Gauzez 0h-9h/19h-24h | |
| A5 | 2020/02/05 | 3,02 | 6,54 | 0,59 | 5,9 | 12,8 | 1,0 | 20,2 |
| | 2020/02/06 | 3,07 | 6,97 | 0,49 | 5,8 | 12,5 | 1,0 | 20,2 |
| | 2020/02/07 | 2,78 | 4,54 | 0,93 | 5,5 | 11,7 | 1,1 | 18,7 |
| | 2020/02/08 | 0,69 | 0,03 | 0,68 | 0,8 | 1,7 | 0,4 | 3,0 |
| | 2020/02/09 | 2,28 | 1,40 | 1,74 | 2,8 | 1,8 | 0,1 | 11,9 |
| | 2020/02/10 | 2,40 | 2,19 | 1,32 | 3,6 | 1,8 | 0,8 | 17,3 |
| | 2020/02/11 | 0,59 | 0,00 | 0,59 | 0,7 | 1,1 | 0,3 | 2,2 |
| | A5 BATEZBESTEKOA | 2,12 | 3,10 | 0,90 | 3,6 | 6,2 | 0,7 | |
| A6 | 2020/08/10 | 1,67 | 0,00 | 1,66 | 1,7 | 2,4 | 1,2 | 4,3 |
| | 2020/08/11 | 3,73 | 2,34 | 2,02 | 3,4 | 6,7 | 1,0 | 12,6 |
| | 2020/08/12 | 5,07 | 5,25 | 1,28 | 4,5 | 8,9 | 1,4 | 15,7 |
| | 2020/08/13 | 3,73 | 0,44 | 3,38 | 3,3 | 6,1 | 1,4 | 9,3 |
| | 2020/08/14 | 4,54 | 1,30 | 3,94 | 3,6 | 6,4 | 1,5 | 10,1 |
| | 2020/08/15 | 2,54 | 0,09 | 2,49 | 2,6 | 4,4 | 1,4 | 9,2 |
| | 2020/08/16 | 6,67 | 8,03 | 1,60 | 5,8 | 11,0 | 2,1 | 16,8 |
| A6 BATEZBESTEKOA | 4,00 | 2,49 | 2,34 | 3,6 | 6,6 | 1,4 | | |
| A7 | 2020/11/14 | 1,64 | 1,60 | 1,12 | 1,9 | 3,8 | 0,5 | 7,1 |
| | 2020/11/15 | 1,01 | 0,48 | 0,92 | 1,3 | 2,7 | 0,4 | 5,1 |
| | 2020/11/16 | 1,60 | 0,88 | 1,33 | 2,0 | 3,7 | 0,8 | 6,3 |
| | 2020/11/17 | 2,43 | 6,07 | 0,48 | 3,7 | 8,2 | 0,5 | 13,3 |
| | 2020/11/18 | 2,34 | 5,97 | 0,45 | 4,3 | 9,4 | 0,7 | 15,1 |
| | 2020/11/19 | 0,52 | 0,00 | 0,52 | 0,8 | 1,2 | 0,5 | 2,0 |
| | 2020/11/20 | 2,23 | 4,18 | 0,77 | 3,8 | 8,2 | 0,7 | 13,9 |
| | A7 BATEZBESTEKOA | 1,68 | 2,74 | 0,80 | 2,5 | 5,3 | 0,6 | |
| A8 | 2021/02/12 | 0,36 | 0,00 | 0,36 | 0,5 | 1,0 | 0,1 | 1,3 |
| | 2021/02/13 | 2,36 | 2,29 | 1,66 | 3,5 | 7,5 | 0,7 | 10,8 |
| | 2021/02/14 | 3,04 | 5,22 | 1,01 | 5,6 | 11,8 | 1,2 | 19,5 |
| | 2021/02/15 | 2,91 | 3,22 | 1,77 | 5,0 | 10,0 | 1,5 | 16,0 |
| | 2021/02/16 | 1,67 | 0,96 | 1,18 | 2,3 | 4,3 | 0,9 | 13,2 |
| | 2021/02/17 | 2,52 | 3,50 | 1,23 | 4,2 | 9,1 | 0,7 | 16,5 |
| | 2021/02/18 | 1,76 | 0,67 | 1,43 | 2,4 | 4,9 | 0,6 | 11,6 |
| A8 BATEZBESTEKOA | 2,09 | 2,27 | 1,23 | 3,4 | 6,9 | 0,8 | | |

Ur-deposituak jartzearen ondorioz, gauzez ematen diren diferentziak, inertziarik gabeko aldietakoak baino handixeagoak dira. Inertziarik gabeko aldietako batez besteko diferentziak -0,3 °C eta 0,6 °C bitartekoak dira; inertzia duten aldietan, berriz, pixka bat handiagoak dira, 0,1 °C eta 2,1 °C bitartekoak. Iluntzean tenperaturak ez dira hain

azkar jaisten inertziarik gabeko periodoekin alderatuta, eta gaueko batez besteko aldeak pixka bat handiagoak dira. Hala ere, negutegiek inertzia termiko gutxi izaten jarraitzen dute, egunaren eta gauaren arteko aldeak oso handiak baitira oraindik.

2.9 Taulan, laburpen gisa, berotegiaren barnealdearen eta kanpoaldearen arteko batez besteko tenperatura diferentziak agertzen dira aldi bakoitzeko. Eguneko batez besteko eguzki-erradiazioa ere erakusten da, baita batez besteko kanpoko tenperatura ere.

2.9 Taula. Eguneko batezbesteko eguzki-erradiazioa eta kanpoko tenperaturaren eta berotegi barruko tenperaturaren arteko batezbesteko diferentziak aldi bakoitzean.

| Aldia | Batez besteko kanpoko tenperatura °C | Eguneko batez besteko eguzki-erradiazioa kWh m ⁻² | | | Tenperatura diferentzien batezbestekoa °C | | |
|-----------------|--------------------------------------|--|------------------|--------------------|---|---------------|-------------------------|
| | | Horizontal globala | Zuzeneko normala | Horizontal difusoa | Guztira 0h-24h | Egunez 9h-19h | Gauetz 0h-9h 19h-24h |
| A1 Aldia | 22,29 | 4,96 | 3,38 | 2,51 | 4,2 | 9,5 | 0,5 |
| A2 Aldia | 9,68 | 1,01 | 0,54 | 0,79 | 1,0 | 2,3 | 0,0 |
| A3 Aldia | 7,38 | 0,79 | 0,52 | 0,65 | 1,0 | 2,6 | -0,1 |
| A4 Aldia | 15,24 | 1,32 | 1,11 | 0,93 | 1,9 | 4,6 | -0,1 |
| A5 Aldia | 13,80 | 2,12 | 3,10 | 0,90 | 3,6 | 6,2 | 0,7 |
| A6 Aldia | 23,17 | 4,00 | 2,49 | 2,34 | 3,6 | 6,6 | 1,4 |
| A7 Aldia | 15,71 | 1,68 | 2,74 | 0,80 | 2,5 | 5,3 | 0,6 |
| A8 Aldia | 14,36 | 2,09 | 2,27 | 1,23 | 3,4 | 6,9 | 0,8 |

Espero zitekeen bezala, udako aldietan (A1 eta A6 aldietan), eguzki erradiazioa eta batez besteko kanpoko tenperaturak handiagoak izan ziren. Eguzki erradiazio handiaren ondorioz, berotegi barruko eta kanpoko tenperaturen arteko diferentziak handienak izan ziren, 4,2 °C eta 3,6 °C, hurrenez hurren. Negua izan arren, A5 eta A8 aldiak ere zuzeneko eguzki erradiazio handikoak izan ziren, eta, ondorioz, barnealdearen eta kanpoaldearen artean lortutako batezbesteko diferentziak 3,6 eta 3,4 °C-ra iritsi ziren, hurrenez hurren. Beraz, diferentziak udako aldien antzekoak izan zirela ikus daiteke, zuzeneko erradiazio normala ere halakoa izan baitzen. A2, A3 eta A4 aldiak, aldiz, eguzki-erradiazio txikienekoak izan ziren, eta, beraz, batez besteko diferentzia totalak argi eta garbi txikiak izan ziren: 1 °C A2 eta A3 aldietan eta 1,9 °C A4 aldian.

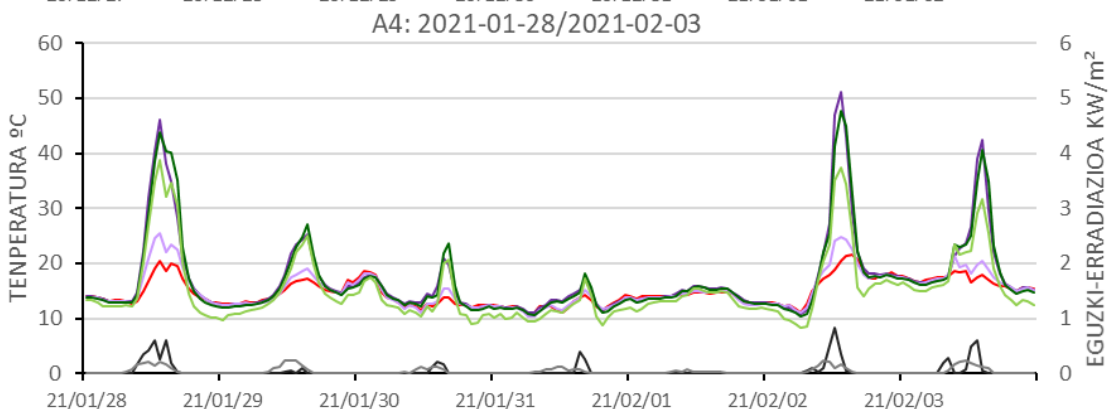
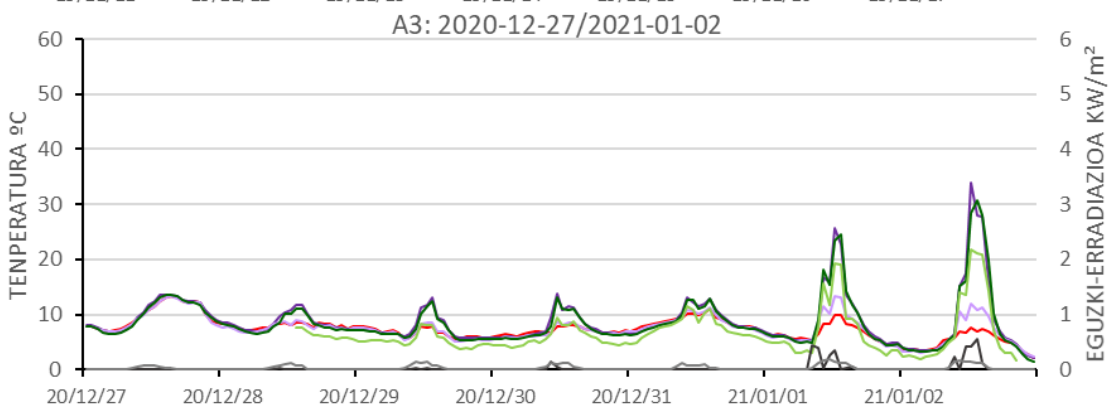
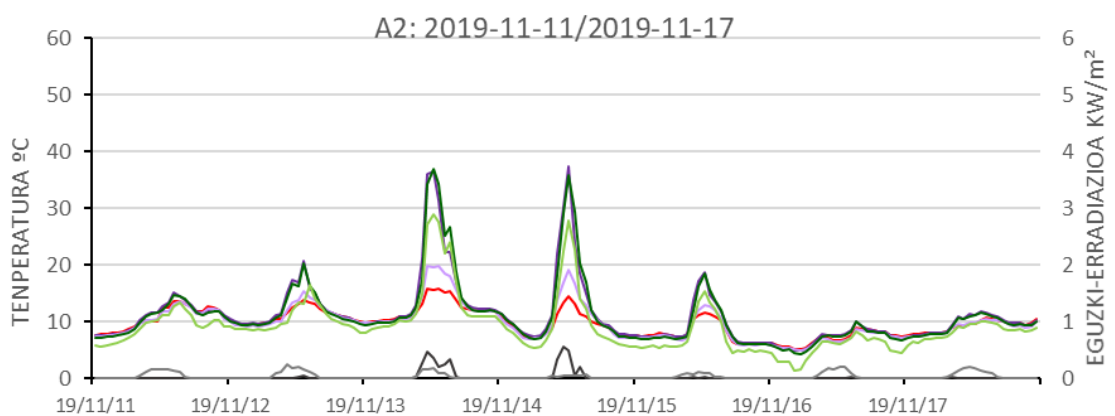
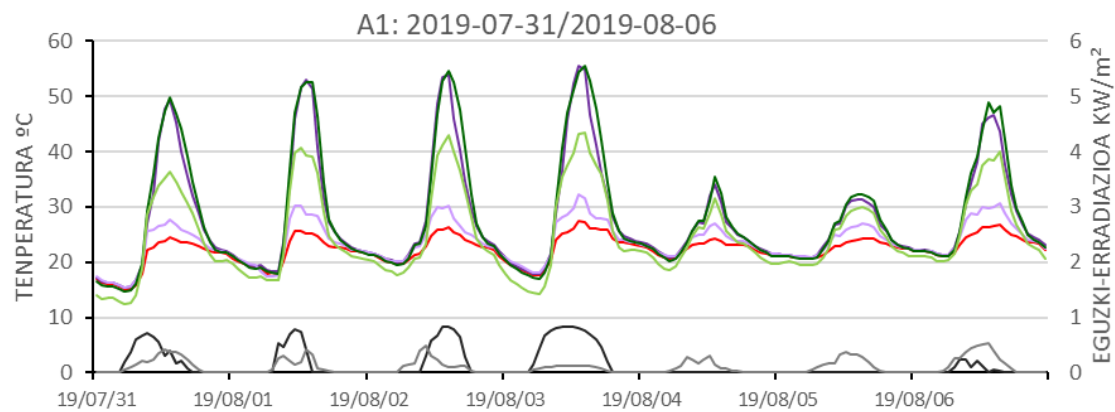
Eguzki-erradiazioa zenbat eta handiagoa izan, orduan eta desberdintasun handiagoak ikusten dira eguneko eta gaueko orduen artean. A1ean, eguzki-erradiazio handieneko aldian, 9,5 °C-ko batez besteko diferentziak erregistratu ziren egunez (9:00etatik 19:00etara), eta gauetz (19:00etatik 9:00etara) diferentzia horiek 0,5 °C-koak baino ez

ziren izan. A2a, eguzki erradiazio txikieneko alditariko bat izan zen eta horregatik, eguneko orduen batez besteko diferentziak 2,3 °C-koak izan ziren soilik, gauean zehar kanpoko tenperaturaren eta barnealdeko tenperaturaren batezbestekoak berdinak izan zirelarik.

Ikusi den bezala, berotegiak inertzia termiko handiagoa edukitzeko ur-deposituak jarri ziren aldietan (A5, A6, A7 eta A8), tenperaturak zertxobait handiagoak izan ziren gaueko orduetan. 19:00etatik 9:00etara erregistratutako tenperaturen arteko diferentzietan, urteko sasoiak ere eragina du. Udan, alde horiek neguko garaietakoak baino nabarmen handiagoak dira. Inertziarik gabeko kasuetan, A1 udako aldian 0,5 °C-koa izan zen aldea; neguko eta udazkeneko aldietan, berriz, 0 °C-koa izan zen A2an, eta -0,1°C-koa A3 eta A4 aldietan. Inertzia zuten kasuetan ere gauza bera gertatu zen: udan (A6) aldea 1,4 °C-koa izan zen, eta gainerako aldietan 0,7 °C, 0,6 °C eta 0,8 °C. Kontuan izan behar da udako solstiziotik zenbat eta hurbilago egon, orduan eta laburragoak direla gauak, eta, beraz, egunaren lehen eta azken orduetan jasotako erradiazioa ere askoz handiagoa dela.

GAINAZALEKO TENPERATURAK

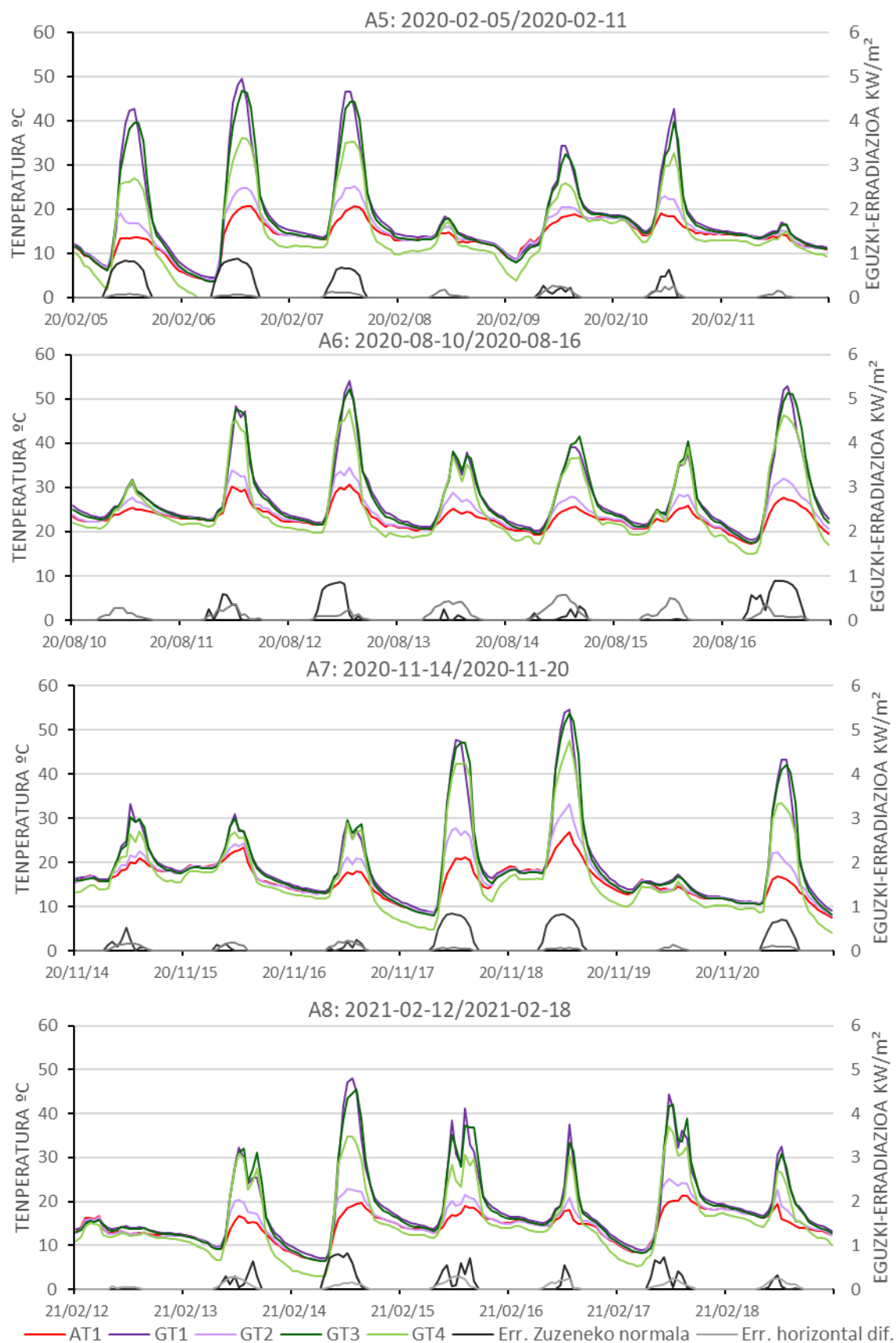
2.21 Irudian, inertziarik gabeko aldietako ipar fatxadako (GT1 eta GT2) eta beiraztapeneko (GT3 eta GT4) gainazaleko tenperaturak agertzen dira. 2.22 Irudian, berriz, inertzia duten aldietakoak. Airearen tenperaturekin egin den bezala, eguzki-erradiazio difusoa eta zuzena ere erakusten dira, nola eragiten duten aztertzeke.



— AT1 — GT1 — GT2 — GT3 — GT4 — Err. Zuzeneko normala — Err. horizontal dif.

2.21 Irudia. Gainazaleko tenperaturak A1, A2, A3 eta A4 aldietan.

GT1, barruko tenperatura iparraldeko fatxadan; GT2, kanpoko tenperatura iparraldeko fatxadan; GT3, barruko tenperatura beiratean; GT4, kanpoko tenperatura beiratean eta AT1, kanpoko airearen tenperatura.



2.22 Irudia. Gainazaleko tenperaturak A5, A6, A7 eta A8 aldietan.

GT1, barruko temperatura iparraldeko fatxadan; GT2, kanpoko temperatura iparraldeko fatxadan; GT3, barruko temperatura beiratean; GT4, kanpoko temperatura beiratean eta AT1, kanpoko airearen temperatura.

Gainazaleko tenperaturak konparatuz gero, eguzki-erradiazio handia dagoenean, iparraldeko fatxadako barnealdeko (GT1 sentsorea) eta kanpoaldeko (GT2 sentsorea) tenperaturen artean egunez dagoen aldea handia dela ikus daiteke, fatxadak transmitantzia termiko txikia duelako. Iluntzean, inertziarik gabeko aldietan, fatxadako tenperaturak, kanpoaldekoak zein barrualdekoak, bat-batean jaisten dira elkarren antzekoak izateraino eta kanpoaldekoekin azkar berdindu arte. Berotegia inertziaz hornitzeko ur-deposituak jartzen direnean, barne-aurpegiko tenperaturak ez dira hain arin jaisten, eta ez dira kanpokoekin berdintzen gaueko azken orduetara arte. Beraz, inertziaren eragina ikus daiteke iparraldeko fatxadako gainazaleko tenperaturetan ere.

Beiratearen kasuan, barrualdeko tenperatura (GT3 sentsorea) iparraldeko fatxadaren barnealdeko tenperaturaren antzekoa da. Hala ere, beiratearen kanpoko tenperatura (GT4 sentsorea) eta iparraldeko fatxadaren kanpoaldekoa oso desberdinak dira. Eguneko orduetan, beiraren kanpoaldeko tenperatura iparraldeko fatxadakoa baino askoz altuagoa da. Kontuan izan behar da, beirak transmitantzia termiko handiagoa izateaz gain, hegoaldera orientatuta dagoela, sentsoreak dauden fatxada opakua iparraldera orientatuta dagoen bitartean, eta, beraz, beirak eguzki-erradiazio handiagoa jasotzen du. Gauean, aldiz, beiraren kanpoaldeko tenperatura iparraldeko fatxadakoa baino nabarmen baxuagoa da. Are gehiago, kanpoko tenperatura baino txikiagoa da, hozte erradiatiboaren ondorioz. Argi ikusten da beiraren kanpoaldeak iparraldeko fatxadaren kanpoaldeak baino oszilazio gehiago dituela.

2.2.5. SIMULAZIO-EREDUA BALIOZKOTZEA

2.2.5.1. ERABILITAKO METODOLOGIA

Simulazio energetikoa Design Builder softwarearekin egin da, kalkulu-motor gisa EnergyPlus erabiltzen duena [50]. 1.2 Teknikaren Egoera atalean ikusi den bezala, simulazio energetikoa eta, zehazki, EnergyPlus programa erabili eta baliozkotu egin da beirazko espazioei buruzko ikerketa askotan [6, 18, 29, 30, 51]. Hala ere, sistema hauek duten simulatzeko konplexutasuna dela eta, komenigarria da eredia kalibratu eta baliozkotzea. Horretarako, sentsoreen bidez prototipoan erregistratutako datuak simulazioan lortutako emaitzekin konparatu dira. Simulazio-ereduan, prototipoaren ezaugarri berberak sartu ziren, eta berotegia itzal zezaketen terrazako elementuak modelatu ziren, emaitzak konparagarriak izan zitezten. Era berean, programan beste klima-artxibo bat sartu zen, AEMETetik [82] lortutako aldi bakoitzeko datu meteorologikoekin: eguzki-erradiazio horizontal globala, zuzeneko normala eta horizontal difusoa, kanpo-tenperatura, ihintz-tenperatura eta hodeien kopurua... sartu ziren.

Ziurgabetasun-analisia neurketa eta/edo kalkulu-prozedurak erabiltzen direnean benetako balioarekiko konfiantza-maila zehazteko prozesua da. Konfiantza-maila hori nola zehaztu behar den azaltzen duten eta baliozkotze-irizpideak ezartzen dituzten hiru iturri nagusiak hauek dira: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (aurrerantzean, ASHRAE) erakundearen 14. jarraibidea [83], Federal Energy Management Program (aurrerantzean, FEMP) [53, 54, 55] eta International Performance Measurements and Verification Protocolo (aurrerantzean, IPMVP) [56]. Dokumentu horietan erabilitako ziurgabetasun-indize nagusiak hauek dira: batez besteko alborapen-errore normalizatua (Normalized Mean Bias error, aurrerantzean NMBE), batez besteko errore koadratikoaren aldakuntza-koefizientea (Coefficient of Variation of the Root Mean Square Error, CV(RMSE)) eta determinazio-koefizientea (coefficient of determination, aurrerantzean R²). Beste autore askok irizpide hauek erabili izan dituzte beraien simulazio ereduak balioztatzeko [57, 58, 59].

Batez besteko alborapen-errorea (Mean Bias Error, aurrerantzean MBE) lagin-espazio bateko erroreen batezbestekoa da. Oro har, datu simulatuek laginaren erregresio-lerroarekiko duten portaera orokorraren adierazle ona da. 2.1 Ekuazioan, m_i neurtutako balioa da, s_i simulatutako balioa da eta n erabilitako balio kopurua. Balio positiboek, ereduak neurtutako datuak gutxietsi egiten dituela adierazten dute, eta negatiboek, berriz, gehiegi baloratzen dituela. Hala ere, indize horren arazo nagusia konpentsazio-erroreen mende dagoela da, balio positiboek eta negatiboek baturak MBEn balioa murriztu baitezake. Izan ere, eredu bat kalibratuta edo ia kalibratuta dagoenean, laginaren erregresio-lerroa simulaziotik hain gertu dago, non ezeztapen-efektua nabarmen handitzen baita.

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i - s_i)}{n}$$

2.1 Ekuazioa. MBE

NMBE indizea, MBEn emaitzak eskalatzeko erabiltzen da, alderagarriak eginez. Indize honek, MBE indizea neurtutako balioen batez bestekoarekin zatitzen du, eta horrek balio errealen eta aurreikusitakoaren arteko diferentzia globala ematen du. 2.2 Ekuazioan, p parametro doigarrien kopurua da, kalibratzaileko zero dela kontsideratu daitekeelarik [84, 85]. MBEn kasuan bezala, balio positiboek simulazioak neurtutako datuak gutxiesten dituela esan nahi dute, eta balio negatiboek, berriz, datu horiek gehiegi balioesten dituela. NMBE indizeak ere konpentsazio-akatsak ditu; beraz, ez da gomendatzen indize hori baino ez erabiltzea.

$$NMBE = \frac{1}{\bar{m}} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n (m_i - s_i)}{n - p} \times 100 (\%)$$

2.2 Ekuazioa. NMBE

CV(RMSE) indizeak neurtutako eta simulatutako balioen arteko errorearen aldakortasuna neurtzen du (2.3 ekuazioa). Ez dago konpentsazio-akatsen mende, eta, beraz, AHSRAEren gidalerroak, FEMPk eta IPMVPk NMBE indizearekin batera erabiltzen dute ereduaren zehaztasuna egiaztatzeko. p balioa bat dela kontsideratu daiteke kalibraziorako [84, 85].

$$CV(RMSE) = \frac{1}{\bar{m}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i - s_i)^2}{n - p}} \times 100 (\%)$$

2.3 Ekuazioa. CV (RMSE)

R^2 indizeak, neurtutako balioak erregresio-lerrotik zein hurbil dauden adierazten du (2.4 Ekuazioa). Haren balioa 0,00 eta 1,00 artean dago, eta zenbat eta altuagoa izan, orduan eta hurbilketa handiagoa egongo da neurtutako balioen eta simulatutakoen artean. Kalibratutako ereduetan, ASHRAEK [20] eta IPVMPk [16] balioa 0,75 baino txikiagoa inoiz ere ez izatea gomendatzen dute.

$$R^2 = \left(\frac{n \cdot \sum_{i=1}^n m_i \cdot s_i - \sum_{i=1}^n m_i \cdot \sum_{i=1}^n s_i}{\sqrt{(n \cdot \sum_{i=1}^n m_i^2 - (\sum_{i=1}^n m_i)^2) \cdot (n \cdot \sum_{i=1}^n s_i^2 - (\sum_{i=1}^n s_i)^2)}} \right)^2$$

2.4 Ekuazioa. R^2

2.10 Taulan, simulazio-ereduak baliozkotzeko hiru dokumentu nagusien irizpideak laburbiltzen dira [86].

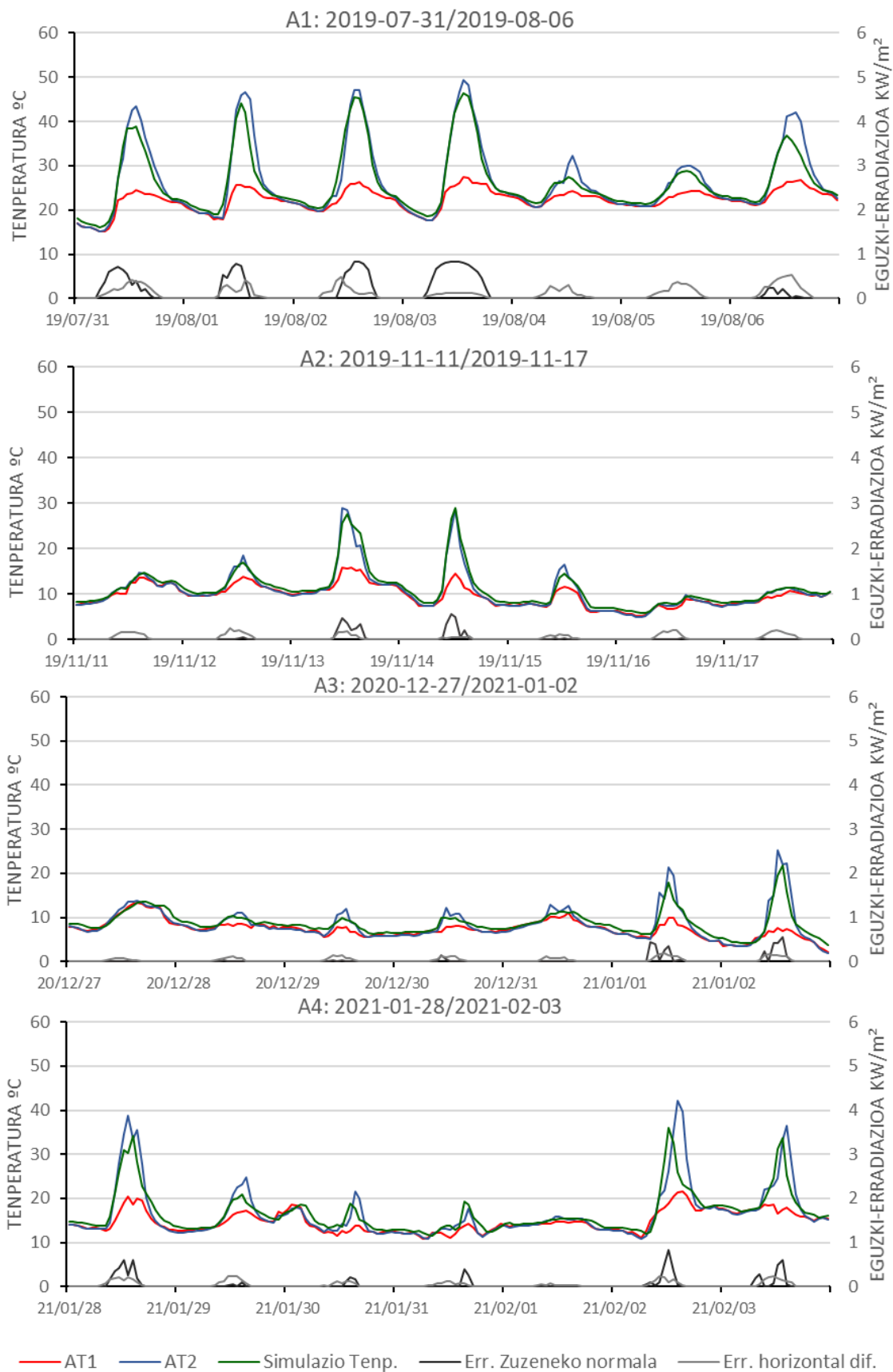
2.10 Taula. Simulazio-ereduak baliozkotzeko irizpideak.

| Kalibrazio irizpidea | Indizea | FEMP | ASHRAE | IPMVP |
|---------------------------|----------------|------|--------|-------|
| Hileko irizpidea % | NMBE | ±5 | ±5 | ±20 |
| | CV(RMSE) | 15 | 15 | - |
| Orduko irizpidea % | NMBE | ±10 | ±10 | ±5 |
| | CV(RMSE) | 30 | 30 | 20 |
| Gomendioa | R ² | - | >0,75 | >0,75 |

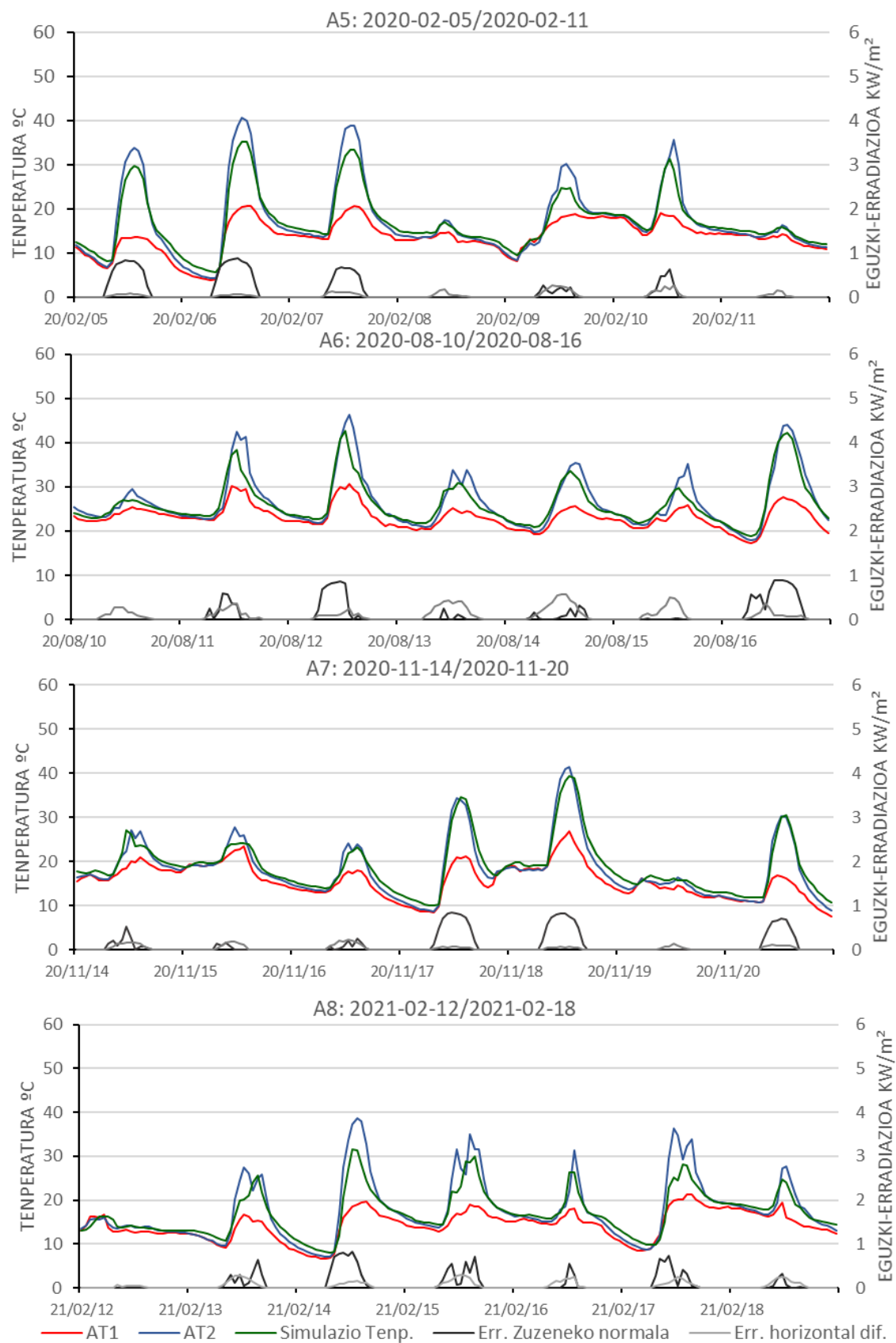
Eredua baliozkotzeko, prototipoaren barruko tenperatura esperimentalak eta simulazio-tenperaturak alderatuko dira, eta erreferentziako dokumentu bakoitzak ezarritako mugen barruan daudela egiaztatuko da. Baliozkotze hori 2.6 taulako aldietan egingo da. Horrela, simulazio-eredua inertiarekin eta inertzirik gabe eta baldintza meteorologiko desberdinetan baliozkotzat jo daitekeen aztertuko da.

2.2.5.2. EMAITZAK

2.23 Irudian, inertzirik gabeko lau simulazio-aldietako tenperatura esperimentalen eta simulazio-tenperaturen arteko konparaketa erakusten da; 2.24 Irudian, berriz, inertzia duten aldien arteko konparaketa.



2.23 Irudia. Temperatura esperimentalen eta simulazio-tenperaturen konparaketa inertziarik gabeko aldietan (A1, A2, A3 eta A4).



2.24 Irudia. Temperatura esperimentalen eta simulazio-temperaturen konparaketa inertzia duten aldietan (A5, A6, A7 eta A8).

Egunez, tenperatura esperimentalak simulaziokoak baino altuagoak izan ziren, batez ere eguzki erradiazio handiko garaietan. Gauetz, aldiz, esperimentalki neurtutako tenperaturak simulaziokoak baino apur bat baxuagoak izan ziren aztertutako aldi guztietan. Erradiazioa desagertzean, ur-metagailurik gabeko aldietan (A1, A2, A3 eta A4 aldietan), tenperatura esperimentalak azkar jaitsi ziren kanpoko tenperaturetara iritsi arte; simulaziokoak, berriz, joera bera jarraitu zuten arren, kanpoko tenperaturak baino pixka bat gorago mantendu ziren. Ur-deposituak jartzean (A5, A6, A7 eta A8 aldietan), tenperatura esperimentalak kanpokoekin berdintzeko denbora pixka bat gehiago behar izan bazuten ere, berriro ere inertiaren eragina handiagoa izan zen simulazioan. Beraz, simulazio-ereduak eraikitako prototipoak baino inertzia termiko apur bat handiagoa duela ondoriozta daiteke. Alde txiki horiek egon arren, kasu guztietan adostasun handia egon zen simulazioaren eta tenperatura esperimentalen artean. Simulazio-eredua baliozkotzat jo ahal izateko, 2.11 Taulan NMBE, CV (RMSE) eta R^2 indizeak kalibratze-aldietarako erakusten dira.

2.11 Taula. NMBE, CV (RMSE) eta R² indizeen emaitzak kalibratze-aldietarako.

| NMBE | | | | |
|----------------|---------|------|--------|-------|
| Aldia | Emaitza | FEMP | ASHRAE | IPMVP |
| A1 | 1,58 | | | |
| A2 | -4,80 | | | |
| A3 | -3,55 | | | |
| A4 | -0,56 | ±10 | ±10 | ±5 |
| A5 | 1,81 | | | |
| A6 | 1,95 | | | |
| A7 | -3,27 | | | |
| A8 | 3,56 | | | |
| CV(RMSE) | | | | |
| Aldia | Emaitza | FEMP | ASHRAE | IPMVP |
| A1 | 7,99 | | | |
| A2 | 8,35 | | | |
| A3 | 16,90 | | | |
| A4 | 17,30 | 30 | 30 | 20 |
| A5 | 12,17 | | | |
| A6 | 7,79 | | | |
| A7 | 8,20 | | | |
| A8 | 15,98 | | | |
| R ² | | | | |
| Aldia | Emaitza | FEMP | ASHRAE | IPMVP |
| A1 | 0,95 | | | |
| A2 | 0,97 | | | |
| A3 | 0,89 | | | |
| A4 | 0,78 | | | |
| A5 | 0,97 | - | >0,75 | >0,75 |
| A6 | 0,91 | | | |
| A7 | 0,96 | | | |
| A8 | 0,90 | | | |

Emaitzek NMBE, CV (RMSE) eta R² balioak, aldi guztietan, ASHRAEren, FEMPre eta IPMVPren dokumentuen mugen barruan argi eta garbi egon zirela erakusten dute. Beraz, simulazio-eredua baliozkoa dela eta behar bezala kalibratuta dagoela ondoriozta daiteke.

3. ATALA

BEROTEGIAREN PORTAERAREN

AZTERKETA ETA OPTIMIZAZIOA

3. ATALA. BEROTEGIAREN PORTAERAREN AZTERKETA ETA OPTIMIZAZIOA

3.1. METODOLOGIA OROKORRA

Atal honetan, azterketa-kasu bezala aukeratutako eraikinaren ezaugarriak erakusten dira. Aldi berean, aztertutako berotegi-konfigurazio desberdinak deskribatzen dira. Azkenik, berotegien portaera aztertzeko eta berotegiak eraikinean instalatzerakoan lortzen diren energia-aurrezkiak kuantifikatzeko erabili den metodologia orokorra aurkezten da.

3.1.1. AZTERKETA-KASUAREN HAUTAKETA

Iruñetik oso gertu dagoen Sarriguren herrian kokatzen den eraikin bat aukeratu da azterketarako (ikus 3.1 Irudia). Beraz, D1 klima-zonan dago EKTren arabera [9], eta Cf2b kliman, Köppen-Geigerren sailkapenaren arabera [81].



3.1 Irudia. Aukeratutako eraikinaren hegoaldeko altxaera.

Aukeratutako eraikinak 47x13 m-ko oinplano angeluzuzena du, bere fatxada nagusiak iparralde eta hegoalderantz begira daudelarik. Merkataritza-lokalak dituen behe solairu bat eta bizitegi-erabilera duten beste bi solairu ditu. Goiko solairu bakoitzak sei etxebizitza ditu eta beraz, guztira eraikinean hamabi etxebizitza daude. Etxebizitzen antolaketa 3.2 Irudian ikus daiteke. Eraikinak estalki laua du eta horrek, orientazio egokia edukitzearekin batera, diseinatutako berotegiak erabiltzeko eraikin ezin hobea izatea egiten du.



3.2 Irudia. Aukeratutako eraikinaren oinplano tipoa.

Eraikinaren ezaugarri termikoak 3.1 Taulan agertzen dira. Fatxadek eta eraikinaren estalki lauak 10 cm-ko isolamendua dute, $0,257 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ eta $0,256 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ -eko transmitantzia termikoa dutelarik, hurrenez hurren. Arotzeria aluminiozkoa da, zubi termikoaren haustura duena, $5,014 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ -eko transmitantzia termikoarekin. Leihoek beira bikoitzak dituzte (4-6-4), $0,74$ ko SHGCekin eta $3,146 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ -eko transmitantzia termikoarekin. Baoen portzentajea % 17koa da.

3.1 Taula. Aukeratutako eraikinaren ezaugarri termikoak.

| Elementua | Ezaugarri termikoak |
|------------------------|---|
| Inguratzailea | |
| Estalki laua | $U = 0,257 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ |
| Fatxada | $U = 0,256 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ |
| Baoen % | % 17 |
| Arotzerien ezaugarriak | Materiala: Aluminioa, zubi termikoaren hausturarekin $U = 5,014 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ |
| Beiren ezaugarriak | Beira bikoitza (4-6-4) SHGC = 0,74 $U = 3,146 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ |
| HVAC | |
| Berokuntza | Banakako gas-galdarak eta erradiadoreak Eraginkortasuna 89 % |
| Kontsigna-tenperatura | EKTren arabera |
| Erabilera-profila | EKTren arabera |
| Aireztapen sistema | Aireztapen sistema mekanikoa |
| Aireztapen emaria | $1425 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ |
| Infiltrazio-ratioa | 2 $\text{ren} \cdot \text{h}^{-1}$ 50Pa-era |

Berokuntza beharrak gas naturaleko galdara indibidualen bidez betetzen dira, % 89ko errendimendu izendatua dutenak. Kontsigna-tenperaturak eta eraikinaren erabilera-profilak EKTren [9] arabera ezarri dira. Ondoren, 3.2 Taulan eta 3.3 Taulan, erabilitako operazio-baldintzak eta erabilera-profilak agertzen dira:

3.2 Taula. Bizitegi-erabilera pribatuan egokitutako espazioen operazio-baldintzak, EKTren HE Energia Aurrezteko Oinarrizko Dokumentuaren arabera [9].

| | | Ordutegia (eredu-astea) | | | |
|--|---------------------------|-------------------------|----------------|-----------------|-----------------|
| | | 0:00- 6:59 | 7:00- 14:59 | 15:00- 22:59 | 23:00- 23:59 |
| Kontsigna- temperatura altua (°C) | Urtarriletik maiatzera | - | - | - | - |
| | Ekainetik irailera | 27 | - | 25 | 27 |
| | Urritik abendura | - | - | - | - |
| | Urtarriletik maiatzera | 17 | 20 | 20 | 17 |
| Kontsigna- temperatura baxua (°C) | Ekainetik irailera | - | - | - | - |
| | Urritik abendura | 17 | 20 | 20 | 17 |

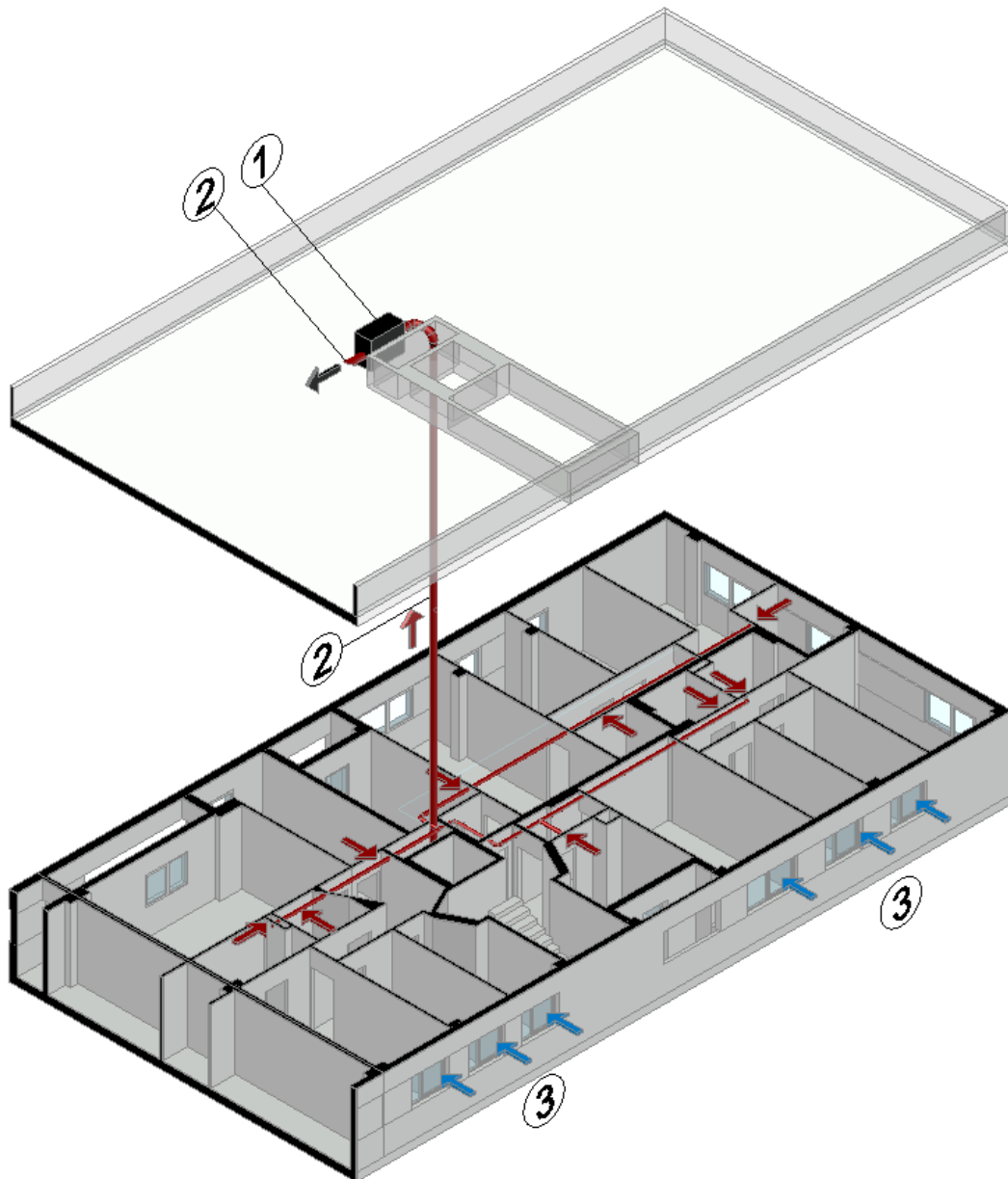
3.3 Taula. Bizitegi-erabilera pribatuko espazioen erabilera-profila, EKTren HE Energia Aurrezteko Oinarrizko Dokumentuaren arabera [9].

| | | Ordutegia (eredu-astea) | | | | | |
|-------------------------------------|-------------|-------------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | 0:00 6:59 | 7:00 14:59 | 15:00 17:59 | 18:00 18:59 | 19:00 22:59 | 23:00 23:59 |
| Barne-karga W m⁻² | | - | - | - | - | - | - |
| Okupazioa (sentikorra) | L | 2,15 | 0,54 | 1,08 | 1,08 | 1,08 | 2,15 |
| | LR eta I | 2,15 | 2,15 | 2,15 | 2,15 | 2,15 | 2,15 |
| Okupazioa (latentea) | L | 1,36 | 0,34 | 0,68 | 0,68 | 0,68 | 1,36 |
| | LR eta I | 1,36 | 1,36 | 1,36 | 1,36 | 1,36 | 1,36 |
| Argiztapena | L, LR eta I | 0,44 | 1,32 | 1,32 | 2,20 | 4,40 | 2,20 |
| Ekipoak | L, LR eta I | 0,44 | 1,32 | 1,32 | 2,20 | 4,40 | 2,20 |

L: laneguna, LR: larunbata, I: igandea eta jaieguna.

Eraikinaren aireztapen-sistema

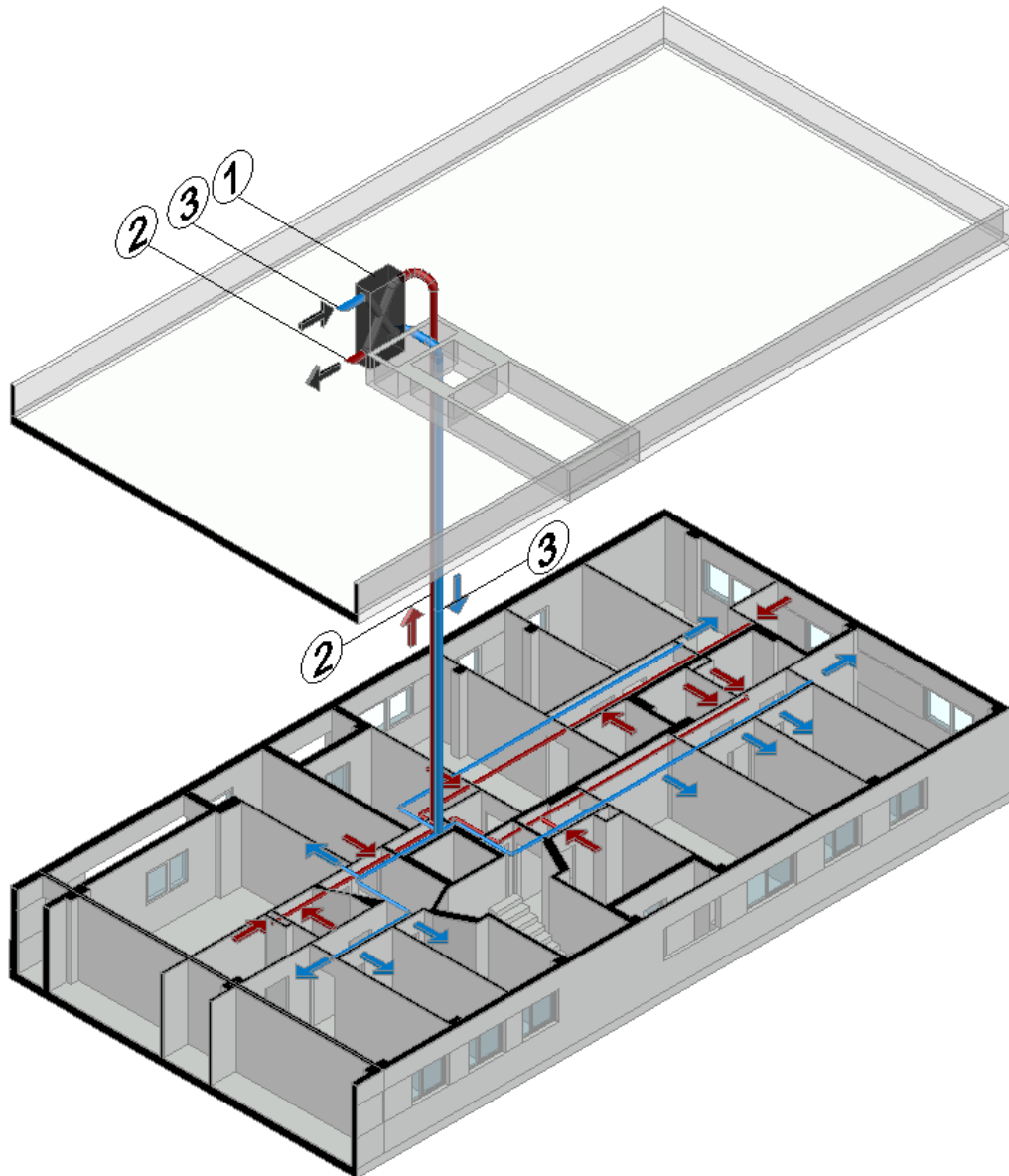
Eraikinak aireztapen sistema mekanikoa du, etengabeko fluxu bakuneko erauzketakoa (aurrerantzean, etengabeko erauzketa-sistema). Sistema honetan, kanpoko airea gela lehorretako (logeletako eta egongeletako) arotzerietan kokatzen diren aireagailuetatik sartzen da eta aire kutsatua gela hezeetatik (komunetatik eta sukaldeetatik) mekanikoki ateratzen da. 3.3 Irudian agertzen den bezala, hodi-sare batek etxebizitza bakoitzeko aire kutsatua estalkira bideratzen du, han baitaude erauzketa-haizagailuak. Atari bakoitzeko sistema independente bat instalatzea erabaki da.



3.3 Irudia. Etengabeko erauzketa-sistemaren aireztapen eskema.

1. Haizagailua; 2. Aire-erauzketa; 3. Leihoetako airegailuen bidez aire-sarrera.

Eraikina bigarren hipotesi batekin ere aztertuko da: bero-berreskurapena duen fluxu bikoitzeko aireztapen sistema batekin. 3.4 Irudian erakusten den bezala, aukera honetan, barneko aire kutsatua lokal hezeetatik zehar kanporatzen da eta hodi-sare baten bidez estalkian dagoen bero-berreskuragailuraino eramaten da. Aldi berean, aireztapen-sistemak, berreskuragailutik pasatu ondoren, kanpoko airea lokal lehorretara (egongeletara eta logeletara) bultzatzen du beste hodi-sare batetik.



3.4 Irudia. Fluxu bikoitzeko bero-berreskurapena duen aireztapenaren eskema.

1. Bero-berreskuragailua; 2. Aire-erazketa; 3. Sarrera-airea.

Bero-berreskurapena duen aireztapen-sistemak bikoiztu egiten du hodian kopurua etengabeko erazketa-sistemeekin alderatuta; beraz, instalazioaren kostua handiagoa izango da. Gainera, eraikinaren aireztapen-sistemaren energia-kontsumoa handiagoa izango da ere, erazketa-haizagailuak, sarrera-haizagailuak eta bero-berreskuragailuak instalatu behar baitira. Hala ere, bero-berreskurapenari esker berokuntzan energia aurrezteko espero da. Eraikinaren energia-kontsumoa aztertuko da bi aireztapen hipotesi horiekin eta emaitza horiek, eraikin horretan berotegiak instalatzerakoan lortzen diren kontsumoekin alderatuko dira.

Atari bakoitzeko aireztapenaren gutxiengo emaria $712,8 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ -ekoa da; guztira emaria $1425,6 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ -eko delarik. Emari horiek EKTren Osasungarritasunaren (HO)

Oinarrizko Dokumentuak eskatzen dituen gutxienekoetan oinarrituta definitu dira [74], 3.4 taulan erakusten den bezala:

3.4 Taula. Lokal bizigarrietan emari konstanteko q_v gutxieneko emariak, EKTren Osasungarritasunaren (HO) Oinarrizko Dokumentuaren arabera [74].

| | Lokal lehorrak | | | Lokal hezeak | | GUZTIRA | | |
|---|----------------|---------------|-------------------------------|--------------|----------------------|-----------------------|------------|---------------|
| | Logela nagusia | Beste logelak | logela kopurua (Nagusia gabe) | Egongela | Gutxienekoa, guztira | Gutxienekoa, lokaleko | $l s^{-1}$ | $m^3 h^{-1}$ |
| 1. Ataria | | | | | | | | |
| Etxebizitza bakoitzeko emaria | | | | | | | | |
| Sarrera-areia | 8 | 4 | 2 | 10 | | | 26 | 93,6 |
| Erauzketa-areia | | | | | -33 | -8 | -33 | -118,8 |
| Aireztapena totala etxebizitza bakoitzeko | | | | | | | 33 | 118,8 |
| AIREZTAPEN TOTALA SOLAIRUKO | | | | | | | 99 | 356,4 |
| 1. ATARIA GUZTIRA | | | | | | | 198 | 712,8 |
| 2. Ataria | | | | | | | | |
| Etxebizitza bakoitzeko emaria | | | | | | | | |
| Sarrera-areia | 8 | 4 | 2 | 10 | | | 26 | 93,6 |
| Erauzketa-areia | | | | | -33 | -8 | -33 | -118,8 |
| Aireztapena totala etxebizitza bakoitzeko | | | | | | | 33 | 118,8 |
| AIREZTAPEN TOTALA SOLAIRUKO | | | | | | | 99 | 356,4 |
| 2. ATARIA GUZTIRA | | | | | | | 198 | 712,8 |
| GUTXIENEO AIREZTAPENA, GUZTIRA | | | | | | | 396 | 1425,6 |

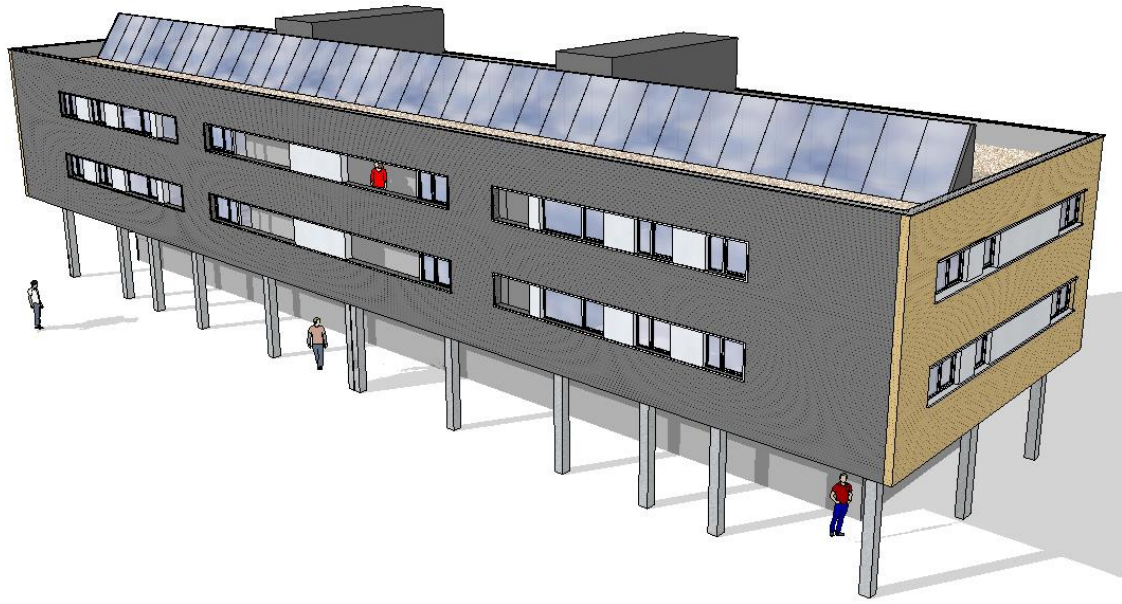
Aireztapen mekanikoaren hodiak dimentsionatzeko, EKT [74] hartu da kontuan. Horren arabera, hodi tarte bakoitzaren sekzio nominala gutxienez formula hauen bidez lortutakoaren berdina izan behar da:

- Hodiak lokal bizigarri baten ondoan daudenean: $S \geq 2,5 q_{vt}$.
- Hodiak estalkian jartzen direnean: $S \geq 1,5 q_{vt}$

q_{vt} hodi tarte bakoitzeko aire-emaria da, tartera isurtzen diren erauzketa-irekiduretatik igarotzen diren emari guztien baturaren berdina dena.

3.1.2. ERAIKINEAN JARTZEKO BEROTEGIAREN DESKRIBAPENA

Aukeratutako eraikinaren bolumetria dela eta, 36 modulu instala daitezke 45 metroko luzera eta 112,50 m²-ko beirazko azalera duen berotegi bat egiteko; beraz, etxebizitza bakoitzeko 3 modulu instalatuko lirateke. 3.5 Irudian, estalkian negutegia instalatu ondoren eraikinak izango zuen itxura erakusten da.



3.5 Irudia. Eraikinaren infografia berotegiarekin.

Berotegi hauen erabilerak dakarren energia-aurrezkiak kuantifikatzeko, berotegirik gabe lortutako emaitza energetikoak eta eraikin berean berotegi-konfigurazio ezberdinak instalatu ondoren lortutakoak konparatuko dira. 36 moduluko berotegiaz gain, 30, 24, 18 eta 12 modulukoekin lortutako emaitzak ere aztertuko dira, haien tamainak nola eragiten duen aztertzeko.

3.1.3. AZTERTUTAKO ALDAGAIK

Berotegien eraikuntza-ezaugarriek eta erabilitako materialek eragin handia dute haien portaera termikoan eta, beraz, eraikinean lortuko diren aurrezketan. Berotegi mota hauen aldagai edo faktore esanguratsuenak aztertu dira, hala nola beira mota, itxitura opakuaren isolamendu termikoaren maila, inertzia-elementuen erabilera, erabilitako aireztapen-sistema eta moduluak instalatzeko modua. Eguzki-kolektorearen funtzioa baino ez duen berotegia denez, ahalik eta eguzki-energiarik handiena aprobetxatzea komeni da eta berotegiaren barruko erosotasun-maila ez da garrantzitsua. Aldi berean, ez dago etxebizitzak gehiegi berotzeko arriskurik; izan ere, berotegi eta etxebizitzaren arteko itxitura termikoki ondo isolatuta egoteaz gain, eraikinean aire berorik behar ez denean, berotegia aireztapen-sistematik deskonektatuko da. Hori dela eta, ez dira kontuan hartu gainberotze arazoak saihesteko aldagaiak, hala nola toldoak edo pertsiana mugikorak erabiltzea edo berotegia ireki ahal izatea aireztapen naturalaren bidez hozteko. Ondoren, aztertutako aldagai nagusiak deskribatzen dira.

1. Beira mota

Horrelako sistemetan, funtsezkoa da beira mota optimoa zein den zehaztea. Horretarako, hiru ezaugarri hartu behar dira kontuan: 1) eguzki-transmisioa, ahalik eta handiena izan beharko dena eguzki-irabaziaz ahal diren handienak izan daitezzen; 2) transmitantzia termikoa, ahalik eta txikiena izan beharko dena, galera termikoak saihesteko; 3) kostu ekonomikoa. Hautatutako beiretan gertatzen den bezala, kasu gehienetan, zenbat eta txikiagoa izan beira baten transmitantzia termikoa, orduan eta txikiagoa izaten da eguzki-transmisioa eta kostua handiagoa. Beraz, eguzki-transmisio, transmitantzia termiko eta kostuaren arteko oreka onena duen beira zein den aztertu beharko da. Azterketarako hiru beira mota aukeratu dira: beira bakuna, beira bikoitza eta emisibitate baxuko beira bikoitza.

2. Isolamenduaren lodiera

Berotegiko ingurutzailerik opakuaren isolamendu mailak garrantzia du itxituren zehar egongo diren galera termikoak murrizteko orduan. Jarritako isolamenduaren eragina zehazteko, isolamendurik gabeko eta hiru isolamendu lodierako konfigurazioak simulatu dira: 8 cm, 16 cm eta 24 cm-koak. Itxiturak zenbat eta isolamendu lodiera handiagoa izan, orduan eta galera termiko txikiagoak egongo dira, eta, beraz, ziur aski, energia gehiago aurreztuko da. Baina, era berean, kostua ere handitzen joango da, eta, hortaz, energia-aurrezkien eta kostuen arteko oreka bilatu beharko da.

3. Inertzia termikoa

Berotegiari inertzia termikoa emanez, barruko tenperatura-gorabeherak txikiagoak izango dira. Tenperatura maximoak inertziaz ez balego bezain handiak ez izatea espero da, baina, aldi berean, minimoak hain txikiak ez izatea ere. Portaera-diferentzia horren ondorioz, energia-aurrezkiak ere aldatuko dira. Ikerketa gehienek berotegien inertzia areagotzeko ur-deposituak erabiltzeak haien portaera termikoa hobetzea dakarrela erakusten dute [6, 37, 38]. Hori egiaztatzeke, inertziaz gabeko emaitzak eta 6 cm-ko lodiera duten ur-deposituak jartzen direnean (moduluko 117 l ur) lortzen diren emaitzak alderatuko dira.

4. Bero-berreskurapena

Berotegian aurreberotutako airea aireztapen sistema mekanikoaren bidez sartuko da eraikinean. Berotegiak bero-berreskurapena duen aireztapen sistema batekin konbinatzea komeni den ala ez aztertuko da. Bero-berreskurapena instalatzen ez den kasuetan, berotegian berotutako airea eraikinean sartzeko, nahikoa izango da etengabeko fluxu bakuneko sarrera-sistema mekaniko batekin (aurrerantzean, etengabeko sarrera-sistema). Aireztapen-sistema horrekin, eraikinaren barruko airea gainpresioaren eraginez aterako da gela hezeetan dauden erauzketa-irekiduretatik.

Bero-berreskurapena instalatzen den kasuetan, aldiz, fluxu sinpleko sistema bat ez da nahikoa izango. Izan ere, sarrera-hodiez gain, erauzketa-hodien sare bat beharko da, barneko aire kutsatua bero-trukagailuraino eramateko. Fluxu bikoitzeko sistema honek, hodi kopurua bikoiztu egiten du, eta, beraz, ez da hain merkea izango. Era berean, aireztapen-sistema honek energia gehiago kontsumituko du, sarrera-haizagailuak, erauzketa-haizagailuak eta bero-berreskuragailuak instalatu behar baitira. Hala ere, bero-trukagailuari esker, eraikineko berokuntzan energia gehiago aurrezteko espero da. Lortutako aurrezki totalak kuantifikatzeko orduan, eraikineko berokuntzan kontsumitutako energia ez ezik, aireztapen-sistemaren kontsumoa ere zenbatu beharko da.

5. Seriean edo paraleloan instalatzea

Negutegien moduluak seriean edo paraleloan instalatzea posible da, eta horrek esan nahi du haien portaera desberdina izango dela, eta beraz, energia-aurrezkiak ere desberdinak izango direla. Seriean instalatzean, atari bakoitzari dagokion aire-emari guztia negutegiaren mutur batetik sartzen da, eta moduluetan zehar pasatzerakoan berotu ondoren, kontrako muturretik ateratzen da, azkenik, eraikinaren barrualdera eramateko. Moduluak paraleloan instalatzen dienean, aldiz, airea modu independentean berotzen da modulu bakoitzean. Kasu horretan, modulu bakoitzean sartu beharreko emaria kalkulatzeko, emari guztia modulu-kopuruaren artean zatitu beharko da. Modulu bakoitzaren irteeran, airea kolektore komun baten bidez jasotzen da, airea eraikinaren barrualdera bideratzen duena.

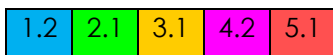
3.5 Taulan aldagai multzo bakoitzean aztertutako aldaerak eta haien ezaugarri nagusiak laburbiltzen dira.

3.5 Taula. Aztertutako aldaeren ezaugarriak.

| Faktorea | Aldaera |
|---|---|
| 1. Beira | 1.1 Beira bakuna. 6 mm SHGC= 0,815 Argi-transmisioa= 0,885 U= 5,265 W ·m ⁻² ·K ⁻¹ |
| | 1.2 Beira bikoitza. 5+5/10airea/6 SHGC=0,722 Argi-transmisioa = 0,801 U= 2,738 W ·m ⁻² ·K ⁻¹ |
| | 1.3 Emisibitate baxuko beira bikoitza. 6/12argoa/4 SHGC=0,592 Argi-transmisioa = 0,796 U=1,40 W ·m ⁻² ·K ⁻¹ |
| 2. Isolamendua | 2.0 Isolamendurik gabe |
| | 2.1 Kortxozko aglomeratua. 8 cm U= 0,462 W ·m ⁻² ·K ⁻¹ |
| | 2.2 Kortxozko aglomeratua. 16 cm U= 0,231 W ·m ⁻² ·K ⁻¹ |
| | 2.3 Kortxozko aglomeratua. 24 cm U= 0,154 W ·m ⁻² ·K ⁻¹ |
| 3. Inertzia termikoa (Bero-biltegiak) | 3.1 Inertziarik gabe Ur-depositu gabe |
| | 3.2 Inertziarekin 6 cm-ko altuerako ur-deposituak zoruan (moduluko 117 l) |
| 4. Bero-berreskurapena | 4.1. Bero-berreskurapenik gabe Etengabeko sarrera-aireztapena. |
| | 4.2 Bero-berreskurapenarekin Bero-berreskurapena duen aireztapena. Berreskuragailuaren eraginkortasuna: 85% |
| 5. Seriean edo paraleloan instalatzea | 5.1 Seriean. Berotegi-moduluak seriean instalatuta. |
| | 5.2 Paraleloan. Berotegi-moduluak paraleloan instalatuta. |

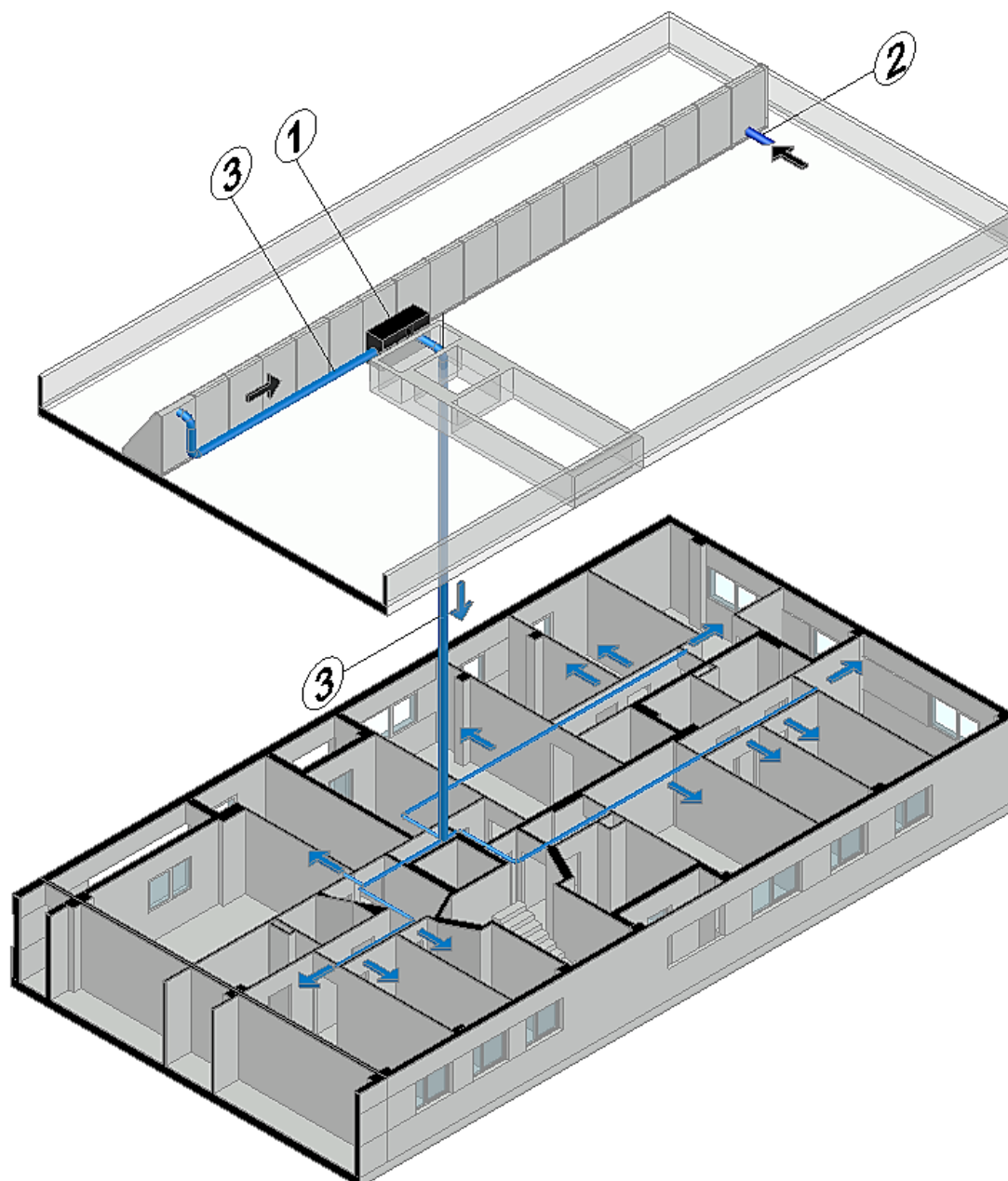
Aldaera horiek elkarren artean konbinatu ahal izango dira, 96 berotegi-konfigurazio ezberdin osatu arte. Emaitzak errazago irakurtzeko, zenbaki- eta kolore-kode bat erabili da. Aldaera bakoitzari bi zenbaki esleitu zaizkio: bat dagokion multzoagatik (1. beira mota; 2. isolamendu maila; 3. inertzia; 4. bero-berreskurapena; 5. seriean edo paraleloan instalatzea) eta beste bat talde horren barruan erabiltzen den aldaeragatik. Horrela, berotegiko konfigurazio posible bakoitzari bost zenbaki bikote esleitzen zaizkio, aldagai edo faktore multzo bakoitzeko pare bat. Era berean,

konfigurazio bakoitza bost koloreekin definituko da ere. 3.5 Taulan aldaera bakoitzaren ezaugarri nagusiak agertzen dira, baita esleitu zaizkion kolorea eta zenbakia ere. Beraz, konfigurazio posible bakoitza bost zenbaki parek eta bost kolorek definituko dute. Adibidez, beira bikoitza duen (1.2), 6 cm-ko isolamendua duen (2.1), inertzia termikorik ez duen(3.1), bero-berreskurapena duen (4.2) eta seriean instalatutako moduluak dituen (5.1) berotegiaren konfigurazioa honela izendatuko litzateke:



Aireztapen-sistema

Berotegirik gabeko eraikinarekin gertatzen zen bezala, atari bakoitzeko aireztapen-sistema independente bat jartzea erabaki da. Horrela, berotegia bitan banatzen da: moduluen erdiek atari bateko etxebizitzaren sarrera-areia aurreberotzeko balio dute, eta beste erdiek beste atariko etxebizitzena. Berotegia bero-berreskurapena duen sistema batekin konbinatzen den edo ez den arabera eta moduluak seriean edo paraleloan instalatzen diren arabera, lau aukera izango dira aireztapen-sistemari dagokionez: seriean berreskurapenik gabe (4.1/5.1 aukera); seriean berreskurapenarekin (4.2/5.1 aukera); paraleloan berreskurapenik gabe (4.1/5.2 aukera) eta paraleloan berreskurapenarekin (4.2/5.2 aukera). Jarraian, 3.6 Irudiak, lehenengo aireztapen-sistemaren konfigurazioaren eskema erakusten du (4.1/5.1 aukera).

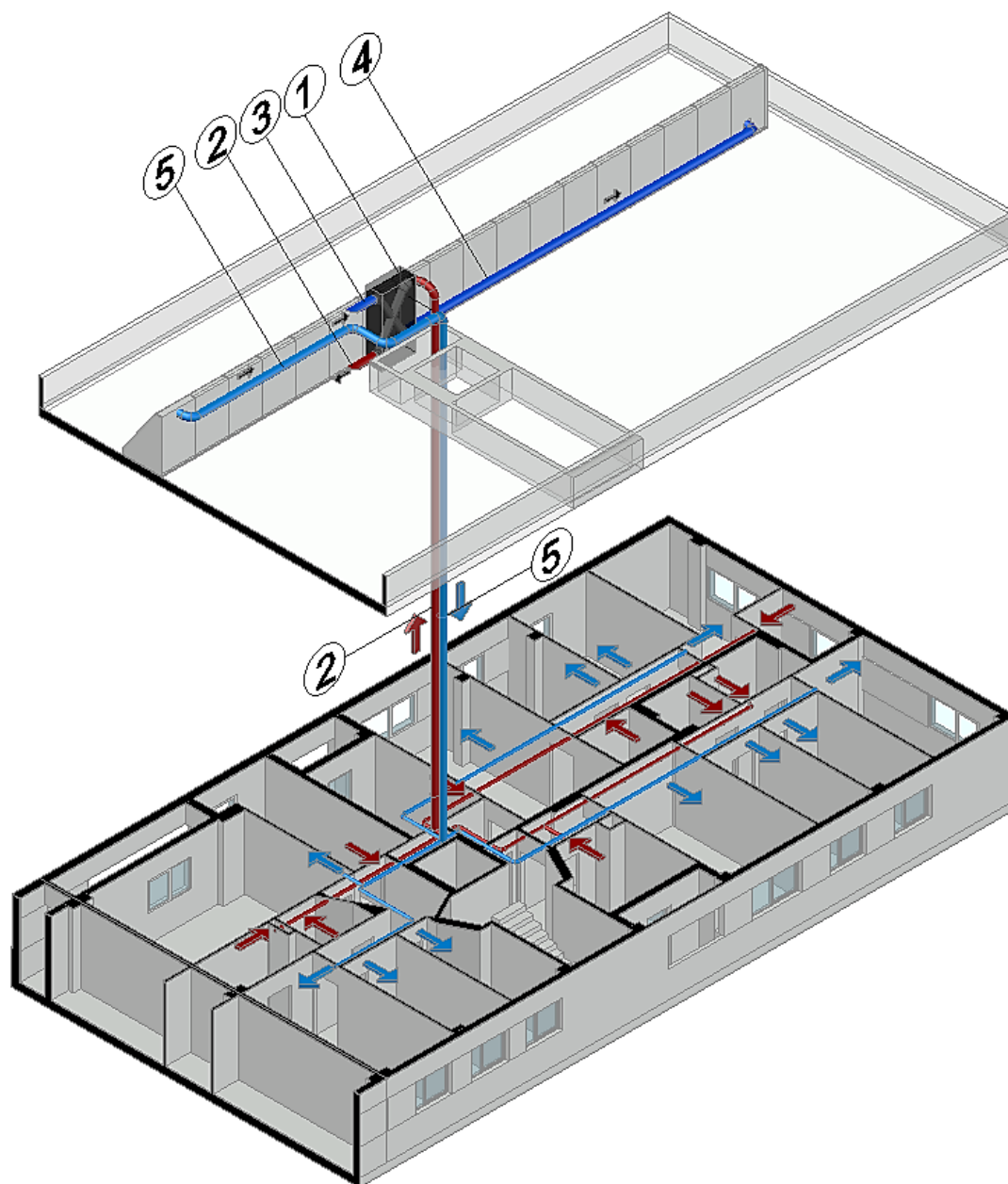


3.6 Irudia. Etengabeko sarrera-sistemaren aireztapen eskema, seriean instalatutako moduluekin (4.1/5.1 aukera).

1. Haizagailua; 2. Aire-sarrera; 3. Aire berotegitik etxebizitzetara.

Moduluak seriean jartzean, kanpoko airea negutegiaren mutur batetik sartzen da, eta erabat zeharkatu ondoren, airea etxebizitzetara bideratzen da, etengabeko sarrera aireztapen sistemaren bidez. Berotegirik instalatzen ez denean baino hodi gehiago beharko dira berotegitik eraikinaren barrualdera airea bideratzeko. Gainera, berotegian berotutako airea hoztu ez dadin, hodi horiek isolatuta egon beharko dira, eta beraz, aireztapen aukera hau, berotegirik gabeko aukera baino garestiagoa izango da.

Bigarren aukera bezala, eraikineko erauzte-airearen eta berotegian sartu beharreko airearen artean instalatutako bero-berreskuragailua duen aireztapena aztertuko da, moduluen instalazioa seriean egiten denean (4.2/5.1 aukera).



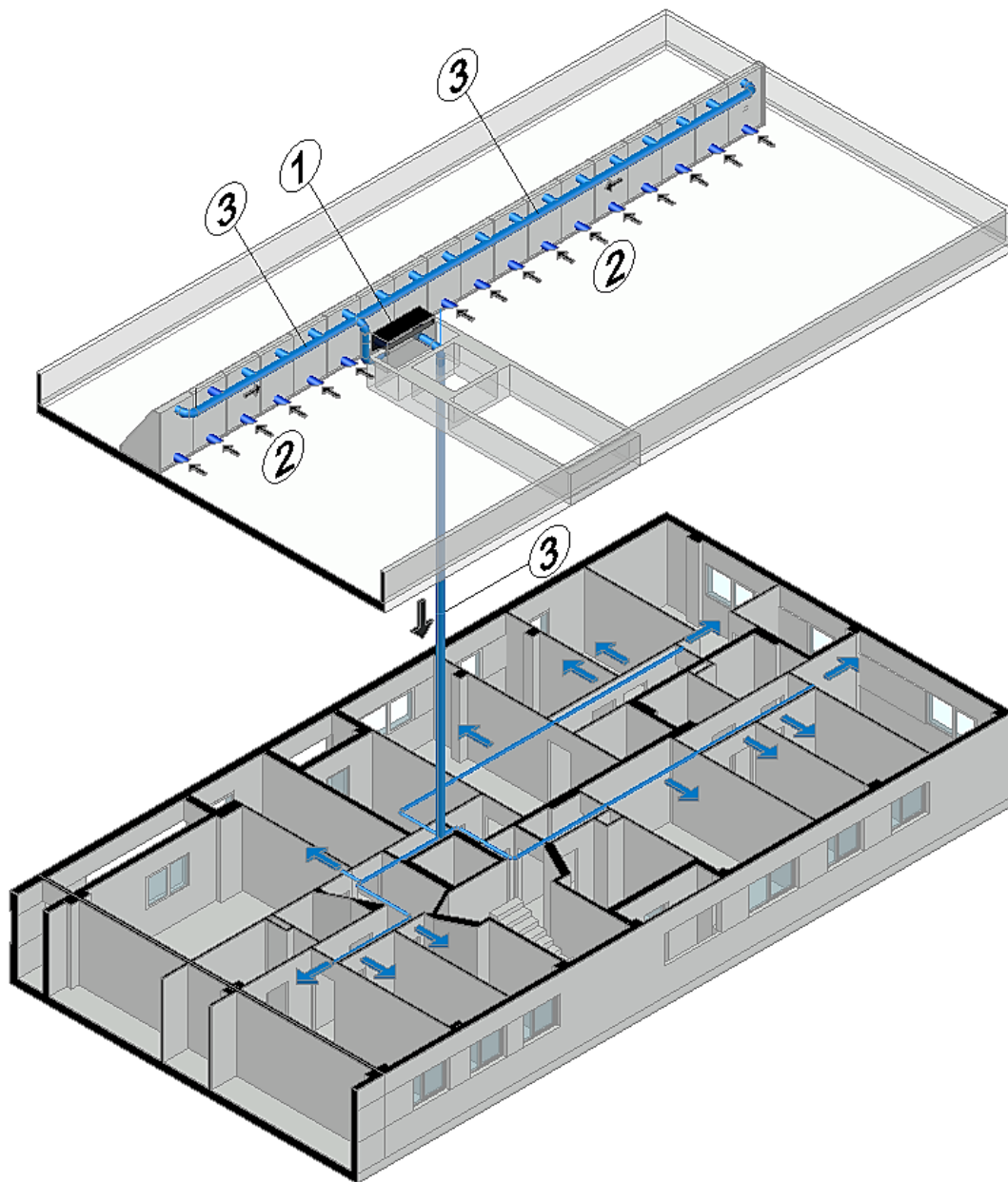
3.7 Irudia. Bero-berreskurapena duen aireztapen sistemaren eskema, seriean instalatutako moduluekin (4.2/5.1 aukera).

1. Bero-berreskuragailua; 2. Aire-erazketa; 3. Aire-sarrera; 4. Airea bero-berreskuragailutik berotegira; 5. Airea berotegitik etxebizitzetara.

Berreskuragailuaren erabilerarekin, berotegian sartu aurretik airea aurreberotzen denez, aurreko aukerarekin baino tenperatura nabarmen altuagoak lortzea espero da. Airea 9:00etatik 19:00etara baino ez da igaroko berotegitik; izan ere, aurrez egindako

simulazioen arabera, gauean berotegiak, bero-berreskuratzaitik datorren airea gehiago berotu beharrean, hoztu egingo luke, galera termikoen eta hozte erradiatiboaren ondorioz. 3.7 Irudian ikus daitekeenez, aukera honetan hodi gehiago beharko dira, eraikineko erauzketa-airea bero-berreskuratzaileraino eramateko sare bat ere egin behar delako. Horren ondorioz eta berreskuragailuaren kostu handiagoaren ondorioz, hasierako inbertsioa handiagoa izango da, baina, aldi berean, eraikinaren berokuntzan gehiago aurrezteko espero da ere.

3.8 Irudiak aireztatze-sistemaren eskema erakusten du, beroa berreskuratzen ez denean eta moduluak paraleloan instalatzen direnean (4.1/5.2 aukera).

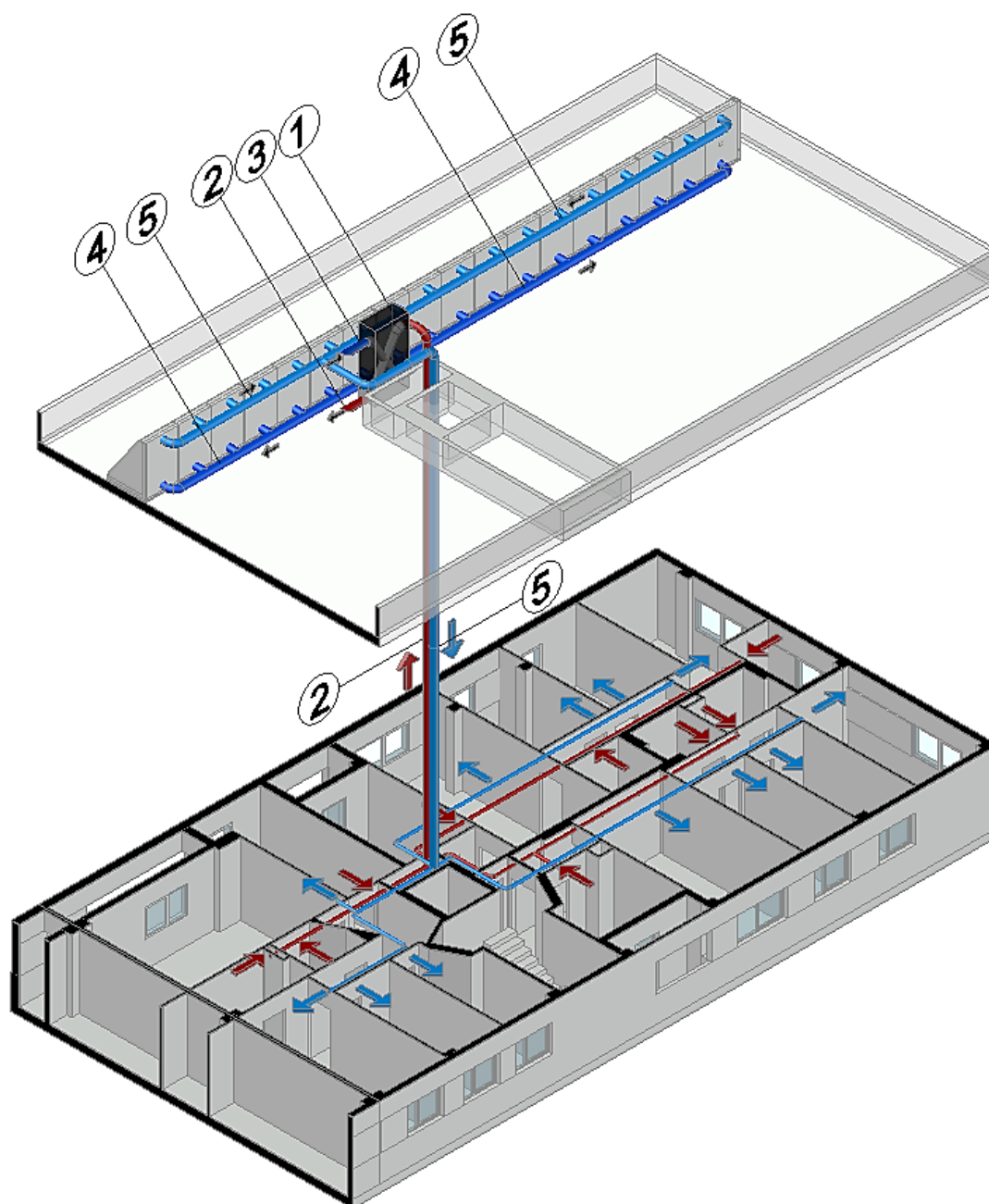


3.8 Irudia. Etengabeko sarrera-sistemaren aireztapen-eskema, paraleloan instalatutako moduluekin (4.1/5.1 aukera).

1. Haizagailua; 2. Aire-sarrera; 3. Aire berotegitik etxebizitzetara.

Bero-berreskurapenik gabe moduluak paraleloan instalatzen badira, airea modulu bakoitzean sartuko da, eta, behin berotu ondoren, haizagailuraino zuzendu beharko da. Horren ondorioz, hodi kopurua handitu egingo da 4.1/5.1 aukerarekiko eta beraz, kostua ere zertxobait handiagoa izango da.

3.9 Irudian, laugarren aukera agertzen da: bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema, moduluak paraleloan instalatzen direnean (4.2/5.2 aukera).



3.9 Irudia. Bero-berreskurapena duen aireztapen-sistemaren eskema, paraleloan instalatutako moduluekin (4.2/5.2 aukera).

1. Bero-berreskuragailua; 2. Aire-erazketa; 3. Aire-sarrera; 4. Airea bero-berreskuragailutik berotegira; 5. Airea berotegitik etxebizitzetara.

Kasu honetan, kanpoko airea berreskuragailutik modulu bakoitzera eraman beharko da. Moduluetan airea berotu ondoren, eraikinera eraman beharko da ere. Hodi gehien behar dituen soluzioa da, eta, beraz, instalazio-kostu handiena duena.

3.1.4. SIMULAZIOA. METODOLOGIA OROKORRA

Design Builder eredu baliozkotu ondoren, simulazio informatikoa erabili da eraikinaren energia-portaera berotegi-konfigurazio desberdinekin aztertzeko. Simulazioan, prototipoaren tamaina bera duen modulu erabili da. Paraleloan instalatzen direnean, modulu bakoitza xafra galbanizatuzko itxitura baten bidez bereizten da, baina seriean instalatzerakoan, moduluak ez dira elkarrengandik banatzen, eta prototipoa baino askoz handiagoa den espazioa sortzen da. Horregatik, azken kasu honetan, moduluen artean Design Builder programaren "partizio birtualak" erabiltzea erabaki da. "Partizio birtuala" ez da bero-fluxuarentzako oztopo bat, eta ez du suposatzen barne-masa termikorik. Gainera, airea eta eguzki-erradiazioa "partizio birtualak" bereizten dituen bi eremuen artean pasa daitezke. Bere erabilerarekin, berotegia, elkarrekin lotuta dauden eta esperimentera baliozkotutako moduluaren tamainakoak diren guneean zatitzea lortzen dugu. Horrela, berotegi osorako tenperatura bakarra ezarri beharrean, programak zona bakoitzerako tenperatura bat kalkulatu du. Era honetan, simulazioa errealitatera gehiago hurbilduko da, non airea, sarreratik irteeraraino, berotegia zeharkatu ahala berotuko baita.

Sarriguren aukeratu da eraikinaren kokaleku gisa, eta hasieran 36 moduluko berotegi baten instalazioa aztertu da. Lehenik eta behin, aldagai bakoitzak berotegien portaera termikoan duen eragina aztertzeko, berotegien barne tenperaturak aztertu dira. Negutegien konfigurazioen arabera, tenperaturak desberdinak izango dira. Aldagai bakoitzak nola eragiten duen banan-banan aztertzea aukeratu da.

Bigarrenik, eraikinaren urteko kontsumoak aztertu dira, berotegi-konfigurazio desberdinak instalatzeak dakartzan aurrezkiak kuantifikatzeko. Aukeratutako eraikina berotegirik eta bero-berreskurapenik gabe simulatu da, gaur egun duen urteko energia-kontsumoa ezartzeko (0 kasua). Berotegirik gabeko eraikinaren portaera ere aztertu da, baina kasu honetan, bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema bat instalatzen zaionean (Bero-berreskurapena duen kasua, 0-BB kasua). Berotegi-aldagai desberdinek eraikinean eragiten dituzten aurrezkiak zehazteko, eraikina berotegi-konfigurazio posible bakoitzarekin simulatu da ere. Aukera bakoitzean, berokuntzaren azken energia-kontsumoa kalkulatu da, baita aireztapen-sistemaren haizagailuena ere. Elkarren artean alderatu ahal izateko eta aurrezki totalak lortu ahal izateko, energia

primarioaren kontsumoak kalkulatu dira ere, berokuntzarenak, aireztapenarenak eta baita guztira ere.

Energia-kontsumoa aztertu ondoren, soluzio ezberdinen alderdi ekonomikoetan sakondu da. Gerta daiteke, energiaren ikuspuntutik onena den soluzioa, egokiena ez izatea ikuspuntu ekonomikotik, egin beharreko hasierako inbertsio handiagatik edo inbertsio horren itzulera-epe luzeengatik. Berotegi-konfigurazio bakoitzak dakarren kostuaren igoera ezarri eta energiaren prezioa kalkulatu ondoren, berotegi-konfigurazio bakoitzaren inbertsioa berreskuratzeko behar den epea kalkulatu da.

36 moduluko berotegiaren azterketa egin ondoren, berotegiaren tamainak energia-currezkietan eta inbertsioaren itzuleran duen eragina aztertu da. 12, 18, 24, 30 eta 36 moduluko lau konfigurazio aztertu dira.

3.2. BEROTEGIAREN BARRUAN LORTUTAKO TEMPERATUREN AZTERKETA

3.2.1. ERABILITAKO METODOLOGIA

Berotegiaren irteeran lortutako tenperaturetan aldagai desberdinek duten eragina aztertzeko, grafiko konparatiboak erabili dira neguko ohiko eta muturreko asteetan. Era berean, bi aste hauetan, kanpoko airearen tenperatura eta berotegiaren irteerako airearen tenperaturaren arteko eguneko diferentzia maximoak eta batez bestekoak aztertu dira. Neguko ohiko astea ordu-kliman neguan ohikotzat jotzen dena da eta muturrekoa, berriz, urteko hotzena da, EnergyPlus-en artxibo klimatikoaren arabera [50]. 3.6 Taulan bi aste horietako eguneroko tenperaturak eta eguzki-erradiazioa agertzen dira.

3.6 Taula. Neguko ohiko asteko eta muturreko asteko tenperaturak eta eguzki-erradiazioa.

| Eguna | Eguzki-erradiazioa guztira | | Kanpo-tenperatura | | |
|------------------------|----------------------------|--------------------|-------------------|-------------|-------------|
| | kWh m ² | | °C | | |
| | Zuzeneko normala | Horizontal difusoa | Batezbestekoa | Maximoa | Minimoa |
| OHIKO ASTEA | | | | | |
| Urtarrilaren 1a | 0,10 | 0,51 | 7,0 | 11,4 | 3,3 |
| Urtarrilaren 2a | 1,49 | 0,85 | 7,0 | 13,3 | 2,8 |
| Urtarrilaren 3a | 0,28 | 0,69 | 5,4 | 9,2 | 2,2 |
| Urtarrilaren 4a | 1,47 | 0,99 | 6,1 | 12,0 | 2,8 |
| Urtarrilaren 5a | 0,15 | 0,55 | 6,0 | 9,4 | 3,9 |
| Urtarrilaren 6a | 0,13 | 0,72 | 4,9 | 8,3 | 1,9 |
| Urtarrilaren 7a | 1,33 | 0,94 | 5,1 | 9,4 | 2,2 |
| Aste osoa | 4,96 | 5,26 | 5,9 | 13,3 | 1,9 |
| MUTURREKO ASTEA | | | | | |
| Urtarrilaren 15a | 1,56 | 1,03 | 3,4 | 6,1 | 0,6 |
| Urtarrilaren 16a | 0,82 | 1,00 | 3,8 | 7,2 | 1,7 |
| Urtarrilaren 17a | 0,00 | 0,45 | 3,8 | 5,6 | 2,8 |
| Urtarrilaren 18a | 0,08 | 0,46 | 2,9 | 4,4 | 1,1 |
| Urtarrilaren 19a | 4,69 | 0,71 | 3,0 | 6,4 | 0,8 |
| Urtarrilaren 20a | 4,45 | 0,76 | 3,1 | 8,3 | -0,3 |
| Urtarrilaren 21a | 3,56 | 0,88 | 4,2 | 9,2 | 1,1 |
| Aste osoa | 15,17 | 5,29 | 3,5 | 9,2 | -0,3 |

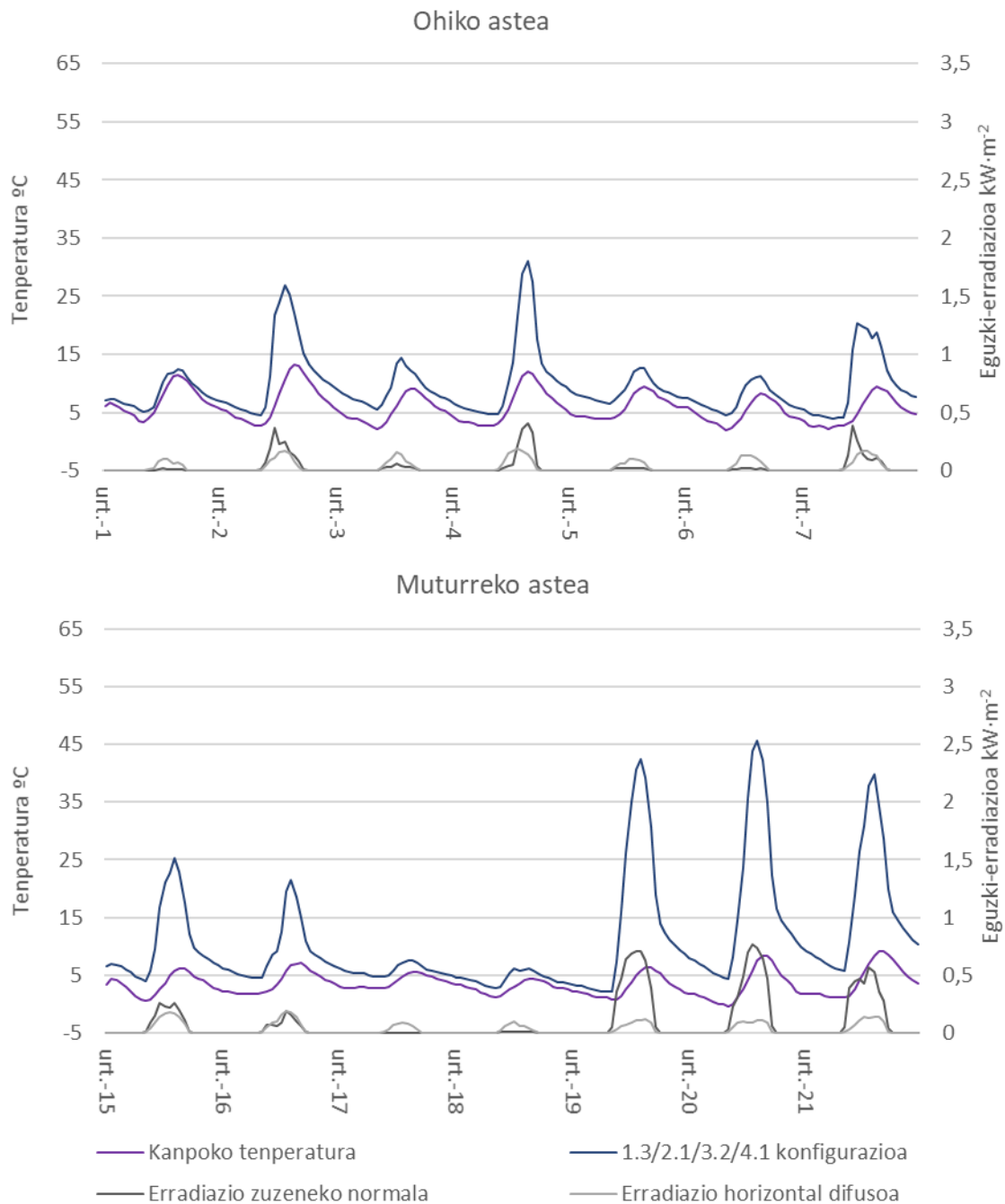
Analisia Sarriguren herrian egin da, eraikina dagoen tokian. Ikerketaren abiapuntua, 3.7 Taulan laburbiltzen diren ezaugarriak dituen eraikitako berotegi prototipoaren oinarritzko konfigurazioa izan da. Talde bakoitzaren aldaerek nola eragiten duten aztertzeko, oinarritzko konfigurazioaren aldaera guztiak mantendu dira, konparatu nahi den taldearenak izan ezik. Adibidez, beira mota desberdinak nola eragiten duten aztertu nahi bada, isolamenduaren, inertiaren, bero-berreskurapenaren eta moduluen instalazio-moduaren aldagaiak oinarritzko konfiguraziokoaren berdinak izango dira, eta beira mota soilik aldatuko da. Horrela, beira mota bakoitzarekin lortutako emaitzak konparagarriak izatea lortzen da.

3.7 Taula. Berotegiaren oinarritzko konfigurazioa.

| Konfigurazioa | Ezaugarriak |
|----------------------|--|
| 1.3. 2.1 3.2 4.1 5.1 | Emisibitate baxuko beira bikoitza 8 cm-ko isolamendua Inertiarekin Bero-berreskurapenik gabe Seriean |

3.2.2. EMAITZAK

3.10 Irudian, kanpoko tenperaturak eta oinarriko konfigurazioa duen (1.3/2.1/3.2/4.1/5.1) berotegi irteeran lortutakoak alderatu egiten dira, neguko ohiko astean eta muturreko astean.



3.10 Irudia. Ohiko astean eta muturreko astean berotegiaren irteeran lortutako tenperaturak, 1.3/2.1/3.2/4.1/5.1 konfigurazioarekin.

Eguzki-erradiazio handieneko egunetan, berotegiaren irteeran lortutako tenperaturak nabarmen handiagoak dira gainerako egunetan baino. Eguzki-erradiazio gutxiko egunetan, ordea, tenperatura askoz baxuagoak izaten dira, eta ez dira asko aldatzen

kanpoaldekoekin konparatuta. Horrek erakusten du eguzki-sistema mota horietan baldintza meteorologikoez duten garrantzia.

Bi asteak konparatuz gero, azpimarratu behar da muturreko astean lortzen direla tenperatura altuagoak berotegian, nahiz eta aldi horretan, kanpoko tenperatura askoz baxuagoa izan. Ohiko astean kanpo-tenperaturaren batezbestekoa 5,9 °C-koa da, maximoa 13,3 °C-koa eta minimoa 1,9 °C-koa (ikus 3.6 Taula). Muturreko astean, kanpoko tenperatura horiek jaitسي egiten dira: batez besteko tenperatura 3,5 °C-koa da, maximoa 9,1 °C-koa eta minimoa -0,3 °C-koa. Eguzki-erradiazioa, ordea, askoz handiagoa da muturreko astean, batez ere zuzeneko normala. Ohiko astean zuzeneko erradiazio normalaren batura 4,96 kWh·m⁻²-koa da, muturrekoan 15,17 kWh·m⁻²-koa den bitartean. Eguzki-erradiazio handiago horrek berotegian lortzen diren tenperaturak ere handiagoak izatea eragiten du. Berotegiaren irteeran, batez besteko tenperatura 9,5 °C-koa da ohiko astean; muturreko astean, berriz, 11,3 °C-koa da, nahiz eta kanpoko tenperatura askoz txikiagoa izan. Ohiko astean eguzki-erradiazio handieneko egunean (urtarrilaren 4an), kanpoko tenperatura 12 °C-ra iristen da, berotegiaren irteeran 32 °C lortzen direlarik. Muturreko astean, urtarrilaren 20an, kanpoan 8,3 °C-ra baino iristen ez denean, 45 °C-tik gora lortzen dira irteeran. Beraz, eguzki-erradiazioak berotegiaren portaera termikoan duen garrantzi handia ikusten da berriro.

3.2.2.1. BEIRA MOTA

Aztertutako beira mota bakoitzak eguzki-bero irabazien koefiziente (SHGC) eta transmitantzia termiko (U) desberdinak ditu (ikus 3.5 Taula). Beira gehienekin gertatzen den bezala, hautatutakoetan, transmitantzia termikoa txikiagoa den heinean, eguzkiaren irabazi termikoaren koefizientea jaitسي egiten da ere. Hau da, zenbat eta beira isolatzaileagoa izan, orduan eta txikiagoak dira eguzki-irabaziak.

3.11 Irudian, hautatutako beirekin negutegiaren irteeran lortutako tenperaturak erakusten dira, neguko ohiko eta muturreko asteetan.

3.8 Taula. Berotegiaren irteera-airearen eta kanpo-airearen arteko eguneko tenperatura diferentzia maximoa eta batez bestekoa, beira motaren arabera, neguko ohiko astean.

| Konfigurazioa | Eguna | Eguzki-erradiazio totala [kWh m ⁻²] | | Tenperatura diferentzia [°C] | | | | | | | |
|--------------------|-------|--|--------------------|---------------------------------|------------------------|----------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|
| | | Zuzeneko normala | Horizontal difusoa | Batez besteko ΔT | | | ΔT maximoa | | | | |
| | | | | Egunez 9h-19h | Gauetz 0h-9h / 19h-24h | Guztira 0h-24h | | | | | |
| OHIKO ASTEA | | | | | | | | | | | |
| 1.1 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 1a | 0,10 | 0,51 | 0,4 | 0,0 | 0,2 | 1,5 |
| 1.2 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 1,0 | 0,7 | 0,8 | 2,1 | | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 2,3 | | |
| 1.1 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 2a | 1,49 | 0,85 | 7,8 | 0,7 | 3,7 | 15,4 |
| 1.2 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 9,2 | 1,6 | 4,8 | 17,1 | | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 9,0 | 2,2 | 5,1 | 16,2 | | |
| 1.1 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 3a | 0,28 | 0,69 | 2,7 | 1,2 | 1,8 | 6,0 |
| 1.2 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 3,6 | 2,2 | 2,8 | 7,1 | | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 4,0 | 3,0 | 3,4 | 7,2 | | |
| 1.1 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 4a | 1,47 | 0,99 | 7,9 | 1,1 | 3,9 | 18,3 |
| 1.2 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 9,2 | 2,1 | 5,1 | 20,4 | | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 9,0 | 2,8 | 5,4 | 19,0 | | |
| 1.1 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 5a | 0,15 | 0,55 | 1,6 | 1,0 | 1,2 | 2,6 |
| 1.2 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 2,4 | 1,9 | 2,1 | 3,4 | | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 2,8 | 2,7 | 2,8 | 4,0 | | |
| 1.1 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 6a | 0,13 | 0,72 | 1,8 | 0,5 | 1,0 | 3,4 |
| 1.2 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 2,6 | 1,3 | 1,8 | 4,2 | | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 2,9 | 2,0 | 2,4 | 4,4 | | |
| 1.1 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 7a | 1,33 | 0,94 | 7,4 | 0,7 | 3,5 | 14,0 |
| 1.2 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 8,8 | 1,6 | 4,6 | 16,0 | | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 8,8 | 2,2 | 5,0 | 15,6 | | |
| 1.1 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Aste osoa | 4,96 | 5,26 | 4,2 | 0,7 | 2,2 | 18,3 |
| 1.2 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 5,3 | 1,6 | 3,1 | 20,4 | | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 5,4 | 2,3 | 3,6 | 19,0 | | |

3.9 Taula. Berotegiaren irteera-airearen eta kanpo-airearen arteko eguneko tenperatura diferentzia maximoa eta batez bestekoa, beira motaren arabera, neguko muturreko astean.

| Konfigurazioa | Eguna | Eguzki-erradiazio totala [kWh m ⁻²] | | Tenperatura diferentzia [°C] | | | | | | | |
|------------------------|-------|--|--------------------|---------------------------------|------------------------|----------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|
| | | Zuzeneko normala | Horizontal difusoa | Batez besteko ΔT | | | ΔT maximoa | | | | |
| | | | | Egunez 9h-19h | Gauetz 0h-9h / 19h-24h | Guztira 0h-24h | | | | | |
| MUTURREKO ASTEA | | | | | | | | | | | |
| 1.1 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 15a | 1,56 | 1,03 | 10,2 | 1,7 | 5,2 | 17,3 |
| 1.2 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 12,0 | 2,9 | 6,7 | 19,6 | | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 12,2 | 3,6 | 7,1 | 19,4 | | |
| 1.1 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 16a | 0,82 | 1,00 | 6,4 | 1,5 | 3,5 | 13,1 |
| 1.2 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 7,7 | 2,6 | 4,7 | 14,8 | | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 8,0 | 3,2 | 5,2 | 14,7 | | |
| 1.1 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 17a | 0,00 | 0,45 | 0,7 | 0,6 | 0,6 | 1,4 |
| 1.2 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 2,5 | | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 1,9 | 2,0 | 2,0 | 3,1 | | |
| 1.1 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 18a | 0,08 | 0,46 | 0,8 | 0,1 | 0,4 | 2,1 |
| 1.2 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 1,5 | 0,8 | 1,1 | 2,9 | | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 1,9 | 1,3 | 1,5 | 3,2 | | |
| 1.1 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 19a | 4,69 | 0,71 | 20,0 | 1,6 | 9,3 | 33,4 |
| 1.2 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 22,9 | 2,7 | 11,1 | 37,3 | | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 22,7 | 3,4 | 11,4 | 36,6 | | |
| 1.1 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 20a | 4,45 | 0,76 | 20,4 | 3,8 | 10,7 | 35,0 |
| 1.2 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 23,5 | 5,6 | 13,1 | 38,9 | | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 23,6 | 6,6 | 13,6 | 38,1 | | |
| 1.1 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 21a | 3,56 | 0,88 | 17,0 | 3,6 | 9,2 | 28,2 |
| 1.2 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 19,8 | 5,4 | 11,4 | 31,8 | | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 20,0 | 6,4 | 12,1 | 31,4 | | |
| 1.1 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Aste osoa | 15,17 | 5,29 | 10,8 | 1,8 | 5,6 | 35,0 |
| 1.2 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 12,7 | 3,1 | 7,1 | 38,9 | | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 12,9 | 3,8 | 7,6 | 38,1 | | |

Eguneko orduetan (9:00etatik 19:00etara) gertatzen dena aztertuz gero, beira bikoitzaren (1.2. Aldaera) eta emisibitate baxuko beiraren (1.3. Aldaera) arteko aldeak txikiak direla ikusten da. Egun gehienetan, beiraren ahalmen isolatzaileak garrantzi handiagoa du eguzki-irabaziek baino, eta, beraz, emisibitate baxuko beirarekin lortzen dira tenperatura maximoak eta eguneko batez besteko alderik handienak. Hala ere, eguzki-erradiazio handieneko egun batzuetan, eguneko maximoak eta batez besteko diferentzia handienak, beira bikoitzarekin handiagoak izaten dira; izan ere, emisibitate baxuko beirak baino SHGC handiagoa duenez, eguzki-irabazi handiagoak lortzen dira. Eguneko orduetan, tenperatura baxuenak beira bakunarekin gertatzen dira beti (1.1 Aldaera). SHGC handiena beira bakunari dagokio, eta, beraz, eguzki-irabazi handienak beira horri dagozkio, baina haren transmitantzia termikoa beste aldaerena baino askoz handiagoa denez, galerak ere handiagoak dira. Horren ondorioz, aldeak oso handiak ez izan arren, eguneko orduetan beira bakunarekin lortutako tenperaturak baxuenak dira egun guztietan.

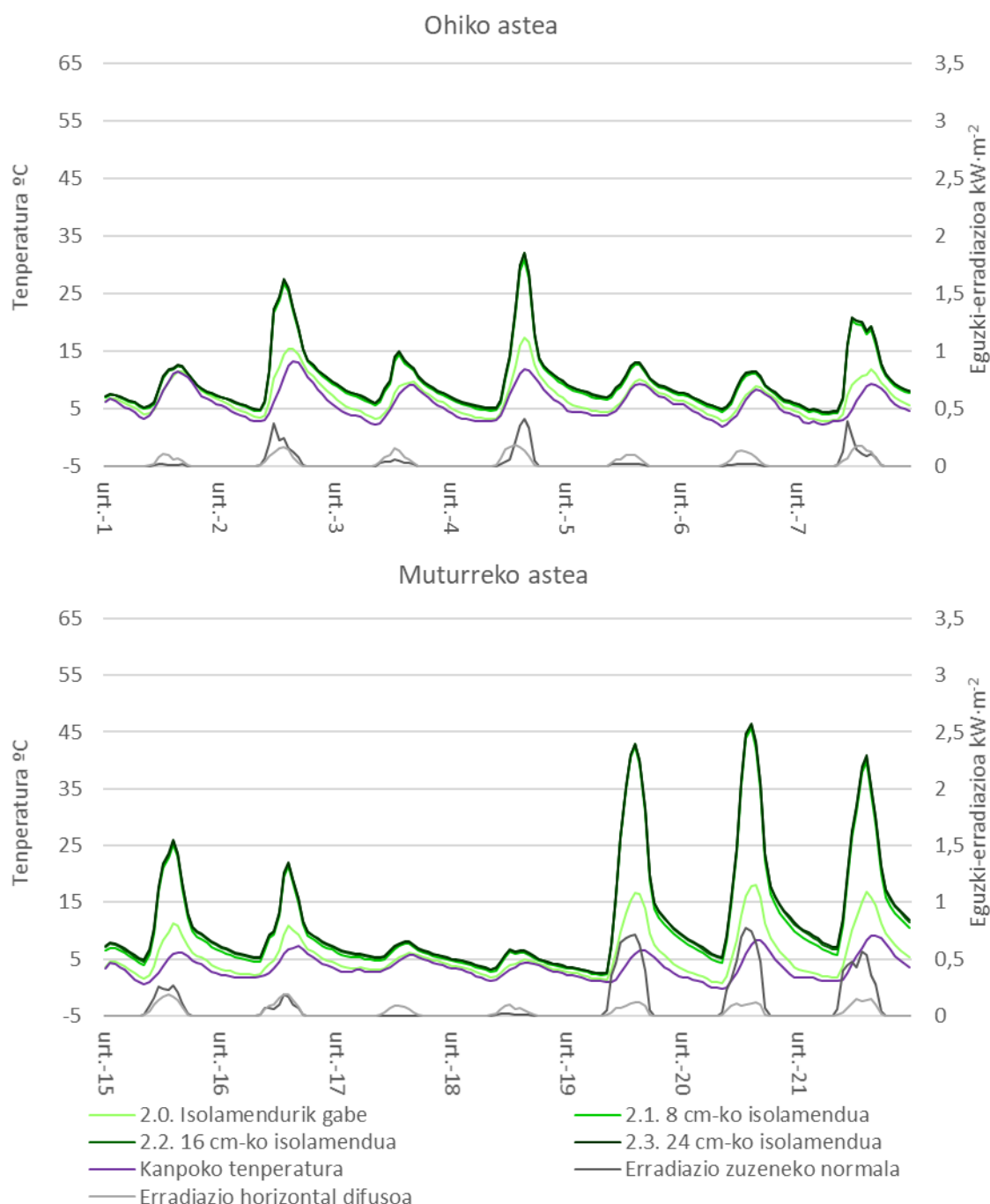
Gauetz (19:00etatik 9:00etara), zenbat eta txikiagoa izan beiraren transmitantzia termikoa, orduan eta gutxiago jaisten dira berotegiko tenperaturak. Gaueko orduetan, irteerako airearen eta kanpoko airearen arteko tenperatura-diferentzia handienak, beraz, emisibitate baxuko beira bikoitzarekin lortzen dira, eta txikiak, berriz, beira bakunarekin.

Eguneko batezbesteko totalak aztertuz gero (0:00etatik 24:00etara), bi asteko egun guztietan, kanpo-tenperaturaren eta negutegi irteerako tenperaturaren arteko diferentziarik handienak emisibitate baxuko beira bikoitzarekin lortzen dira; beira bakunarekin, berriz, berriro ere diferentzia txikiak izaten dira. Gainera, beira bakunaren eta bikoitzaren arteko tenperatura-diferentziak handiagoak dira beira bikoitzaren eta emisibitate baxukoaren artekoak baino.

Beraz, ondoriozta daiteke, ahalik eta tenperatura altuenetara ailegatzeko, transmitantzia termiko baxua duen beira bat bilatu behar dela, baina, aldi berean, ahalik eta SHGC handiena duena. Eguzki erradiazio handia dagoenean, SHGC altua izatea garrantzitsua bihurtzen da. Hala ere, erradiazioa jaitsi ahala, alderdi hori ez da hain funtsezkoa, eta garrantzi handiagoa hartzen du beiraren ahalmen isolatzaileak. Ondorioz, transmitantzia termiko baxuagoa duen beirak portaera hobea du egun lainotsuetan eta gauetan. Horregatik, Sarrigurenen eguneko batez besteko tenperatura altuagoak lortzen dira emisibitate baxuko beira bikoitzarekin, bai ohiko astean, bai muturrekoan. Negutegiaren portaera txarrena beira bakunarekin gertatzen da.

3.2.2.2. ISOLAMENDUAREN LODIERA

Isolamenduaren lodierak nola eragiten duen konparatzeko, lau berotegi-konfigurazio aukeratu dira, non aldagai guztiak konstante mantentzen baitira, isolamenduaren lodiera izan ezik. 3.12 Irudian, neguko ohiko astean eta muturrekoan berotegiaren irteeran lortzen diren tenperaturak erakusten dira, isolamendu lodiera desberdinak jartzen direnean: isolamendurik gabe (2.0 Aldaera), 8 cm (2.1 Aldaera), 16 cm (2.2 Aldaera) eta 24 cm (2.3 Aldaera).



3.12. Irudia. Ohiko astean eta muturreko astean, isolamendu lodieraren arabera berotegiaren irteeran lortutako tenperaturak.

Isolamendurik jartzen ez denean, lortutako tenperaturak gainerako kasuetan baino askoz txikiagoak dira, eta horrek agerian uzten du inguratzaile opakua isolatu behar dela galera termikoak saihesteko. Espero zitekeen bezala, zenbat eta isolamendu gehiago jarri, orduan eta tenperatura altuagoak lortzen dira. Alde horiek nabariagoak dira gauetan, galera termiko handienak orduan gertatzen baitira. Hala ere, inguratzaile opakua behar bezala isolatu ondoren, isolamendu gradu desberdinekin lortutako tenperaturen arteko aldeak oso txikiak dira. 3.10 Taulan eta 3.11 Taulan, isolamendu lodiera desberdinen arabera lortzen diren berotegiaren irteera-tenperaturaren eta kanpoko-tenperaturaren arteko diferentziak erakusten dira ohiko astean eta muturrekoan, hurrenez hurren.

3.10 Taula. Berotegiaren irteera-airearen eta kanpo-airearen arteko eguneko tenperatura diferentzia maximoa eta batez bestekoa, isolamendu lodieraren arabera, neguko ohiko astean.

| Konfigurazioa | Eguna | Eguzki-erradiazio totala [kWh m ⁻²] | | Tenperatura diferentzia [°C] | | | | | | | |
|--------------------|-------|--|--------------------|---------------------------------|------------------------|----------------|-------------|------------|------------|------------|-------------|
| | | Zuzeneko normala | Horizontal difusoa | Batez besteko ΔT | | | ΔT Maximoa | | | | |
| | | | | Egunez 9h-19h | Gauetz 0h-9h / 19h-24h | Guztira 0h-24h | | | | | |
| OHIKO ASTEA | | | | | | | | | | | |
| 1.3 | 2.0 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 1a | 0,10 | 0,51 | 0,1 | 0,7 | 0,4 | 0,9 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | | | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 2,3 |
| 1.3 | 2.2 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | | | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 2,5 |
| 1.3 | 2.3 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | | | 1,4 | 1,3 | 1,4 | 2,6 |
| 1.3 | 2.0 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 2a | 1,49 | 0,85 | 2,3 | 1,0 | 1,5 | 4,3 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | | | 9,0 | 2,2 | 5,1 | 16,2 |
| 1.3 | 2.2 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | | | 9,4 | 2,4 | 5,4 | 16,8 |
| 1.3 | 2.3 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | | | 9,5 | 2,5 | 5,4 | 17,0 |
| 1.3 | 2.0 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 3a | 0,28 | 0,69 | 0,8 | 1,0 | 0,9 | 1,6 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | | | 4,0 | 3,0 | 3,4 | 7,2 |
| 1.3 | 2.2 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | | | 4,4 | 3,3 | 3,8 | 7,7 |
| 1.3 | 2.3 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | | | 4,6 | 3,4 | 3,9 | 7,9 |
| 1.3 | 2.0 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 4a | 1,47 | 0,99 | 2,4 | 1,0 | 1,6 | 5,5 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | | | 9,0 | 2,8 | 5,4 | 19,0 |
| 1.3 | 2.2 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | | | 9,6 | 3,1 | 6,7 | 20,0 |
| 1.3 | 2.3 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | | | 9,7 | 3,2 | 6,9 | 20,2 |
| 1.3 | 2.0 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 5a | 0,15 | 0,55 | 0,5 | 0,8 | 0,7 | 1,5 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | | | 2,8 | 2,7 | 2,8 | 4,0 |
| 1.3 | 2.2 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | | | 3,1 | 3,0 | 3,1 | 4,4 |
| 1.3 | 2.3 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | | | 3,3 | 3,1 | 3,2 | 4,4 |
| 1.3 | 2.0 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 6a | 0,13 | 0,72 | 0,6 | 0,8 | 0,7 | 1,0 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | | | 2,9 | 2,0 | 2,4 | 4,4 |
| 1.3 | 2.2 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | | | 3,2 | 2,2 | 2,6 | 4,8 |
| 1.3 | 2.3 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | | | 3,3 | 2,3 | 2,8 | 5,0 |
| 1.3 | 2.0 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 7a | 1,33 | 0,94 | 2,4 | 0,7 | 1,4 | 4,4 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | | | 8,8 | 2,2 | 5,0 | 15,6 |
| 1.3 | 2.2 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | | | 9,2 | 2,5 | 5,3 | 16,0 |
| 1.3 | 2.3 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | | | 9,4 | 2,6 | 5,4 | 16,1 |
| 1.3 | 2.0 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Aste osoa | 4,96 | 5,26 | 1,3 | 0,8 | 1,0 | 5,5 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | | | 5,4 | 2,3 | 3,6 | 19,0 |
| 1.3 | 2.2 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | | | 5,8 | 2,6 | 4,0 | 20,0 |
| 1.3 | 2.3 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | | | 5,9 | 2,6 | 4,1 | 20,2 |

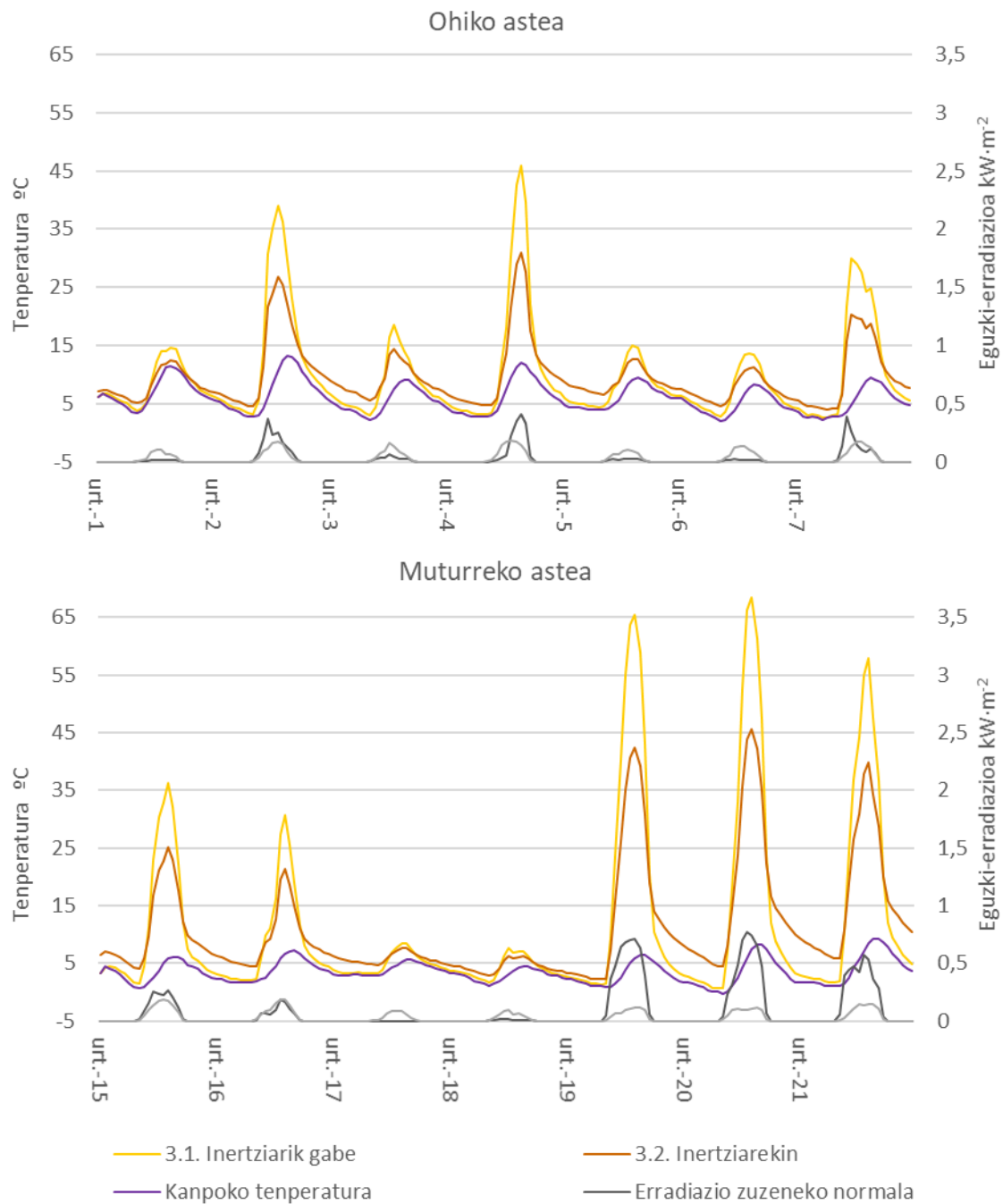
3.11 Taula. Berotegiaren irteera-airearen eta kanpo-airearen arteko eguneko tenperatura diferentzia maximoa eta batez bestekoa, isolamendu lodieraren arabera, neguko muturreko astean.

| Konfigurazioa | Eguna | Eguzki-erradiazio totala [kWh m ⁻²] | | Tenperatura diferentzia [°C] | | | | | | | |
|------------------------|-------|--|-----------------------|---------------------------------|------------------------------|-------------------|---------------|------------|-------------|------------|------------|
| | | Zuzeneko normala | Horizontal difusoa | Batez besteko ΔT | | | ΔT Maximoa | | | | |
| | | | | Egunez 9h-19h | Gauetz 0h-9h / 19h-24h | Guztira 0h-24h | | | | | |
| MUTURREKO ASTEA | | | | | | | | | | | |
| 1.3 | 2.0 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 15a | 1,56 | 1,03 | 3,3 | 0,8 | 1,9 | 5,3 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 12,2 | 3,6 | 7,1 | 19,4 | | |
| 1.3 | 2.2 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 12,7 | 4,2 | 7,8 | 19,9 | | |
| 1.3 | 2.3 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 13,0 | 4,4 | 8,0 | 20,1 | | |
| 1.3 | 2.0 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 16a | 0,82 | 1,00 | 2,1 | 0,8 | 1,3 | 4,1 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 8,0 | 3,2 | 5,2 | 14,7 | | |
| 1.3 | 2.2 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 8,4 | 3,8 | 5,7 | 15,1 | | |
| 1.3 | 2.3 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 8,6 | 4,0 | 6,0 | 15,3 | | |
| 1.3 | 2.0 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 17a | 0,00 | 0,45 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 1,0 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 1,9 | 2,0 | 2,0 | 3,1 | | |
| 1.3 | 2.2 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 2,2 | 2,4 | 2,3 | 3,6 | | |
| 1.3 | 2.3 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 2,4 | 2,6 | 2,5 | 3,8 | | |
| 1.3 | 2.0 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 18a | 0,08 | 0,46 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,8 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 1,9 | 1,3 | 1,5 | 3,2 | | |
| 1.3 | 2.2 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 2,1 | 1,5 | 3,4 | 3,4 | | |
| 1.3 | 2.3 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 2,2 | 1,7 | 3,7 | 3,6 | | |
| 1.3 | 2.0 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 19a | 4,69 | 0,71 | 6,7 | 1,0 | 3,4 | 10,8 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 22,7 | 3,4 | 11,4 | 36,6 | | |
| 1.3 | 2.2 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 23,1 | 3,8 | 11,9 | 37,0 | | |
| 1.3 | 2.3 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 23,2 | 3,9 | 12,0 | 37,1 | | |
| 1.3 | 2.0 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 20a | 4,45 | 0,76 | 6,4 | 1,5 | 3,5 | 10,4 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 23,6 | 6,6 | 13,6 | 38,1 | | |
| 1.3 | 2.2 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 24,3 | 7,5 | 14,5 | 38,7 | | |
| 1.3 | 2.3 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 24,6 | 7,7 | 14,8 | 39,0 | | |
| 1.3 | 2.0 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 21a | 3,56 | 0,88 | 5,2 | 1,3 | 2,9 | 8,4 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 20,0 | 6,4 | 12,1 | 31,4 | | |
| 1.3 | 2.2 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 20,8 | 7,4 | 13,0 | 32,2 | | |
| 1.3 | 2.3 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 21,2 | 7,8 | 13,4 | 32,5 | | |
| 1.3 | 2.0 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Aste osoa | 15,17 | 5,29 | 3,5 | 0,9 | 2,0 | 5,8 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 12,9 | 3,8 | 7,6 | 38,1 | | |
| 1.3 | 2.2 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 13,4 | 4,4 | 8,4 | 38,7 | | |
| 1.3 | 2.3 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | | 13,6 | 4,6 | 8,6 | 39,0 | | |

Negutegitik irtetea airearen tenperaturaren eta kanpokoaren arteko aldeak aztertuz gero, ikusten da isolamendurik gabeko kasuan gainerako kasuetan baino askoz txikiagoak direla. Isolamendurik jartzen ez denean, aste osoko batez besteko aldea 1,0 °C-koa da ohiko astean, eta 2,0 °C-koa muturrekoan. 8 cm-ko isolamendua jartzen denean, berriz, 3,6 °C-koa da ohiko astean eta 7,6 °C-koa muturrekoan, 16 cm-koarekin 4,0 °C eta 8,4 °C-koa eta 24 cm-koarekin 4,1 °C eta 8,6 °C-koa. Beraz, isolamendua handitu ahala, 8 cm gehiago gehitzeak eragiten duen tenperaturen igoera gero eta txikiagoa da. 2.1 Aldaeratik 2.2 Aldaerara, ohiko astean batez besteko tenperatura-aldaketa totalaren igoera 0,4 °C-koa da, eta muturreko astean 0,8 °C-koa; 2.2. Aldaeratik 2.3. Aldaerara, berriz, tipikoan 0,1 °C-koa da, eta muturrekoan 0,2 °C-koa. Ondoriozta daiteke, isolamenduaren lodiera handitu ahala, lortzen diren tenperaturak zertxobait handiagoak direla, baina,aldi berean, igoera gero eta txikiagoa dela. Ikus daitekeenez, gutxieneko isolamendua jarri ondoren, haren lodiera handitzeak eragin txikia du, eta lodiera desberdinen arteko aldeak ez dira oso esanguratsuak.

3.2.2.3. INERTZIA TERMIKOA

Gainerako kasuetan bezala, aztertu nahi dena izan ezik beste aldagai guztiak konstante mantentzen dituzten konfigurazioak konparatzen dira. Kasu honetan, berotegiko inertzia baino ez da aldatzen. 3.13 Irudiak, inertziarik gabeko berotegian (3.1 Aldaera) eta ur-deposituak gehitzen zaizkion berotegian (3.2 Aldaera) lortutako irteera-tenperaturak alderatzen ditu.



3.13 Irudia. Ohiko astean eta muturreko astean, inertziaren arabera berotegiaren irteeran lortutako tenperaturak.

Inertzia termikoak eragin handia du berotegiaren portaera termikoan. Ur-deposituak sartzean, tenperaturak egonkorragoak dira: egunez ez dira hain altuak, baina gauetz, ez dira hainbeste jaisten. Inertziarik gabe, oso tenperatura altuak lortzen dira egun eguzkitsuen eguerdietan, 65 °C gainditzera iristen direlarik neguko muturreko astean. Hala ere, eguzki-erradiazioa desagertzean, azkar jaisten dira, kanpoaldekoekin ia berdindu arte. 3.12 Taulan eta 3.13 Taulan berotegi irteera-tenperaturaren eta kanpo-tenperaturaren arteko aldea ikus daiteke, ohiko astean eta muturreko astean, hurrenez hurren.

3.12 Taula. Berotegiaren irteera-airearen eta kanpo-airearen arteko eguneko tenperatura diferentzia maximoa eta batez bestekoa, inertiaren arabera, neguko ohiko astean.

| Konfigurazioa | Eguna | Eguzki-erradiazio totala [kWh m ⁻²] | | Tenperatura diferentzia [°C] | | | | | | | |
|--------------------|-------|--|--------------------|---------------------------------|------------------------|----------------|-------------|------------|------------|------------|-------------|
| | | Zuzeneko normala | Horizontal difusoa | Batez besteko ΔT | | | ΔT maximoa | | | | |
| | | | | Egunez 9h-19h | Gauetz 0h-9h / 19h-24h | Guztira 0h-24h | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| OHIKO ASTEA | | | | | | | | | | | |
| 1.3 | 2.1 | 3.1 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 1a | 0,10 | 0,51 | 2,3 | 0,5 | 1,3 | 4,2 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 2a | 1,49 | 0,85 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 2,3 |
| 1.3 | 2.1 | 3.1 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 2a | 1,49 | 0,85 | 14,9 | 0,9 | 6,7 | 28,3 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 2a | 1,49 | 0,85 | 9,0 | 2,2 | 5,1 | 16,2 |
| 1.3 | 2.1 | 3.1 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 3a | 0,28 | 0,69 | 5,1 | 0,9 | 2,6 | 11,0 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 3a | 0,28 | 0,69 | 4,0 | 3,0 | 3,4 | 7,2 |
| 1.3 | 2.1 | 3.1 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 4a | 1,47 | 0,99 | 14,9 | 1,0 | 6,8 | 33,8 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 4a | 1,47 | 0,99 | 9,0 | 2,8 | 5,4 | 19,0 |
| 1.3 | 2.1 | 3.1 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 5a | 0,15 | 0,55 | 3,4 | 0,7 | 1,8 | 5,8 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 5a | 0,15 | 0,55 | 2,8 | 2,7 | 2,8 | 4,0 |
| 1.3 | 2.1 | 3.1 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 6a | 0,13 | 0,72 | 4,0 | 0,7 | 2,1 | 6,7 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 6a | 0,13 | 0,72 | 2,9 | 2,0 | 2,4 | 4,4 |
| 1.3 | 2.1 | 3.1 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 7a | 1,33 | 0,94 | 13,9 | 0,7 | 6,2 | 25,2 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 7a | 1,33 | 0,94 | 8,8 | 2,2 | 5,0 | 15,6 |
| 1.3 | 2.1 | 3.1 | 4.1 | 5.1 | Aste osoa | 4,96 | 5,26 | 8,3 | 0,8 | 3,9 | 33,8 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Aste osoa | 4,96 | 5,26 | 5,4 | 2,3 | 3,6 | 19,0 |

3.13 Taula. Berotegiaren irteera-airearen eta kanpo-airearen arteko eguneko tenperatura diferentzia maximoa eta batez bestekoa, inertiaren arabera, neguko muturreko astean.

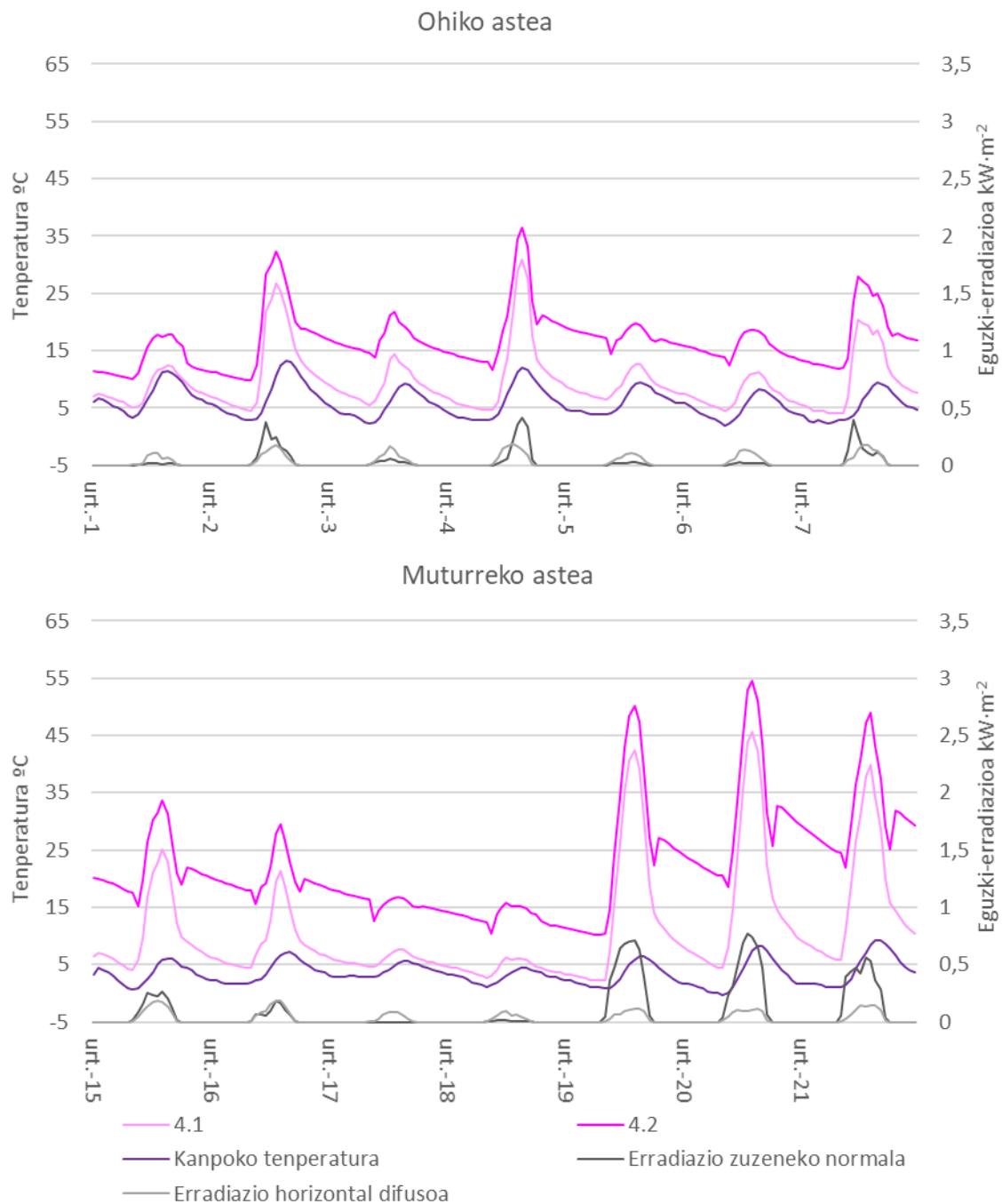
| Konfigurazioa | Eguna | Eguzki-erradiazio totala [kWh m ⁻²] | | Tenperatura diferentzia [°C] | | | | | | | |
|------------------------|-------|--|--------------------|---------------------------------|------------------------|----------------|-------------|-------------|------------|------------|-------------|
| | | Zuzeneko normala | Horizontal difusoa | Batez besteko ΔT | | | ΔT maximoa | | | | |
| | | | | Egunez 9h-19h | Gauetz 0h-9h / 19h-24h | Guztira 0h-24h | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| MUTURREKO ASTEA | | | | | | | | | | | |
| 1.3 | 2.1 | 3.1 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 15a | 1,56 | 1,03 | 17,0 | 0,8 | 7,6 | 30,4 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 15a | 1,56 | 1,03 | 12,2 | 3,6 | 7,1 | 19,4 |
| 1.3 | 2.1 | 3.1 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 16a | 0,82 | 1,00 | 11,3 | 0,7 | 5,1 | 23,9 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 16a | 0,82 | 1,00 | 8,0 | 3,2 | 5,2 | 14,7 |
| 1.3 | 2.1 | 3.1 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 17a | 0,00 | 0,45 | 1,8 | 0,5 | 1,0 | 3,2 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 17a | 0,00 | 0,45 | 1,9 | 2,0 | 2,0 | 3,1 |
| 1.3 | 2.1 | 3.1 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 18a | 0,08 | 0,46 | 2,3 | 0,5 | 1,2 | 4,6 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 18a | 0,08 | 0,46 | 1,9 | 1,3 | 1,5 | 3,2 |
| 1.3 | 2.1 | 3.1 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 19a | 4,69 | 0,71 | 34,7 | 1,0 | 15,0 | 59,7 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 19a | 4,69 | 0,71 | 22,7 | 3,4 | 11,4 | 36,6 |
| 1.3 | 2.1 | 3.1 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 20a | 4,45 | 0,76 | 33,8 | 1,4 | 14,9 | 60,9 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 20a | 4,45 | 0,76 | 23,6 | 6,6 | 13,6 | 38,1 |
| 1.3 | 2.1 | 3.1 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 21a | 3,56 | 0,88 | 28,1 | 1,2 | 12,4 | 49,5 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 21a | 3,56 | 0,88 | 20,0 | 6,4 | 12,1 | 31,4 |
| 1.3 | 2.1 | 3.1 | 4.1 | 5.1 | Aste osoa | 15,17 | 5,29 | 18,4 | 0,9 | 8,2 | 60,9 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Aste osoa | 15,17 | 5,29 | 12,9 | 3,8 | 7,6 | 38,1 |

Egunez (9:00etatik 19:00etara) lortutako tenperatura-aldeak aztertuz gero, urtarrilaren 17an izan ezik, egun guztietan inertziarik gabeko konfigurazioan handiagoak dira. Eguzki erradiazio handiko egunetan ur-deposituak jartzearen eta ez jartzearen arteko aldea garrantzitsua da, eguzki erradiazio gutxiagoko egunetan askoz txikiagoa den bitartean. Are gehiago, urtarrilaren 17an, eguzki erradiazio txikieneko egunean, eguneko orduetan zehar batez besteko tenperatura handiagoa da inertziarekin, eguneko lehen eta azken orduetan tenperatura altuagoak direlako. Espero zitekeen bezala, gauzez (19:00etatik 9:00etara), batez besteko diferentziak inertzia duen aldaeran dira handiagoak kasu guztietan. Egun osoko batezbesteko totala aztertuz gero (0:00etatik 24:00etara), tenperatura-diferentzia handiena lortzen duen konfigurazioa eguneko eguzki-erradiazioaren araberakoa izango da. Egunik eguzkitsuenetan inertziarik gabe lortzen da, eta egun lainotuetan, berriz, inertziarekin. Logikoa denez, diferentzia maximoak inertziarik gabe gertatzen dira beti.

Asteko totalak aztertzerakoan, bai ohikoan bai muturrekoan, eguneko orduetako (9:00etatik 19:00etara) tenperatura aldea nabarmen handiagoa da inertziarik gabe. Gauekoena (19:00etatik 9:00etara), berriz, inertziarekin. Bi asteetan, batez besteko diferentzia totala (0:00etatik 24:00etara) zertxobait handiagoa da inertziarik gabeko aukeran: ohiko astean, 3,9 °C inertziarik gabe eta 3,6 °C inertziarekin; muturreko astean, 8,2 °C inertziarik gabe eta 7,6 °C inertziarekin. Astean zehar zenbat eta eguzki erradiazio handiagoa egon, orduan eta handiagoa izango da tenperaturen diferentzia ur-depositurik gabeko aukeraren alde. Nolanahi ere, nahiz eta portaera termikoa oso desberdina izan, eguzki-irabazi berdinak dituztenez, batez besteko tenperatura totalak antzekoak dira.

3.2.2.4. BERO-BERRESKURAPENAREN ERABILERA

Bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema bat erabiltzeak berotegian lortutako tenperaturetan duen eragin aztertzeko, 3.14 Irudian berotegiko bi konfigurazio konparatu dira. Horietan, beira mota, isolamendu lodiera, inertzia-maila eta moduluak instalatzeko modua konstante mantentzen dira, eta sistemak bero-berreskurapena duen (4.2 Aldaera) edo ez (4.1 Aldaera) soilik aldatuko da.



3.14 Irudia. Ohiko astean eta muturreko astean, bero-berreskurapenaren erabileraren arabera berotegiaren irteeran lortutako temperaturak.

Bero-berreskurapenaren ondorioz, berotegiaren irteerako temperaturak nabarmen altuagoak dira egunez zein gauez. Ikusi dugunez, bero-berreskurapena duen aldaeran (4.2 aldaera), berreskuragailutik datorren airea ez hozteko, berotegia aireztapen-sistematik arratsaldeko 7etatik goizeko 9ak arte deskonektatu egiten da bypass baten bidez. Emaitzek erakusten dutenez, aldaera honetan, airea berotegitik pasatzen hasten denean goizeko 9etan, temperaturak behera egiten du pixka bat. Lehen une honetan, negutegiak, airea berotu beharrean, hoztu egiten du, baina gero barrualdeko

temperaturak berehala igotzen hasten dira berriro ere. Arratsaldeko 7etan, negutegia sistematik deskonektatzen denean, temperaturak gora egiten du bat-batean. Ikusten da, beraz, berotegiaren konexioaren hasieran eta bukaeran airea hoztu egiten dela pixka bat, berotu beharrean. Aste hauetan oraindik emaitza hobea lortzeko funtzionamendu-ordutegia zertxobait doitu badaiteke ere, deskonexio-uneak berogailu-aldi osoa aztertuta aukeratu dira.

3.14 Taulan eta 3.15 Taulan, kanpo-temperatura eta berotegiko irteera-temperaturaren arteko diferentziak konparatzen dira, bero-berreskurapena duen aireztapen-sistemarekin eta gabe.

3.14 Taula. Berotegiaren irteera-airearen eta kanpo-airearen arteko eguneko temperatura diferentzia maximoa eta batez bestekoa, bero-berreskurapenaren erabileraren arabera, neguko ohiko astean.

| Konfigurazioa | Eguna | Eguzki-erradiazio totala [kWh m ⁻²] | | Temperatura diferentzia [°C] | | | | | | | |
|--------------------|-------|--|-----------------------|---------------------------------|------------------------------|-------------------|---------------|-------------|------------|-------------|-------------|
| | | Zuzeneko normala | Horizontal difusoa | Batez besteko ΔT | | | ΔT maximoa | | | | |
| | | | | Egunez 9h-19h | Gauetz 0h-9h / 19h-24h | Guztira 0h-24h | | | | | |
| OHIKO ASTEA | | | | | | | | | | | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 1a | 0,10 | 0,51 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 2,3 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.2 | 5.1 | Urtarrilaren 2a | 1,49 | 0,85 | 7,4 | 5,4 | 6,3 | 9,2 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 2a | 1,49 | 0,85 | 9,0 | 2,2 | 5,1 | 16,2 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.2 | 5.1 | Urtarrilaren 2a | 1,49 | 0,85 | 14,8 | 7,9 | 10,8 | 22,2 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 3a | 0,28 | 0,69 | 4,0 | 3,0 | 3,4 | 7,2 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.2 | 5.1 | Urtarrilaren 3a | 0,28 | 0,69 | 11,6 | 11,2 | 11,3 | 15,0 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 4a | 1,47 | 0,99 | 9,0 | 2,8 | 5,4 | 19,0 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.2 | 5.1 | Urtarrilaren 4a | 1,47 | 0,99 | 15,6 | 11,6 | 13,3 | 24,5 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 5a | 0,15 | 0,55 | 2,8 | 2,7 | 2,8 | 4,0 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.2 | 5.1 | Urtarrilaren 5a | 0,15 | 0,55 | 10,4 | 12,5 | 11,6 | 14,3 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 6a | 0,13 | 0,72 | 2,9 | 2,0 | 2,4 | 4,4 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.2 | 5.1 | Urtarrilaren 6a | 0,13 | 0,72 | 10,8 | 10,4 | 10,6 | 13,2 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 7a | 1,33 | 0,94 | 8,8 | 2,2 | 5,0 | 15,6 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.2 | 5.1 | Urtarrilaren 7a | 1,33 | 0,94 | 15,8 | 10,5 | 12,7 | 23,1 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Aste osoa | 4,96 | 5,26 | 5,4 | 2,3 | 3,6 | 19,0 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.2 | 5.1 | Aste osoa | 4,96 | 5,26 | 12,3 | 9,9 | 10,9 | 24,5 |

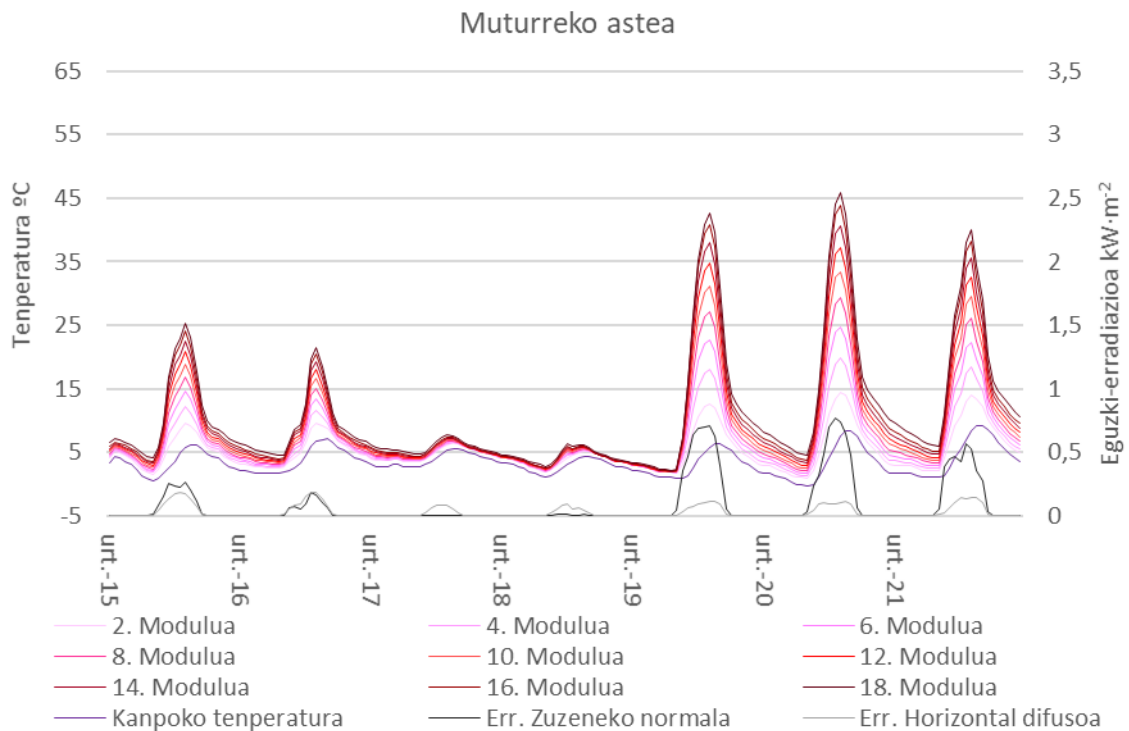
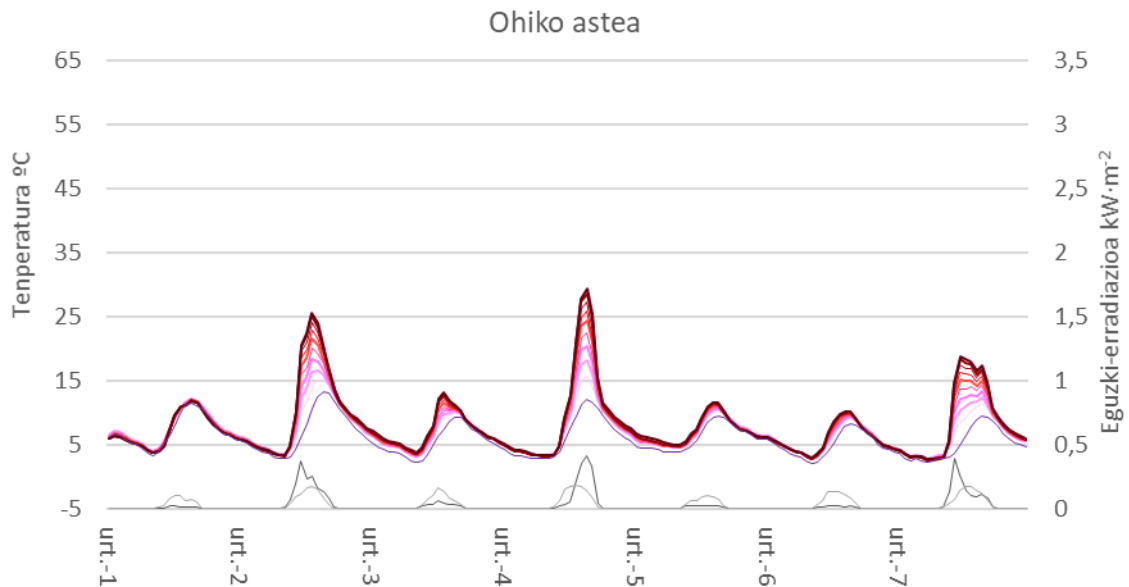
3.15 Taula. Berotegiaren irteera-airearen eta kanpo-airearen arteko eguneko tenperatura diferentzia maximoa eta batez bestekoa, bero-berreskurapenaren erabileraren arabera, neguko muturreko astean.

| Konfigurazioa | Eguna | Eguzki-erradiazio totala [kWh m ⁻²] | | Tenperatura diferentzia [°C] | | | | | | | |
|------------------------|-------|--|-----------------------|---------------------------------|------------------------------|-------------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | Zuzeneko normala | Horizontal difusoa | Batez besteko ΔT | | | ΔT maximoa | | | | |
| | | | | Egunez 9h-19h | Gauetz 0h-9h / 19h-24h | Guztira 0h-24h | | | | | |
| MUTURREKO ASTEA | | | | | | | | | | | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 15a | 1,56 | 1,03 | 12,2 | 3,6 | 7,1 | 19,4 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.2 | 5.1 | Urtarrilaren 16a | 0,82 | 1,00 | 21,2 | 16,9 | 18,7 | 27,8 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 17a | 0,00 | 0,45 | 8,0 | 3,2 | 5,2 | 14,7 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.2 | 5.1 | Urtarrilaren 18a | 0,08 | 0,46 | 16,8 | 16,3 | 16,5 | 22,7 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 19a | 4,69 | 0,71 | 1,9 | 2,0 | 2,0 | 3,1 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.2 | 5.1 | Urtarrilaren 20a | 4,45 | 0,76 | 11,0 | 13,0 | 12,2 | 15,2 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 21a | 3,56 | 0,88 | 1,9 | 1,3 | 1,5 | 3,2 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.2 | 5.1 | Urtarrilaren 21a | 4,45 | 0,76 | 11,0 | 10,3 | 10,6 | 12,7 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 21a | 4,45 | 0,76 | 22,7 | 3,4 | 11,4 | 36,6 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.2 | 5.1 | Urtarrilaren 21a | 4,45 | 0,76 | 30,7 | 14,1 | 21,0 | 44,4 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 21a | 4,45 | 0,76 | 23,6 | 6,6 | 13,6 | 38,1 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.2 | 5.1 | Urtarrilaren 21a | 4,45 | 0,76 | 33,0 | 23,8 | 27,6 | 47,0 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 21a | 3,56 | 0,88 | 20,0 | 6,4 | 12,1 | 31,4 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.2 | 5.1 | Urtarrilaren 21a | 3,56 | 0,88 | 29,6 | 25,5 | 27,2 | 40,6 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Aste osoa | 15,17 | 5,29 | 12,9 | 3,8 | 7,6 | 38,1 |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.2 | 5.1 | Aste osoa | 15,17 | 5,29 | 21,9 | 17,1 | 19,1 | 47,0 |

Aste osoko batez besteko tenperatura-diferentzia aztertuz gero, ikus daiteke bero-berreskuragailua jartzen denean 7,3 °C handiagoa dela ohiko astean, eta 11,5 °C handiagoa muturreko astean. Benetan garrantzitsuak diren aldeak dira. Beraz, Sarriguren bezalako kliman, bero-berreskurapena erabiltzea faktore erabakigarria da berotegian tenperatura altuak lortzeko.

3.2.2.5. SERIEAN EDO PARALELOAN INSTALATZEA

Moduluak paraleloan instalatzen direnean, modulu bakoitzak konpartimentu estanko bat osatzen du, eta konpartimentu horietan aire-emari bera sartzen da berotzeko. Tamaina bereko beirazko espazio bakoitzean aire-emari berdina berotzen denez, modulu bakoitzean lortzen den tenperatura oso antzekoa da. Seriean instalatzean, berriz, aire-emari totala negutegiaren mutur batetik sartzen da, eta berotu egiten da hura osatzen duten moduluak zeharkatu ahala. Beraz, modulu bakoitzaren tenperatura aldatzen doa. 3.15 Irudian, modulu bakoitzean lortutako tenperatura erakusten da seriean instalatzen direnean, ohiko astean eta muturrekoan.

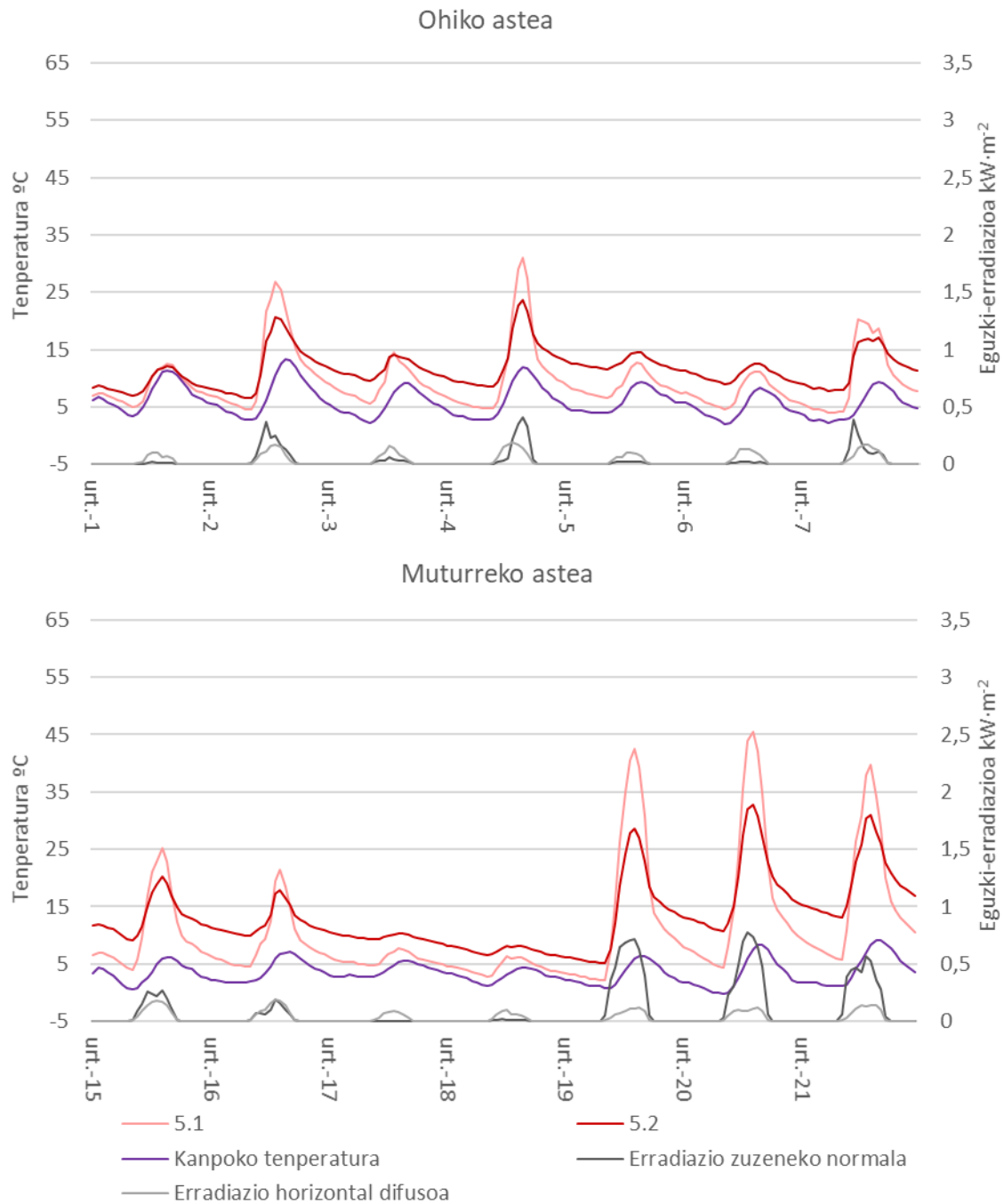


3.15 Irudia. Seriean instalatutako berotegiko modulu bakoitzean lortutako temperaturak neguko ohiko astean eta muturreko astean. (1.3/2.1/3.2/4.1/5.1 konfigurazioa).

Lehen moduluetan, lortutako temperaturak baxuak dira, baina, airea negutegitik igarotzen den heinean, pixkanaka berotzen doa, azken moduluan temperaturarik altuenak lortzen diren arte. Moduluen arteko desberdintasun horiek eguneko orduetan gertatzen dira batez ere.

3.16 Irudian, moduluak seriean instalatzen direnean berotegiaren irteeran lortutako temperaturak (5.1. Aldaera) eta paraleloan jartzen direnean erdiko modulu batean

lortutakoak (5.2. Aldaera) konparatzen dira. Alderagarriak izan daitezzen, gainerako aldagaiak berdin mantentzen dira bi kasuetan.



3.16 Irudia. Ohiko astean eta muturreko astean, moduluak seriean edo paraleloan jartzen diren arabera, berotegiaren irteeran lortutako tenperaturak.

Berotegiaren irteeran lortzen diren tenperaturak oso desberdinak dira moduluak seriean edo paraleloan instalatzen diren arabera. Moduluak paraleloan instalatzen direnean, barruko tenperaturak askoz egonkorragoak dira. Gauzez altuagoak dira. Egunean zehar, aldiz, eguzki-erradiazioaren arabera dira: egun eguzkitsuenetan batez besteko tenperaturak eta maximoak altuagoak izaten dira moduluak seriean jartzen

direnean, baina gainerako egunetan kontrakoa gertatzen da. 3.16 Taulan eta 3.17 Taulan, berotegiaren konfigurazio berdinarekin, gehieneko eta batez besteko diferentziak erakusten dira moduluak seriean eta paraleloan jartzen direnean.

3.16 Taula. Berotegiaren irteera-airearen eta kanpo-airearen arteko eguneko tenperatura diferentzia maximoa eta batez bestekoa, moduluak seriean edo paraleloan instalatzen diren arabera, neguko ohiko astean.

| Konfigurazioa | | | | | | Eguna | Eguzki-erradiazio totala | | Tenperatura diferentzia | | | |
|--------------------|-----|--------------------|-----|------------------|------------------------|----------------|--------------------------|------------|-------------------------|------------|-------------|------------|
| | | | | | | | [kWh m ⁻²] | | [°C] | | | ΔT maximoa |
| Zuzeneko normala | | Horizontal difusoa | | Batez besteko ΔT | | | ΔT maximoa | | | | | |
| | | | | Egunez 9h-19h | Gauetz 0h-9h / 19h-24h | Guztira 0h-24h | | | | | | |
| OHIKO ASTEA | | | | | | | | | | | | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 1a | 0,10 | 0,51 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 2,3 | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.2 | | | | 1,6 | 2,5 | 2,1 | 3,6 | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 2a | 1,49 | 0,85 | 9,0 | 2,2 | 5,1 | 16,2 | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.2 | | | | 6,7 | 4,1 | 5,2 | 10,4 | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 3a | 0,28 | 0,69 | 4,0 | 3,0 | 3,4 | 7,2 | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.2 | | | | 5,8 | 6,3 | 6,1 | 7,5 | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 4a | 1,47 | 0,99 | 9,0 | 2,8 | 5,4 | 19,0 | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.2 | | | | 7,9 | 6,5 | 7,1 | 11,7 | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 5a | 0,15 | 0,55 | 2,8 | 2,7 | 2,8 | 4,0 | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.2 | | | | 5,9 | 7,1 | 6,6 | 8,2 | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 61a | 0,13 | 0,72 | 2,9 | 2,0 | 2,4 | 4,4 | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.2 | | | | 5,3 | 5,8 | 5,6 | 7,0 | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 7a | 1,33 | 0,94 | 8,8 | 2,2 | 5,0 | 15,6 | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.2 | | | | 8,1 | 5,8 | 6,7 | 11,5 | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Aste osoa | 4,96 | 5,26 | 5,4 | 2,3 | 3,6 | 19,0 | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.2 | | | | 5,9 | 5,4 | 5,6 | 11,7 | |

3.17 Taula. Berotegiaren irteera-airearen eta kanpo-airearen arteko eguneko tenperatura diferentzia maximoa eta batez bestekoa, moduluak seriean edo paraleloan instalatzen diren arabera, neguko muturreko astean.

| Konfigurazioa | | | | | | Eguna | Eguzki-erradiazio totala | | Tenperatura diferentzia | | | |
|------------------------|-----|--------------------|-----|------------------|------------------------|----------------|--------------------------|-------------|-------------------------|------------|-------------|------------|
| | | | | | | | [kWh m ⁻²] | | [°C] | | | ΔT maximoa |
| Zuzeneko normala | | Horizontal difusoa | | Batez besteko ΔT | | | ΔT maximoa | | | | | |
| | | | | Egunez 9h-19h | Gauetz 0h-9h / 19h-24h | Guztira 0h-24h | | | | | | |
| MUTURREKO ASTEA | | | | | | | | | | | | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 15a | 1,56 | 1,03 | 12,2 | 3,6 | 7,1 | 19,4 | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.2 | | | | 11,6 | 8,4 | 9,7 | 14,5 | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 16a | 0,82 | 1,00 | 8,0 | 3,2 | 5,2 | 14,7 | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.2 | | | | 8,9 | 8,1 | 8,4 | 11,5 | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 17a | 0,00 | 0,45 | 1,9 | 2,0 | 2,0 | 3,1 | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.2 | | | | 5,3 | 6,1 | 5,8 | 7,4 | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 18a | 0,08 | 0,46 | 1,9 | 1,3 | 1,5 | 3,2 | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.2 | | | | 4,3 | 4,6 | 4,5 | 5,4 | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 19a | 4,69 | 0,71 | 22,7 | 3,4 | 11,4 | 36,6 | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.2 | | | | 16,1 | 6,7 | 10,6 | 22,8 | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 20a | 4,45 | 0,76 | 23,6 | 6,6 | 13,6 | 38,1 | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.2 | | | | 18,9 | 12,2 | 15,0 | 26,1 | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Urtarrilaren 21a | 3,56 | 0,88 | 20,0 | 6,4 | 12,1 | 31,4 | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.2 | | | | 17,7 | 12,9 | 14,9 | 23,5 | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 | Aste osoa | 15,17 | 5,29 | 12,9 | 3,8 | 7,6 | 38,1 | |
| 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.2 | | | | 11,8 | 8,4 | 9,8 | 26,1 | |

Egunez gertatzen dena aztertuz gero (9:00etatik 19:00etara), egun bakoitzeko eguzki-erradiazioaren arabera, moduluak seriean instalatzean, paraleloan jartzean baino

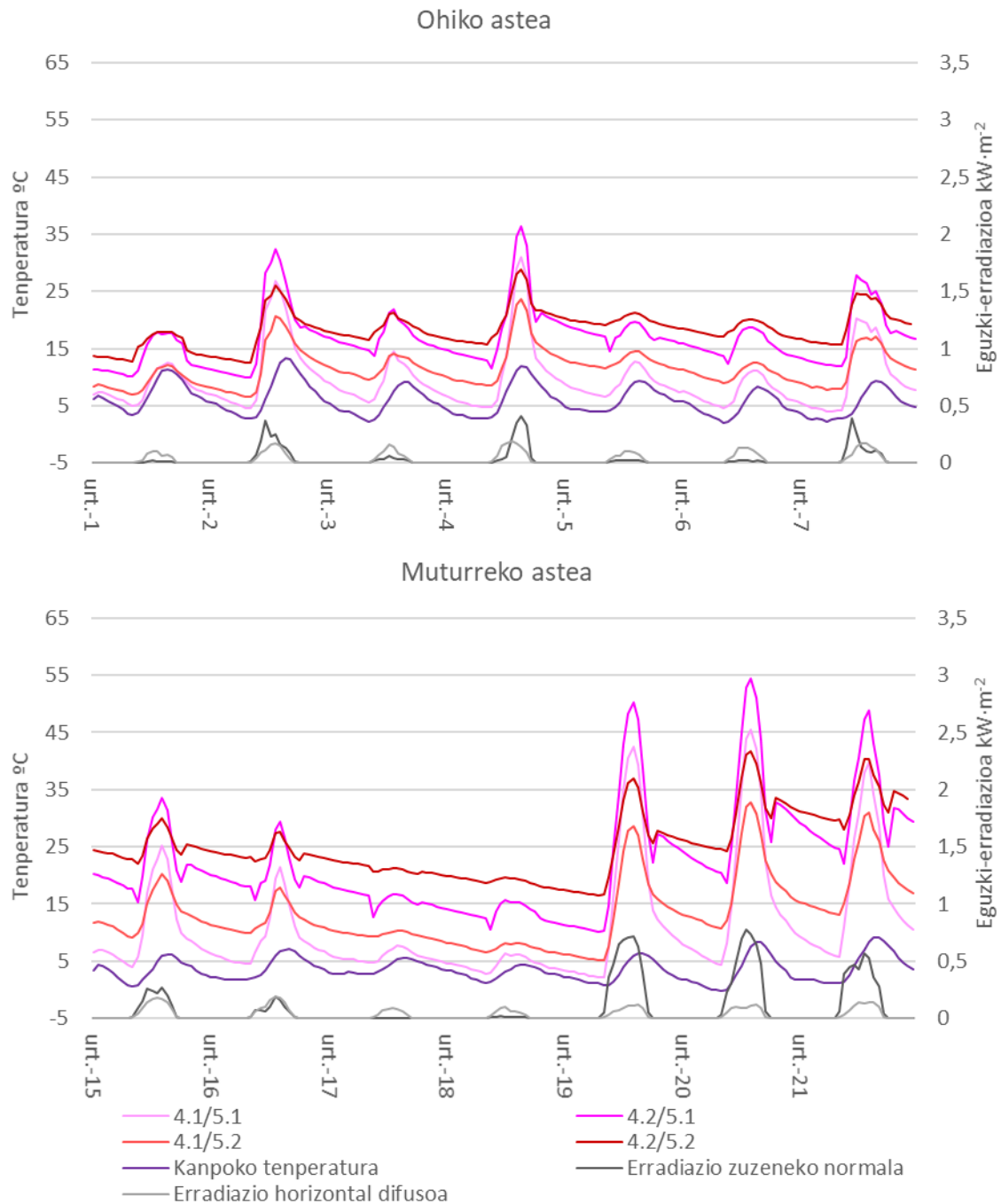
diferentzia handiagoak edo txikiagoak lortzen dira. Eguzki-erradiazio altua dagoenean, egunez lortzen diren diferentziak handiagoak dira seriean instalatzean. Eguzki-erradiazio gutxi dagoen egunetan, berriz, paraleloan instalatzean. Ohiko astea oso eguzkitsua ez denez, aste osoko eguneko orduen batez besteko diferentzia 0,50 °C handiagoa da paraleloan. Muturreko astean, eguzkitsuagoa denez, kontrakoa gertatzen da: moduluak seriean instalatzen direnean tenperatura-diferentzia 1,1 °C handiagoa da.

Gauetan (19:00etatik 9:00etara) lortutako tenperatura-diferentziak askoz handiagoak dira paraleloan. Moduluak paraleloan instalatzean, ohiko astearen eta muturreko astearen batez besteko aldea 3,1 °C eta 4,6 °C handiagoa da, hurrenez hurren.

Eguneko 24 orduak aztertuz gero, bi asteetan, diferentzien batezbestekoa paraleloan handiagoa da. Maximoak, aldiz, seriean ematen dira.

Beraz, moduluak paraleloan instalatzean, tenperaturek gorabehera gutxiago izatea eta batez besteko totalak altuagoak izatea lortzen dela ondoriozta daiteke, Sarrigurenen moduko klima batean.

3.17 Irudiak, proposatutako lau aireztapen-sistemekin lortutako tenperaturak erakusten ditu. Ikus daitekeenez, aukeratutako aireztapen-sistemak eragin nabarmena du berotegitik irteteen lortzen diren tenperaturetan.



3.17 Irudia. Ohiko astean eta muturreko astean, aireztapen-sistemaren arabera berotegiaren irteeran lortutako temperaturak.

Bero-berreskurapenaren erabilerak berotegi barruko temperaturak nabarmen igotzea dakar. 4.2 Aldaeraren temperaturak nabarmen altuagoak dira 4.1 Aldaerakoak baino. Bestalde, paraleloan instalatzearen ondorioz, temperaturak egonkorragoak dira, eta gauz temperatura altuagoak lortzen dira, baina temperatura-puntak baxuagoak eguerdian. Hala, gaueko temperaturarik altuenak 4.2/5.2 aukeran lortzen dira argi eta garbi, bero-berreskurapenari eta moduluak paraleloan instalatzeari esker. Eguerdian,

ordea, tenperatura altuenak 4.2/5.1 aukeran lortzen dira, bero-berreskurapenaren eta seriean instalatzearen eraginez.

3.2.3. ONDORIO PARTZIALAK

Emaitzak ikusita, barruan lortzen diren tenperaturetan berotegiaren ezaugarriek eragin handia dutela ondoriozta daiteke. Berotegirako beira ideala, ahalik eta transmitantzia termiko txikienarekin, eguzki-bero irabazien koefiziente handiena duena da. Hala ere, transmitantzia termikoa zenbat eta txikiagoa izan, orduan eta txikiagoa da normalean eguzki-bero irabazien koefizientea eta beraz, bi ezaugarrien arteko oreka bilatu beharko da. Sarrigurenen kasuan, eguneko batez besteko emaitzarik txarrenak beira bakunarekin ematen dira argi eta garbi; izan ere, eguzki-bero irabazien koefizienterik handiena eduki arren, haren transmitantzia termikoa gainerako beira motena baino askoz handiagoa da. Eguneko batez besteko tenperatura altuenak emisibitate baxuko beirarekin lortzen dira, transmitantzia termiko txikiena duelako, baina beira bikoitzarekiko aldeak ez dira oso esanguratsuak.

Gainazal opakua isolamenduari dagokionez, jartzen ez denean, gainerako kasuetan baino askoz tenperatura txikiagoak lortzen direla egiaztatu da, eta horrek erakusten du inguratzaile opakoa isolatu beharra dagoela galera termikoak saihesteko. Minimo bat isolatu ondoren, lodiera handitzeak eragin txikia duela lortutako tenperaturetan egiaztatu da. Isolamendu maila handitu ahala, gero eta txikiagoa da lodierak tenperaturetan duen eragina.

Ur-deposituak bero-metagailu gisa erabiltzeak eragin handia du tenperaturen portaeran. Egun osoko batez besteko tenperaturak antzekoak izan arren, inertzia erabiliz gero askoz ere egonkorragoak dira. Eguerdian tenperaturak ez dira hain altuak izaten, baina, aldi berean, gauez ez dira hainbeste jaisten.

Aireztapen-sistema aztertuz gero, ondoriozta daiteke beroa berreskuratzeko sistema bat instalatzeak barnean lortutako tenperaturak askoz altuagoak izatea eragiten duela. Kontuan izan behar da airea, berreskuragailuan berotu ondoren, berotegian sartzen dela, bertan gehiago berotzeko.

Azkenik, moduluak seriean edo paraleloan instalatzen diren arabera, berotegiko tenperaturen portaera ere nabarmen aldatzen dela egiaztatu da. Moduluak seriean instalatzen direnean berotegiaren irteera-tenperaturak eta paraleloan jartzen diren moduluen irteera-tenperaturak konparatzen badira, ikus daiteke seriean nabarmen baxuagoak direla gauez. Egunean zehar, berriz, eguzki-erradiazioaren arabera dira; izan ere, egun eguzkitsuetan tenperatura altuagoak lortzen dira seriean, baina egun lainotsuetan paraleloan. Argi dagoena da, moduluak paraleloan instalatzean lortutako tenperaturek gorabehera gutxiago dituztela.

3.3. AZTERKETA ENERGETIKOA

3.3.1. ERABILITAKO METODOLOGIA

Atal honetan, berotegirik eta bero-berreskurapenik gabeko eraikinaren (0 kasua) eta, berotegirik ez, baina bero-berreskurapena duenaren (0-BB kasua) energia-kontsumoak, berotegi-konfigurazio posible desberdinak eraikinean instalatzean lortutako kontsumoekin konparatzen dira. Azterketa hori Sarrigurenen egin da, eraikina dagoen kokapenean.

Berotegi konfigurazio bakoitzean, berokuntzaren azken energiaren eta energia primarioaren kontsumoak kalkulatu dira. Gainera, haizagailuen eragiketaren ondorioz aireztapen-sistema bakoitzaren azken energia eta energia primarioko kontsumoak kalkulatu dira eta, horrela, energia primarioko kontsumo totalak lortu ahal izan dira.

Aireztapen-sistema bakoitzaren potentzia zehazteko eta, horrela, energia-kontsumoa ezarri ahal izateko, "Air Infiltration and Ventilation Centre"-ko (AIVC) "Recommendations on specific fan power and fan system efficiency" 65. ohar teknikoan ezarritako Haizagailuaren Potentzia Espezifikokoaren ("Specific Fan Power", aurrerantzean SFP) "jardunbide egokien"-en balioak hartu dira [87]. Aplikazio espezifiko baterako SFPren balio egokia hainbat faktoreren araberakoa da: 1) aireztapen-sistemaren tamaina; 2) fluxu bakun edo bikoitzeko sistema izatea; 3) bero-berreskurapena edukitzea; 4) funtzionamendu-aldiak eta 5) kostuak. Dokumentu horren arabera, jardunbide egokien SFPa 3.1 Ekuazioaren bidez ezar liteke:

$$SFP \leq \sum A \cdot B \cdot C \text{ (kW} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s)}$$

3.1 Ekuazioa. SFP

Non,

$\sum A$: gai hauen batura da:

- = 1 bulkada-haizagailu bat edukitzeagatik
- + 1 erauzketa-haizagailu bat edukitzeagatik
- + 1 bero-berreskuragailu bat edukitzeagatik
- + 1 0,1 m³·s⁻¹ -etik beherako sistema txikia izateagatik
- + 1 0,2 m³·s⁻¹-etik beherako sistema izateagatik

B: Aldizkakotasunaren araberako konstantea:

- = 1 eguneko funtzionamendua duten sistementzat, <4000 h·urte⁻¹
- = 0,75 eguneko 24 orduetan funtzionatzen duten sistementzat
- = 0,5 gaueko funtzionamendua duten aire-bolumen aldakorreko sistementzat

C: 2/3. Konstante hori etorkizunean murriztu egin liteke, eraikuntza-kodeak gogortu ahala.

3.18 Taulan, erabilitako aireztapen-sistema bakoitzerako SFPren jardunbide egokien muga-balioak laburbiltzen dira. SFPren balio horietatik, haizagailuen energia-kontsumoa kalkulatzeko erabili diren aireztapen-sistema bakoitzaren potentziak ondorioztatzen dira. SFPren balioak komertzialki eskuragarri daude.

3.18 Taula. AIVCk gomendatutako SFP balioak, erabilitako aireztatze-sistema bakoitzerako.

| Aireztapen-sistema | Kasuak | ΣA | B | C | SFP | Potentzia | Urteko kontsumoa |
|----------------------------------|---------------------------|------------------------------|----------|----------|------------------------|------------------|-------------------------|
| Etengabeko erauzketa-sistema | 0 Kasua | 2 | 0,75 | 2/3 | 1 kW·m ³ ·s | 0,396 kW | 3468,9 kWh |
| Etengabeko sarrera-sistema | 4.1 Aldaera | 2 | 0,75 | 2/3 | 1 kW·m ³ ·s | 0,396 kW | 3468,9 kWh |
| Bero-berreskurapena duen sistema | 0-BB Kasua 4.2 Aldaera | 4 | 0,75 | 2/3 | 2 kW·m ³ ·s | 0,792 kW | 6937,9 kWh |

Azken energiatik energia primarioa bihurtzeko erabilitako faktoreak 3.19 Taulan ageri dira. Espainiako Gobernuak Sustapen Ministerioaren eta Industria, Energia eta Turismo Ministerioaren baterako ebazpenetik atera dira [88]:

3.19 Taula. Azken energiatik energia primarioa bihurtzeko faktoreak.

| Azken energiatik energia primarioa bihurtzeko faktoreak | |
|--|-------|
| kWh Energia primario totala/kWh Azken energia | |
| Penintsulako ohiko elektrizitatea | 2,368 |
| Gas naturala | 1,195 |

Elektrizitateak gas naturalak baino energia primarioaren bihurtze-faktore altuagoa duenez, azken energia primarioan bihurtzean, haizagailuen kontsumoak energia-kontsumo osoan suposatzen duen ehunekoa handitu egingo da.

Aldagai-talde bakoitzak eraikinaren energia-kontsumoan nola eragiten duen zehazteko, bariantza-analisiaren teknika erabili da (Analysis of variance, ANOVA). Teknika hori, faktore batek edo gehiagok (bakoitzak bi maila edo gehiagorekin) mendeko aldagai baten batezbestekoan duten eragina aztertzeke erabiltzen den oinarritzko tresna bat da. Beraz, bi talde edo gehiagoren batezbestekoak alderatu nahi direnean erabiltzeko estatistika-analisi egokia da. Faktoreek aldagai baten bariantza izan ditzaketen ondorioak aztertzeke ere erabil daiteke teknika hori. Bariantza-analisiaren bidez faktore bakoitzak energia primarioaren kontsumoan (mendeko aldagaia) eragin esanguratsua duen zehaztu da. Aztertutako faktoreak honako hauek izan dira: beira mota, isolamendua, inertzia, bero-berreskurapenaren erabilera eta

moduluak instalatzeko era (seriean edo paraleloan). Faktoreen arteko elkarrekintzen garrantzia ere ebaluatu da.

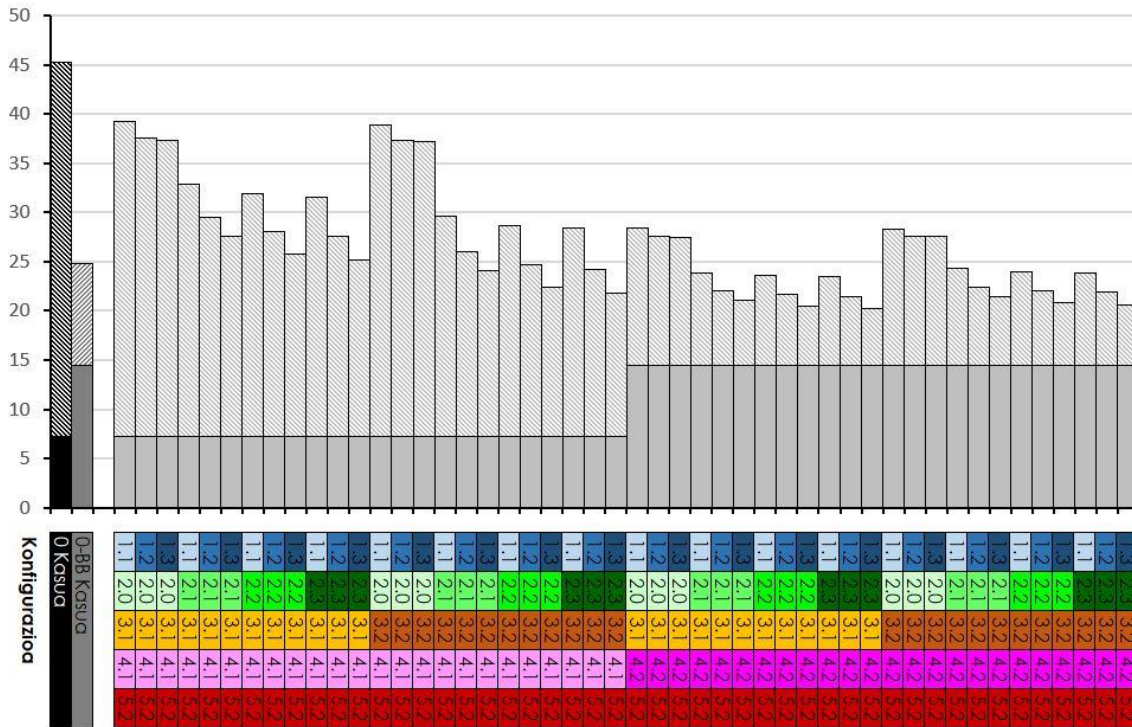
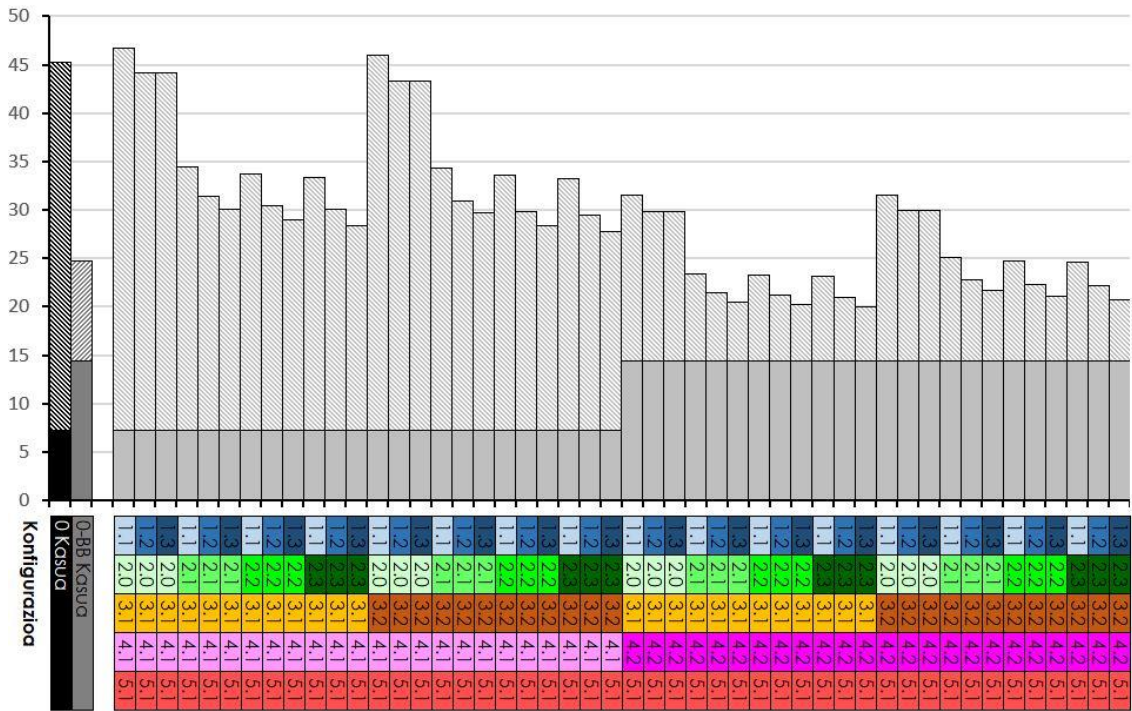
Bariantza-analisia egin ondoren, aldagai edo faktore talde bakoitza bere aldetik aztertu da. Metodologia bera erabili da faktore bakoitzerako. Lehenik eta behin, faktore bakoitzean, maila bakoitzaren energia primarioaren kontsumoaren batezbestekoak aztertu dira. Beira motak aztertzerakoan, adibidez, beira bakuna duten konfigurazioen kontsumoaren batezbestekoa (1.1 Aldaera), beira bikoitza duten konfigurazioen (1.2 Aldaera) eta emisibitate baxuko beira bikoitza duten konfigurazioen (1.3 Aldaera) batezbestekoekin alderatu da. Batezbestekoak aztertu ondoren, 96 berotegi- konfigurazio desberdinak eraikinean jartzen direnean lortzen diren energia primarioaren kontsumo guztiak analizatu dira eta horretarako, emaitzak aztertzen ari garen faktorearen arabera antolatu dira. Beira mota aztertzean, adibidez, emaitzak hiruko taldeetan ordenatu dira, talde bakoitzean aldagai guztiak berdinak direlarik, beira mota izan ezik. Horrela, talde bakoitzean, beira bakunaren emaitzak beira bikoitza dutenekin eta emisibitate baxuko beira bikoitza dutenekin konpara daitezke. Azkenik, beste faktoreek aldagai bakoitzean duten eragina aztertu da. Haien artean gerta daitezkeen konbinazioak aztertu dira. Hau da, faktore baten eragina aldatu egiten den beste faktoreen mailaren arabera. Horretarako, elkarreraginaren grafikoak erabili dira, non faktore baten aldaeren batezbestekoak beste faktore baten arabera erakusten baitira.

Faktoreak eta horien arteko elkarreraginak sakon aztertu ondoren, energia gutxien kontsumitzen duten konfigurazioak zeintzuk diren ezarri da. Halaber, konfigurazio horiekin, berotegirik gabeko eraikinarekin alderatuta, zenbat aurrezten den kuantifikatu egin da.

3.3.2. EMAITZAK

3.18 Irudian eraikinaren energia primarioaren kontsumoak erakusten dira, berotegiaren konfigurazio desberdinak instalatzean. Energia primarioaren kontsumoa erakusten duten grafikoetan, kontsumoa bitan banatzen da: zutabe bakoitzaren behealdean, haizagailuek eragindako kontsumoa adierazten da, eta goikaldean, berokuntzako. Hala, zutabe bakoitzak konfigurazio bakoitzaren energia primarioaren kontsumo osoa ere erakusten du (haizagailuak + berokuntza). Emaitza horiek, berotegirik eta beroberreskurapenik ez duen eraikinarekin (0 Kasua) eta berotegirik ez duen baina beroberreskurapena duen eraikinarekin alderatzen dira (0-BB Kasua).

Energia primariaren kontsumo totala (kWh·m⁻²·urte⁻¹)



3.18 Irudia. Eraikinaren energia primarioaren kontsumo totala, berotegiko konfigurazio desberdinak jartzerakoan (kWh m⁻²·urte⁻¹).

Ikus daitekeenez, eraikinaren energia primarioaren kontsumoak nabarmen aldatzen dira berotegiaren konfigurazioaren arabera. Konfigurazio txarretan, kontsumoak berotegirik gabeko eraikinekoak (0 kasua) baino handiagoak izatera heltzen diren

bitartean, konfiguraziorik onenean, $25,24 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{urte}^{-1}$ aurrezten da, hau da, % 55eko aurrezkiak 0 Kasuarekiko.

Eraikinaren energia primarioaren kontsumoan eragin esanguratsua duten faktoreak zehazteko, bariantza-analisia egin da. Faktoreen arteko elkarrekintza bikoitzen garrantzia ere ebaluatu da. 3.20 Taulan F-arrazoia eta P-balioa agertzen dira, bai efektu nagusiei bai elkarrekintzei dagokienez.

3.20 Taula. Bariantza-analisia energia primarioaren kontsumorako - III. motako karratuen batura

| Iturria | Karratuen batura | Askatasun-mailak | Batezbesteko karratua | F-arrazoia | P-balioa |
|----------------------------|------------------|------------------|-----------------------|------------|---------------|
| EFEKTU NAGUSIAK | | | | | |
| A: Beira | 225,812 | 2 | 112,906 | 352,85 | 0,0000 |
| B: Isolamendua | 1650,28 | 3 | 550,092 | 1719,12 | 0,0000 |
| C: Inertzia | 4,90138 | 1 | 4,90138 | 15,32 | 0,0002 |
| D: Bero-berreskurapena | 1625,21 | 1 | 1625,21 | 5079,02 | 0,0000 |
| E: Seriean edo paraleloan | 161,48 | 1 | 161,48 | 504,65 | 0,0000 |
| ELKARRERAGINAK | | | | | |
| AB | 21,4301 | 6 | 3,57169 | 11,16 | 0,0000 |
| AC | 0,220551 | 2 | 0,110276 | 0,34 | 0,7098 |
| AD | 15,8389 | 2 | 7,91945 | 24,75 | 0,0000 |
| AE | 0,41708 | 2 | 0,20854 | 0,65 | 0,5246 |
| BC | 0,368346 | 3 | 0,122782 | 0,38 | 0,7651 |
| BD | 125,427 | 3 | 41,8089 | 130,66 | 0,0000 |
| BE | 34,197 | 3 | 11,399 | 35,62 | 0,0000 |
| CD | 28,0164 | 1 | 28,0164 | 87,56 | 0,0000 |
| CE | 10,809 | 1 | 10,809 | 33,78 | 0,0000 |
| DE | 89,4127 | 1 | 89,4127 | 279,43 | 0,0000 |
| HONDAKINAK | 20,159 | 63 | 0,319984 | | |
| GUZTIRA (ZUZENDUTA) | 4013,97 | 95 | | | |

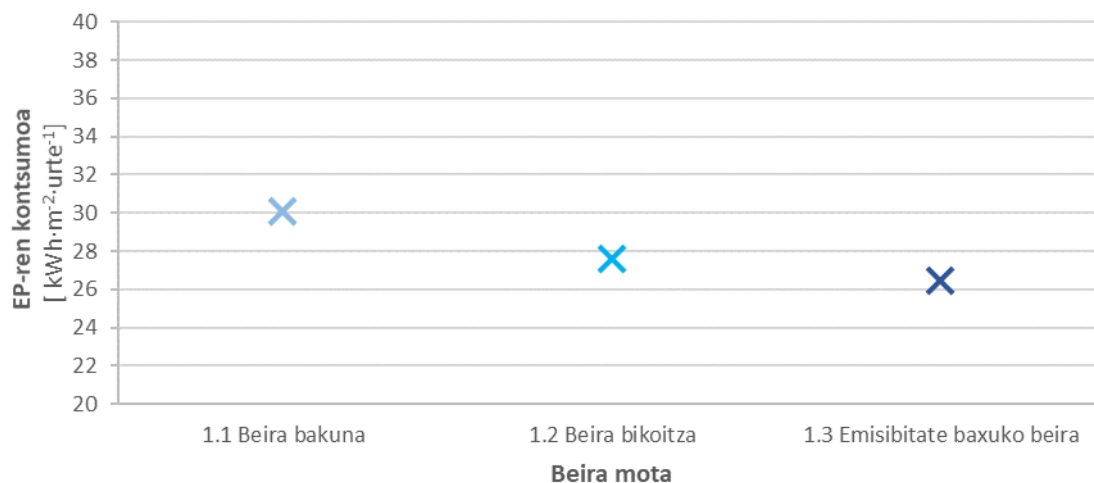
F-arrazoi guztiak hondar-errorearen batez besteko karratuan oinarritzen dira.

ANOVA taulak energia primarioaren kontsumo totalaren aldakortasuna hainbat faktoreen ondoriozko ekarpenetan deskonposatzen du. P-balioek faktore bakoitzaren esangura estatistikoa frogatzen dute. 12 P-balio 0,05 baino txikiagoak dira (letra lodiz), eta horrek esan nahi du faktore horiek estatistikoki efektu esanguratsua dutela energia primarioaren kontsumoan, % 95eko konfiantza-mailarekin. Beraz, faktore nagusi guztiek (beirak, isolamenduak, inertziak, bero-berreskurapenak eta moduluak seriean edo paraleloan instalatzeak) eta interakzio askok ere, eragin handia dutela eraikinaren kontsumoan ikusten da.

Ondoren, faktore bakoitzak eraikinaren energia kontsumoan duen eragina aztertuko da banan-banan. Esanguratsua den ikusteko, faktore bakoitzak gainerako faktoreekin duen elkarreragina ere aztertuko da.

3.3.2.1. BEIRA MOTA

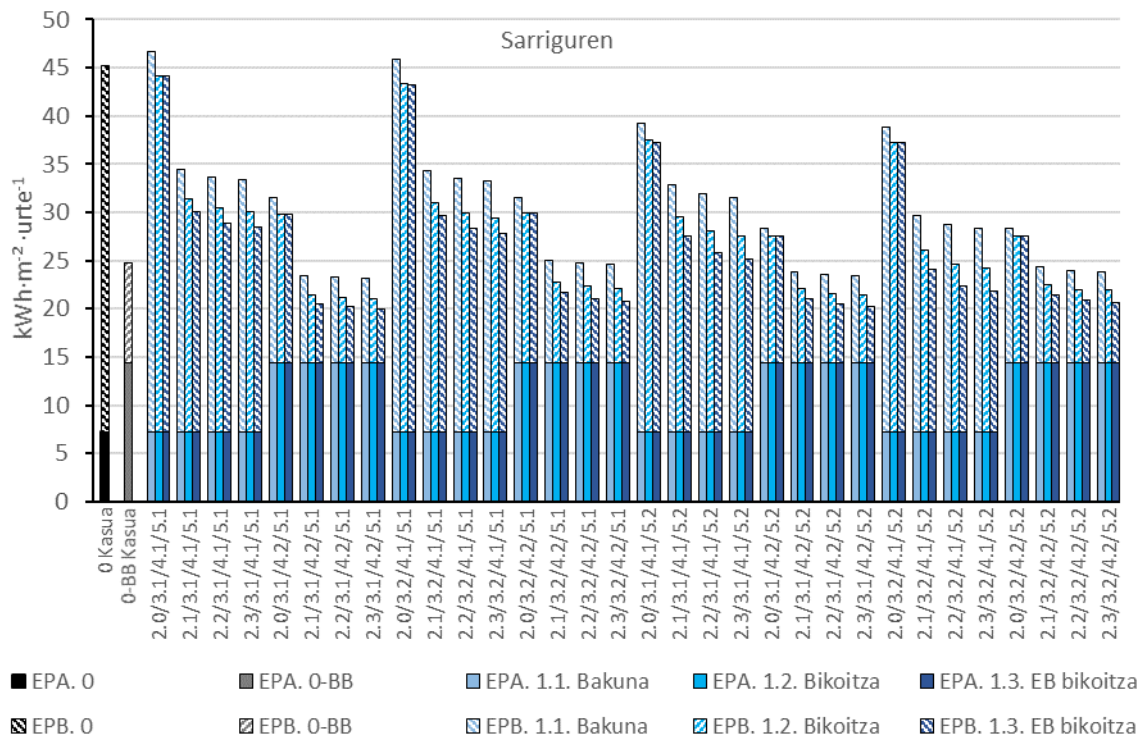
3.19 Irudian, beira bakuneko, beira bikoitzeko eta emisibitate baxuko beira bikoitzeko berotegi-konfigurazioen energia primarioaren kontsumoen batezbestekoak konparatzen dira.



3.19 Irudia. Berokuntza eta eraikinaren aireztapen-sistemaren operazioan energia primarioaren kontsumo totalaren batezbestekoak, berotegiko beira motaren arabera (kWh·m⁻²·urte⁻¹).

Ikus daitekenez, kontsumoaren batezbesteko txikiena emisibitate baxuko beira bikoitzarekin lortzen da eta handiena beira bakunarekin. Beira bakuneko konfigurazio eta beira bikoitzeko konfigurazioen arteko aldea, beira bikoitzeko konfigurazio eta emisibitate baxuko konfigurazioen artekoa baino handiagoa da.

Berotegi konfigurazio bakoitza instalatzean zer gertatzen den aztertzeko, 3.20 Irudian eraikinaren energia primarioaren urteko kontsumoa agertzen da, beira motaren arabera ordenatuta. Emaitzak hiruak antolatuta dira, talde bakoitzean aldaera guztiak berdinak direlarik beira mota izan ezik.

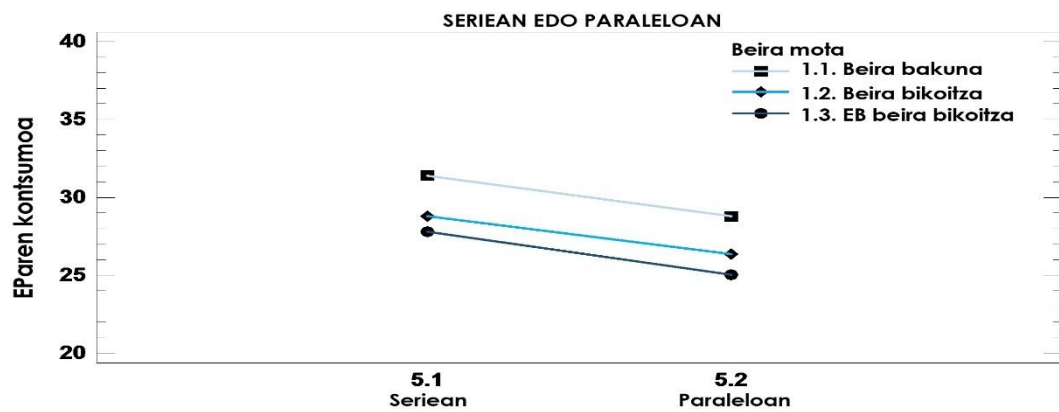
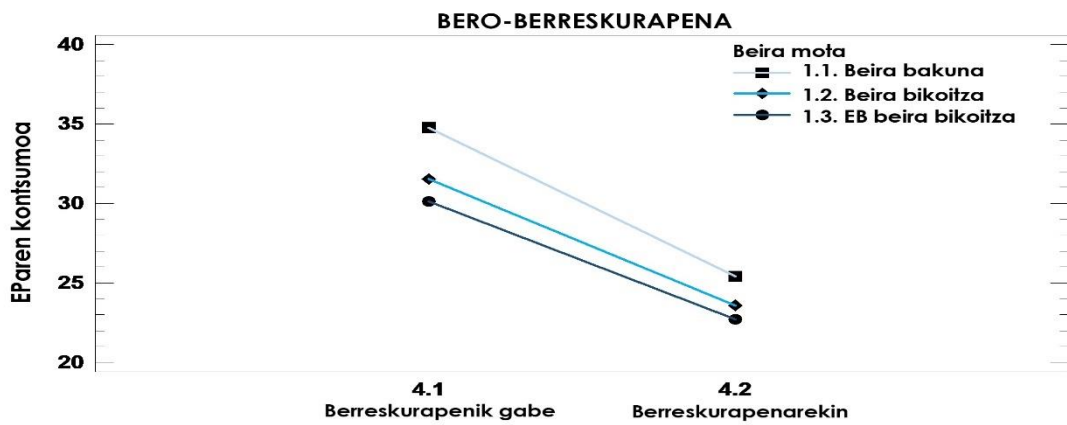
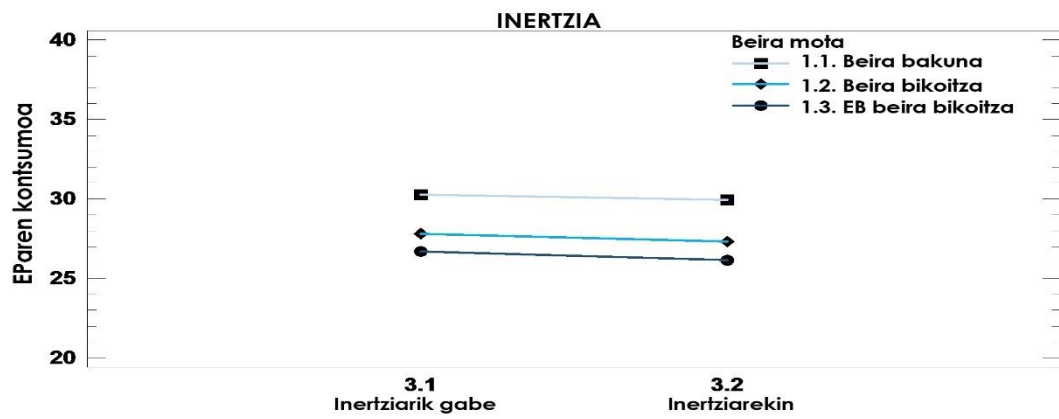
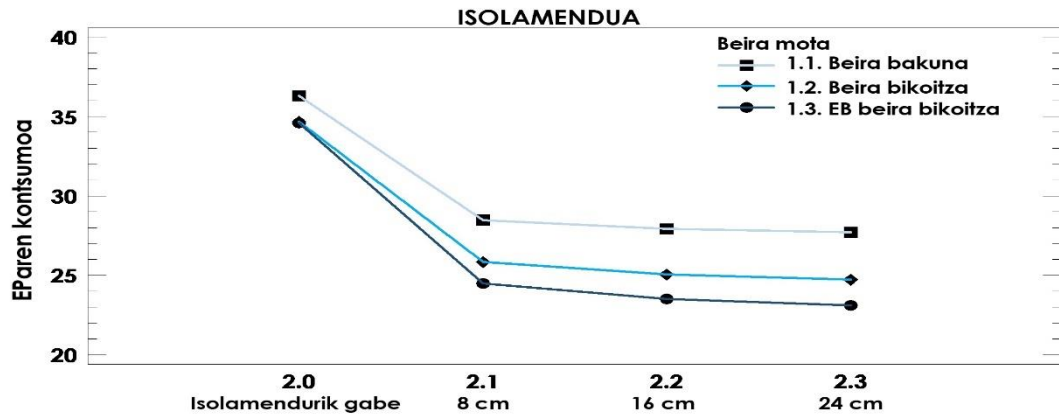


3.20 Irudia. Konfigurazio desberdinen energia primarioaren urteko kontsumoa, beira motaren arabera taldekatuta.

EPA: Energia primarioa aireztapen-sistemako haizogailuetan; EPB: Energia primarioa berokuntzan.

Kasu gehienetan, emisibitate baxuko beira bikoitzarekin lortzen dira kontsumo txikiak, nahiz eta konfigurazio batzuetan beira bikoitzarekiko aldeak txikiak izan. Emisibitate baxuko beira bikoitzaren eguzki-beroaren irabazi-koefizientea (SHGC) beste beiretan baino txikiagoa da, eta, beraz, eguzki-irabaziak ere txikiagoak dira. Hala ere, bere transmitantzia termikoa, askoz txikiagoa da eta horrek esan nahi du galera termikoak ere hala direla, eta horregatik, eraikineko kontsumo baxuenak lortzen dira. Konsumo handienak beira bakunarekin lortzen dira; izan ere, SHGC altuena duen arren, bere transmitantzia termikoa gainerako kasuetan baino askoz handiagoa da. Sarrigurengo klimarako, beiraren ahalmen isolatzailea, lortzen diren eguzki-irabaziak baino garrantzitsuagoa dela esan daiteke.

Beira motak gainerako faktoreekin duen interakzioa aztertzeko, 3.21 Irudian, beira bakoitzaren energia primarioaren kontsumo osoaren batezbestekoa aurkezten da, gainerako faktoreekin konbinatuta. Irudia lau grafikotan banatzen da: lehenengoan, beira motak isolamendu lodierarekin duen interakzioa erakusten da; bigarrenean, inertiarekin; hirugarrenean, bero-berreskurapenarekin, eta laugarrenean, moduluak instalatzeko moduarekin (seriean edo paraleloan).

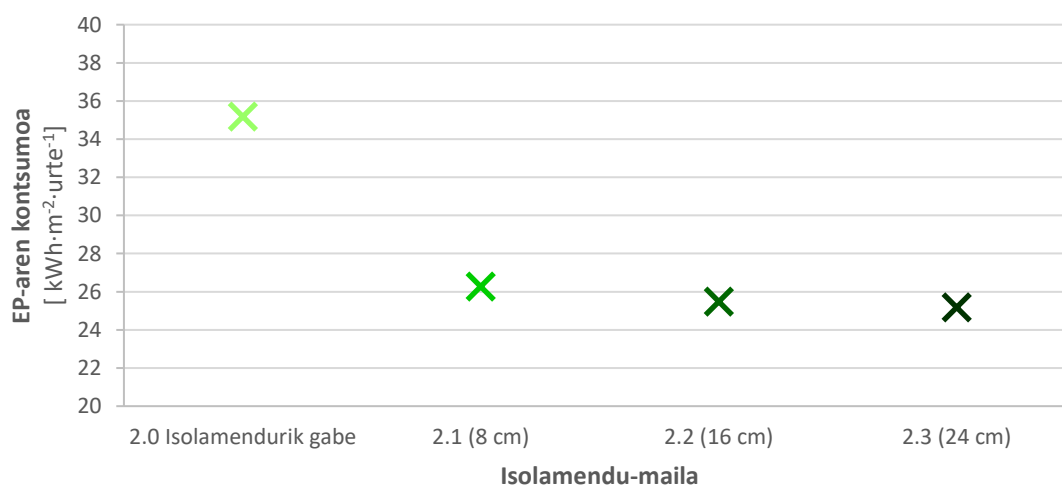


3.21 Irudia. Beira motak faktore ezberdinekin dituen elkarreraginaren grafikoak.

Goiko grafikoan ikus daitekeenez, isolamendua jartzen ez denean, beira mota bat edo bestea erabiltzeak garrantzi gutxiago du. Kasu honetan, beira bikoitzaren eta emisibitate baxuko beiraren kontsumoen batezbestekoak oso antzekoak dira, eta beira bakunaren batezbesteko kontsumoarekiko aldea txikiagoa da gainerako kasuetan baino. Berotegian 8 cm-ko isolamendua jarri ondoren, kontsumoak nabarmen murrizten dira. Isolamenduaren lodiera handitzen den heinean, beira moten arteko aldeak zertxobait handitzen dira. Bigarren grafikoan erakusten den bezala, beira motaren eta inertiaren arteko interakzioa ez da esanguratsua. Beira mota guztiekin, kontsumoaren batezbestekoa inertiarekin eta inertziarik gabe oso antzekoa da. Hirugarren grafikoak erakusten digu beroa berreskuratzen ez den kasuan hautatutako beiraren garrantzia handiagoa dela. Bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema bat instalatzen denean, kontsumoak nabarmen txikiagoak dira hiru beira motetan, baina aurrezkien zati handi bat berreskuragailuari esker lortzen denez, beira moten arteko aldeak txikiagoak dira. Beheko grafikoan erakusten den bezala, beira mota eta moduluak instalatzeko moduaren arteko elkarreragina ez da esanguratsua. Beira guztiekin kontsumoaren batezbestekoa txikiagoa da paraleloan instalatzen direnean.

3.3.2.2. ISOLAMENDU MAILA

3.22 Irudian, eraikinaren energia primario totalaren kontsumoen batezbestekoa ageri da, berotegiaren ingurutzaille opakuaren isolamendu mailaren arabera.

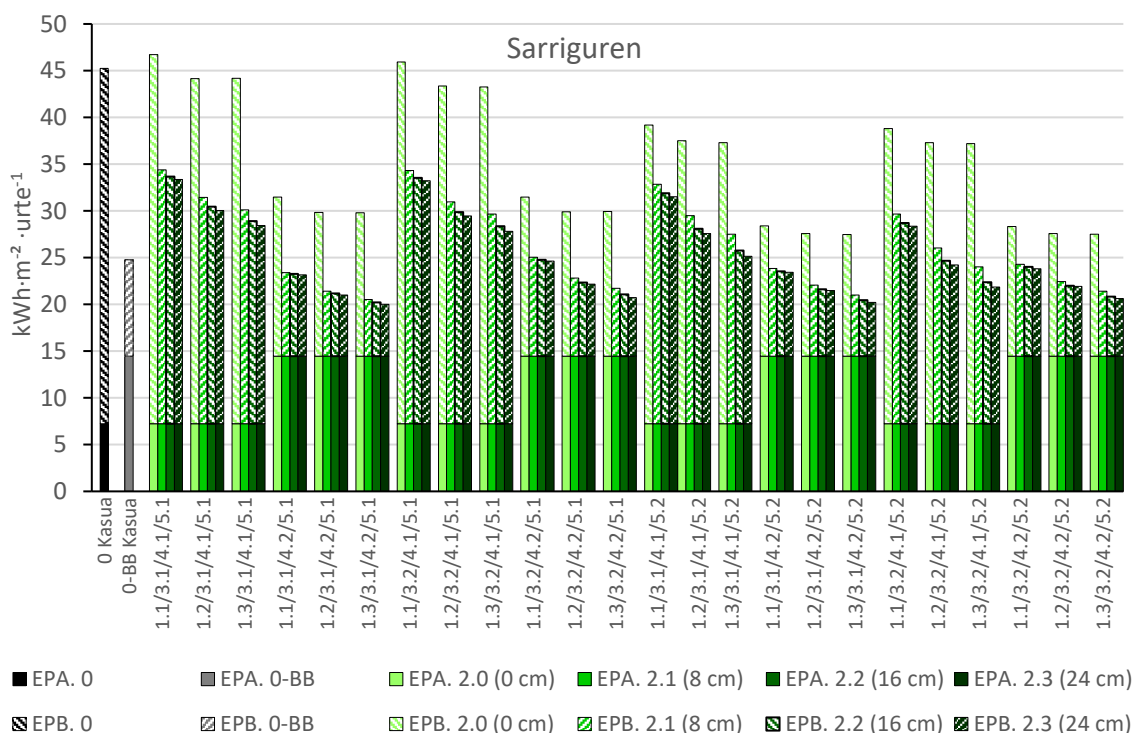


3.22 Irudia. Berokuntzako eta eraikinaren aireztapen-sistemaren eragiketako energia primarioaren kontsumo totalaren batezbestekoak (kWh·m²·urte⁻¹), isolamendu mailaren arabera.

Kontsumoaren batezbestekoa nabarmen handiagoa da berotegiko ingurutzaillea isolatzen ez denean. Jakina, zenbat eta handiagoa izan isolamenduaren lodiera, orduan eta galera termiko txikiagoak daude itxituren zehar, eta horrek energia-aurrezpen handiagoak eragiten ditu eraikinaren berokuntzan. 8 cm jartzean eta 16 cm jartzean lortzen diren aurrezkien arteko aldea, 16 cm eta 24 cm jartzearen arteko

diferentzia baino handiagoa da; hau da, isolamendu lodiera handitu ahala, kontsumoak behera egiten du, baina isolamendu-zentimetro bakoitzeko aurrezkiak gero eta txikiagoak dira. Nolanahi ere, behin berotegia behar bezala isolatu eta gero, lodiera handitzeak ez dakarrela aurrezki handirik ikusten da.

3.23 Irudian, konfigurazio guztien energia primarioaren kontsumoak aurkezten dira, berotegiko inguratzaile opakuan instalatutako isolamendu mailaren arabera taldekatuta. Konparagarriak izan daitezten, emaitzak lauko taldeetan ordenatzen dira, non aldagai guztiak berdinak diren, isolamendu maila izan ezik.

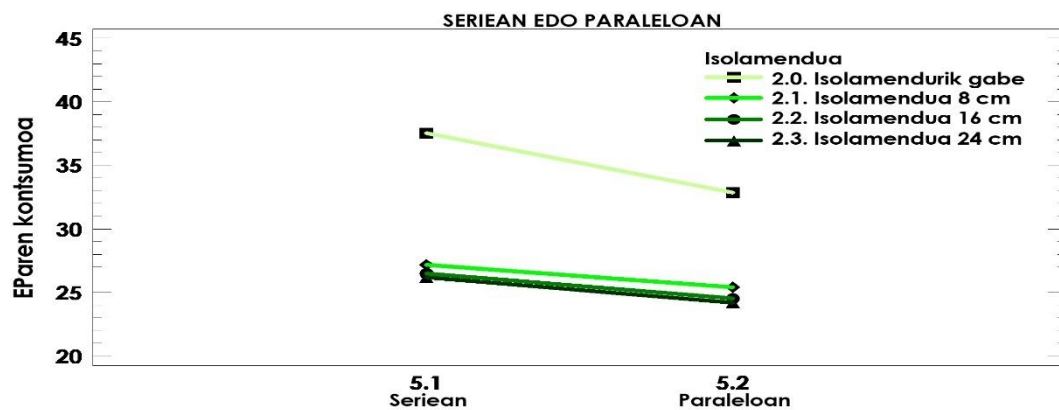
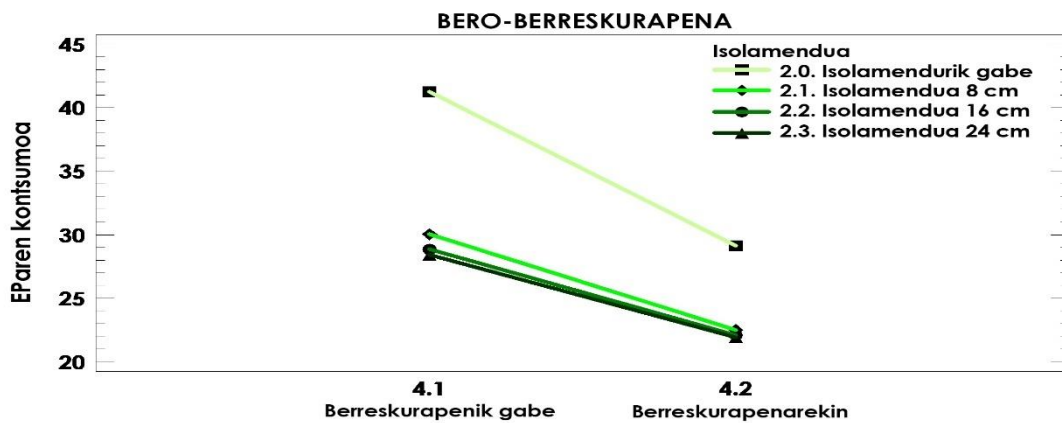
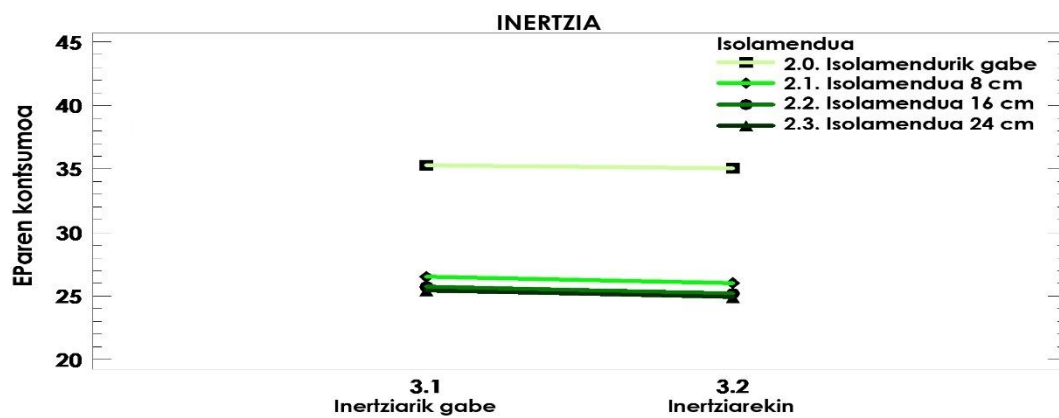
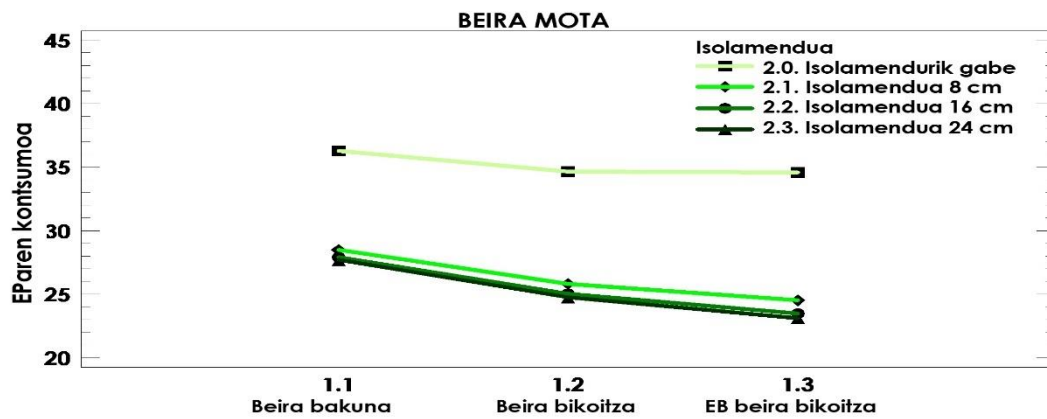


3.23 Irudia. Konfigurazio desberdinen energia primarioaren urteko kontsumoa, inguratzaile opakua isolamendu lodieraren arabera taldekatuta.

EPA: Energia primarioa aireztapen-sistemako haizagailuetan; EPB: Energia primarioa berokuntzan.

Berriz ere agerian geratzen da, berotegiko inguratzaile opakua isolatzen ez denean, kontsumoak gainerako kasuetan baino askoz handiagoak direla. Are gehiago, konfigurazio batzuetako kontsumoa 2.0 Aldaerarekin, berotegirik gabeko eraikinarena (0 Kasua) baino handiagoa da. Bero-berreskurapena eta isolatu gabeko berotegiak konbinatzen direnean, emaitzak berotegirik ez duen baina bero-berreskurapena duen eraikinarenak (0-BB Kasua) baino okerragoak dira. Beraz, emaitzak ikusita, argi geratzen da funtsezkoa dela berotegia isolatzea.

3.24 Irudian, isolamenduaren eta gainerako faktoreen arteko elkarreraginak agertzen dira. Horretarako, gainerako faktoreekin konbinazioan, isolamendu lodiera bakoitzeko energia primarioaren kontsumo totalaren batezbestekoa aurkezten da.



3.24 Irudia. Isolamendu lodierak faktore ezberdinekin dituen elkarreraginaren grafikoak.

Goiko grafikoan erakusten den bezala, beira motak zenbat eta transmitantzia termiko txikiagoa izan, orduan eta eragin handiagoa du kontsumoan instalatzen den isolamenduaren lodierak, nahiz eta aldeak txikiak izan. Bigarren grafikoan isolamenduaren lodieraren eta inertiaren arteko elkarreragina ez dela esanguratsua ikusten da. Berotegiaren isolamenduaren lodierak eraikinaren energia-kontsumoan duen eragina handiagoa da beroa berreskuratzen ez denean, hirugarren grafikoan ikus daitekeen bezala. Beroa berreskuratzen duen aireztapen-sistema bat erabiltzen denean, aurrezkiei zati bat berreskuratzailerari esker lortzen da, eta, beraz, isolamenduaren lodierak eragin txikiagoa du aurrezkieetan. Azken grafikoaren arabera, moduluak paraleloan instalatzean, isolamendurik ez jartzeak eragin txikiagoa du, nahiz eta, gainerako kasuekin konparatuz, kontsumoaren batezbestekoaren aldeak handiak izaten jarraitzen duten.

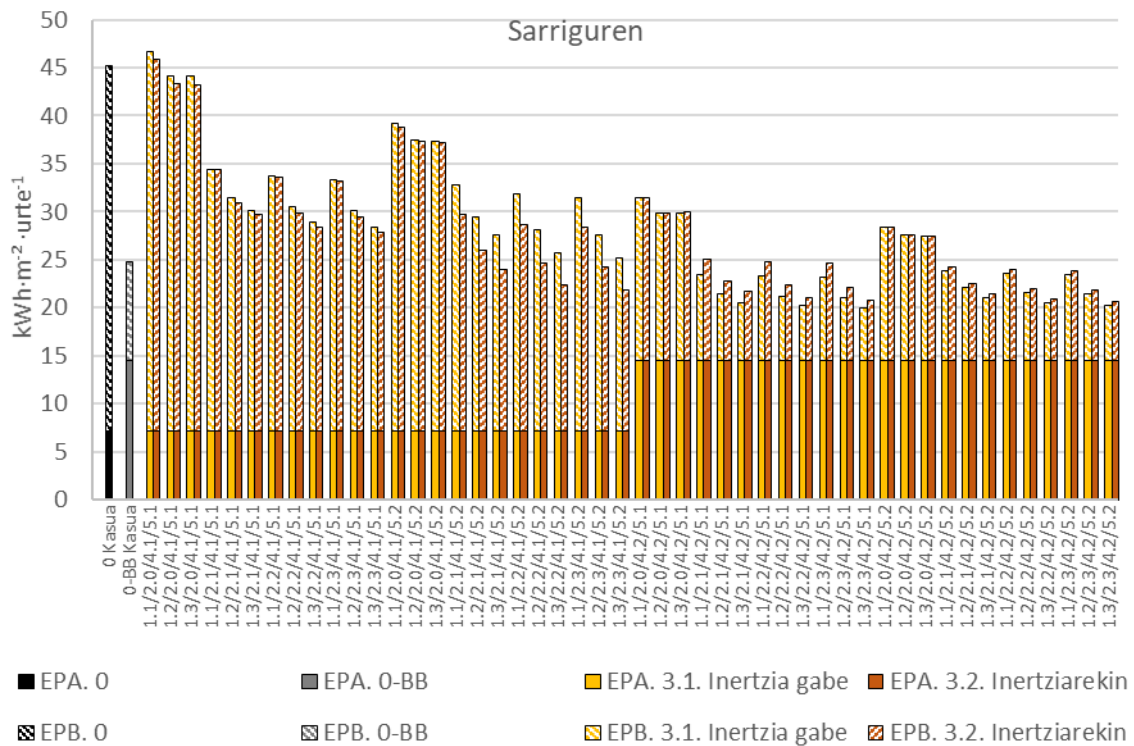
3.3.2.3. INERTZIA TERMIKOA

3.25 Irudian, energia primario totalaren kontsumoaren batezbestekoak ageri dira, berotegiaren inertzia termikoaren arabera.



3.25 Irudia. Berokuntzako eta eraikineko aireztapen-sistemaren eragiketako energia primarioaren kontsumo totalaren batezbestekoak (kWh·m²·urte⁻¹), inertiaren erabileraren arabera.

Aldeak minimoak badira ere, berotegiari inertzia ematen zaionean, kontsumoen batezbestekoa txikiagoa da. 3.26 Irudian konfigurazio guztien energia primarioaren kontsumoak erakusten dira, beroa metatzeko ur-deposituak instalatzen diren ala ez kontuan hartuz taldekatzen direlarik.



3.26 Irudia. Konfigurazio desberdinen energia primarioaren urteko kontsumoa, inertiaren erabileraren arabera taldekatuta.

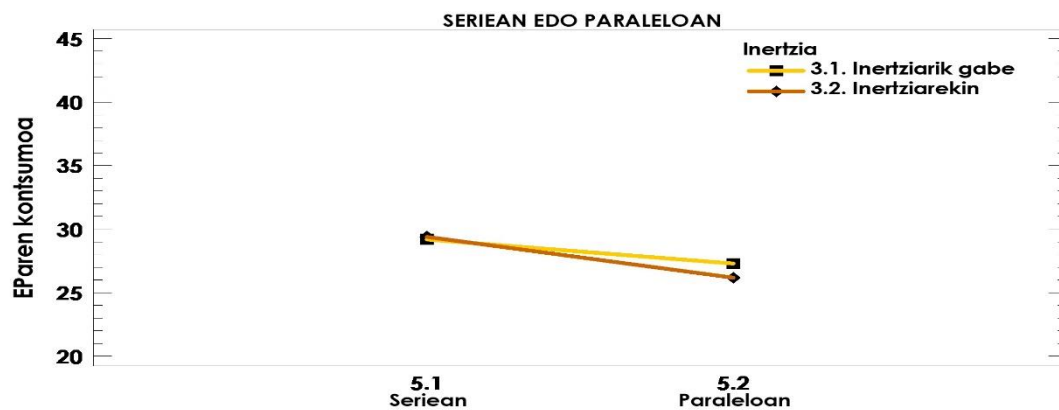
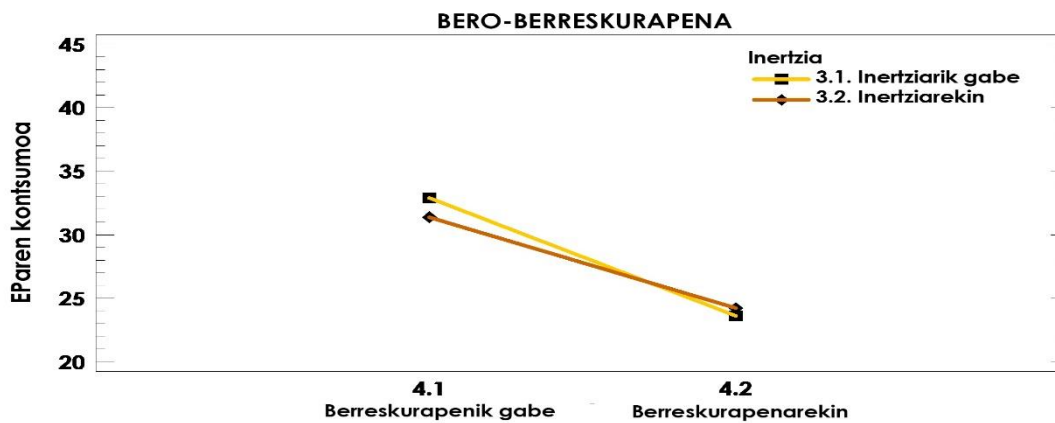
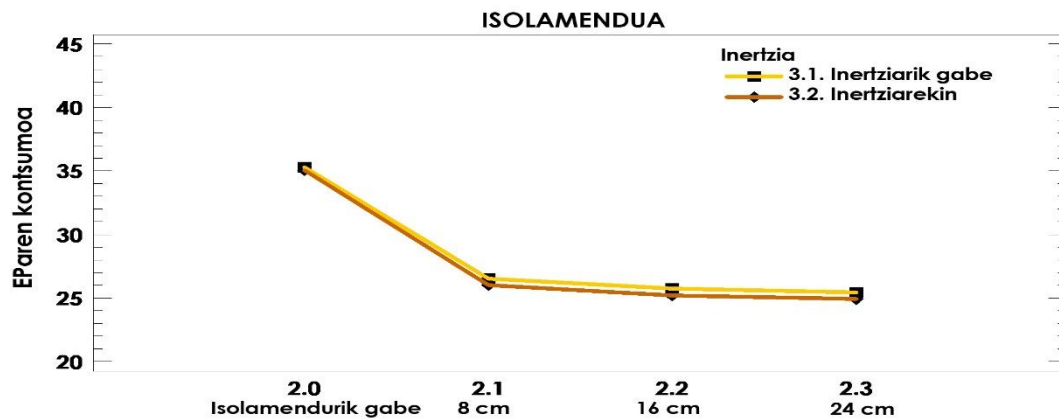
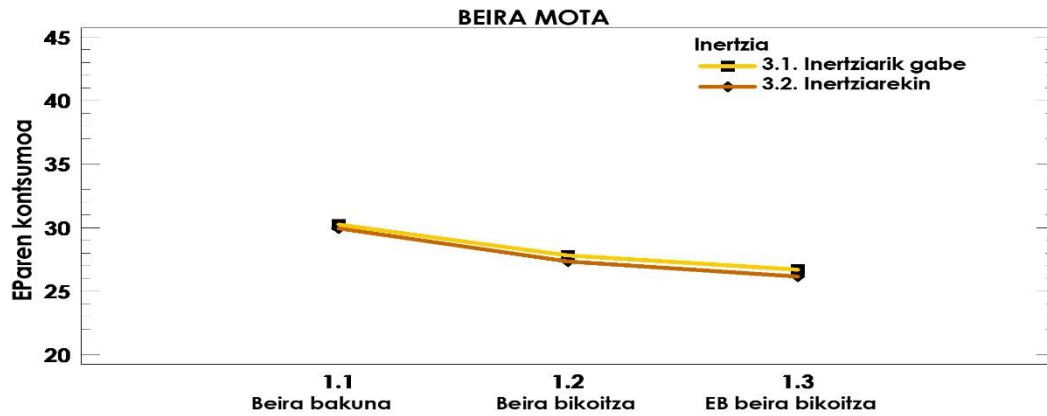
EPA: Energia primarioa aireztapen-sistemako haizagailuetan; EPB: Energia primarioa berokuntzan.

Berotegiari inertzia emateko ur-deposituak erabiltzea komeni den ala ez, aukeratutako aireztapen-sistemaren arabera da. Bero-berreskurapenik gabeko kasuetan (4.1 Aldaera, grafikaren lehenengo erdia), inertzia komenigarria da. Emari konstantea duen aireztapena erabili da eraikinean, eta, beraz, egunez zein gauez beroa modu uniformeagoan sar dadin beroa pilotzeak, eraikinaren energia-kontsumoan aurrezki handiagoak lortzea dakar. Ur-deposituak instalatzen ez direnean, airea askoz ere beroago sartzen da eguerdian, berokuntzaren behar gutxiago dagoenean, baina gauez, negutegiaren inertzia txikia dela eta, airea hotzago sartzen da eta horregatik, aurrezkiak txikiagoak dira. Ur-depositu horiek sartzeak dakarren hobekuntza areagotu egiten da moduluak paraleloan dituzten bero-berreskurapenik gabeko konfigurazioetan (4.1/5.2 aukera). Paraleloan instalatzeak, berotegiaren barnealdeko tenperaturak seriean instalatzean baino askoz egonkorragoak izatea dakar (ikus 3.16 Irudia). Aldi berean, inertzia-deposituak erabiltzeak, tenperaturaren oraindik oszilazio gutxiago egotea eragiten du, eta horrek berokuntzaren energia-kontsumoa aurrezten laguntzen du.

Bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema bat erabiltzen denean (4.2 Aldaera grafikaren bigarren erdia), ur-deposituak erabiltzea ez da komeni. Gauean bero-

berreskuragailuan aurreberotutako airea ez hozteko, goizeko 9etatik arratsaldeko 7etara baino ez da igaroko berotegitik; izan ere, berotegia, airea oraindik gehiago berotzeko, aldi horretan baino ez da gai. Horregatik, gauean airea zuzenean sartzen da eraikinera, negutegitik igaro gabe. Beraz, berreskurapena duten kasuetan, beroa pilatzea ez da komeni, biltegiatutako beroaren zati bat gauean galduko bailitzateke.

3.27 Irudian, energia primario totalaren kontsumoaren batezbestekoak erakusten dira, gainerako faktoreekin konbinazioan, berotegiari inertzia emateko ur-deposituak erabiltzen direnean eta erabiltzen ez direnean.



3.27 Irudia. Inertiak faktore ezberdinekin dituen elkarrengaren grafikoak.

Lehenengo grafikoan ikus daiteke inertiaren eta beira motaren arteko elkarreragina ez dela oso esanguratsua. Bigarren grafikoaren arabera, inertzia eta isolamenduarekin gauza bera gertatzen da. Hirugarren grafikoan, bero-berreskurapenik gabeko konfigurazioetan kontsumoak txikiagoak direla inertiarekin ikus daiteke; beroa berreskuratzen denean, berriz, kontsumo txikienak inertziarik gabe lortzen dira. Laugarren grafikoan erakusten den bezala, moduluak seriean instalatzen direnean, alde txikia bada ere, inertziarik gabe lortzen da batez besteko kontsumo txikiagoa. Paraleloan instalatzean, berriz, kontsumo txikienak inertiarekin lortzen dira, eta kasu horretan aldeak zertxobait handiagoak dira.

Bero-berreskurapenik gabe, berotegiari inertzia termikoa emateko bero-metagailuak erabiltzeak energia gehiago aurrezten duela ondoriozta daiteke. Bero-berreskurapena duen aireztapen sistema batekin, berriz, ur-deposituak ipintzea ez da komeni.

3.3.2.4. BERO-BERRESKURAPENA

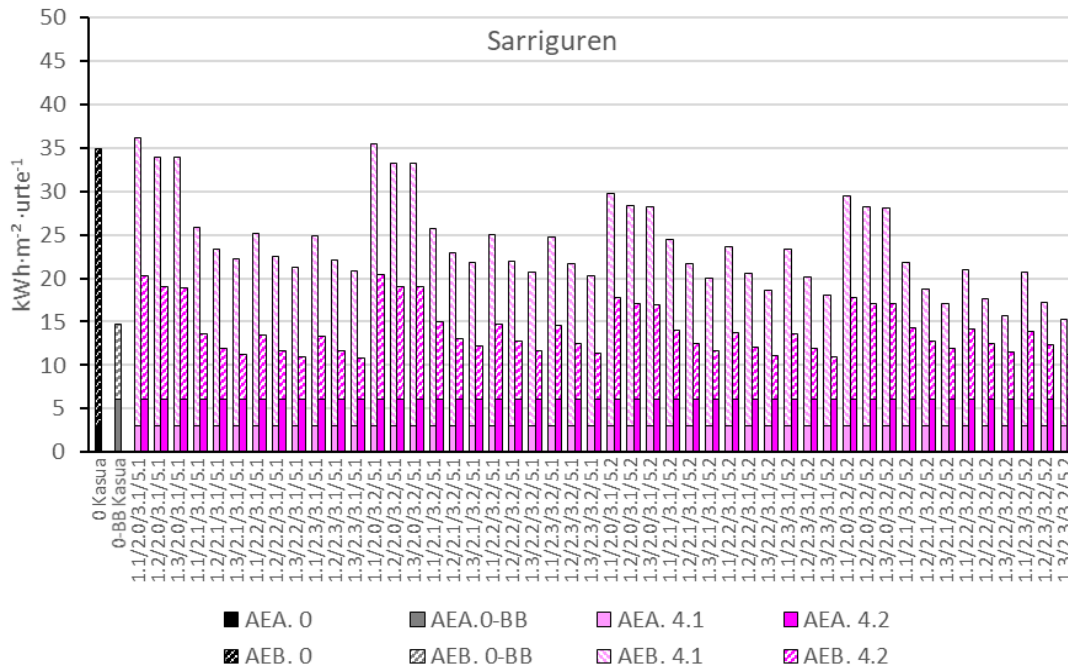
3.28 Irudian, bero-berreskurapenik gabeko konfigurazioen eta bero-berreskurapena duten konfigurazioen energia primario totalen kontsumoen batezbestekoak alderatzen dira.



3.28 Irudia. Berokuntzako eta eraikineko aireztapen-sistemaren eragiketako energia primarioaren kontsumo totalaren batezbestekoak ($\text{kWh} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{urte}^{-1}$), bero-berreskurapenaren erabileraren arabera.

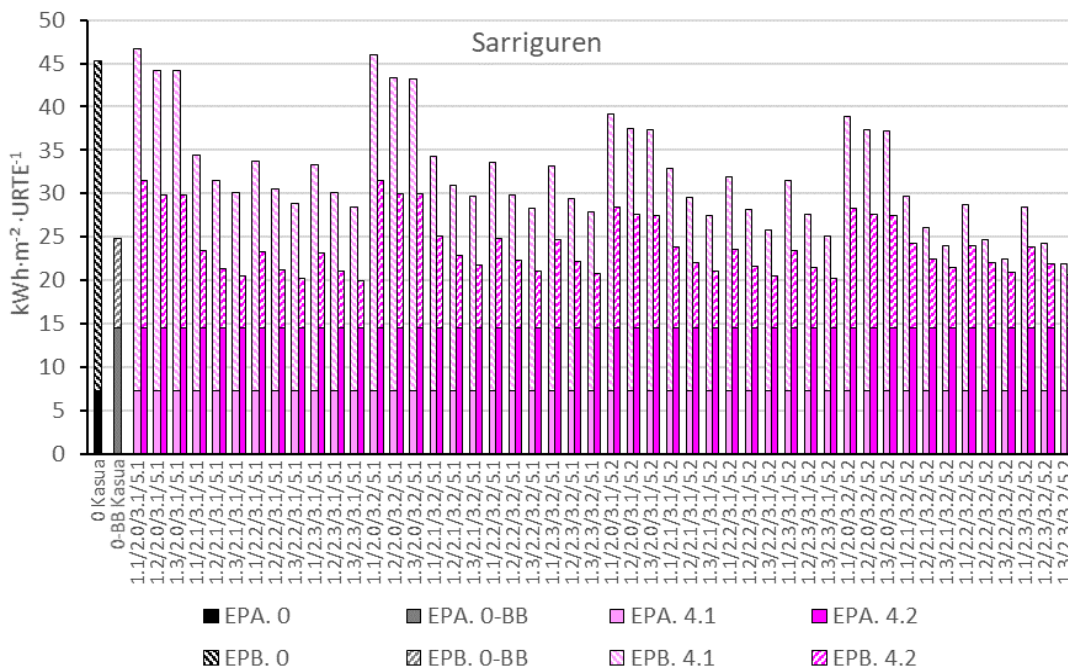
Bero-berreskurapena duten konfigurazio guztien kontsumoen batezbestekoa nabarmen txikiagoa da. Bere aldaeren artean desberdintasun handienak dituen faktorea dela ikus dezakegu. Berotegiaren konfigurazio guztietan zer gertatzen den aztertzeko, 3.29 Irudian, konfigurazio guztietako azken energiaren kontsumoak eta 3.30 Irudian energia primarioaren kontsumoak agertzen dira, emaitzak bero-berreskurapenaren erabileraren arabera multzokatu direlarik. Konparagarriak izan

daitezen, emaitzak binaka antolatzen dira, aldagai guztiak berdinak direlarik, berreskurapena erabiltzen den edo ez izan ezik.



3.29 Irudia. Konfigurazio desberdinen azken energiaren urteko kontsumoa, bero-berreskurapenaren erabilerearen arabera taldekatuta.

AEA: Azken energia aireztapen-sistemako haizagailuetan; AEB: Azken energia berokuntzan.



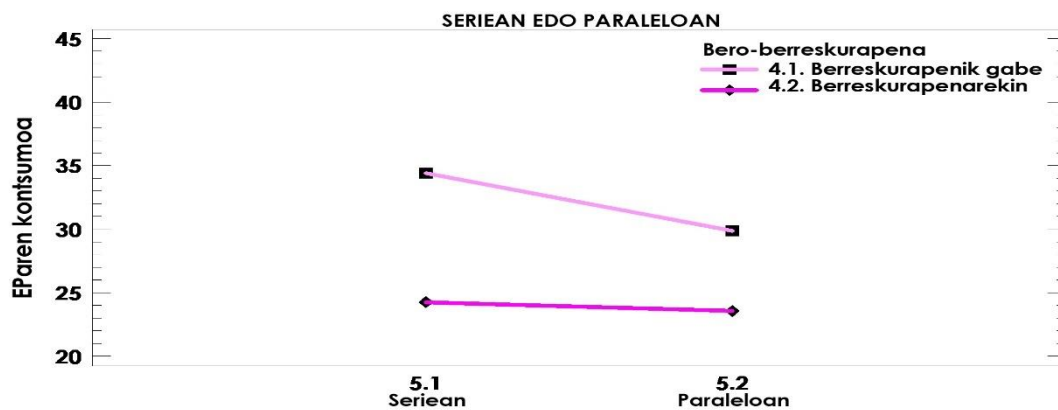
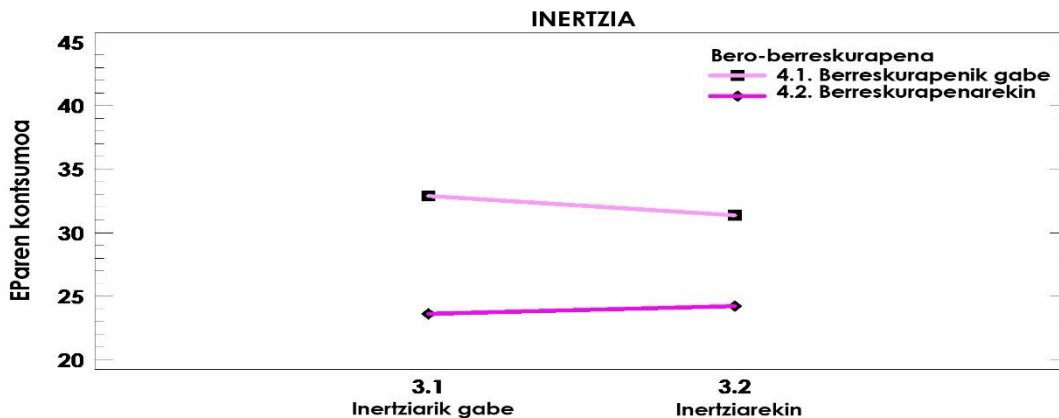
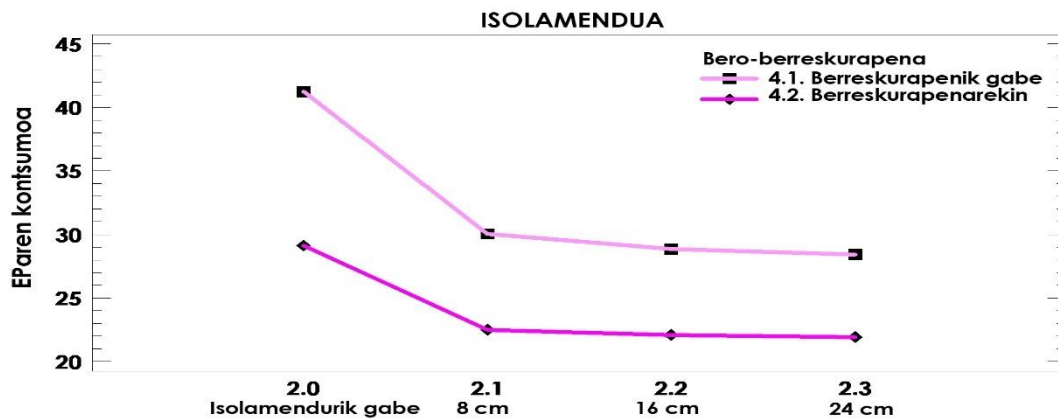
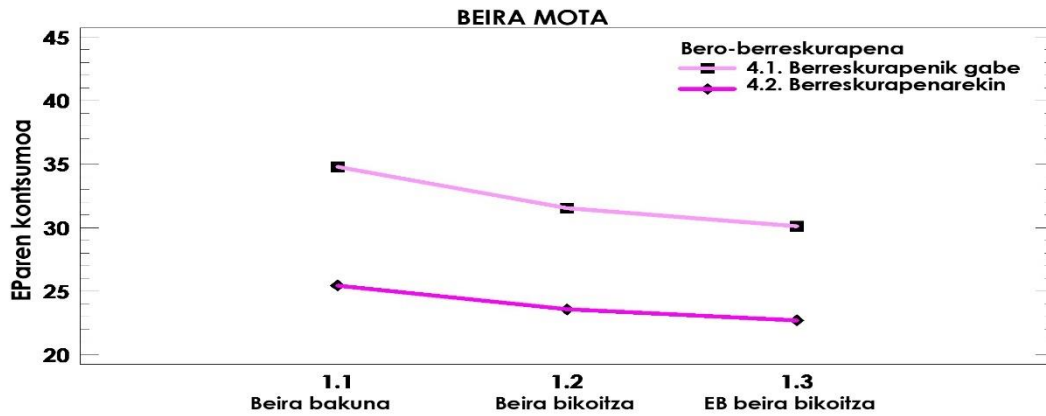
3.30 Irudia. Konfigurazio desberdinen energia primarioaren urteko kontsumoa, bero-berreskurapenaren erabilerearen arabera taldekatuta.

EPA: Energia primaria aireztapen-sistemako haizagailuetan; EPB: Energia primaria berokuntzan.

Bero-berreskurapena duten aukerek (4.2 Aldaera) kontsumo handiagoa dute haizagailuetan, baina kontsumo txikiagoa eraikineko berokuntzan. Azken energia-kontsumoa aztertuz gero, berreskurapena duten alternatiben kontsumo totalak nabarmen txikiagoak dira. Gas naturalarekin alderatuta elektrizitatearen konbertsio-faktore handiagoa dela eta, diferentzia horiek murriztu egiten dira energia primarioaren kontsumoan. Hala ere, kontsumo totalak beti txikiagoak izaten jarraitzen dute bero-berreskurapenarekin, eta kasu gehienetan alde handiak lortzen dira berreskurapenik gabeko konfigurazioekiko. Dena den, beroa berreskuratzen duen eta berreskuratzen ez duen aukerarik onenak konparatuz gero, aldeak ez dira hain handiak: bero-berreskurapenik gabeko aukerarik onenarekin (1.3/2.3/3.2/4.1/5.2 konfigurazioa) $21,86 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{urte}^{-1}$ -eko energia primarioaren kontsumoa lortzen da, eta berreskurapena duen onenarekin (1.3/2.3/3.1/4.2/5.1 konfigurazioa), berriz, $20,01 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{urte}^{-1}$ -ekoa.

Eraikinean beroa berreskuratzeko aireztapen-sistema bat instalatu ondoren (0-BB Kasua), berotegien erabilerarekin konbinatzen bada, kontsumo txikiagoak lortzen dira, isolamendurik jartzen ez den kasuetan izan ezik. Hala ere, aireztapen-sistema hori jartzean, berotegiei esker aurrezten dena gutxi da. 0-BB kasuan energia primarioaren kontsumo totala $24,78 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{urte}^{-1}$ -ekoa den bitartean, berotegi- konfigurazio onuragarriena gehitzean $20,01 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{urte}^{-1}$ -koa da; beraz, kontsumoa $4,77 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{urte}^{-1}$ baino ez da murrizten. Horregatik, berotegiak beroa berreskuratzen duen sistema batekin konbinatzean kontsumo total baxuenak lortzen badira ere, ondoriozta daiteke aurrezpen gehienak berreskuratzailari esker lortzen direla eta soilik berotegiari esker lortutako aurrezkiak txikiak direla.

Gainerako faktoreek bero-berreskurapenaren aldagaian duten eragina aztertzeko, 3.31 Irudia erakusten da. Lehenik eta behin, beira motak aireztapen-sisteman duen eragina azaltzen da; bigarrenik, isolamenduak duen eragina; hirugarrenik, inertzia termikoak duena, eta, azkenik, moduluak seriean edo paraleloan instalatzeak duena.

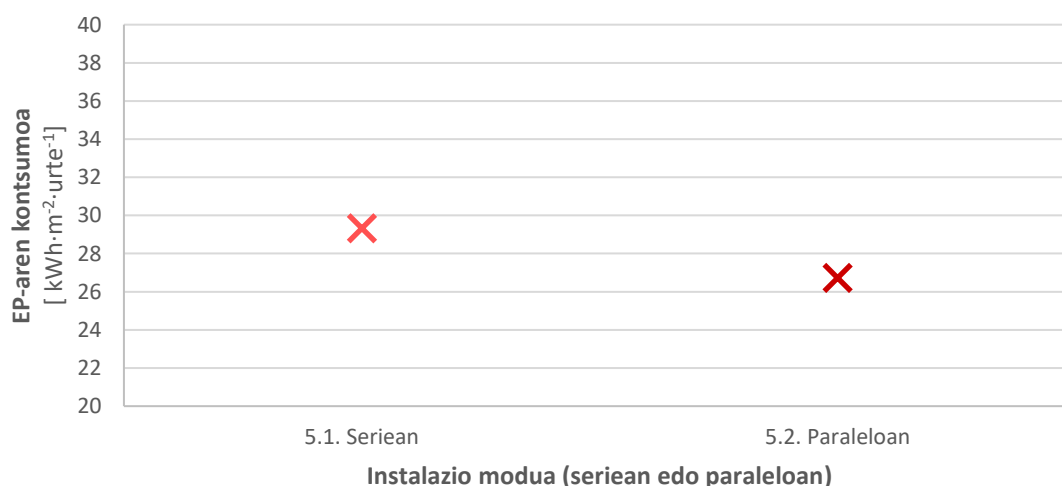


3.31 Irudia. Bero-berreskurapenak faktore ezberdinekin dituen elkarreraginen grafikoak.

Lehenengo grafikoan ikus daitekeenez, beirak transmitantzia termiko txikiagoa duen heinean, kontsumoen batezbestekoen aldea gero eta txikiagoa da. Beroberreskurapena erabiltzen denean, gehien bat berreskuragailuari esker aurrezten denez, beira motak eragin txikiagoa du. Aireztatze-sistemaren eta isolamenduaren arteko elkarreraginari dagokionez (bigarren grafikoa), isolamendurik jartzen ez denean bi aireztapen-sistemen arteko aldeak askoz handiagoak direla ikusten da. 8 cm jartzetik aurrera, isolamendu lodiera handitu ahala, beroa berreskuratzen duen eta berreskuratzen ez duen kasuen arteko aldeak zertxobait txikitzen doaz. Hirugarren grafikoan argi ikusten denez, beroa berreskuratuz gero, ez da egokia berotegiari inertzia ematea, kontsumoak handitu egiten baitira. Beroa berreskuratzen ez denean, ordea, kontsumoa murriztu egiten da inertiarekin, eta ur-deposituak erabiltzea komenigarritzat jotzen da. Moduluak paraleloan instalatzen direnean, beroberreskurapenadun eta gabeko konfigurazioen batezbestekoen aldeak nabarmen gutxitzen dira. Beroa berreskuratzen ez denean, moduluak paraleloan instalatzeak askoz kontsumo gutxiago eragiten du. Beroa berreskuratzen denean, berriz, seriean edo paraleloan instalatzearen arteko aldeak oso txikiak dira.

3.3.2.5. SERIEAN EDO PARALELOAN INSTALATZEA

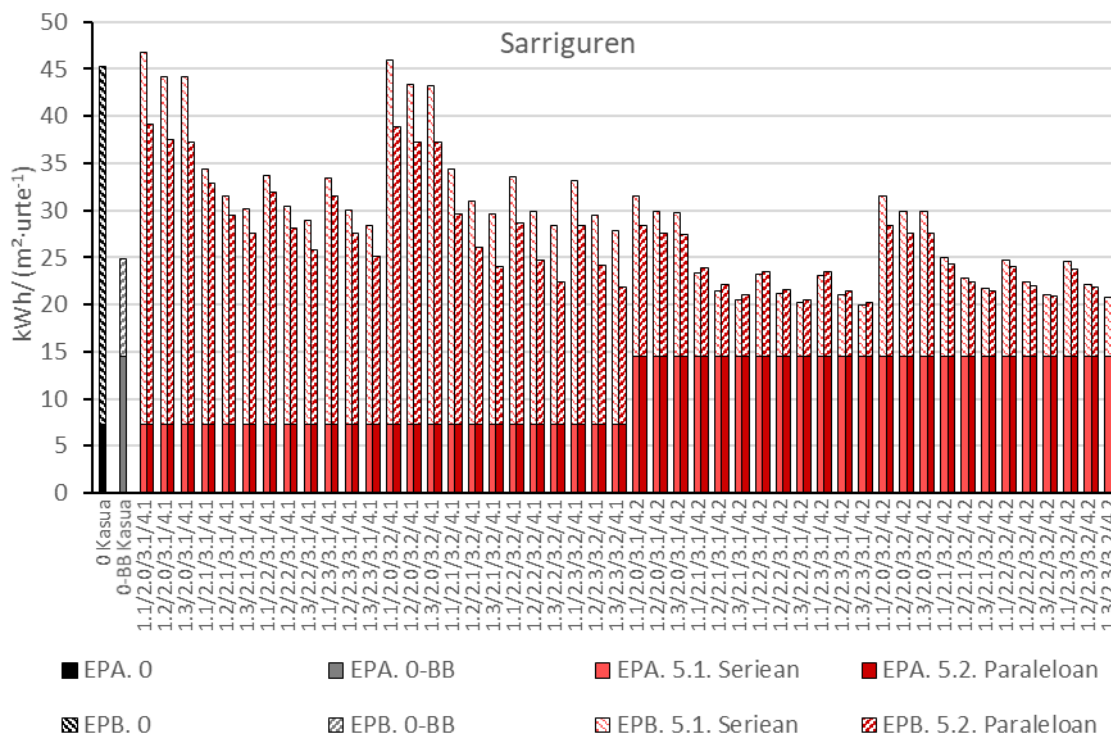
3.32 Irudian, moduluak seriean instalatzen diren konfigurazioen eta paraleloan instalatzen diren konfigurazioen batez besteko kontsumoak konparatzen dira.



3.32 Irudia. Berokuntzako eta eraikineko aireztapen-sistemaren eragiketako energia primarioaren kontsumo totalaren batezbestekoak (kWh·m⁻²·urte⁻¹), moduluak instalatzeko eraren arabera.

Paraleloan instalatzen diren konfigurazioen kontsumoaren batezbestekoa, seriean instalatzen direnena baino txikiagoa da. Hala ere, konfigurazio posible guztiak aztertuz gero, beti ez da horrela gertatzen. Hori egiaztatzeko, 3.33 Irudian konfigurazio guztien energia primarioaren kontsumoak bistaratzen dira, moduluak seriean edo paraleloan instalatzen diren arabera taldekatuta. Emaitzak alderagarriak izan daitezzen, bikoteka

antolatzen dira, non aldagai guztiak berdinak diren, moduluak instalatzeko modua izan ezik.



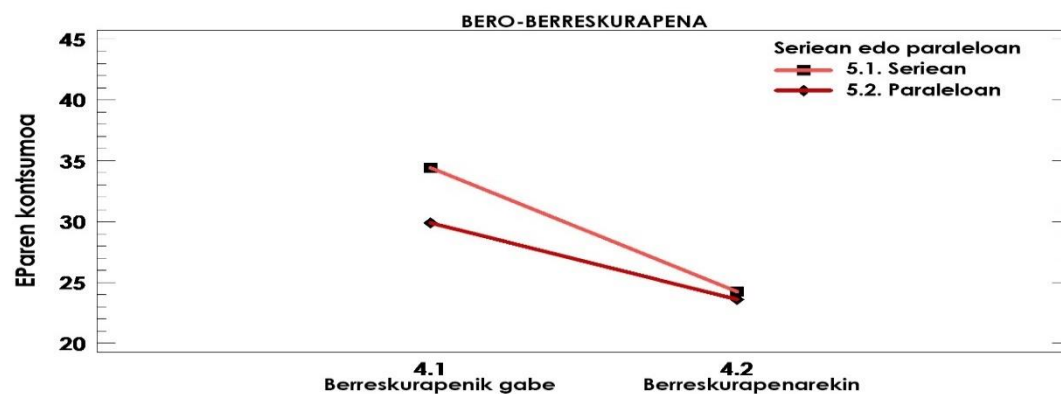
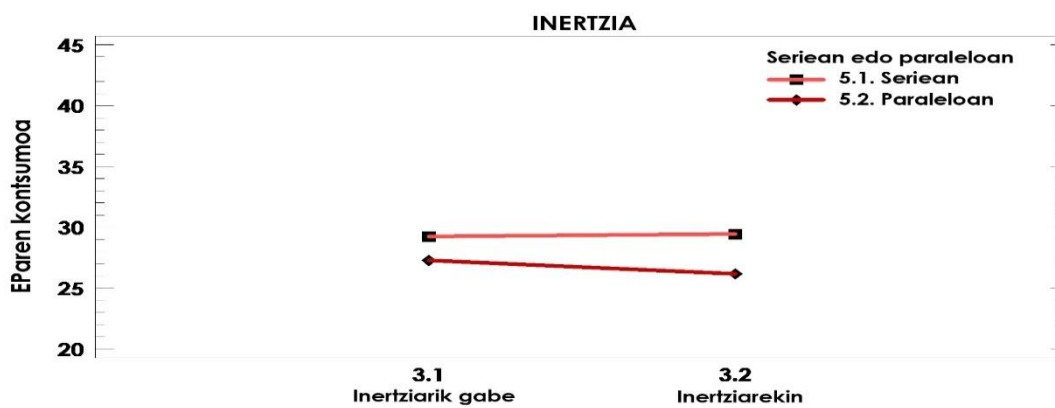
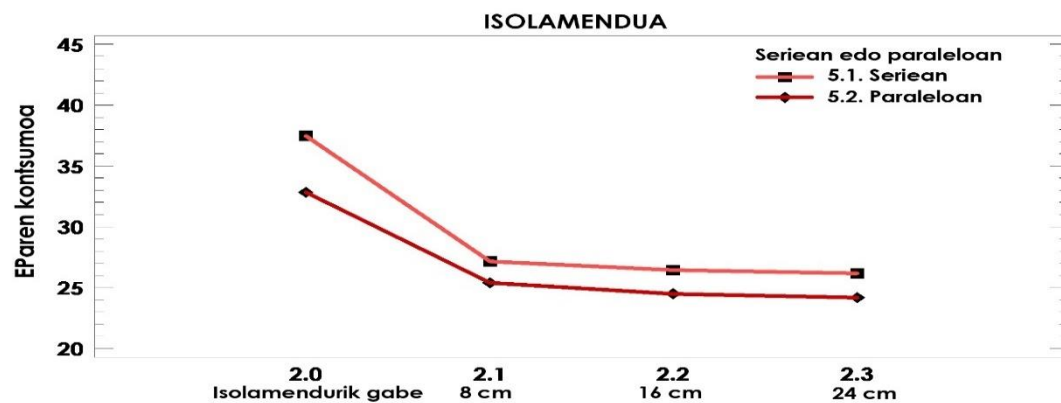
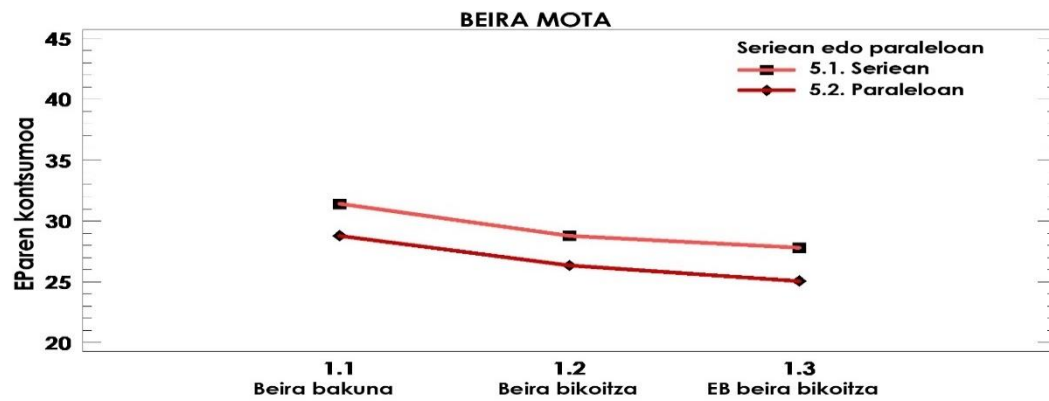
3.33 Irudia. Konfigurazio desberdinen energia primarioaren urteko kontsumoa, instalatzeko moduaren erabilerearen arabera taldekatuta.

EPA: Energia primarioa aireztapen-sistemako haizagailuetan; EPB: Energia primarioa berokuntzan.

Beroa berreskuratzen duen sistemarik erabiltzen ez denean (4.1 Aldaera, grafikaren lehenengo erdia), paraleloan emaitzak, seriean baino askoz hobekak dira. Inertziarekin eta berreskurapenik gabe (3.2/4.1 aukera), diferentzia hori are handiagoa da. Aurreko atalean ikusi dugunez, moduluak paraleloan instalatzen direnean tenperaturak egonkorragoak izatea lortzen da. Horrela, egunez lortutako tenperaturen eta gauzez erregistratutakoen artean ez dago hainbesteko alderik. Etengabeko sarrera aireztapen-sistema bat erabiltzen denean, berotegiko tenperaturak egonkorragoak izatea komeni da, eta, beraz, paraleloan instalatzeak aurrezpen handiago dakartza.

Beroa berreskuratzen duen sistema bat instalatzen denean (4.2 Aldaera, grafikaren bigarren erdia), seriean edo paraleloan instalatzearen arteko aldeak txikiak dira. Aireztapen sistema honekin, bero-metagailuak sartzen ez direnean (3.1/4.2 aukera), kontsumo txikiak seriean lorzen dira, isolamendurik jartzen ez denean izan ezik (2.0 Aldaera). Inertziarekin (3.2/4.2 aukera), paraleloan seriean baino kontsumo txikiagoak lortzen dira.

3.34 Irudian gainerako faktoreek berotegi-moduluak instalatzeko eran nola eragiten duten ageri da. Energia primarioaren kontsumo totalaren batezbestekoak aurkezten dira seriean instalatzen direnean eta paraleloan instalatzen direnean, gainerako faktoreekin konbinatzen direnean.



3.34 Irudia. Moduluak seriean edo paraleloan instalatzeak faktore ezberdinekin dituen elkarreraginen grafikoak.

Lehenengo grafikoan ikusten denez, moduluak jartzeko moduak beiraren faktorearekin duen elkarreragina ez da oso esanguratsua. Bigarren grafikoan, isolamendurik jartzen ez denean, moduluak seriean edo paraleloan jartzeak beste kasuetan baino eragin handiagoa duela ikusten da. Gainerako isolamendu lodierekin, moduluak jartzeko moduak ez du eragin nabarmenik. Hirugarren grafikoaren arabera, berotegiari inertzia ematen zaionean, seriean edo paraleloan instalatzeak garrantzi handiagoa du inertziarik ematen ez zaionean baino. Inertzia jartzeak, kontsumoaren batezbestekoa murriztea dakar moduluak paraleloan instalatzen direnean, baina ez seriean jartzen direnean. Azkeneko grafikan, beroa berreskuratzen ez denean, seriean instalatzeak batez besteko kontsumo handiagoa dakarrela ikusten da. Bero-berreskurapenarekin berriz, seriean edo paraleloan instalatzearen batezbestekoa ia berdindu egiten da. Are gehiago, 3.33 Irudian erakutsi den bezala, moduluak seriean instalatzen direnean, bero-berreskurapena duten konfigurazio batzuen kontsumoa, paraleloan jartzen diren konfigurazioena baino txikiagoa da.

3.3.3. ONDORIO PARTZIALAK. KONFIGURAZIORIK ONENAK

Atal honetan zehar, berotegiaren konfigurazioaren arabera, nabarmen alda daitezkeela eraikinean lortzen diren aurrezkiak frogatu da. 3.21 Taulan, Sarriguren hirirako energia-kontsumoaren ikuspegitik konfigurazio egokienak erakusten dira. Aldi berean, konfigurazio horien kontsumoak ere konparatzen dira, baita 0 Kasuarekiko sortzen diren aurrezkiak ere. Bero-berreskurapena duten eta ez duten konfigurazio onenak bereiztu dira, faktore esanguratsuena delako.

3.21 Taula. Energiaren ikuspegitik, Sarrigurenen konfigurazio optimoen kontsumoak eta aurrezkiak.

| Konfigurazioa | Ezaugarriak | Kontsumoak | Aurrezkiak |
|---------------------|---|--|--|
| | | kWh m ⁻² urte ⁻¹ | kWh m ⁻² urte ⁻¹ |
| 0 Kasua | Berotegirik gabeko eraikina Bero-berreskurapenik gabe | 45,24 | - |
| 0-BB Kasua | Berotegirik gabeko eraikina Bero-berreskurapenarekin | 24,78 | 20,46 |
| 1.3 2.3 3.2 4.1 5.2 | Emisibitate baxuko beira bikoitza 24 cm-ko isolamendua Inertziarekin Bero-berreskurapenik gabe Paraleloan | 21,86 | 23,39 |
| 1.3 2.3 3.1 4.2 5.1 | Emisibitate baxuko beira bikoitza 24 cm-ko isolamendua Inertzia gabe Bero-berreskurapenarekin Seriean | 20,01 | 25,24 |

Sarrigurengo kliman, aztertutako beiren artean, isolatzeko ahalmenak eragin handiagoa du lortutako eguzki-irabaziek baino. Beraz, konfiguraziorik onenak emisibitate baxuko beira bikoitza jartzen denean lortzen dira (1.3 Aldaera). Inguratzaile

opakuaren isolamendu termikoari dagokionez, espero zitekeen bezala, zenbat eta isolamendu maila handiagoa, orduan eta kontsumo txikiagoa; beraz, konfigurazio onenetan, isolamendua 24 cm-koa da (2.3 Aldaera). Nolanahi ere, berotegia 8 cm-rekin isolatu ondoren, haren lodiera handitzeak ez dakartza aurrezpen askoz handiagoak. Inertzia termikoa erabiltzea, berotegia bero-berreskurapena duen sistemarekin konbinatzen ez denean baino ez da komeni. Horregatik, berreskurapenik gabeko konfiguraziorik onena inertiarekin (3.2 Aldaera) lortzen da, eta berreskurapena duen konfigurazio hobereana, berriz, inertiarik gabe (3.1 Aldaera). Bero-berreskurapenik gabeko konfigurazio optimoan, moduluak paraleloan instalatzea (5.2 Aldaera) seriean instalatzea baino hobea da. Berreskurapena duen konfigurazio onenean, aldiz, seriean instalatzean (5.1 Aldaera) aurrezki gehiago lortzen dira.

Berotegiak instalatzean eraikinen berokuntzan aurrezpen handiak lor daitezkeela erakusten dute emaitzek. Konfigurazio optimoarekin, urteko $25,24 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ aurrezten dira, hau da, berotegirik eta bero-berreskurapenik gabeko eraikinarekiko % 55. Bero-berreskurapenik gabeko konfigurazio onenarekin, aurrezkiak $23,39 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ -koak dira urteko, % 51ko aurrezkiak alegia. Beraz, eraikinetako berokuntzaren energia-kontsumoa murrizteko sistema egokia dela ondoriozta daiteke.

3.4. AZTERKETA EKONOMIKOA. INBERTSIOAREN ITZULERA

3.4.1. ERABILITAKO METODOLOGIA

Energiaren ikuspegitik irtenbiderik onena, ekonomiaren ikuspegitik hobereana ez izatea gerta daiteke. Hau da, energia-aurrezpen handienak lortzen dituen soluzioa, agian ez da onena izango, haren kostu ekonomikoa kontuan hartzen badugu. Berotegiaren azterketa ekonomikoa egiteko, lehenik eta behin, berotegi-konfigurazio bakoitzak, 0 Kasuarekin alderatuta, dakarren kostu-gehikuntza kalkulatu da. Horretarako, aldaera bakoitzaren prezioa ezarri da. Konfigurazio bakoitza osatzen duten aldaeren kostu-gehikuntza batuz, 0 Kasuarekiko guztizko gehikuntza zehaztu da. Jakina, prezioak aldatu egiten dira denboran zehar, lekua, lehengaien prezioa, eskulanaren kostua eta abarren arabera. Hala ere, aldagai bakoitzaren eragina aztertu ahal izateko, egungo baldintzetara ahalik eta gehien egokitutako aurrekontua egin da, eta, horretarako, Eusko Jaurlaritzaren "Urbanizazio eta Eraikuntza Prezioen Basea"-ren unitate-prezioak erabili dira [89]. Aldaera bakoitzaren prezioak 3.22 Taulan laburbiltzen dira:

3.22 Taula. Aldaera bakoitzaren kostua.

| Aldagaia | | | Unitateko kostua | | 36 moduluren prezioa | |
|---------------------------|-----|----------------------|------------------|-------------------|----------------------|--------------|
| | | | Unit. | Unitateko prezioa | Neurketa | Prezioa €tan |
| Beira | 1.1 | Beira bakuna | m ² | 60,78 | 112,5 | 6837,75 |
| | 1.2 | Beira bikoitza | m ² | 74,03 | 112,5 | 8328,37 |
| | 1.3 | Emisibitate baxukoa | m ² | 98,03 | 112,5 | 11028,37 |
| Isolamendua | 2.0 | Isolamendurik gabe | m ² | 0 | 208,65 | 0 |
| | 2.1 | 8 cm | m ² | 25,78 | 208,65 | 5379,00 |
| | 2.2 | 16 cm | m ² | 47,06 | 208,65 | 9819,07 |
| | 2.3 | 24 cm | m ² | 68,35 | 208,65 | 14261,23 |
| Inertzia | 3.1 | Inertziarik gabe | Unit. | 0 | 36 | 0 |
| | 3.2 | Inertziarekin | Unit. | 10 | 36 | 360 |
| Aireztapen sistema | 4.1 | Berreskurapenik gabe | Unit. | 1892,12 | 1 | 1892,12 |
| | 5.1 | Seriean | | | | |
| | 4.2 | Berreskurapenarekin | Unit. | 12835,99 | 1 | 11596,83 |
| | 5.1 | Seriean | | | | |
| | 4.1 | Berreskurapenik gabe | Unit. | 6079,54 | 1 | 6079,54 |
| | 5.2 | Paraleloan | | | | |
| | 4.2 | Berreskurapenarekin | Unit. | 19549,35 | 1 | 18310,19 |
| | 5.2 | Paraleloan | | | | |
| Altzairuzko xafla | 5.1 | Seriean | m ² | 27,45 | 251,45 | 6902,30 |
| | 5.2 | Paraleloan | m ² | 27,45 | 344,20 | 9448,29 |

Soluzio bakoitzaren kostua ezarri ondoren, inbertsioa itzultzeko behar diren urteak kalkulatu dira (Return of investment, aurrerantzean ROI). Horretarako, hurrengo urteetarako aurreikusten den energiaren prezioa zehaztu behar izan da. Gas naturalaren prezioa ezartzeko, 3.23 Taulan agertzen den gas naturalaren Azken Baliabideko Tarifaren (Tarifa de Último Recurso, TUR) azken urteetako bilakaera aztertu da.

3.23 Taula. Gas naturalaren Azken Baliabideko Tarifa (TUR), 2018tik 2021erarte.

| | TUR 1 | | TUR 2 | |
|----------------------|------------------------------|---------------------|---------------------------------------|---------------------|
| | Urteko kWh kontsumoa < 5.000 | | 5.000 < Urteko kWh kontsumoa < 50.000 | |
| | Termino finkoa | Termino aldakorra | Termino finkoa | Termino aldakorra |
| | € bezeroko eta hileko | € kWh ⁻¹ | € bezeroko eta hileko | € kWh ⁻¹ |
| 2018 1. Hiruhilekoa | 4,28 | 0,05 | 8,44 | 0,05 |
| 2018 2. Hiruhilekoa | 4,28 | 0,05 | 8,44 | 0,04 |
| 2018 3. Hiruhilekoa | 4,28 | 0,05 | 8,44 | 0,05 |
| 2018 4. Hiruhilekoa | 4,28 | 0,06 | 8,44 | 0,05 |
| 2019 1. Hiruhilekoa | 4,27 | 0,06 | 8,38 | 0,05 |
| 2019 2. Hiruhilekoa | 4,27 | 0,05 | 8,38 | 0,05 |
| 2019 3. Hiruhilekoa | 4,27 | 0,05 | 8,38 | 0,05 |
| 2019 4. Hiruhilekoa | 4,27 | 0,05 | 8,38 | 0,05 |
| 2020 1. Hiruhilekoa | 4,26 | 0,05 | 8,35 | 0,04 |
| 2020 2. Hiruhilekoa | 4,27 | 0,05 | 8,38 | 0,05 |
| 2020 3. Hiruhilekoa | 4,26 | 0,05 | 8,35 | 0,04 |
| 2020 4. Hiruhilekoa | 4,26 | 0,04 | 8,02 | 0,04 |
| 2021 1. Hiruhilekoa | 4,26 | 0,05 | 8,02 | 0,04 |
| Batezbestekoa | 4,27 | 0,477 | 8,338 | 0,045 |
| Zergak | 0,002338 € kWh ⁻¹ | | | |
| BEZa | % 21 | | | |

Ikus daitekeenez, bi TUR tarifa daude urteko kontsumoaren arabera. Tarifa horiek termino finko bat dute eta gas-kontsumoaren arabera aldakorra den beste bat. Tarifa horiei zergak gehitu behar zaizkie (0,002338 € kWh⁻¹ eta BEZaren % 21).

Elektrizitatearen prezioa ezartzeko, azken bi urteetako "Kontsumitzaile Txikientzako Borondatezko Prezioa" (Precio Voluntario al Pequeño Consumidor, PVPC) araututako tarifa aztertu da (ikus 3.24 Taula). Gas naturalarekin gertatzen zen bezala, termino finko bat dago, kasu honetan, kontratatutako potentziaren arabera, eta termino aldakorra bat kontsumoaren arabera. Horiei zergak gehitu behar zaizkie: BEZaz gain, % 5,1127 gehitu behar zaie.

3.24 Taula. Elektrizitaterako "Kontsumitzaile Txikientzako Borondatezko Prezioa"-ren Tarifa (PVPC) 2019tik 2021era.

| | Termino finkoa | Termino aldakorra |
|----------------------|--------------------|---------------------|
| | € kW-ko eta urteko | € kWh ⁻¹ |
| 2019 | 38,68 | 0,1105 |
| 2020 | 38,04 | 0,1127 |
| Batezbestekoa | 38,36 | 0,1116 |
| Zergak | % 5,1127 | |
| BEZa | % 21 | |

Elektrizitatearen eta gas naturalaren prezioek ez dute aldaketa handirik izan aztertutako urteetan; beraz, azken urteetako batezbestekoa erabiliko da inbertsioaren itzulera kalkulatzeko.

Energiaren prezioa zehaztu ondoren, berotegiko konfigurazio bakoitzarekin lortzen diren urteko aurrezki ekonomikoak ezar daitezke. Aurrezpen horiei instalazioaren urteko mantentze-gastuaren gehikuntza kendu behar zaie: 100 € urteko bero-berreskurapenik gabeko sistementzat eta 200 € urteko berreskurapena dutenentzat. Kontuan hartu behar da etengabeko sarrera aireztapen-sistemaren mantentze-gastua 0 Kasuarenaren antzekoa izango dela, eta, beraz, konfigurazio horietan, berotegiaren mantentze-gastua soilik handitu beharko da. Bero-berreskurapena duten konfigurazioen kasuetan, sistema konplexuagoa denez, urteko mantentze-lana handixeagoa izango da. Inbertsioaren itzulera 3.2 Ekuazioaren bidez lortuko da:

$$ROI = \frac{\text{Hasierako inbertsioa}}{(\text{urteko aurrezkiak} - \text{urteko mantentze gastuaren gehikuntza})}$$

3.2 Ekuazioa. ROI

Inbertsioaren itzulera berotegiaren konfigurazio posible bakoitzerako kalkulatu da. Inbertsioaren itzulera-epeen emaitzak aztertzeko, energia-kontsumoaren analisian erabilitakoaren antzeko metodologia erabili da. Lehenik eta behin, bariantza-analisia egin da, itzulera-epean eragin esanguratsua duten faktoreak zehazteko. Aldagaien garrantzia aztertzeko, faktore bakoitzaren emaitzetan sakondu da banan-banan. Aldaera bakoitzaren itzulera-epeen batezbestekoak konparatu dira faktore bakoitzean. Ondoren, konfigurazio guztien emaitzak aztertu dira, baina aldagai bakoitzaren arabera ordenatuz. Azkenik, faktore bakoitza bera bakarrik aztertu ondoren, elkarren artean gerta daitezkeen konbinazioek inbertsioaren itzuleran nola eragiten duten aztertu da. Faktore baten eragina beste faktoreen mailen arabera aldatzen den analizatu da. Horretarako, elkarreraginaren grafikoak erabili dira, non faktore bakoitzaren aldaeren batezbestekoak beste faktore baten arabera erakusten diren.

Azkenik, inbertsioaren itzulerari dagokionez konfigurazio onenak ezarri dira, eta bai berotegirik gabeko eraikinarekin, bai energia aurrezteko konfigurazio onenekin alderatu dira.

Analisi honetan, berotegian isolamendurik ez jartzeko aldaera (2.0 Aldaera) baztertu egin da. Aurreko atalean ikusi dugunez, eraikinaren kontsumoak askoz handiagoak dira berotegia isolatzen ez denean, eta, ondorioz, inbertsioaren itzulera-epeak askoz luzeagoak dira ere. Are gehiago, batzuetan, kontsumoa berotegirik ez duen eraikinarena (0 Kasua) baino handiagoa izaten da, eta, beraz, inbertsioa ez da inoiz berreskuratzen. Hainbat kasuetan inbertsioa berreskuratzen ez denez, aldaera horren

itzulera-epeen batezbestekoa desitxuratu egiten da, beste isolamendu aldagaiekin alderatuta. Horregatik, analisisan ez sartzea erabaki da.

3.4.2. EMAITZAK

3.25 Taulan, inbertsioaren itzulera-epeen bariantza-analisisa erakusten da.

3.25 Taula. Bariantza-analisisa inbertsioaren itzulera-epeentzako - III. motako karratuen batura

| Iturria | Karratuen batura | Askatasun-mailak | Batez besteko karratua | F-arrazoia | P-balioa |
|----------------------------|------------------|------------------|------------------------|------------|---------------|
| EFEKTU NAGUSIAK | | | | | |
| A: Beira | 1215,33 | 2 | 607,665 | 268,35 | 0,0000 |
| B: Isolamendua | 1060,8 | 2 | 530,399 | 234,23 | 0,0000 |
| C: Inertzia | 23,9812 | 1 | 23,9812 | 10,59 | 0,0022 |
| D: Bero-berreskurapena | 446,084 | 1 | 446,084 | 196,99 | 0,0000 |
| E: Seriean edo paraleloan | 447,707 | 1 | 447,707 | 197,71 | 0,0000 |
| ELKARRERAGINAK | | | | | |
| AB | 33,1681 | 4 | 8,29204 | 3,66 | 0,0115 |
| AC | 0,250322 | 2 | 0,125161 | 0,06 | 0,9463 |
| AD | 243,861 | 2 | 121,931 | 53,85 | 0,0000 |
| AE | 4,56746 | 2 | 2,28373 | 1,01 | 0,3729 |
| BC | 0,15008 | 2 | 0,07504 | 0,03 | 0,9674 |
| BD | 4,09174 | 2 | 2,04587 | 0,90 | 0,4124 |
| BE | 12,8382 | 2 | 6,4191 | 2,83 | 0,0693 |
| CD | 306,128 | 1 | 306,128 | 135,19 | 0,0000 |
| CE | 138,036 | 1 | 138,036 | 60,96 | 0,0000 |
| DE | 841,314 | 1 | 841,314 | 371,53 | 0,0000 |
| HONDAKINAK | 101,901 | 45 | 2,26446 | | |
| GUZTIRA (ZUZENDUTA) | 4880,21 | 71 | | | |

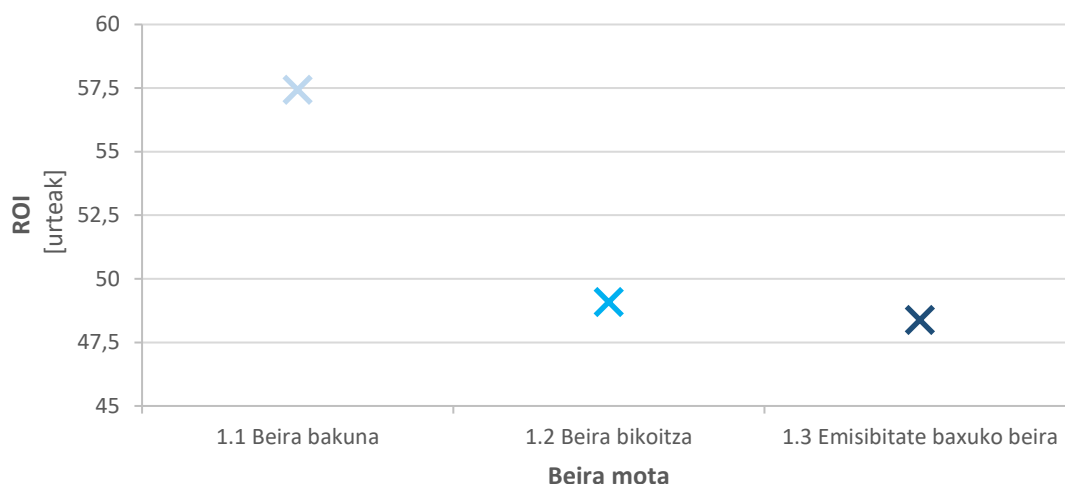
F-arrazoi guztiak hondar-errorearen batez besteko karratuan oinarritzen dira.

10 P balio 0,05 baino txikiagoak direnez (letra lodiz), faktore horiek eragin estatistikoki esanguratsua dute inbertsioaren itzuleran, % 95eko konfiantza-mailarekin. Beraz, faktore nagusi guztiek eragin nabarmena dute.

Ondoren, faktore bakoitzak inbertsioaren itzuleran duen eragina aztertuko da. Esanguratsua den ikusteko, faktore bakoitzak gainerako faktoreekin duen elkarreragina ere aztertuko da.

3.4.2.1. BEIRA MOTA

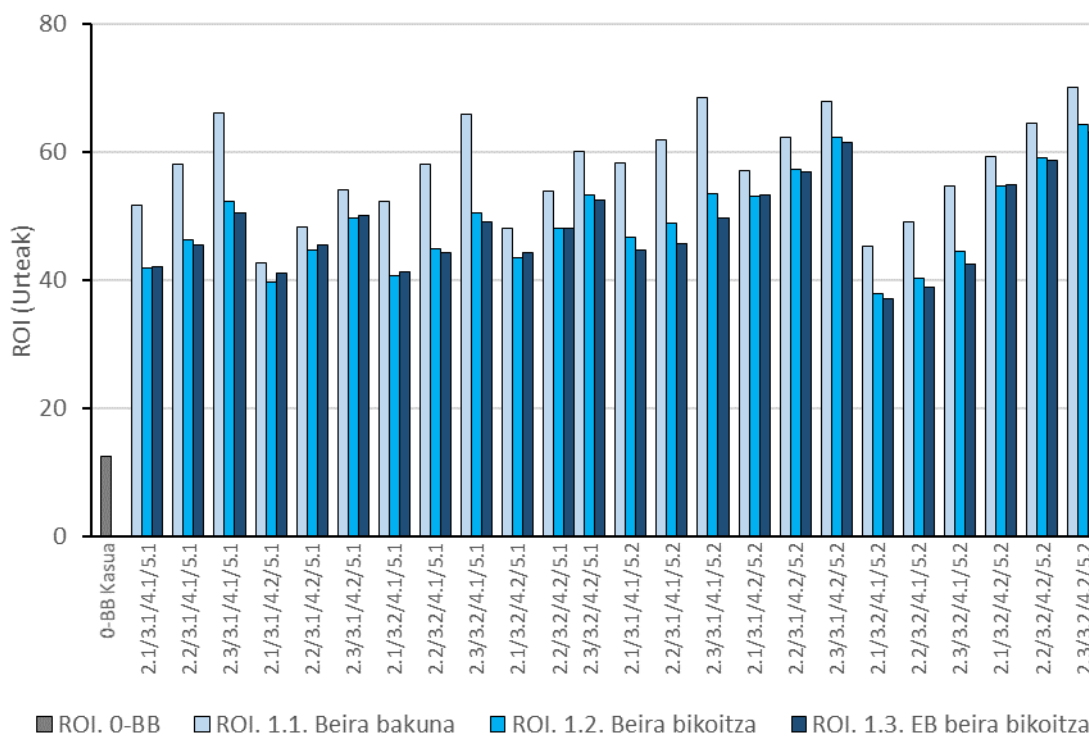
3.35 Irudian beira motaren arabera itzulera-epeen batezbestekoak ageri dira.



3.35 Irudia. Inbertsioaren itzulera-epoen batezbestekoak, berotegiko beira motaren arabera.

Beira bakunarekin lortutako inbertsioaren itzulera-epoen batezbestekoa gainerako beiretan baino nabarmen handiagoa da. Energia-kontsumoaren emaitzak beira bakunarekin ere altuenak zirela kontuan hartzen badugu, argi eta garbi dago beira hau ez dela komenigarria. Beira bikoitzaren eta emisibitate baxuko beiraren artean, itzulera-epoen batezbestekoen diferentzia ez da garrantzitsua, nahiz eta emisibitate baxukoarena pixka bat txikiagoa izan.

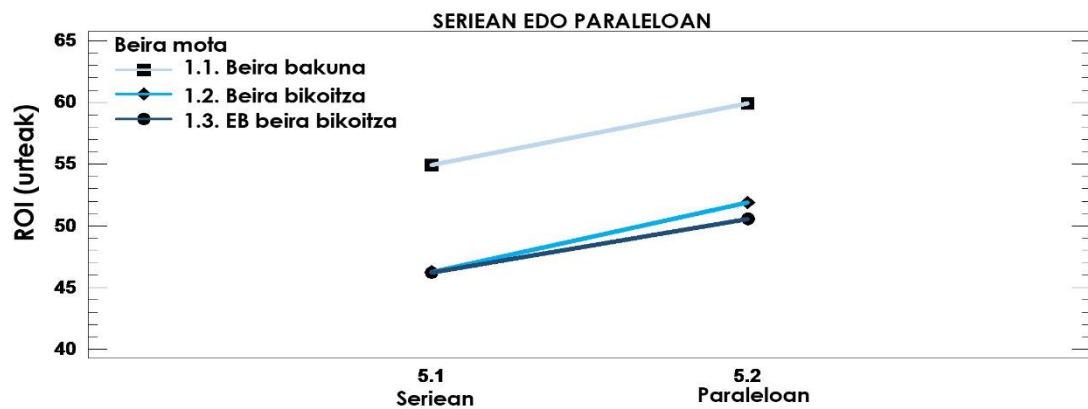
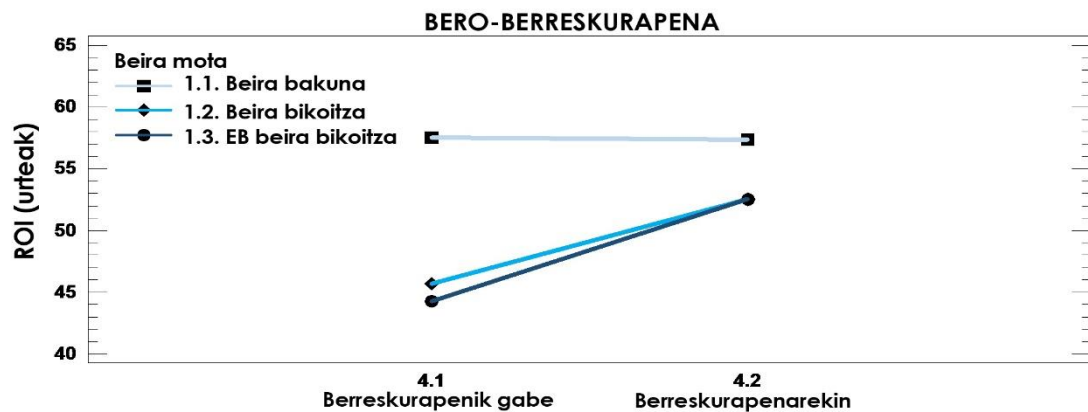
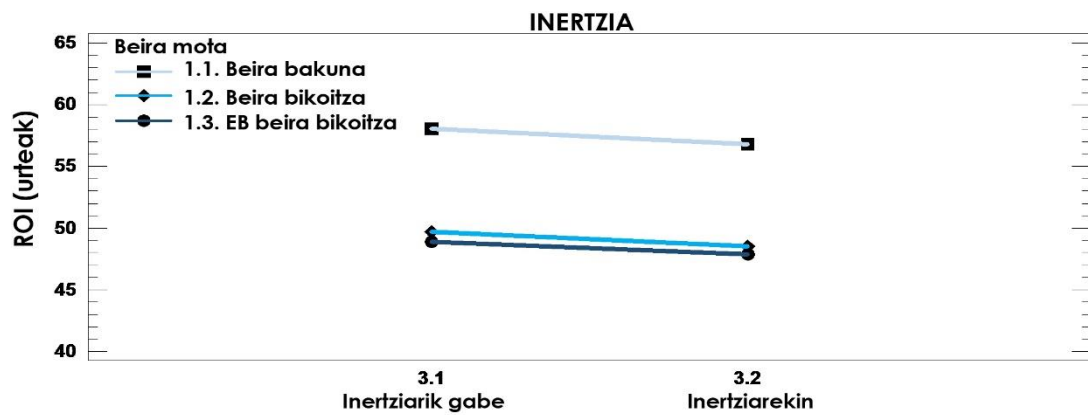
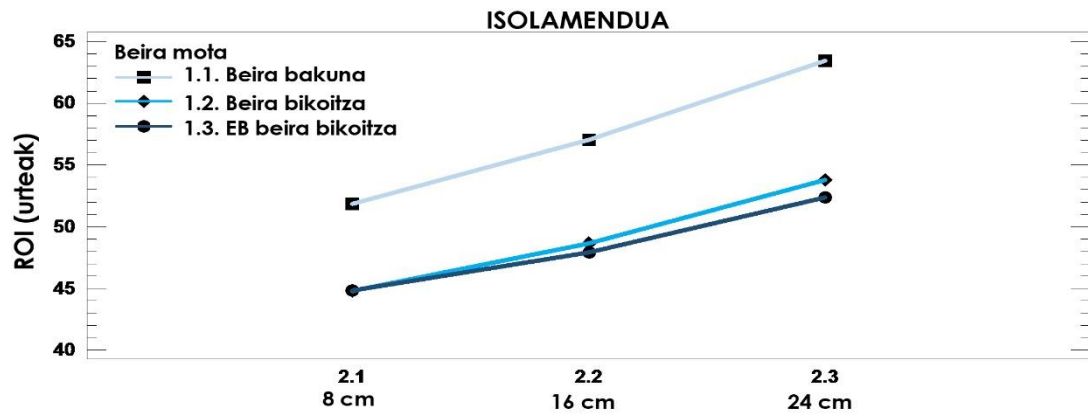
Konfigurazio bakoitzean zer gertatzen den aztertzeko, 3.36 Irudiak beira motaren araberako itzulera-epaia erakusten ditu. Zutabe bakoitzak, berotegiaren konfigurazio bakoitzaren inbertsioaren itzulera-epaia adierazten du. Beira mota guztien emaitzak konparagarriak izan daitezzen, hiruak antolatuta dira, talde bakoitzean aldaera guztiak berdinarik direlarik, beira mota izan ezik.



3.36 Irudia. Inbertsioaren itzulera-epeen emaitzak, beira motaren arabera antolatuta.

Konfigurazio guztietan ikusten denez, eperik luzeenak beira bakunarekin gertatzen dira. Aldaera merkeena izan arren, lortzen diren aurrezkiak askoz txikiagoak direnez, bere itzulera-epeak luzeenak dira. Beraz, beira bakuna alternatiba okerrera dela esan daiteke, bai energiaren ikuspegitik, bai inbertsioaren itzuleraren ikuspegitik. Beira bikoitzari eta emisibitate baxuko beirari dagokienez, itzulera-epeak antzekoak dira, eta handiagoak edo txikiagoak dira gainerako aldagaien arabera. Emisibitate baxuko beirarekin energia-kontsumo txikiagoak eta antzeko itzulera-epeak lortzen direnez, horiek erabiltzea hobea dela epe luzean uste da. Nolanahi ere, hasierako inbertsio-gaitasuna ere kontuan hartu beharko da, emisibitate baxuko aukera garestiagoa baita.

Beira motak gainerako faktoreekin dituen elkarreraginak aztertzeko 3.37 Irudia erakusten da.

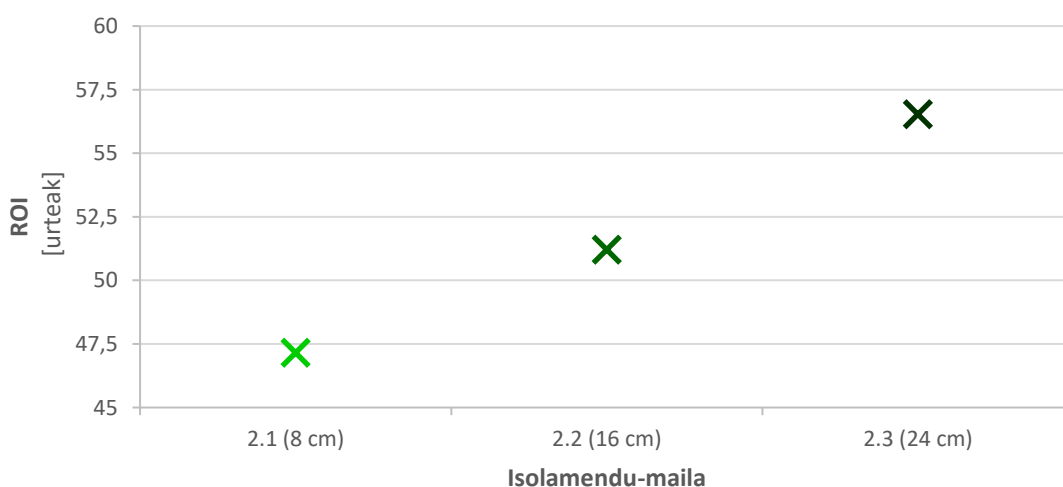


3.37 Irudia. Beira motak faktore ezberdinekin dituen elkarreraginen grafikoak.

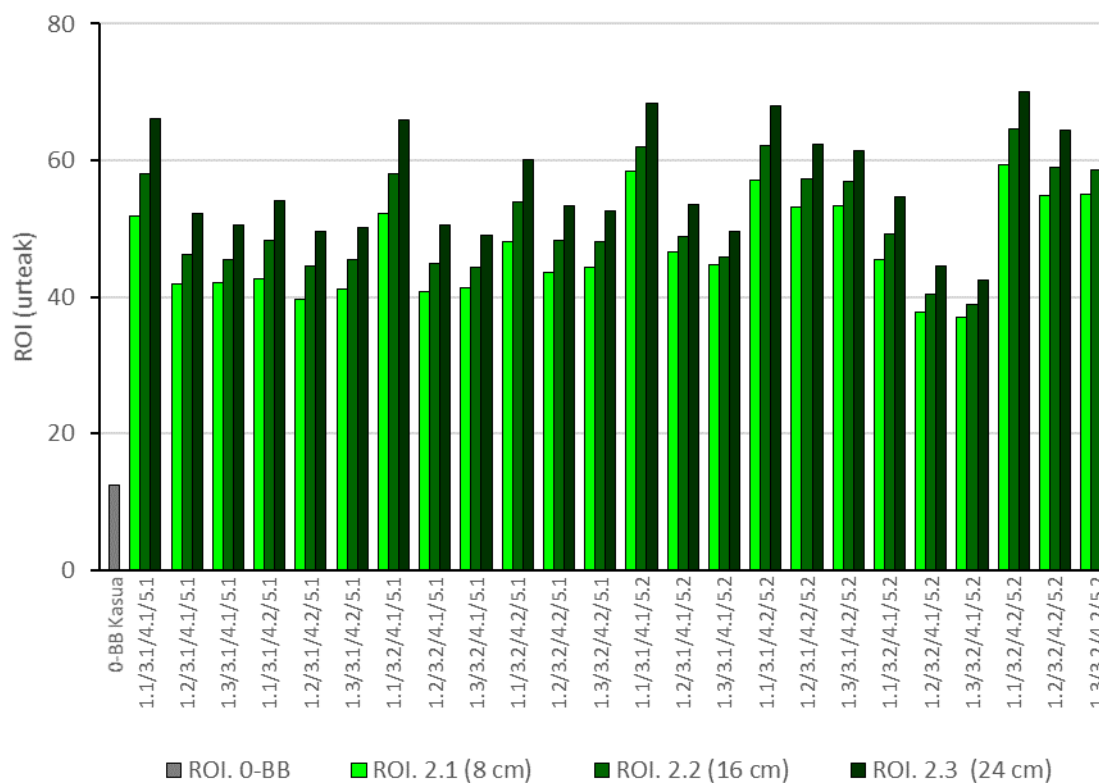
Goiko grafikoan beira motaren eta isolamenduaren arteko elkarreraginak agertzen dira. Berotegiko inguratzaille opakua zenbat eta gehiago isolatu, orduan eta eragin handiagoa du hautatutako beira motak inbertsioaren itzuleran. Gutxieneko isolamenduarekin, beira bikoitzaren eta emisibitate baxuko beira bikoitzaren epeen batezbestekoak antzekoak dira. Isolamendua handitu ahala, epeak handitu egiten diren arren, 1.2 aldaerarekin gehiago handitzen dira. Bigarren grafikoak, beira motaren eta inertiaren arteko elkarreragina ez dela oso esanguratsua erakusten du. Inertiarekin, itzulera-epearen batezbestekoak murriztu egiten dira beira mota guztietan. Hirugarren grafikoan ikusten den bezala, aireztapen-sistemarekiko elkarrekintzak aztertuz gero, bero-berreskurapena instalatzen ez denean hautatutako beira motak askoz ere eragin handiagoa du, eta itzultzeko epeak laburragoak dira. Bero-berreskurapena duen sistema bat instalatzean, energia aurrezkien zati bat berreskuragailuari esker lortzen denez, beira mota bat edo beste bat instalatzeak eragin txikiagoa du kontsumoan eta, beraz, itzulera-epeetan. Beira bakunarekin, bero-berreskurapenarekin eta gabe, epeak antzekoak dira. Beira bikoitzekin, ordea, berreskurapenik gabe itzulera-epeak askoz laburragoak dira. Laugarren grafikoan ikus daitekeenez, seriean instalatzen direnean 1.2 Aldaeraren eta 1.3 Aldaeraren epeak antzekoak dira; paraleloan jartzen direnean, berriz, epeak zertxobait handiagoak dira 1.2 Aldaerarekin. Beira guztientzat, itzulera-epeen batezbestekoa txikiagoa da moduluak seriean instalatzean.

3.4.2.2. ISOLAMENDU MAILA

3.38 Irudian, inbertsioaren itzulera-batezbestekoak konparatzen dira, berotegiko inguratzaille opakuan jarritako isolamenduaren lodieraren arabera, eta 3.39 Irudian, berriz, konfigurazio guztien emaitzak aurkezten dira, hiruko taldeetan antolatuta, isolamenduaren lodieraren arabera taldekatuta.



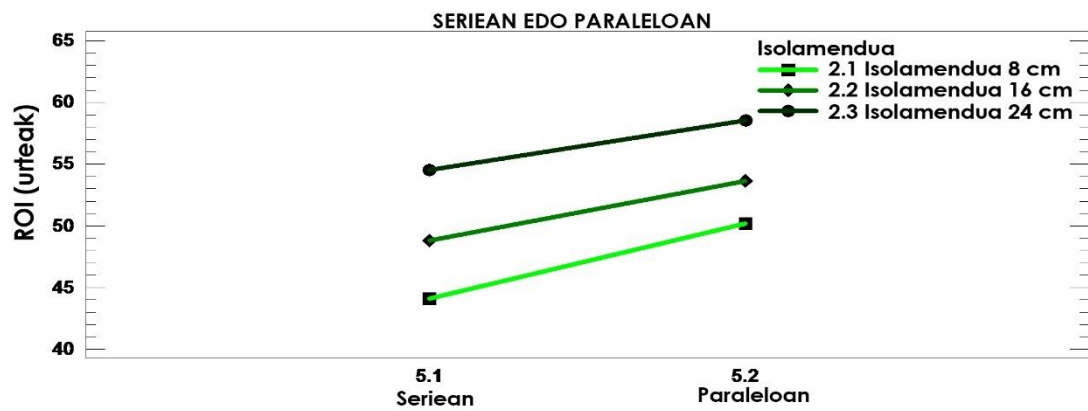
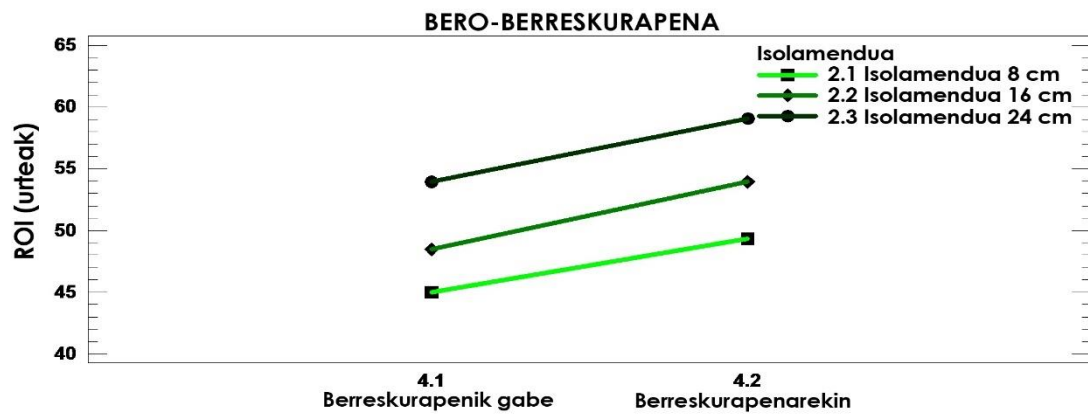
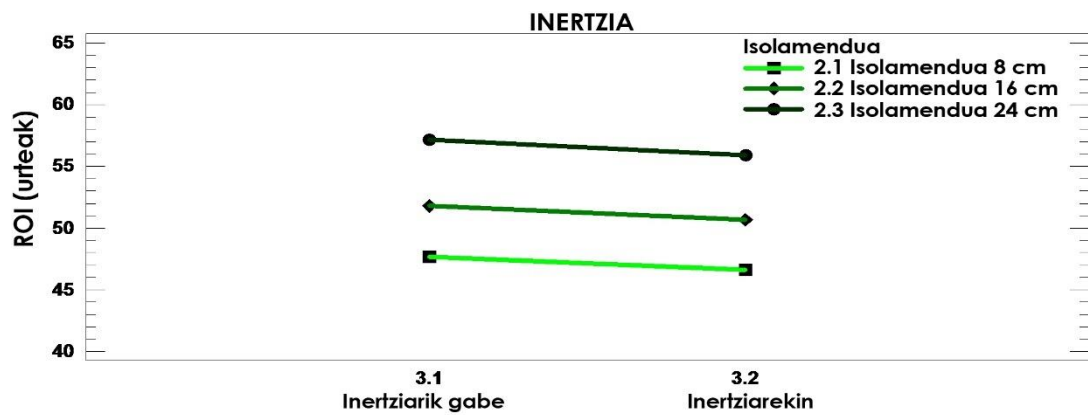
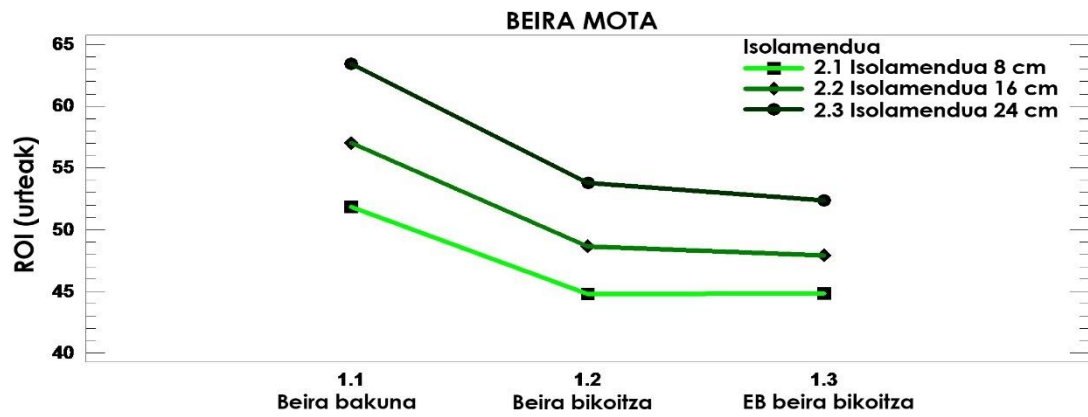
3.38 Irudia. Inbertsioaren itzulera-epeen batezbestekoak, berotegiko isolamendu mailaren arabera.



3.39 Irudia. Inbertsioaren itzulera-epeen emaitzak, ingurutzaille opakuaen isolamendu mailaren arabera antolatuta.

Ikusienez, negutegiko ingurutzaille opakua zenbat eta gehiago isolatu, orduan eta energia-aurrezpen handiagoak lortzen dira eraikinean, baina isolamendu cm bakoitzeko eskuratzen diren aurrezki-diferentziak gero eta txikiagoak dira. Behin 8 cm-ko lodierarekin isolatu eta gero, lodiera desberdinekin lortutako aurrezpen energetikoen aldeak txikiak dira. Isolamenduaren lodiera handitzearen kostu-aldeak, aldiz, esanguratsuak dira. Horren arabera, zenbat eta isolamendu gehiago jarri, orduan eta denbora gehiago behar da hasierako inbertsioa berreskuratzeko. Beraz, inbertsioaren itzuleraren ikuspegitik emaitzarik onenak 2.1 Aldaerarekin lortzen dira argi eta garbi.

3.40 Irudian, isolamenduaren lodierak gainerako faktoreekin dituen elkarrekin ageri dira.

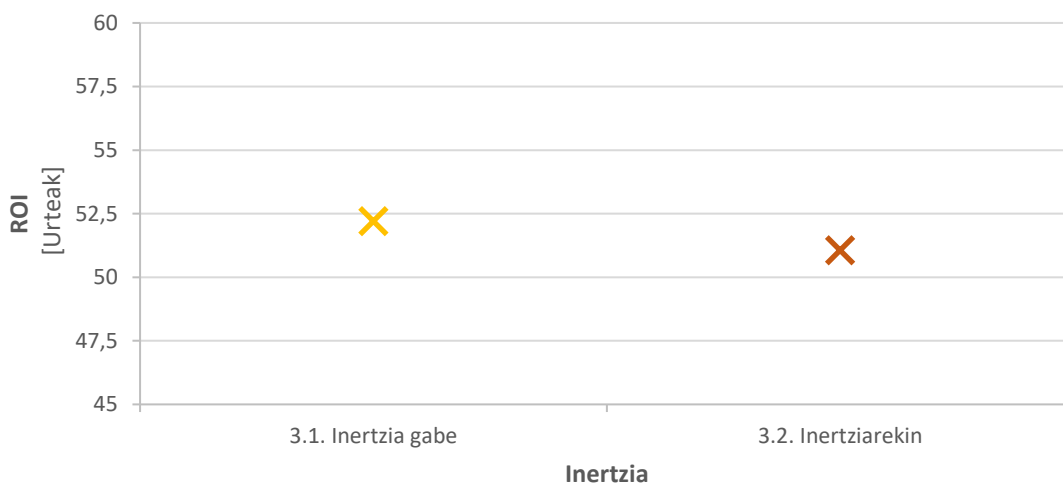


3.40 Irudia. Isolamendu mailak faktore ezberdinekin dituen elkarreraginen grafikoak.

Beiraren transmitantzia termikoa txikitzen doan heinean, isolamendu lodiera desberdinen arteko itzulera-eparen diferentzia pixka bat murizten da. Gainerako faktoreekiko elkarreragina ez da oso esanguratsua.

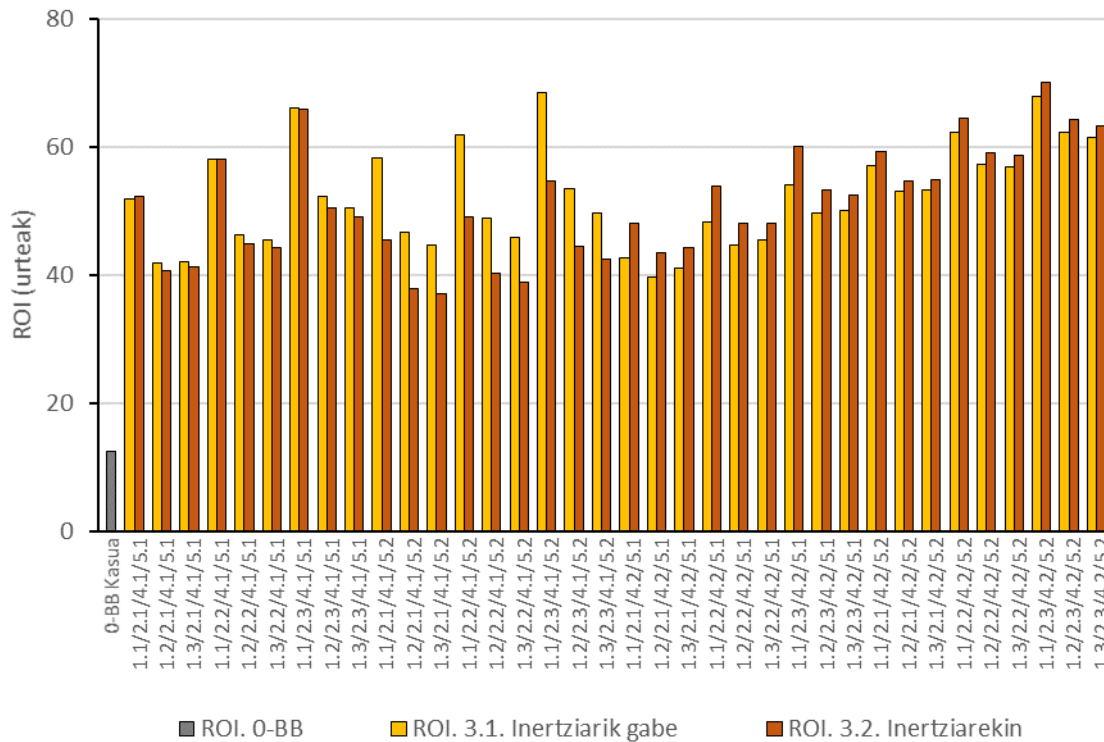
3.4.2.3. INERTZIA TERMIKOA

Berotegiari inertzia emateko ur-deposituen erabilerak nola eragiten duen aztertzeko, inertiarekin eta inertzirik gabe, inbertsioaren itzulera-eparen batezbestekoak erakusten dira 3.41 Irudian.



3.41 Irudia. Inbertsioaren itzulera-eparen batezbestekoak, inertzia mailaren arabera.

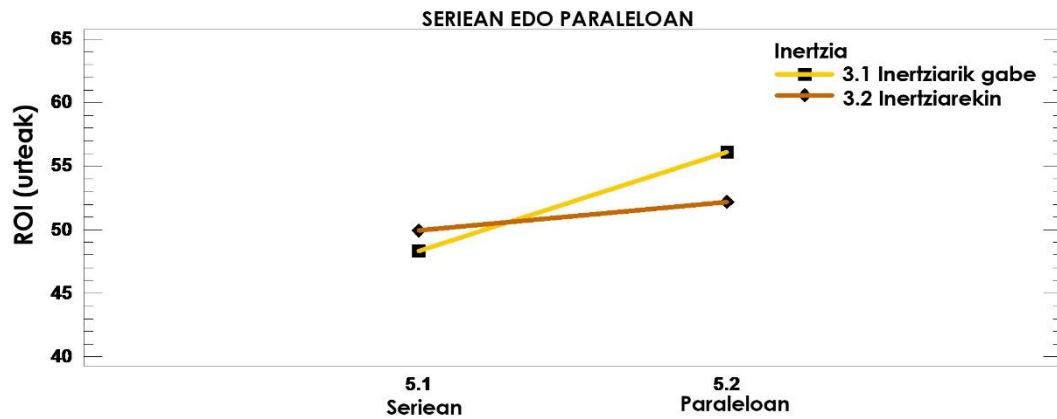
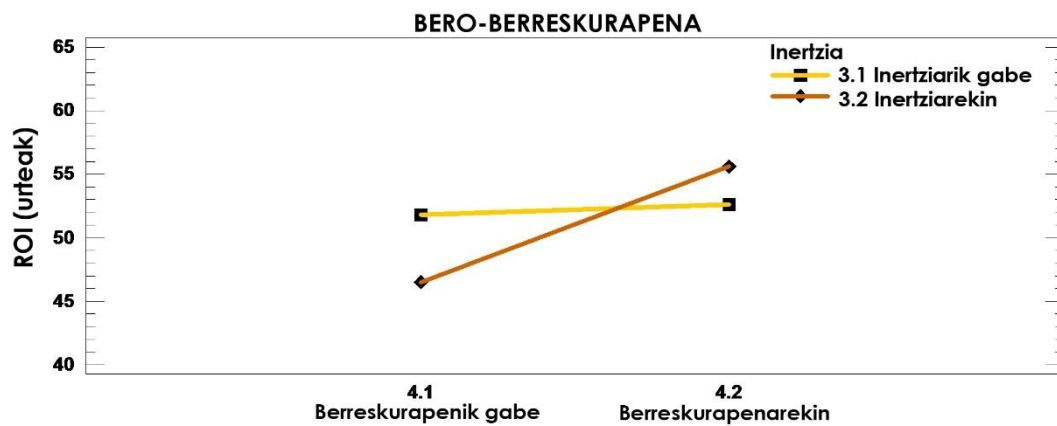
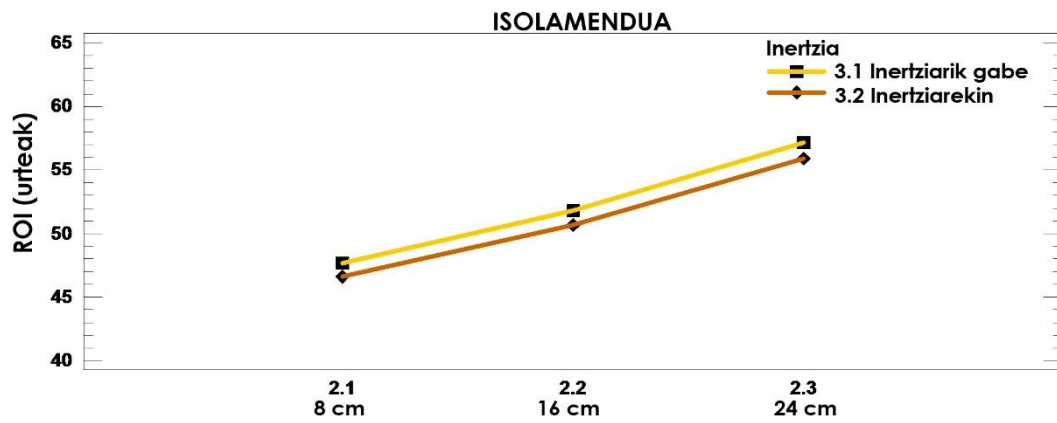
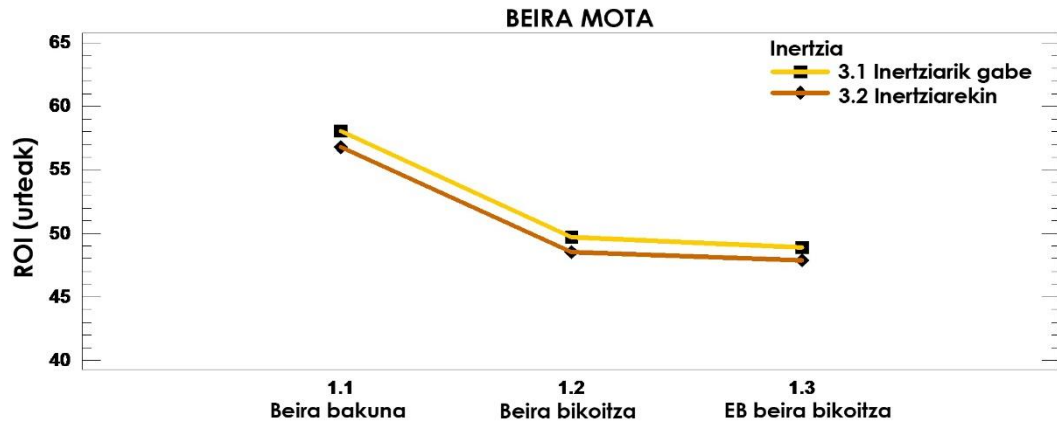
Inbertsio-itzulera-eparen batezbestekoak inertiarekin txikiagoak diren arren, desberdintasunak ez dira oso handiak. Konfigurazio ezberdinekin gertatzen dena aztertzeko, 3.42 Irudian horietako bakoitzaren itzulera-eparen emaitzak ageri dira, inertiarekin eta inertzirik gabe alderatu ahal izateko ordenatu direlarik.



3.42 Irudia. Inbertsioaren itzulera-epean emaitzak, inertziaren arabera antolatuta.

Aurreko atalean ikusi den bezala, energiaren ikuspegitik, inertziaren komenigarritasuna bero-berreskurapena duen edo ez duen aireztapen-sistema bat erabiltzearen arabera da. Ur-deposituak jartzeak kostu txikia suposatzen duenez, inertziak inbertsioaren itzulera-epean izango dituen onurak ere bero-berreskurapena erabiltzearen arabera izango dira. Berreskurapenik gabeko kasu gehienetan (4.1 Aldaera, grafikoaren lehen erdia), itzulera-epaek laburragoak dira inertziarekin. Berreskurapena erabiltzen denean (4.2 Aldaera, grafikoaren bigarren erdia), kontrakoa gertatzen da. Oro har, aldeak ez dira oso esanguratsuak, baina moduluak paraleloan instalatzen direnean, beroa berreskuratzeko sistemarik gabe (4.1/5.2 aukera), inertziaren erabilerak badu garrantzia, itzulera-epaek nabarmen txikiagoak baitira.

3.43 Irudian inertzia erabiltzearen edo ez erabiltzearen eta gainerako faktoreen arteko elkarreaginak agertzen dira.

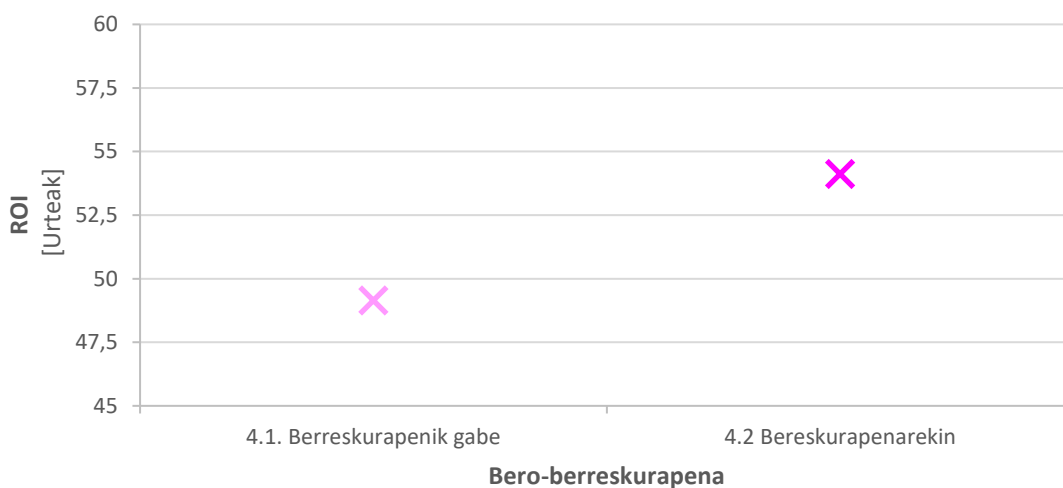


3.43 Irudia. Inertziak faktore ezberdinekin dituen elkarreaginaren grafikoak

Inbertsioaren itzulera-epeari dagokionez, inertiaren eta beira motaren arteko elkarrekintza, ez da oso esanguratsua (ikus lehen grafikoa), inertiaren eta isolamenduaren arteko elkarrekintzarekin gertatzen den bezala (bigarren grafikoa). Hirugarren grafikoa araberak, beroa berreskuratzen ez denean, inertiarekin askoz laburragoak dira epeak. Berreskurapena instalatzen denean, aldiz, luzeagoak dira. Ikusi dugunez, bero-berreskurapena duen aireztatze-sistema batekin, inertzia instalatzea, zertxobait garestiago izateaz gain, ez da komenigarria lortutako energia-aurrezkiei dagokienez, eta, beraz, inbertsioaren itzulera-epeak handiagoak dira. Laugarren grafikoa erakusten du moduluak seriean instalatzean itzulera-epeen batezbestekoa txikiagoa dela inertiarik gabe, eta paraleloan instalatzean, berriz, inertiarekin.

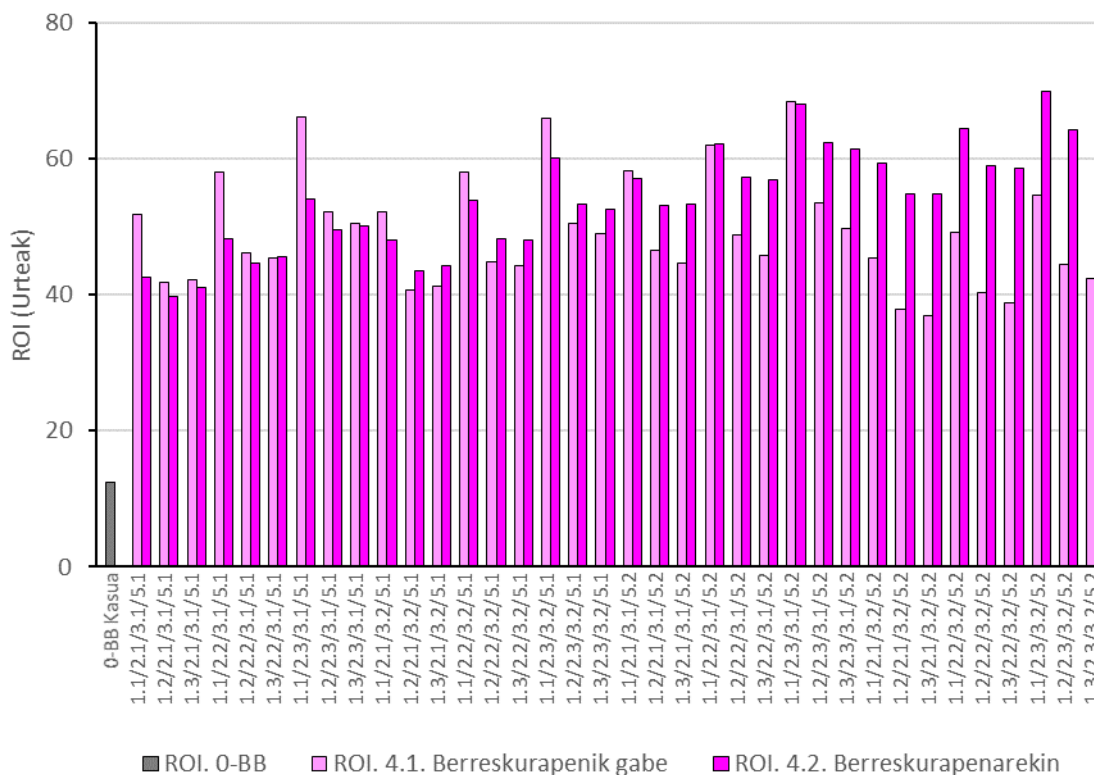
3.4.2.4. BERO-BERRESKURAPENA

3.43 Irudian, bero-berreskurapenadun eta gabeko konfigurazioen itzulera-epeen batezbestekoak konparatzen dira.



3.44 Irudia. Inbertsioaren itzulera-epeen batezbestekoak, bero-berreskurapena erabiltzen den edo ez den arabera.

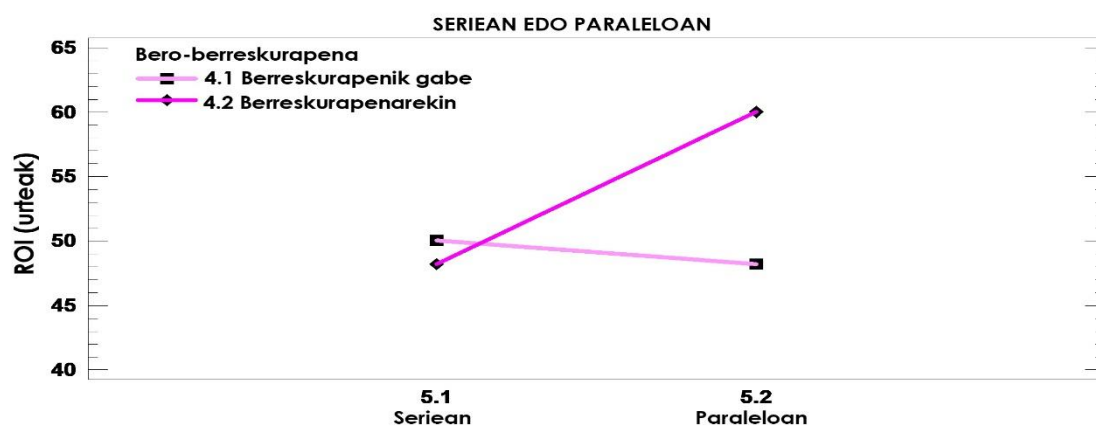
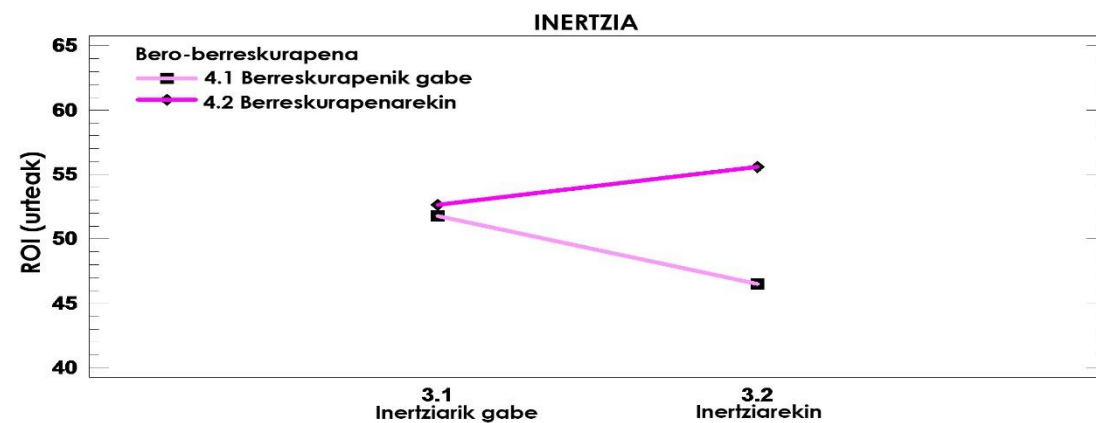
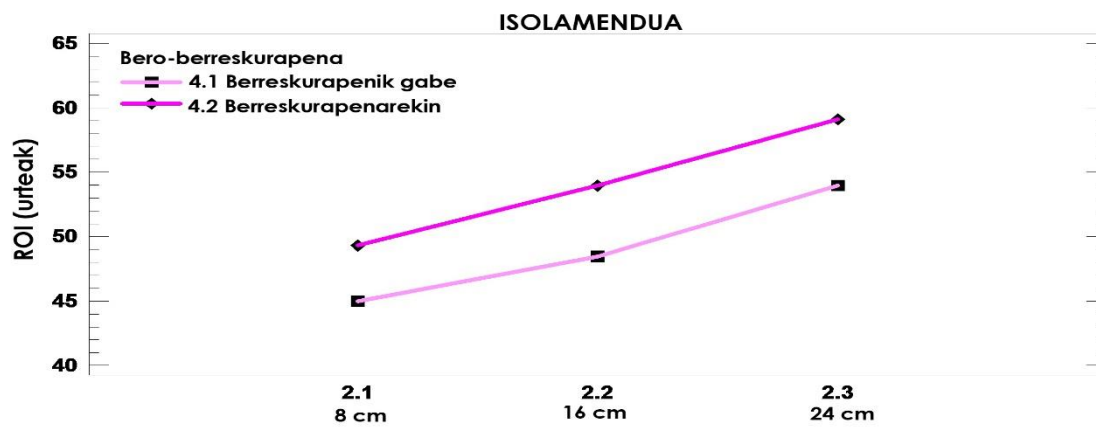
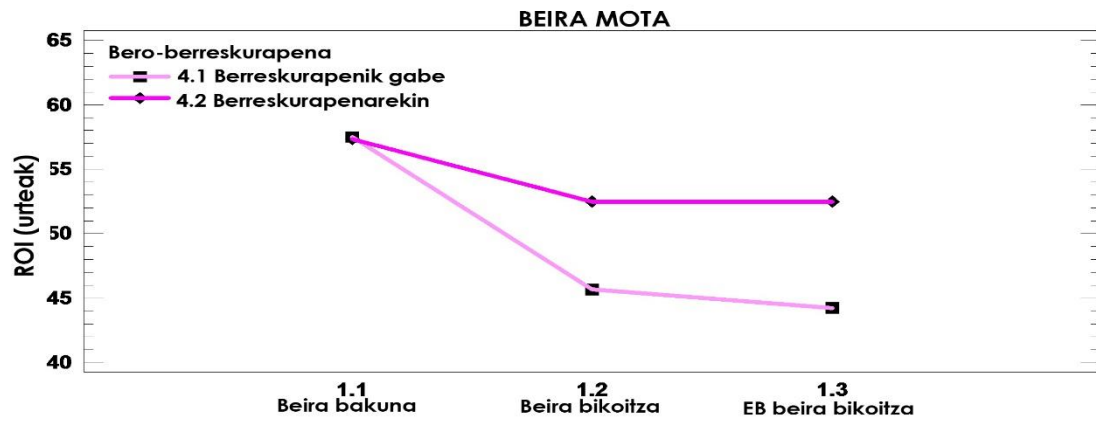
Aireztapen sistema desberdinen batezbestekoak aztertzean, bero-berreskurapena instalatzeak, inbertsioaren itzulera-epe askoz luzeagoak behar dituela argi ikusten da. Berreskurapenarekin lortutako kontsumoak txikiagoak diren arren, irtenbide horren kostu handiagoek itzulera-epeak luzatzea eragiten dute. Konfigurazio bakoitzean zer gertatzen den aztertzeko, 3.44 Irudian kasu guztien itzulera-epeen emaitzak erakusten dira, binaka antolatuta. Bikote bakoitzean, aldagai guztiak berdinak dira, beroa berreskuratzen den edo ez izan ezik.



3.45 Irudia. Inbertsioaren itzulera-epen emaitzak, bero-berreskurapena erabiltzen den edo ez den arabera antolatuta.

Sarrigurengo kliman, aireztapen sistemak inbertsioaren itzuleran duen eragina gainerako aldagaien arabera da. Berotegiaren konfigurazioaren arabera, epeak laburragoak dira batzuetan berreskurapenarekin eta beste batzuetan berreskurapenik gabe. Nolanahi ere, itzulera-epe laburragoko konfigurazioak beroa berreskuratu gabe ematen dira.

Gainerako faktoreek beroa berreskuratzeke erabilerarekin duten eragina aztertzeke, 3.45 Irudiko elkarrekintzen grafikoak aurkezten dira.



3.46 Irudia. Bero-berreskurapenaren erabilera faktore ezberdinekin dituen elkarreraginaren grafikoak

Lehenengo grafikoan ikus daitekeenez, beiraren transmitantzia termikoa txikiagotu ahala, itzulera-epelen aldeak gero eta handiagoak dira beroa berreskuratzeko sistema bat instalatzearen edo ez instalatzearen artean. Beira bakunarekin epeak antzekoak diren bitartean, gainerako beirekin, bero-berreskurapena duen sistemarik jartzen ez denean, askoz ere epe laburragoak lortzen dira. Bigarren grafikoan ikusten denez, aireztapen-sistemaren eta isolamenduaren arteko elkarreragina ez da oso esanguratsua. Hirugarren grafikoaren arabera, inertziaz instalatzen ez denean, berreskurapena eta berreskurapenik gabeko konfigurazioetako itzulera-epelen batezbestekoetan ez dago ia alderik. Ur-deposituak jartzen direnean, berriz, itzulera-epelaren batezbestekoa askoz txikiagoa da bero-berreskurapenik gabe. Moduluak seriean instalatzean, itzulera-epelak laburragoak dira bero-berreskurapenarekin, baina paraleloan instalatzean askoz ere handiagoak dira.

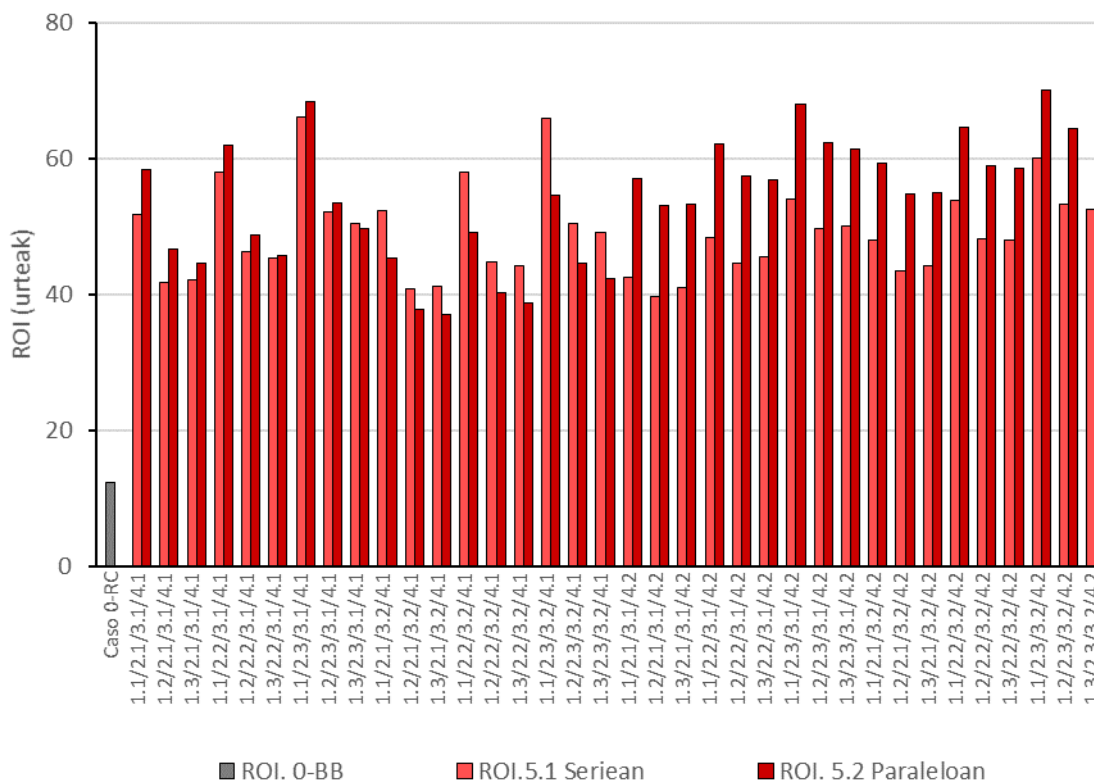
3.4.2.5. SERIEAN EDO PARALELOAN INSTALATZEA

Jarraian, 3.46 Irudian, inbertsioaren itzulera-epelen batezbestekoak erakusten dira, seriean instalatzen diren konfigurazioak, paraleloan instalatzen direnekin alderatuz.



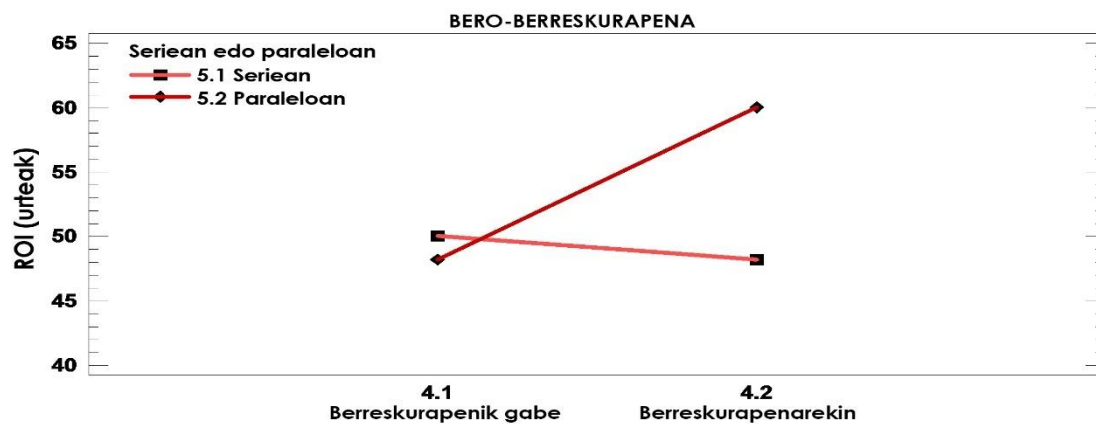
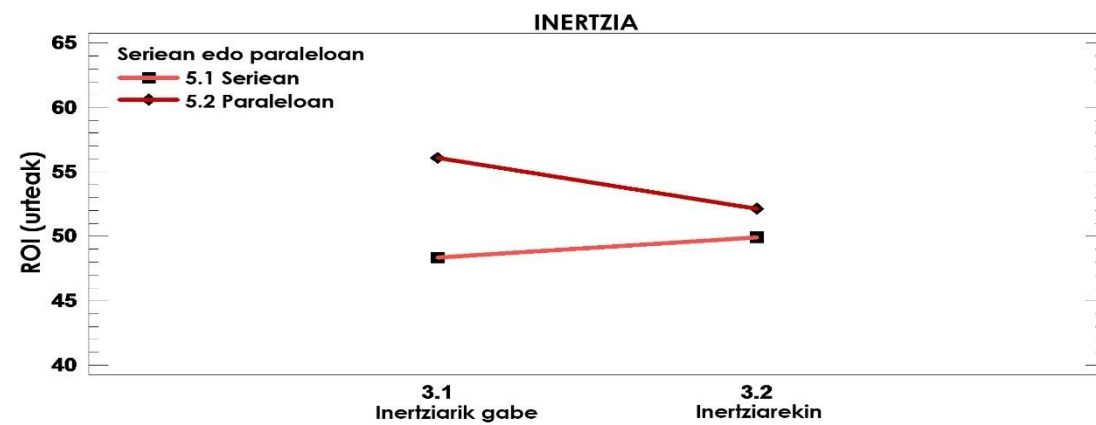
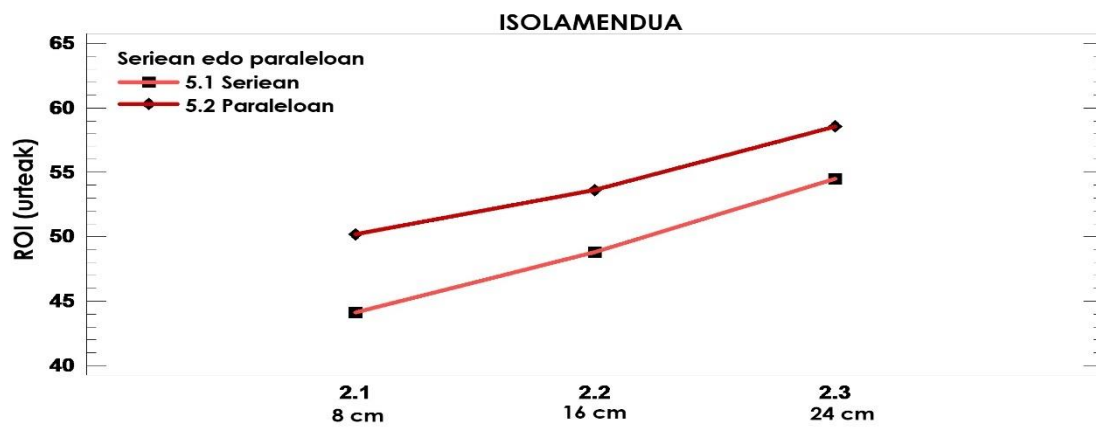
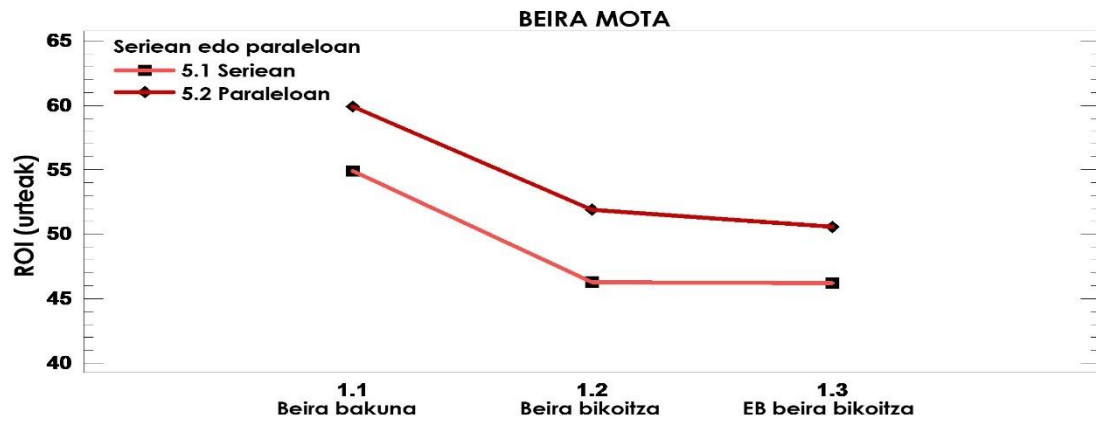
3.47 Irudia. Inbertsioaren itzulera-epelen batezbestekoak, moduluak instalatzeko eraren arabera (seriean edo paraleloan).

Itzulera-epelen batezbestekoa askoz txikiagoa da berotegiko moduluak seriean instalatzen direnean. Kasu guztietan hala den aztertzeko, 3.47 Irudian konfigurazio guztien itzulera-epelak erakusten dira. Emaizak konparatu ahal izateko, binaka ordenatu dira, non aldagai guztiak berdinak baitira, moduluak instalatzeko modua izan ezik.



3.48 Irudia. Inbertsioaren itzulera-epen emaitzak, moduluak instalatzeko eraren arabera antolatuta (seriean edo paraleloan).

Moduluak seriean edo paraleloan instalatzea komeni den ala ez, gainerako faktoreen mende dagoela argi eta garbi ikusten da. 3.47 Irudian ikusi den bezala, itzulera-epen batezbestekoa seriean askoz txikiagoa den arren, epe laburrena duen konfigurazioa paraleloan lortzen da. Gainerako faktoreek instalatzeko moduan duten eragina aztertzeko, 3.48 Irudiko elkarreraginen grafikoak erakusten dira.



3.49 Irudia. Moduluak seriean edo paraleloan jartzeak faktore ezberdinekin dituen elkarreraginaren grafikoak.

Lehenengo grafikoaren arabera, beira mota desberdinak erabiltzeak, moduluak seriean edo paraleloan instalatzearen artean ematen diren itzulera-epoen desberdintasunetan eragin txikia du. Beira mota guztiekin epeak laburragoak dira seriean. Erabiltzen den isolamendu lodierak ere ez du elkarreragin handirik moduluak jartzeko moduarekin, bigarren grafikoan ikusten den bezala. Hirugarren grafikoaren arabera, inertziarik erabiltzen ez denean, seriean edo paraleloan jartzearen arteko itzulera-epoen batezbestekoaren diferentzia nabarmena da, baina berotegiari inertzia ematen zaionean, desberdintasun horiek gutxitu egiten dira. Azkenengo grafikoan ikusten denez, bero-berreskurapena duen aireztapen-sistematik erabiltzen ez denean, itzulera-epaek laburragoak dira paraleloan; berreskurapena duen sistemarekin, berriz, seriean baino askoz luzeagoak dira.

3.4.3. ONDORIO PARTZIALAK. KONFIGURAZIORIK ONENAK

Berotegi-konfigurazio bakoitzak energia-aurrezpen zehatz bat dakar. Era berean, berotegi-soluzio bakoitzaren kostua desberdina da, eta, beraz, konfigurazio bakoitzaren inbertsioa, epe desberdinetan berreskuratzen da. 3.26 Taulan, konfigurazio onenen kontsumoak, aurrezkiak eta inbertsioaren itzultze-epaek alderatzen dira. Konfigurazio optimoak inbertsioaren itzulera-epoen ikuspegitik ezarri dira, baina baita lortutako energia-aurrezpenen ikuspegitik ere. Bi kasuetan, bero-berreskurapena duten eta berreskurapenik gabeko aukeren emaitzak erakusten dira.

3.26 Taula. Energiaren ikuspegitik eta inbertsioaren itzulera-epoen ikuspegitik, konfigurazio optimoen kontsumoak eta aurrezkiak Sarrigurenen.

| | Konfigurazioa | | | | | Kontsumoak kWh m ⁻² urte ⁻¹ | Aurrezkiak kWh m ⁻² urte ⁻¹ | ROI urteak |
|--|---------------|-----|-----|-----|-----|--|--|---------------|
| | 0 Kasua | | | | | 45,24 | - | - |
| | 0-BB Kasua | | | | | 24,78 | 20,46 | 12 |
| Aurrezki handienak, berreskurapenik gabe | 1.3 | 2.3 | 3.2 | 4.1 | 5.2 | 21,86 | 23,39 | 42 |
| Aurrezki handienak, berreskurapenarekin | 1.3 | 2.3 | 3.1 | 4.2 | 5.1 | 20,01 | 25,24 | 50 |
| ROI txikiena, berreskurapenik gabe | 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.2 | 24,03 | 21,22 | 37 |
| ROI txikiena, berreskurapenarekin | 1.2 | 2.1 | 3.1 | 4.2 | 5.1 | 21,40 | 23,85 | 40 |

Sarrigurengo kliman, itzulera-epe laburrenak dituzten konfigurazioak beira bikoitzarekin (1.2. Aldaera) edo emisibitate baxuko beira bikoitzarekin (1.3. Aldaera) lortzen dira. Itzulera-epaek antzekoak dira beira horien artean, eta txikiagoak edo handiagoak dira, gainerako aldagaien arabera. Emisibitate baxuko beirarekin urteko aurrezpenak handiagoak direnez, epe luzera begira, beira hori aukera onena dela uste da.

Isolamendu termikoari dagokionez, inguratzaile opakua isolatu egin behar da, baina, behin gutxieneko isolamendua jarri ondoren, itzulera-epe laburrenak isolamendu lodiera txikiarekin gertatzen dira argi eta garbi. Beraz, inbertsioaren itzulerari

dagokionez, konfigurazio onenak 8 cm-ko isolamenduarekin ematen dira (2.1 Aldaera). Gainerako lodierekin konparatuta energia-kontsumo aldeak txikiak direnez, aukera hoberentzat hartzen da.

Energia-kontsumoan gertatzen zen bezala, inbertsioaren itzuleran ur-deposituak erabiltzearen onura, oro har, beroa berreskuratzen duen aireztapen-sistema instalatzearen edo ez instalatzearen mende dago. Bero-berreskurapenik gabeko konfigurazio onenetan, inertzia komenigarria da, eta berreskurapena dutenetan ez.

Inbertsioaren itzuleraren ikuspegitik, konfigurazio onenetan ez da komeni berotegiak bero-berreskurapena duen sistema batekin konbinatzea. Hala ere, energia gehiago aurrezten da beroa berreskuratuz gero, eta, beraz, bi alderdi horiek aztertu beharko dira aireztapen-sistema aukeratzeko orduan.

Berotegiak bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema batekin konbinatzen ez direnean, moduluak paraleloan jartzea hobea da konfigurazio onenean, bai energia-kontsumoaren ikuspegitik, bai inbertsioaren itzulera-epearen ikuspegitik ere. Beroa berreskuratuz gero, berriz, moduluak seriean jartzea hobea da.

Sarrigurengo klima bezalako batean lortzen diren inbertsioaren itzulera-epeak altuak dira. Kasurik onenean, inbertsioa itzultzeko epea 37 urtekoa da. Berotegirik gabeko eraikinean soilik bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema jartzen bada (0-BB kasua), inbertsioa 12 urtetan baino ez litzateke berreskuratuko, eta, beraz, irtenbide interesgarriena dirudi ikuspuntu horretatik. Hala ere, berotegiak instalatzeak energia gehiago aurreztea dakar, eta hori ere kontuan hartu beharko litzateke zein alternatiba egitea erabakitzeke orduan.

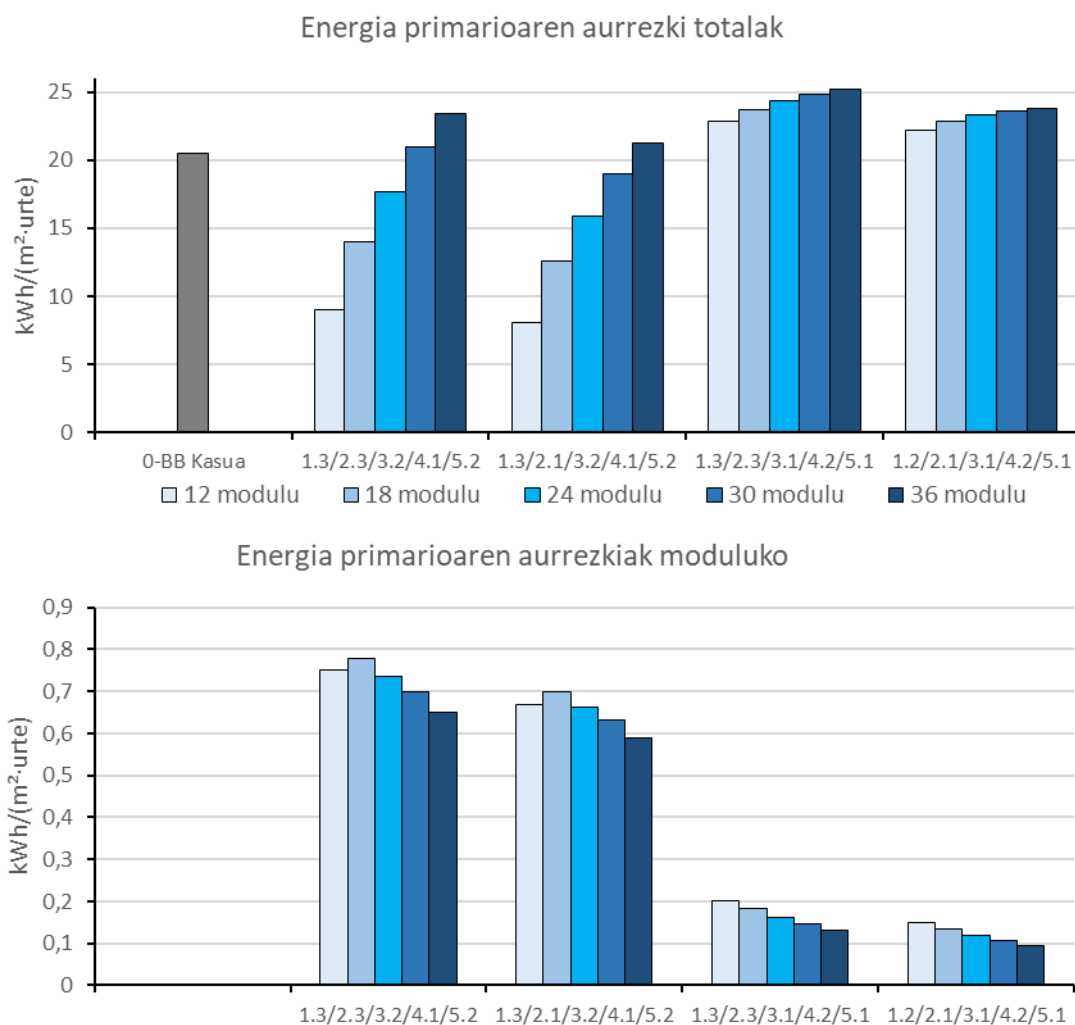
3.5. BEROTEGIAREN TAMAINAREN ERAGINAREN AZTERKETA

3.5.1. ERABILITAKO METODOLOGIA

Berotegiaren tamainak nola eragiten duen aztertzeko, lau konfigurazio optimoetarako 12, 18, 24, 30 eta 36 modulu instalatzean lortutako energia primarioaren kontsumoa zenbatetsi da (ikus 3.26 Taula). Berotegiaren tamaina bakoitzean, moduluko aurrezkiak ere kalkulatu dira, lortutako guztizko aurrezkiak modulu-kopuruarekin zatituz. Bero-berreskurapena duten konfigurazioetan, 0-BB kasuaren aurrezkiak kendu da moduluko aurrezkiak kalkulatzeko. Horrela, berreskuragailuaren eragina ez da kontuan hartzen. Ikusi dugunez, berotegi bat aukeratzeko orduan, energia aurrezteak ez ezik, alderdi ekonomikoak ere kontuan hartu behar dira. Horretarako, berotegiaren tamaina bakoitzarentzat 0 kasuarekiko kostu gehikuntza kalkulatu da. Moduluko kostua ere kalkulatu da, guztizkoa modulu kopuruaz zatituz. Azkenik, berotegi-tamaina bakoitzerako inbertsioaren itzulera-epea aztertu da. Azterketa hori Sarrigurenen egin da, ikerketa-kasua han dagoelako.

3.5.2. EMAITZAK

3.49 Irudian, energia primarioaren aurrezki totalak eta moduluko aurrezkiak agertzen dira, instalatutako berotegi-moduluen kopuruaren arabera. Berotegirik gabeko eraikinean bero-berreskurapena soilik jartzen denean (0-BB kasua) lortzen diren aurrezkiak erakusten dira ere.



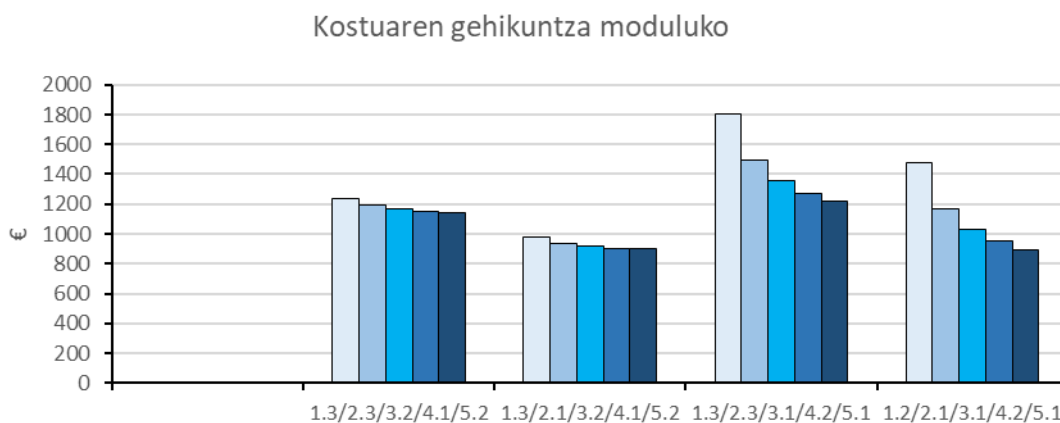
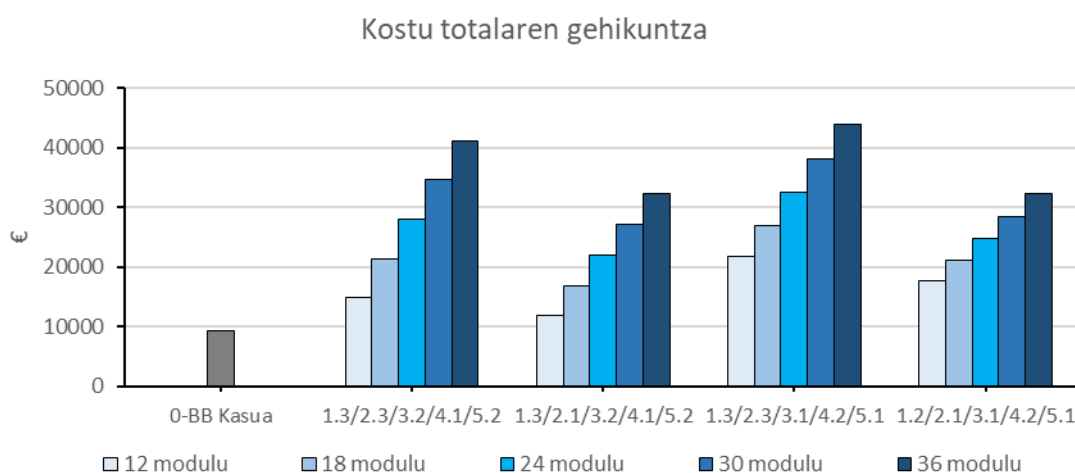
3.50 Irudia. Energia primarioaren aurrezki totalak, berotegiaren tamainaren arabera.

Emaitzen arabera, berotegiak beroa-berreskurapenarekin konbinatzen ez direnean, gutxieneko tamaina bat behar da 0-BB kasuaren aurrezkiak gainditzeko. 1.3/2.3/3.2/4.2/5.2 konfigurazioarekin, 30 modulutik aurrera soilik lortzen da aurrezpen handiagoa, eta 1.3/2.1/3.2/4.2/5.2 konfigurazioan soilik 36 moduluekin. Berotegiak bero-berreskurapenarekin konbinatzen direnean, 0-BB Kasuan baino aurrezki handiagoak lortzen dira tamaina guztiekin.

Bistan denez, zenbat eta modulu gehiago instalatu, orduan eta energia gehiago aurrezten da. Hala ere, sei modulu gehiago instalatzeak dakarren aurrezpena, gero eta gutxiago handitzen doa. Hau da, berotegia zenbat eta handiagoa izan, gero eta

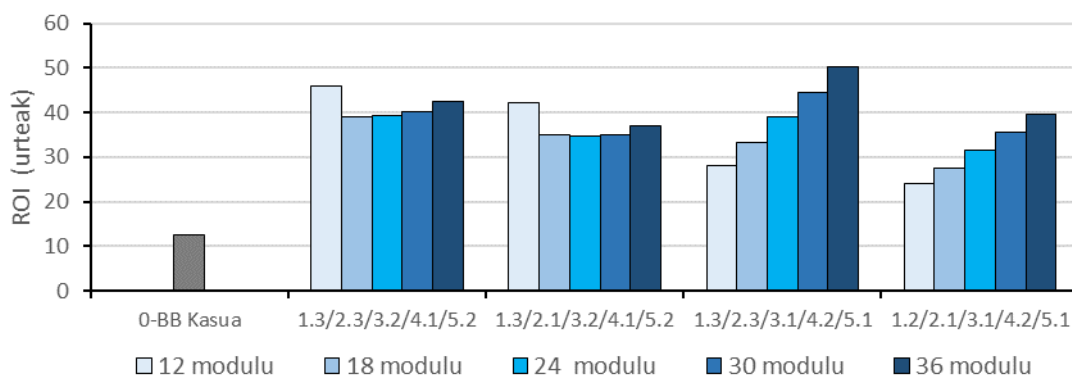
gutxiago aurrezten da modulu gehigarriak instalatzean. Beroa berreskuratzen den kasuetan, instalatutako modulu kopurua handitzean aurreztutako aldeak askoz txikiagoak dira berreskurapena erabiltzen ez denean baino. Izan ere, kontsumo murrizpenik handiena berreskuragailuari esker lortzen da.

Moduluko aurrezkiak aztertuz gero, beroa berreskuratzen ez den kasuetan, 12 modulutik 18ra pasatzean, aurrezkiak igotzen direla ikusten da. Hortik aurrera, berotegiaren tamaina handitu ahala, modulu bakoitzeko aurrezkiak jaitsi egiten dira. Beroa berreskuratzen den kasuetan, moduluko aurrezkiak beti jaitsi egiten dira berotegiaren tamaina handitu ahala. 3.50 Irudian, berotegi-tamaina ezberdinak instalatzearen kostuaren gehikuntza erakusten da bai totalen, bai moduluko.



3.51 Irudia. Berotegien kostua guztira eta modulu bakoitzeko, berotegiaren tamainaren arabera

Espero zitekeen bezala, berotegia zenbat eta handiagoa izan, orduan eta handiagoa da kostu totala, baina txikiagoa moduluko kostua. 3.51 Irudian inbertsioaren itzulera-aldiak agertzen dira, berotegiaren tamainaren arabera.



3.52 Irudia. Inbertsioaren itzulera, berotegiaren tamainaren arabera

Berotegiaren tamaina handitzen den heinean, moduluko kostua jaitsi egiten da, baina, aldi berean, modulu bakoitzeko aurrezkiak aldatu egiten dira, eta horrek eragina du hasierako gastua berreskuratzeko epeetan. Ikus daitekeenez, bero-berreskurapen gabeko kasuetan (1.3/2.3/3.2/4.1/5.2 eta 1.3/2.1/3.2/4.1/5.2 konfigurazioak), itzulera-epe altuenak 12 moduluko berotegiarekin ematen dira, argi eta garbi. Hain modulu gutxirekin lortutako aurrezkiak oso txikiak dira, eta beraz, inbertsioaren itzultze-epeak oso altuak. Tamaina handitu ahala, inbertsioa berreskuratzeko epea gutxituz doa, baina beherakada gero eta txikiagoa da, tamaina batetik aurrera, itzulera-epeak berriro igotzen hasten diren arte. Zenbat eta txikiagoa izan berotegia, orduan eta handiagoa izango da hasierako inbertsioaren eragina, itzulera-epea ere handiagoa izatea eragiten duena. Tamaina batetik aurrera, ordea, modulu bakoitzeko aurrezkiak gero eta txikiagoak direnez, joera hori aldatu egiten da, eta itzulera-denborak gero eta handiagoak izaten hasten dira. 1.3/2.3/3.2/4.1/5.2 konfigurazioarekin, itzultzeko eperik laburrena 18 modularekin lortzen da. 1.3/2.3/3.2/4.1/5.2 konfigurazioarekin, berriz, itzulera-eperik laburrena 24 modularekin.

Beroa berreskurapena duten kasuetan (1.3/2.3/3.1/4.2/5.1 eta 1.2/2.1/3.1/4.2/5.1 konfigurazioak), energia gehiena berreskuragailuari esker aurretzen denez, berotegiaren tamaina handitzeak ez dakar kontsumoa asko jaitea, baina bai soluzioaren kostua altuagoa izatea. Horregatik, berotegiaren tamaina handitu ahala, itzulera-epeak ere handitu egiten dira.

Itzulera-epe laburrena, 0-BB kasuan lortzen da argi eta garbi. Berreskurapenaz gain eraikinari berotegiak gehitzen badizkiogu, energia gehiago aurrezteak lortzen da, baina kostua askoz handiagoa denez, itzulera-epeak ere handiagoak dira.

3.5.3. ONDORIO PARTZIALAK

Berotegiaren tamaina aukeratzekoan, zenbat eta handiago izan, orduan eta gehiago aurrezten dela kontuan hartu behar da, baina aurrezkien gehikuntza gero eta txikiagoa dela ere. Era berean, tamainak gora egin ahala, kostuek ere gora egingo dute eta, beraz, berotegi neurri batetik aurrera, inbertsioaren itzulera-epea gero eta handiagoa izango da. Beraz, tamaina aukeratzeko, lortu nahi den aurrezpena baloratu behar da, baina baita hasierako inbertsio-gaitasuna eta berotegiaren errendimendua eta inbertsioaren itzultze-epea tamainaren arabera ere.

4. ATALA

KLIMAREN ERAGINAREN AZTERKETA

4. ATALA. KLIMAREN ERAGINAREN AZTERKETA

Klimak berotegien erabilera nola eragiten duen zehazteko helburuarekin, EKTren klima-zona bakoitzean Sarrigurenen erabilitako azterketa-kasu bera analizatuko da [73]. Azterketa horren ondoren, berotegi horiek EKT betetzen laguntzen duten egiaztatuko da. Horretarako, azterketa-kasuaz gain, eraikin bera aztertuko da, baina Energia Aurrezteko Oinarrizko Dokumentuan klima-zona bakoitzean ezarritako energia-eskarien kontrolerako baldintzetara egokitzen denean [9]. Berotegi horiek erabiliz, energia berriztaezinaren eta energia osoaren kontsumoa, ETK eskatzen duen mugaren azpitik dagoen egiaztatuko da. Azkenik, Europako hiri garrantzitsuenetara zabalduko da azterketa, berotegien portaera eta bideragarritasuna Europako klimetan aztertu ahal izateko.

4.1. EKT KLIMA-ZONEN KONPARKETA

4.1.1. ERABILITAKO METODOLOGIA

EKTk, neguko eta udako klima-gogortasunaren arabera, eremu klimatiko desberdinak bereizten ditu Espainiako estatuan. Klima-zona bakoitza letra baten bidez identifikatzen da, neguko klimaren larritasunari dagokiona (A, B, C, D, E, negu leunenetik hotzenera), eta zenbaki baten bidez, udako klimaren larritasunari dagokiona (1, 2, 3, 4 uda epelenetik beroenera). Berotegiek klima-baldintza desberdinetan duten portaera ebaluatzeko, neguko klima-gogortasuna baino ez da kontuan hartuko; izan ere, udan, gehiegi berotzea saihesteko, berotegiak aireztapen-sistematik deskonektatuko dira, eta, beraz, ez dira martxan egongo. Sarrigurengo emaitzak, ETKko neguko gogortasun desberdineko klima-zona bakoitzean lortutakoekin alderatuko dira. Neguko klima-zona bakoitzeko hiri adierazgarri bat aukeratu da. Hiriak hautatzeko beiraren inklinazio-angulu optimoaren azterketan erabilitako irizpide bera erabili da (ikus 2.1.3 atala). Klima-zona bakoitzean biztanle gehien dituen hiri hautatzea erabaki da, eta, beraz, Malaga (A zona), Valentzia (B zona), Bartzelona (C zona), Madril (D zona) eta Burgos (E zona) aukeratu dira, azterketa-kasua dagoen tokiaz gain (Sarriguren, D zona). Hiri bakoitzean berotegirik gabeko eraikinak (0 Kasua eta 0-BB Kasua) eta eraikin bera, baina berotegi konfigurazio desberdinak instalatzen direnean, aztertu dira. Sarrigurenen egin den bezala, 36 moduluko berotegia aztertu da. Analisi honetarako, lehenik eta behin, hiri bakoitzean berotegiak instalatzearen ondorioz lortutako kontsumoak eta aurrezkiak alderatu dira. Analisi hori egin ondoren, inbertsioaren itzulera-epeak kalkulatu dira hiri bakoitzean. Emaitzak globalki aztertu ondoren, aldagaien arabera aztertu dira, klima desberdinetan duten eragina ikusteko. Faktoreen azterketa hori energia primarioaren kontsumoaren ikuspuntutik eta inbertsioaren itzuleraren ikuspuntutik egin da.

Aukeratutako hirien ezaugarri klimatikoak 4.1 Taulan laburbiltzen dira:

4.1 Taula. Aukeratutako hirien ezaugarri klimatikoak.

| Hiria | | Malaga | Valentzia | Bartzelona | Madril | Sarriguren | Burgos | |
|---|---------------------------|--------------------|-----------|------------|---------|------------|---------|------|
| Latitueda | | 36° 40' | 39° 30' | 41° 16' | 40° 27' | | 42° 21' | |
| | EKT | A3 | B3 | C2 | D3 | D1 | E1 | |
| Sailkapen klimatikoa | Köppen Geiger | Csa | Csa | Csa | Csa | Cfb | Cfb | |
| | Urritik Maiatzera* | 796 | 1051 | 1418 | 1936 | 2243 | 2812 | |
| GE_{berol,18} | Urte osoa | 796 | 1052 | 1419 | 1965 | 2279 | 2990 | |
| Batez besteko eguzki-erradiazioa [Wh m⁻²] | Horizontal globala | Urritik Maiatzera* | 3934 | 3574 | 3210 | 3452 | 2831 | 2814 |
| | | Urte osoa | 4828 | 4464 | 3995 | 4420 | 3844 | 3916 |
| | Zuzeneko normala | Urritik Maiatzera* | 4637 | 3687 | 2975 | 3467 | 2877 | 2864 |
| | | Urte osoa | 5436 | 4348 | 3449 | 4217 | 3939 | 4102 |
| | Horizontal difusoa | Urritik Maiatzera* | 1389 | 1540 | 1583 | 1537 | 1369 | 1325 |
| | | Urte osoa | 1531 | 1747 | 1862 | 1779 | 1551 | 1484 |
| Batez besteko T^a [°C] | Urritik Maiatzera* | 15,04 | 13,89 | 12,26 | 10,08 | 8,7 | 6,38 | |
| | Urte osoa | 17,96 | 17,26 | 15,68 | 14,29 | 12,2 | 9,88 | |

Köppen-Geiger sailkapena [81], AEMETen Klima Iberikoaren Atlasaren [82] arabera.

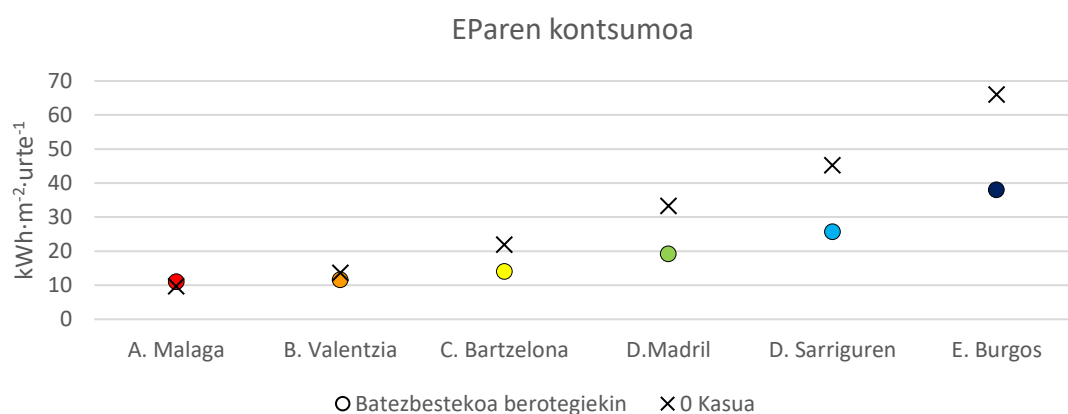
GEbero datuak, eguzki-erradiazioa eta batez besteko tenperatura, Energy Plus Weather Datatik ateratakoak.

*EKTren berokuntza-aldia

4.1.2. EMAITZAK

4.1.2.1. AZTERKETA ENERGETIKOA

4.1 Irudiak, hiri bakoitzean, berotegi-konfigurazio guztiekin lortutako energia primarioaren kontsumoen batezbestekoak 0 kasuarekin alderatzen ditu. Kontsumo hauetan, berokuntzaren eta aireztapen-sistemako haizagailuen kontsumoa sartzen da.

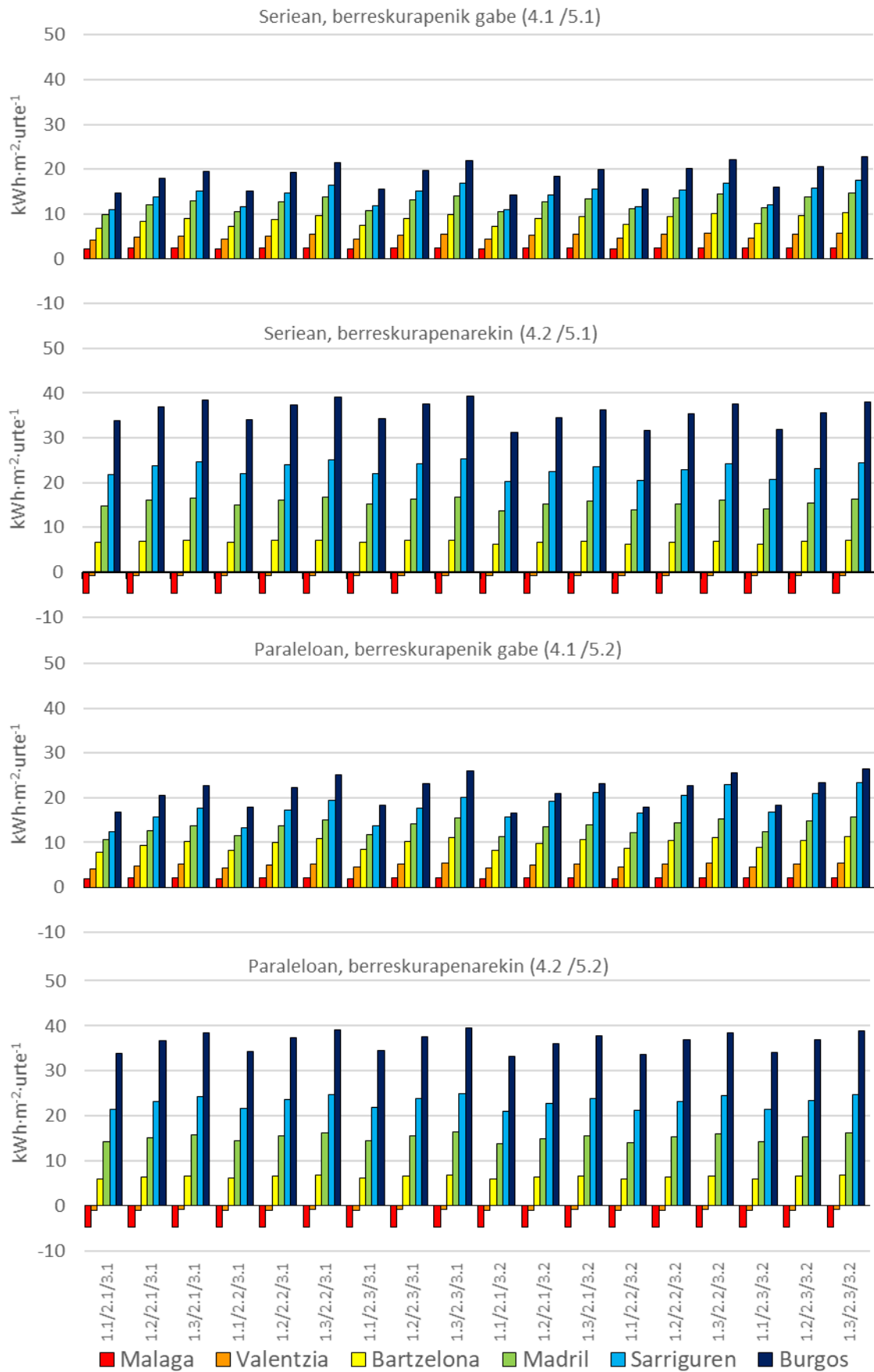


4.1 Irudia. 0 Kasuarekin alderatuta, energia primarioaren kontsumoaren batezbestekoak hiri desberdinetan.

Zenbat eta neguko klima-gogortasuna handiagoa izan, orduan eta handiagoa da energia primarioaren kontsumoa, baina, aldi berean, berotegiekin lortzen diren energia-aurrezkiak ere altuagoak dira. Klima hotzenetan berokuntza-eskaria

handiagoa da, eta, horregatik, sistema horiek aurrezteko duten potentziala ere. Beraz, neguko klima-gogortasuna handitu ahala, berotegiak erabiltzea interesgarriagoa da, lortutako aurrezkiak gero eta handiagoak baitira.

4.2 Irudian, berotegi-konfigurazio desberdinen instalazioarekin lortzen diren energia primarioaren aurrezki totalak konparatzen dira hiri bakoitzean. Lehenengo grafikoan, beroa berreskuratu gabeko konfigurazioen emaitzak agertzen dira moduluak seriean instalatzen direnean (4.1/5.1 aukera); bigarreanean, seriean instalatutako konfigurazioenak, baina beroa berreskuratzen denean (4.2/5.1 aukera); hirugarrenean, paraleloan lortutako emaitzak, beroa berreskuratu gabe (4.1/5.2 aukera), eta laugarrenean, paraleloan, berreskurapenarekin (4.2/5.2 aukera).



4.2 Irudia. Hiri bakoitzean, energia primarioaren urteko aurrezpenen konparazioa, berotegi-konfigurazio desberdinekin.

Emaitzek argi erakusten dute alde handiak daudela leku bakoitzeko klima-baldintzen arabera. Konfigurazio guztietan, klima hotzagoa den heinean, lortutako aurrezkiak handiagoak dira.

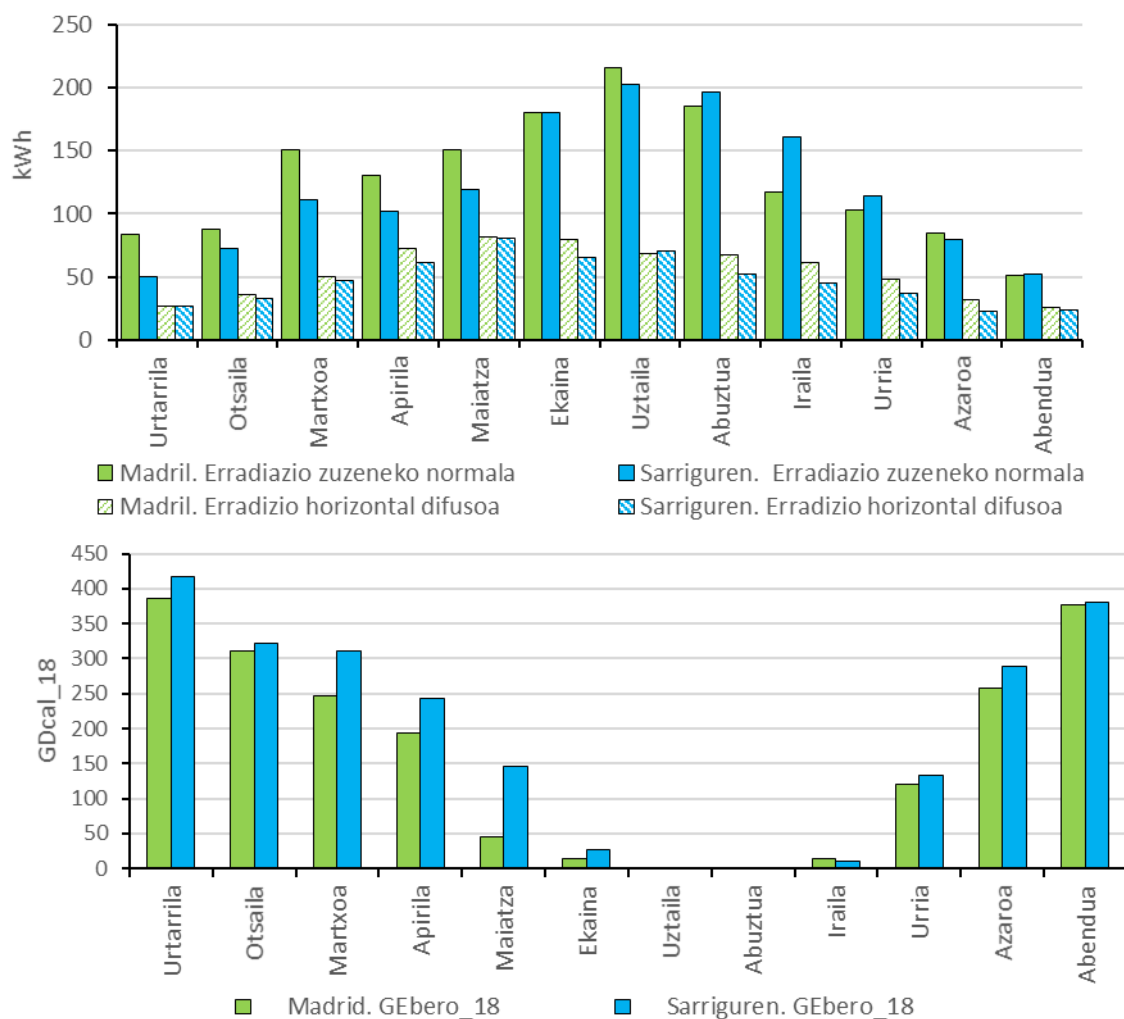
Klima-zona epelenetan, hala nola Malagan (A zona) eta Valentzian (B zona), berokuntza-eskaria oso txikia da. Hautatutako eraikinak, ETK klima-zona horietan energia-eskaria kontrolatzeko ezarritakoa baino askoz ere isolamendu handiagoa du, eta horrek esan nahi du 0 Kasuko berokuntza kontsumoak oso txikiak direla. Berotegiak instalatzean, berokuntza-eskaria are gehiago murrizten da, eta kasu batzuetan (bero-berreskurapena duen aireztatze-sistema erabiltzen denean), desagertzea heltzen da. Baina, 0 Kasuaren eskaria oso txikia denez, klima-zona horietan lortutako aurrezkiak oso baxuak dira ere. Are gehiago, Malagan eta Valentzian, beroa berreskuratzen duen aireztatze-sistema erabiliz gero, eraikinaren berokuntzan lortutako aurrezkiek ez dute haizagailuen kontsumo handiagoa konpentsatzen, eta, beraz, aurrezkiak lortu ordez, kontsumo totala handitu egiten da (negatiboan, grafikoan). Bero-berreskurapenik gabe, Malagan urteko $2,51 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$ baino ez dira lortzen, kasurik onenean. Valentzian egoerak hobera egiten du pixka bat, baina aurrezkiak oraindik txikiak dira, urteko $5,70 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$ lortzen direlarik konfigurazio onenarekin.

Bartzelonan (C zona), berotegiek kasu guztietan hobetu egiten dute eraikinaren energia-portaera. Hala ere, berotegiak bero-berreskurapena duen sistema batekin konbinatzea ez da gomendagarria, berreskurapenik gabe baino gutxiago aurrezten baita. Bartzelonan, urtean $11,32 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$ -ko aurrezkiak lortzen dira kasurik onenean.

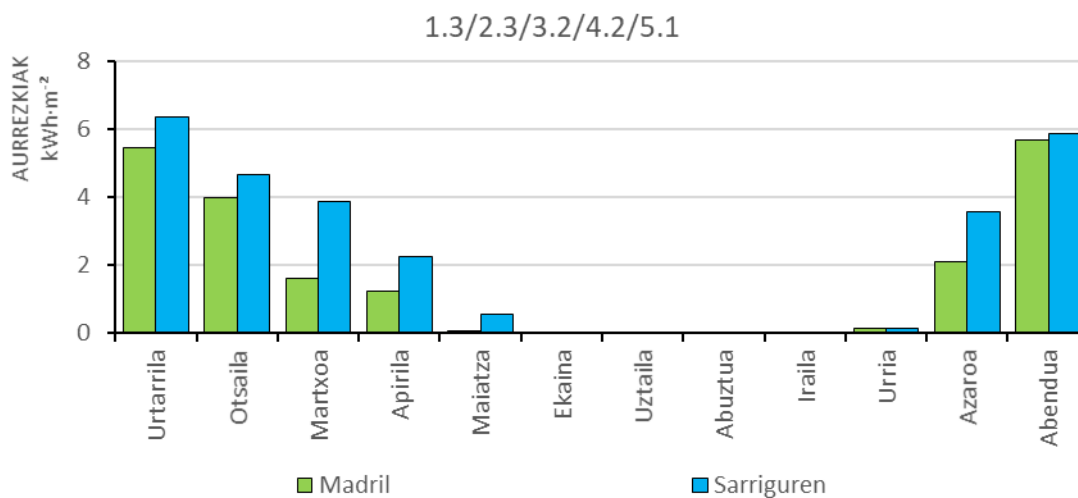
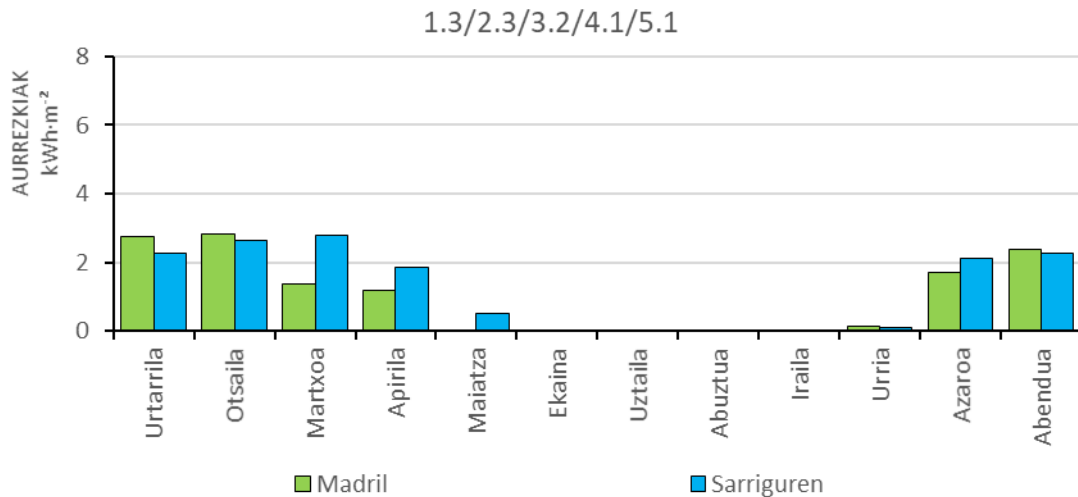
Aldeak oso esanguratsuak ez izan arren, Madrilen (D zona) energia-aurrezpen handiagoak lortzen dira dagoeneko berotegiak eta beroa berreskuratzeko sistemak konbinatzen badira, urteko $16,78 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$ -ra iritsiz. D klima-zonan ere egon arren, Sarrigurengo emaitzak Madrilgoak baino hobeak dira: urteko $25,24 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$ -ko aurrezkiak lortzen dira konfigurazio onenarekin. Energiaren ikuspegitik, Sarrigurenen, berotegiekin batera bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema bat erabiltzen denean, emaitzak nabarmen hobetzen dira.

Burgosen (E zona), neguko klima-gogortasun handieneko eremuan, energia-aurrezpen handienak eskuratzen dira, eta, kasurik onenean, urteko $39,54 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$ aurrezteak lortzen da. Klima honetan, bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema bat erabiltzea faktore erabakigarria da. 0-BB kasuaren (berotegirik gabeko eraikina, baina beroa berreskuratzen duena) emaitzak, berreskurapenik gabeko edozein berotegi-konfigurazioekin lortzen direnak baino hobeak dira. Bero-berreskurapena berotegiekin konbinatzen bada, lortutako aurrezkiak oraindik handiagoak dira.

Sarriguren eta Madril klima-zona berean badaude ere, eguzki-erradiazioa handiagoa da Madrilen, eta berokuntza gradu-egunak (GE_{bero}), berriz, txikiagoak. 4.3 Irudiaren goialdean eguzki-erradiazio zuzena eta difusoa ageri da, eta behealdean bi hirietako berokuntza gradu-egunak. Sarrigurenen energia-aurrezpen handiagoa zergatik lortzen den ulertzeko, 4.4 Irudian bi hirietan hileko berokuntza aurrezkiak erakusten dira, bi berotegi-konfigurazio desberdinekin: bata, bero-berreskurapenik gabe (1.3/2.3/3.2/4.1/5.1), eta bestea berreskurapenarekin (1.3/2.3/3.1/4.2/5.1).



4.3 Irudia. Sarrigurenen eta Madrilen, eguzki-erradiazioaren eta berokuntza gradu-egunen konparaketa.



4.4 Irudia. Sarrigurenen eta Madrilen, energia primarioaren hileko aurrezkien konparaketa.

Bero-berreskurapena instalatzen ez den kasuan (1.3/2.3/3.2/4.1/5.1), urtarrileko eta otsaileko aurrezpenak handiagoak dira Madrilen, bertako eguzki-erradiazio handiagoa baita. Hilabete hauetan, gradu-egunen kopurua pixka bat handiagoa da Sarrigurenen, baina zuzeneko eguzki erradiazioa nabarmen altuagoa da Madrilen. Martxoan, apirilean eta maiatzean, nahiz eta eguzki-erradiazioa ere nabarmen handiagoa izan Madrilen, berokuntza-eskaria askoz handiagoa da Sarrigurenen, eta, ondorioz, aurrezkiak ere nabarmen handiagoak dira Sarrigurengo hirian. Azaroan eguzki-erradiazioa zertxobait handiagoa da Madrilen, baina gradu-egun gutxiago ditueneguz, aurrezkiak Sarrigurenen apur bat handiagoak dira. Abenduan, bi hiritan erradiazioa eta gradu-egunak antzekoak direnez, lortutako aurrezkiak ere antzekoak dira. Beraz, batez ere hain hotzak ez diren hilabeteetan lortzen diren aurrezkiei esker, Sarrigurenen urteko aurrezkiak handiagoak direla ikusten da, nahiz eta Madrilgo negua eguzkitsua izan.

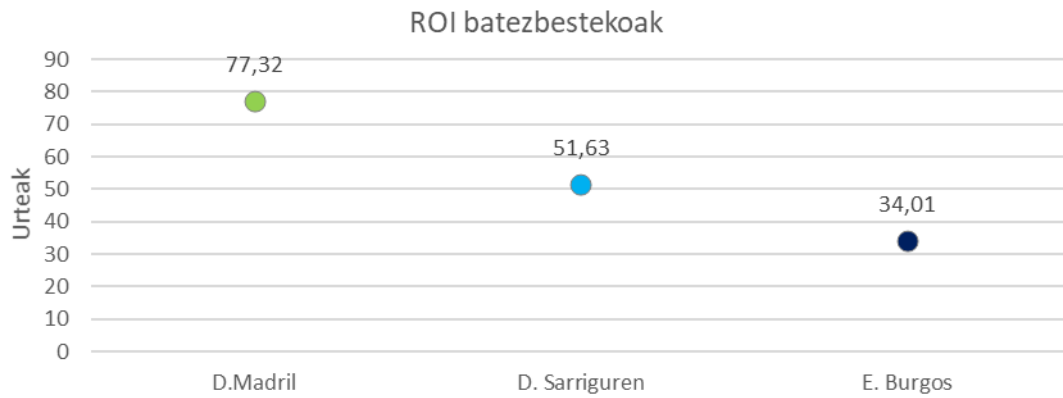
Bero-berreskurapenarekin (1.3/2.3/3.1/4.2/5.1), diferentziak oraindik ere handiagoak dira Sarrigurenen alde. Bero-berreskurapenak Sarrigurenen aurrezkiak handiagoak izatea eragiten du hilabete guztietan, eraikinaren barrualdearen eta kanpoaldearen arteko tenperatura-contraste handiagoak direlako, eguzki-erradiazioa txikiagoa izan arren. Aurrezpen gehienak bereskuragailuari esker lortzen dira, eta, beraz, eguzki-erradiazioak garrantzi gutxiago du. Ikus daitekeenez, martxoan, apirilean eta azaroan alde horiek benetan esanguratsuak dira.

Berotegiei esker eraikinaren energia-kontsumoa txikiagoa izan dadin, honako bi faktore hauek kontuan hartu behar direla ondoriozta daiteke: eguzki-erradiazioa eta berokuntza-eskaria. Zenbat eta eguzki-erradiazio handiagoa, hainbat eta aurrezpen handiagoak, baina zenbat eta berokuntza-behar handiagoa, orduan eta aurrezki-potentzial handiagoa. Gainera, berotegiak bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema batekin konbinatuz gero, eguzki-erradiazioak eragin txikiagoa du. Izan ere, aurrezpen gehienak berreskuragailuari esker lortzen dira eta eguzki-erradiazioak berreskuragailuari ez dio eragiten.

4.1.2.2. AZTERKETA EKONOMIKOA. INBERTSIOAREN ITZULERA

Inbertsioaren itzulera-epeen ikuspegitik, horrelako sistemak instalatzea klima epelenetan ez da interesgarria. Lehen ikusi den bezala, Malagan (A zona) eta Valentzian (B zona), bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema bat erabiltzeak (4.2 Aldaera) 0 kasuarena baino kontsumo handiagoa dakar, eta, beraz, inbertsioa ez litzateke inoiz berreskuratuko. Klima epel hauetan, bero-berreskurapenik gabeko kasuetan, energia-aurrezpenak lortzen dira, baina hain dira txikiak, 100 urtetik gorako itzulera-epeak ematen direla. Bartzelonan (C zona), berotegiak eta bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema konbinatzean, energia aurreztea lortzen da, baina aurrezkiak hain txikiak direnez, epeak 100 urtetik gorakoak dira. Beroa berreskuratzen ez denean, amortizazio-aldiak txikiagoak dira, baina oso altuak izaten jarraitzen dute, 72 urteko epeak lortzen direlarik konfiguraziorik onenarekin.

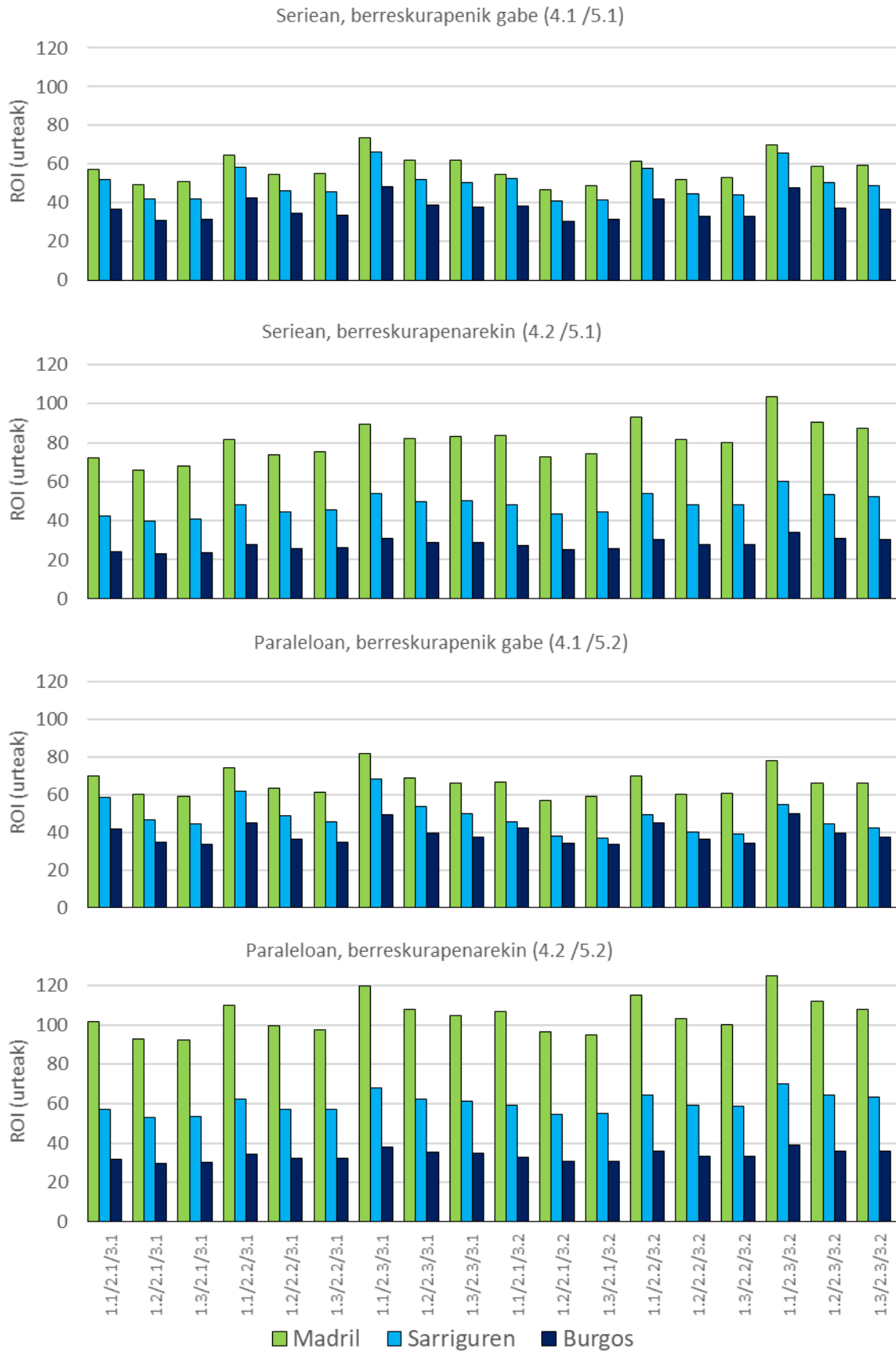
4.5 Irudian, berotegi-konfigurazio guztien inbertsioaren itzulera-epeen batezbestekoak erakusten dira Madrilan, Sarrigurenen eta Burgosen, hau da, ETKo neguko klima-gogortasun handieneko eremuetan.



4.5 Irudia. 0 Kasuarekiko inbertsioaren itzulera-epeen batezbestekoak, Madril, Sarriguren eta Burgosen.

Zenbat eta hotzagoa izan klima, orduan eta gehiago aurreztuko da, eta, beraz, inbertsioaren itzulera-epeak laburragoak izango dira, berotegi-konfigurazio bakoitzaren kostua berbera dela hiri bakoitzean kontsideratu baita.

4.6 Irudian, Madril, Sarriguren eta Burgosen aztertutako konfigurazio guztien inbertsioaren itzulera-epeak erakusten dira.



4.6 Irudia. Inbertsioaren itzulera-epeen konparaketa, Madrilen, Sarrigurenen eta Burgosen.

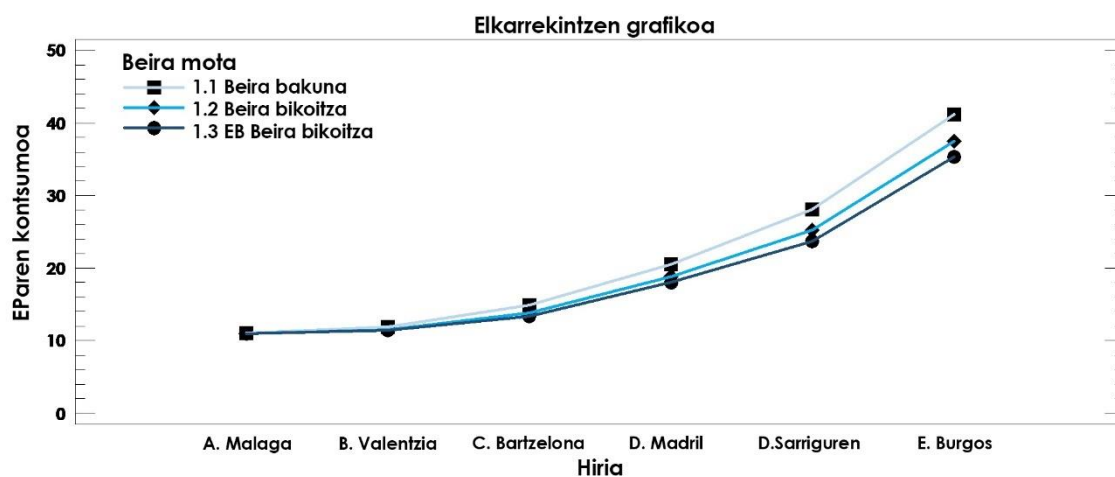
Konfigurazio guztietan, itzulera-epe laburrenak Burgosen lortzen dira, eta handienak Madrilen. Itzulera-eperik laburrena 47 urtekoa da Madrilen, 37koa Sarrigurenen eta 23koa Burgosen. Inbertsioaren itzulera-epeak oso altuak dira oraindik Madrilen, baina klima-gogortasuna handitu ahala, epe horiek gutxituz doazela ikus daiteke.

4.1.2.3. FAKTOREEN ANALISIA

Jarraian, honako faktore hauetan klimak duen eragina aztertuko da: beira mota, isolamendua, inertzia, bero-berreskurapenaren erabilera eta moduluak instalatzeko modua.

Beira mota

4.7 Irudian, kokapenaren arabera beira mota bakoitzaren energia primario totalaren kontsumoen batezbestekoak erakusten dira (berokuntza + haizagailuak).

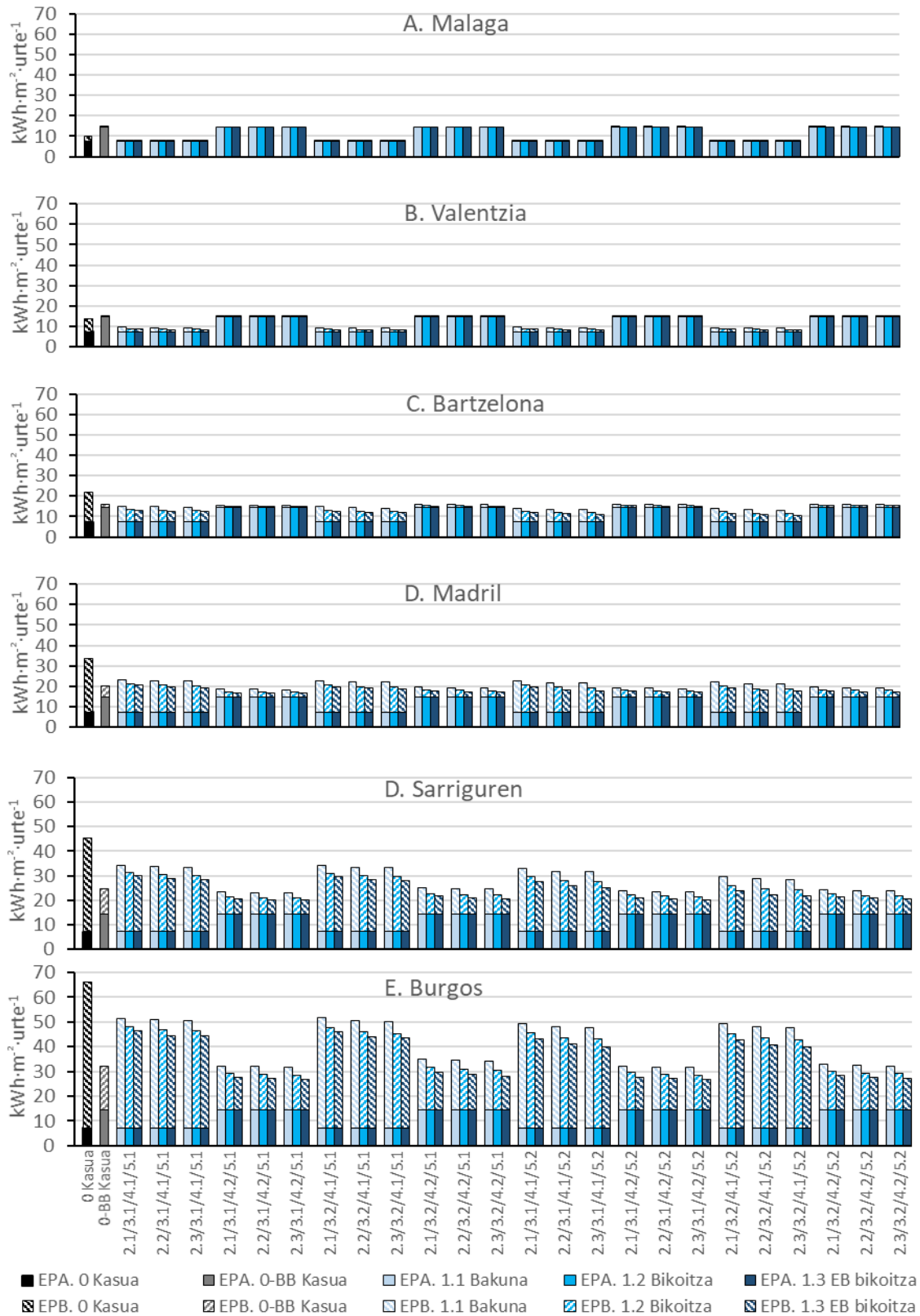


4.7 Irudia. Hiri bakoitzean beira mota desberdinekin lortutako energia primarioaren kontsumoen batezbestekoak ($\text{kWh} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{urte}^{-1}$).

Neguko klima-gogortasuna handitu ahala, gero eta garrantzitsuagoa da hautatutako beira mota. Malagan, berokuntza kontsumoa oso txikia denez, aurrezkiak ere minimoak dira, eta horregatik, beira mota desberdinen arteko desberdintasunak baztergarriak dira. Burgosen, aldiz, emisibitate baxuko beira bikoitza erabiltzen denean batez besteko kontsumo nabarmen txikiagoak lortzen dira, gainerako beirekin alderatuta. Hiri guztietan, kontsumo handiena beira bakunari dagokio, eta txikiena, berriz, emisibitate baxuko beira bikoitzari. Aldi berean, beira bikoitza eta bakuna jartzearen arteko aldea, beira bikoitzaren eta emisibitate baxuko beiraren artekoa baino handiagoa da.

4.8 Irudian, hiri bakoitzeko konfigurazio guztien energia primarioaren kontsumoak erakusten dira. Zutabe bakoitzaren behaldean, aireztapen-sistemaren haizagailuek eragindako kontsumoa erakusten da, eta goialdean, berokuntza-kontsumoa. Horrela,

zutabe osoak energia primario totalaren kontsumoa erakusten du. Emaitzak hiruko taldeetan antolatuta dira, beira motaren arabera.

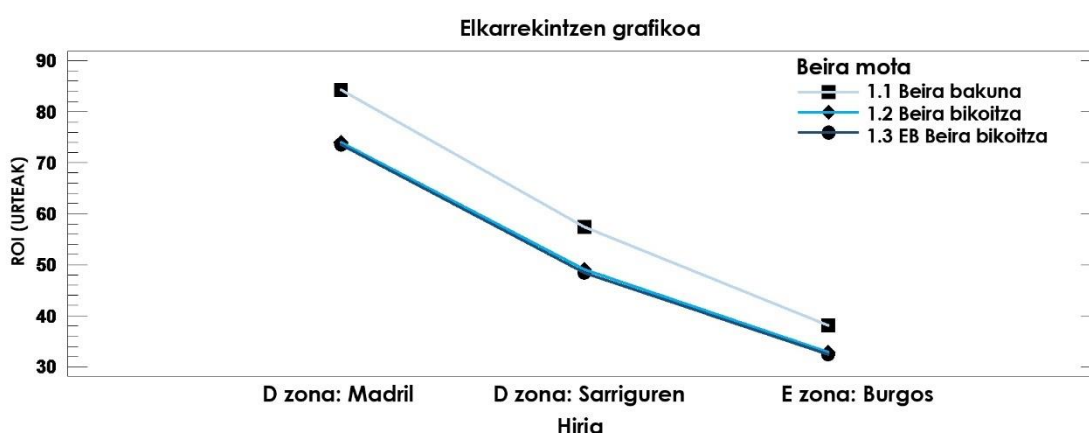


4.8 Irudia. Hiri bakoitzean, konfigurazio desberdinen arabera, energia primarioaren urteko kontsumoa, beira motaren arabera taldekatuta.

EPA: energia primarioa, aireztapen-sistemaren haizagailuetan; EPB: energia primarioa, berokuntzan.

Hiri guztietan, berotegiaren konfigurazio posible guztiekin, energia-kontsumo txikiak emisibitate baxuko beira bikoitzarekin lortzen dira eta handienak beira bakunarekin, nahiz eta klima epelenean beira mota desberdinen arteko aldeak baztergarriak izan. Sarrigurenen gertatzen zen bezala, gainerako hirietan ere, beirak transmitantzia termiko baxua edukitzea, eguzki-beroaren irabazi-koefiziente handia (SHGC) izatea baino garrantzitsuagoa da. Sei hirien konfigurazio guztietan, beira bikoitzaren eta beira bakunaren arteko aldea, beira bikoitzaren eta emisibitate baxuko beiraren artekoa baino handiagoa da.

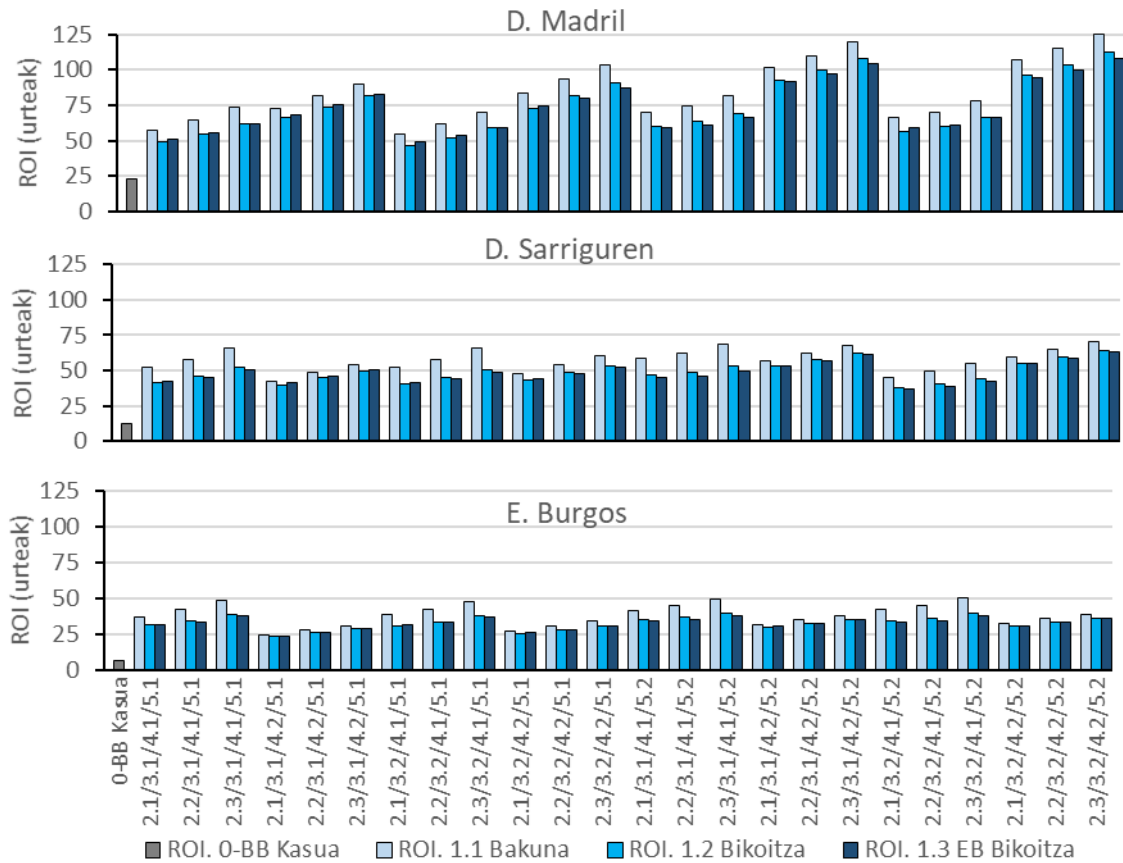
4.9 Irudiak, inbertsioaren itzulera-epeneen batezbestekoak erakusten ditu Madril, Sarriguren eta Burgosen, erabilitako beira motaren arabera.



4.9 Irudia. Inbertsioaren itzulera-epeneen batezbestekoak Madril, Sarriguren eta Burgosen, beira motaren arabera.

Beira bikoitzaren eta emisibitate baxuko beiraren itzulera-epeak antzekoak dira, hiru hirietan emisibitate baxukoaren batezbestekoak zertxobait baxuagoak direlarik. Hiri guztietan, inbertsioaren batez besteko itzulera-epe luzeenak beira sinplearekin ematen dira argi eta garbi.

4.10 Irudian, konfigurazio guztien inbertsioaren itzulera-epeak erakusten dira Madril, Sarriguren eta Burgosen. Kasu honetan, beira motak konparagarriak izan daitezten ordenatu dira emaitzak.



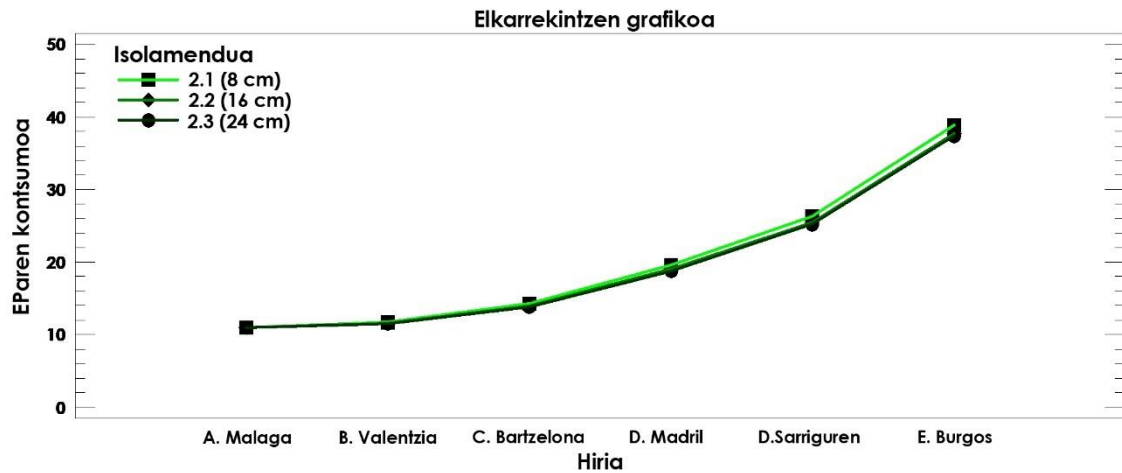
4.10 Irudia. Konfigurazio desberdinen inbertsioaren itzulera-epeak Madril, Sarriguren eta Burgosen, beira motaren arabera taldekatuta.

Beira bikoitzaren eta emisibitate baxuko beiraren arteko aldeak ez dira esanguratsuak, eta handiagoak edo txikiagoak dira gainerako aldagaien arabera. Urtero energia gutxiago kontsumitzen denez emisibitate baxukoarekin, epe luzera begira aurrezpen handiagoak lortuko dira, eta, beraz, komenigarriagoa dela uste da. Dena den, hasierako inbertsio-gaitasuna ere kontuan hartu beharko da, emisibitate baxuko aukera garestiagoa baita. Argi ikusten da hiru hirien konfigurazio guztietan, inbertsioaren itzulera-eperik luzeenak beira bakunarekin ematen direla. Beira horrekin kontsumoak ere handiagoak direnez, beira bakuna erabiltzea ez dela gomendagarria ondoriozta daiteke.

Isolamendua

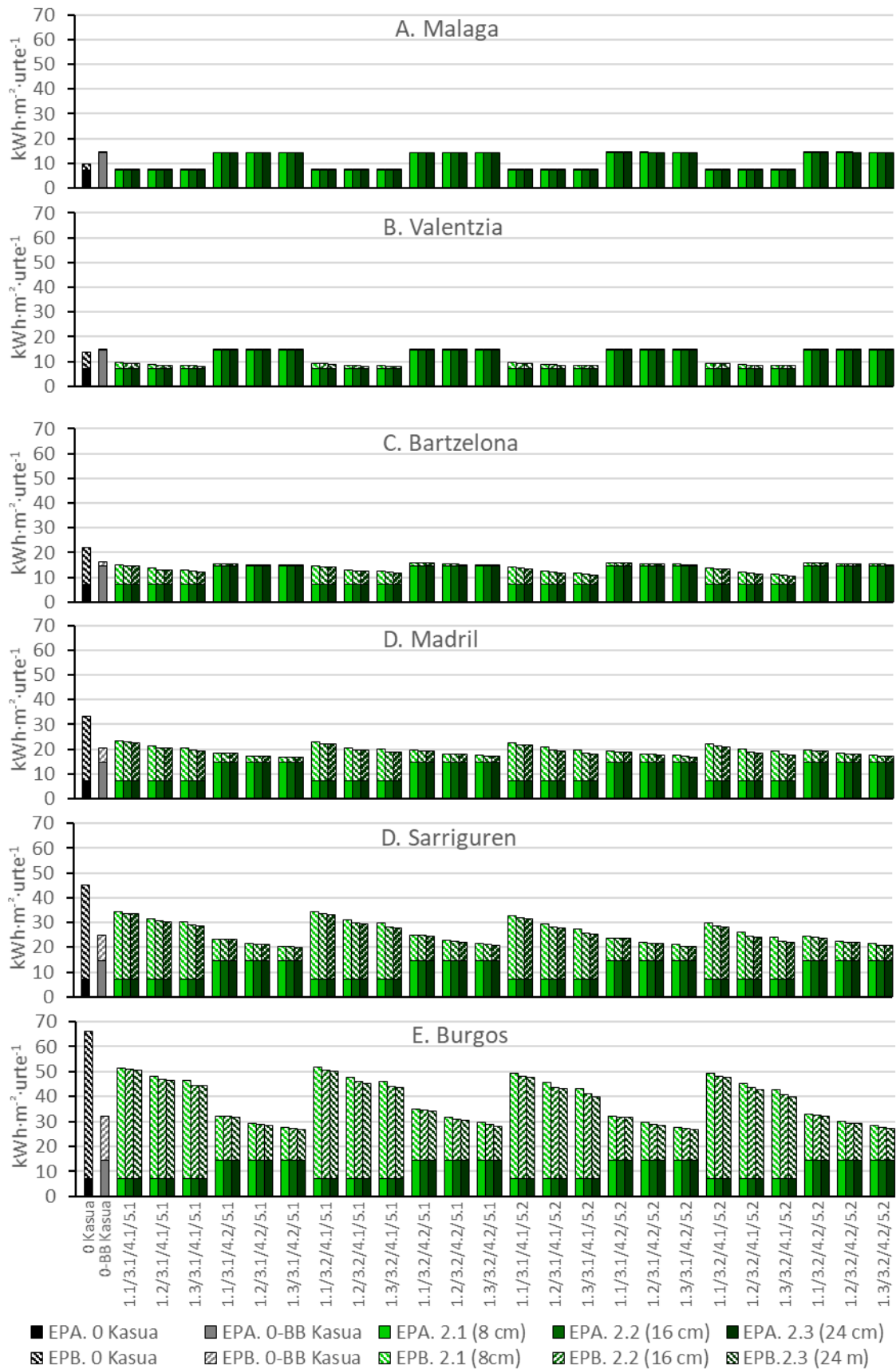
4.11 Irudian, hiri bakoitzeko energia primarioaren kontsumo totalaren batezbestekoen emaitzak agertzen dira, berotegiko inguratzaile opakoaren isolamendu lodieraren arabera. 4.12 Irudiak hiri bakoitzean egon daitezkeen berotegi-konfigurazio guztien energia primarioaren kontsumoak erakusten ditu. Kasu honetan, emaitzak hiruko taldeetan antolatu dira elkarren artean konparatu ahal izateko. Horrela, aldagai guztiak berdinak dira talde bakoitzean, isolamendu lodiera izan ezik. Sarrigurenen

lortutako emaitzak ikusita, isolamendurik gabeko aldaera (2.0 Aldaera) baztertu da, inguratzaile opakua gutxieneko isolamendu batekin isolatu behar dela frogatu baita.



4.11 Irudia. Hiri bakoitzean isolamendu maila desberdinekin lortutako energia primarioaren kontsumoen batezbestekoak ($\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{urte}^{-1}$).

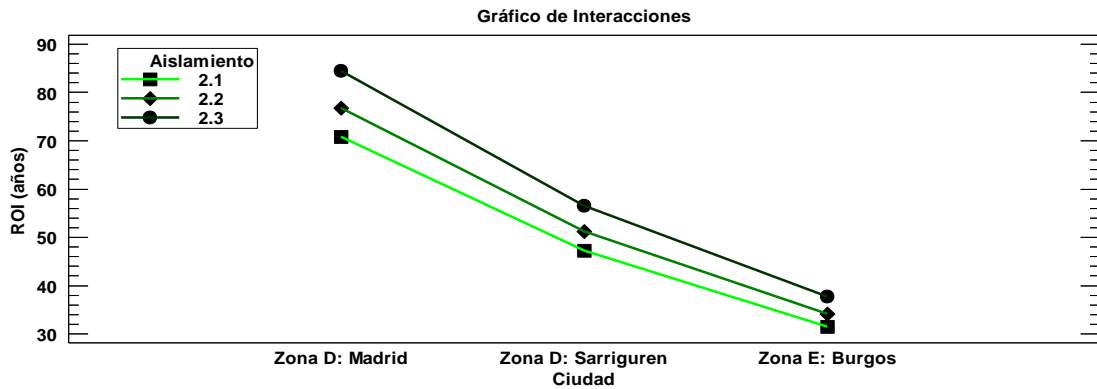
Klima epeletan, berokuntza-eskaria oso txikia denez, lodiera handitzean lortzen den hobekuntza baztergarria da. Zenbat eta klima hotzagoa izan, orduan eta eragin handiagoa du inguratzaile opakua gehiago isolatzeak. Nolanahi ere, kasu guztietan isolamenduaren ondorioz ematen diren aurrezki-diferentziak ez direla oso esanguratsuak ikusten da. Sarrigurenen gertatzen zen bezala, lodiera handitzeak gero eta eragin txikiagoa du: 8 cm eta 16 cm-ren arteko aldeak, 16 cm eta 24 cm-ren artekoak baino handiagoak dira.



4.12 Irudia. Hiri bakoitzean, konfigurazio desberdinen arabera, energia primarioaren urteko kontsumoa, isolamendu mailaren arabera taldekatuta.

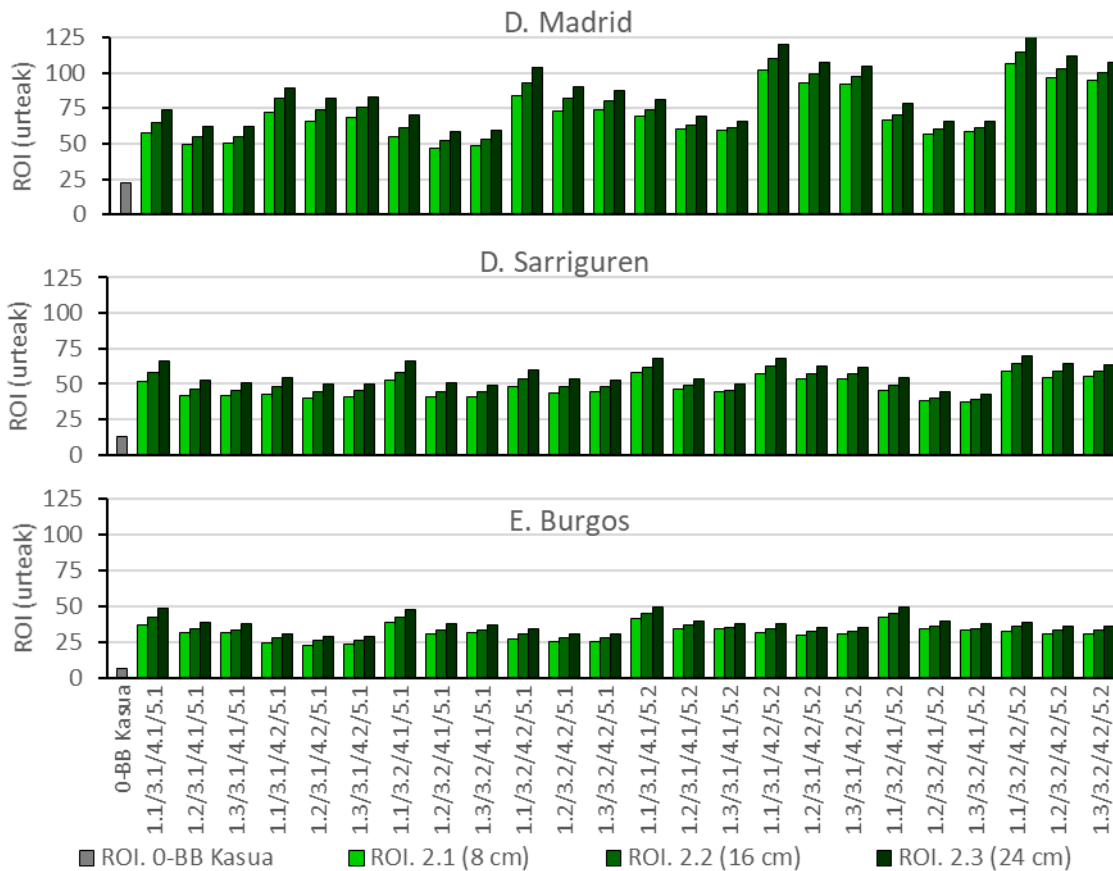
EPA: energia primarioa, aireztapen-sistemaren haizogailuetan; EPB: energia primarioa, berokuntzan.

Isolamenduak inbertsioaren itzulera nola eragiten duen aztertzeko, 4.13 Irudian amortizazio-epeen batezbestekoak Madril, Sarriguren eta Burgosen erakusten dira, isolamenduaren lodieraren arabera.



4.13 Irudia. Inbertsioaren itzulera-epeen batezbestekoak Madril, Sarriguren eta Burgosen, beira motaren arabera.

Neguko klima-gogortasuna handitu ahala, gero eta txikiagoa da isolamendu lodiera desberdinen arteko itzulera-epeen batezbestekoen diferentzia. 4.14 Irudian konfigurazio bakoitzaren itzulera-eppeak erakusten dira.

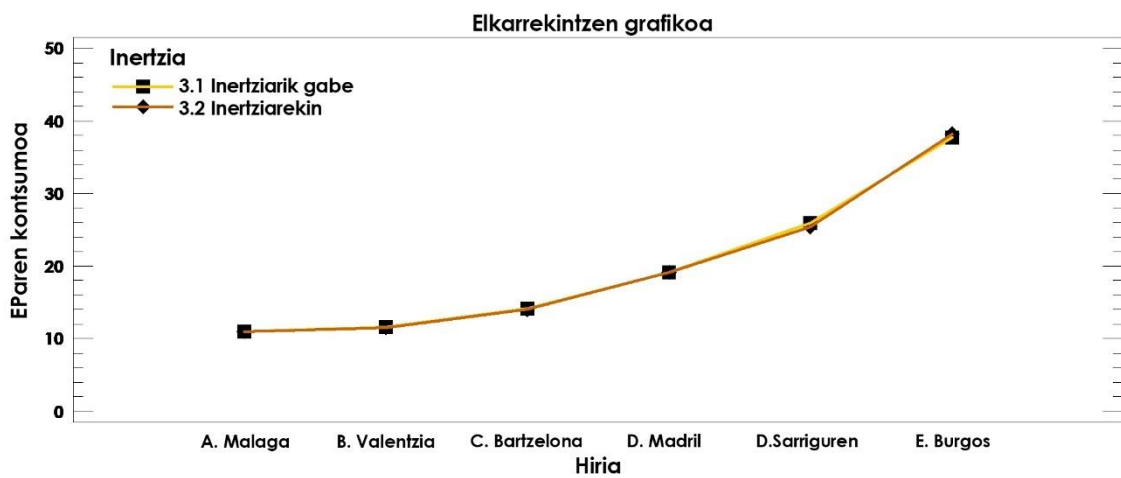


4.14 Irudia. Konfigurazio desberdinen inbertsioaren itzulera-eppeak Madril, Sarriguren eta Burgosen, isolamendu mailaren arabera taldekatuta.

Hiri guztietan, aukerarik onena isolamenduaren lodiera txikiena duena da (2.1 Aldaera). Aukera honekin energia-aurrezpen gutxiago lortzen diren arren, beste lodierekiko aldea txikia da. Bere kostua, berriz, askoz txikiagoa da eta horren ondorioz, hasierako inbertsioaren itzulera-epeak nabarmen txikiagoak dira ere.

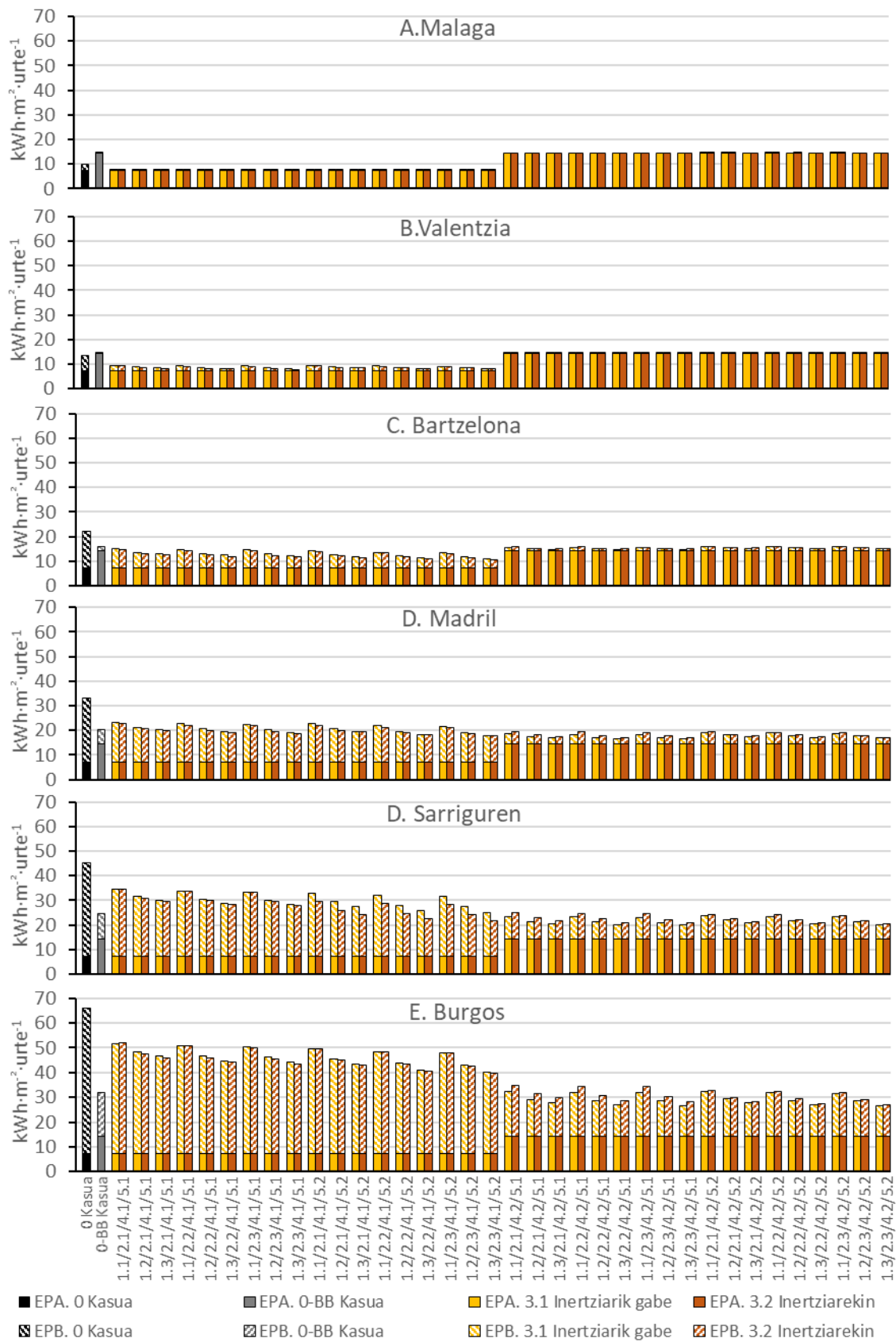
Inertzia

4.15 Irudiak, hiri bakoitzeko energia primarioaren kontsumo totalaren batezbestekoak erakusten ditu, inertzia erabiltzen den edo ez den arabera.



4.15 Irudia. Hiri bakoitzean inertziaren arabera lortutako energia primarioaren kontsumoen batezbestekoak ($\text{kWh m}^{-2}\cdot\text{urte}^{-1}$).

Grafikoan ikus daitekeenez, inertzia erabiltzearen eta ez erabiltzearen arteko batezbestekoen aldeak oso txikiak dira hiri guztietan; beraz, klimaren eta inertziaren arteko elkarrekin ez da esanguratsua. 4.16 Irudiak konfigurazio guztien energia-kontsumoaren emaitzak erakusten ditu, berotegiari inertzia emateko ur-deposituak erabiltzen diren ala ez kontuan hartuta antolatuta direlarik.

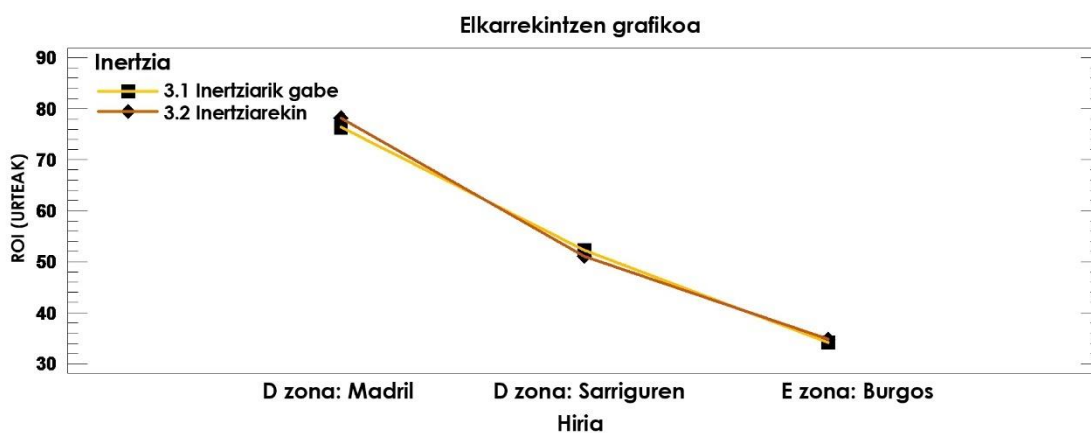


4.16 Irudia. Hiri bakoitzean, konfigurazio desberdinen arabera, energia primarioaren urteko kontsumoa, inertziaren arabera taldekatuta.

EPA: energia primarioa, aireztapen-sistemaren haizagailuetan; EPB: energia primarioa, berokuntzan.

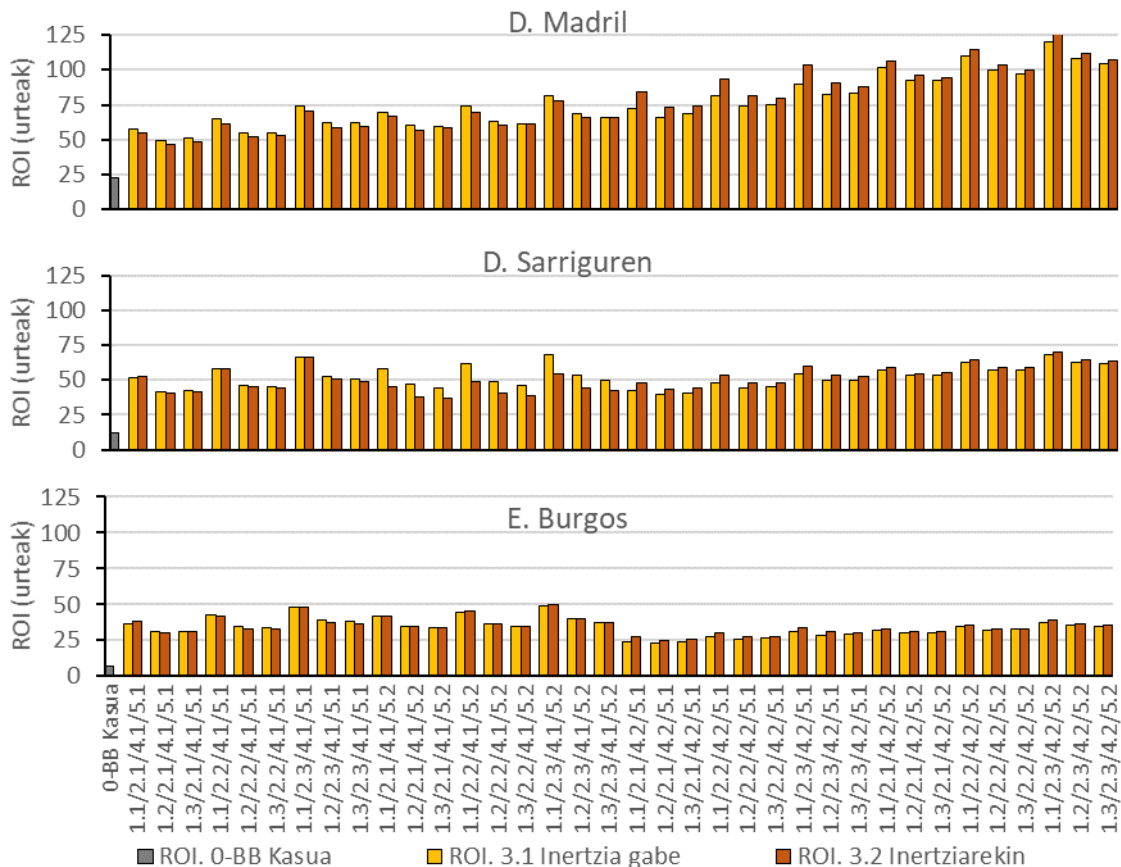
Kasu guztietan, ur-deposituen egokitasuna aireztapen-sistemaren araberakoa da: beroa berreskuratzen ez denean inertziak emaitzak zertxobait hobetzen baditu ere, beroa berreskuratuz gero, emaitzak okerragoak izatea eragiten du inertziak. Lehen aipatu bezala, bero-berreskurapena instalatzen denean, berreskuragailuan aurreberotutako airea ez hozteko, gauez airea ez da berotegitik pasatzen eraikinean sartu aurretik. Kasu horietan, ez da komeni biltegietan beroa gordetzea, bero horren zati bat galdu egingo bailitzateke gauez.

Jarraian, 4.17 Irudian inbertsioaren itzulera-epeen batezbestekoak agertzen dira Madrilen, Sarrigurenen eta Burgosen, inertzia-elementuak jartzen diren edo ez diren arabera.



4.17 Irudia. Inbertsioaren itzulera-epeen batezbestekoak Madril, Sarriguren eta Burgosen, inertziaren erabilerearen arabera.

Inertziarekin eta inertziarik gabe egindako inbertsioaren itzulkinen batezbestekoak oso antzekoak dira hiru hirietan. Konfigurazio bakoitzean zer gertatzen den ikusteko, 4.18 Irudian horietako bakoitzaren itzulera-epeak erakusten dira.

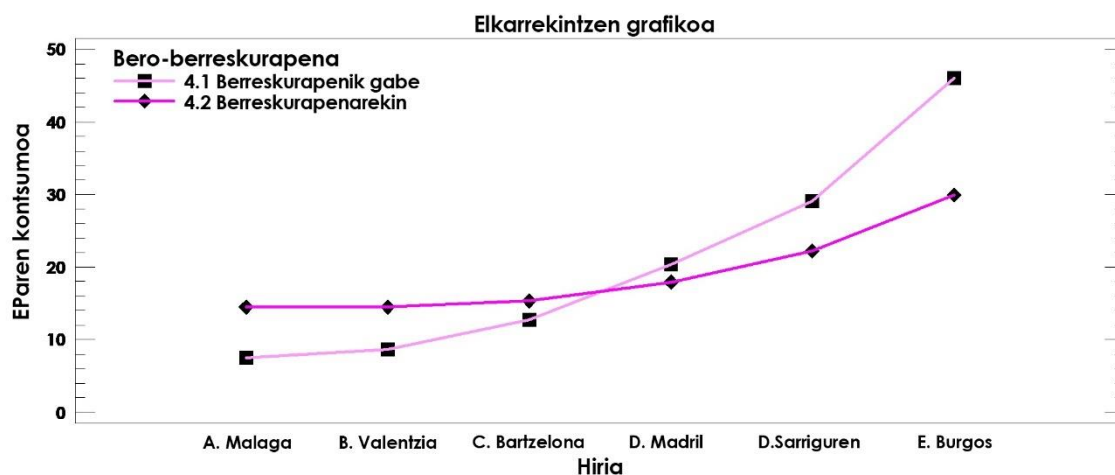


4.18 Irudia. Konfigurazio desberdinen inbertsioaren itzulera-epaek Madril, Sarriguren eta Burgosen, inertziaren erabilaren arabera taldekatuta.

Berotegiak inertziaz hornitzeko ur-deposituen kostua txikia denez, inbertsioaren itzulera-eparen hobekuntza ere bero-berreskurapena duen aireztatze-sistema instalatzearen edo ez instalatzearen arabera izango da. Orokorrean, beroa berreskuratu gabe (4.1 Aldaera, grafikoaren lehenengo erdia), inertziarekin gehiago aurrezten denez, ur-deposituak instalatzean inbertsioa amortizatzeko epea txikiagoa da. Bero-berreskurapenarekin (4.2 aldaera, grafikoaren bigarren erdia), aldiz, inertziarik gabe gehiago aurrezten da, eta, beraz, epeak laburragoak dira aukera horretan. Madrilen, orokorrean, inertzia erabiltzearen edo ez erabiltzearen arteko aldea Sarrigurenen baino handixeagoa da. Burgosen, aldeak oso txikiak dira.

Bero-berreskurapena

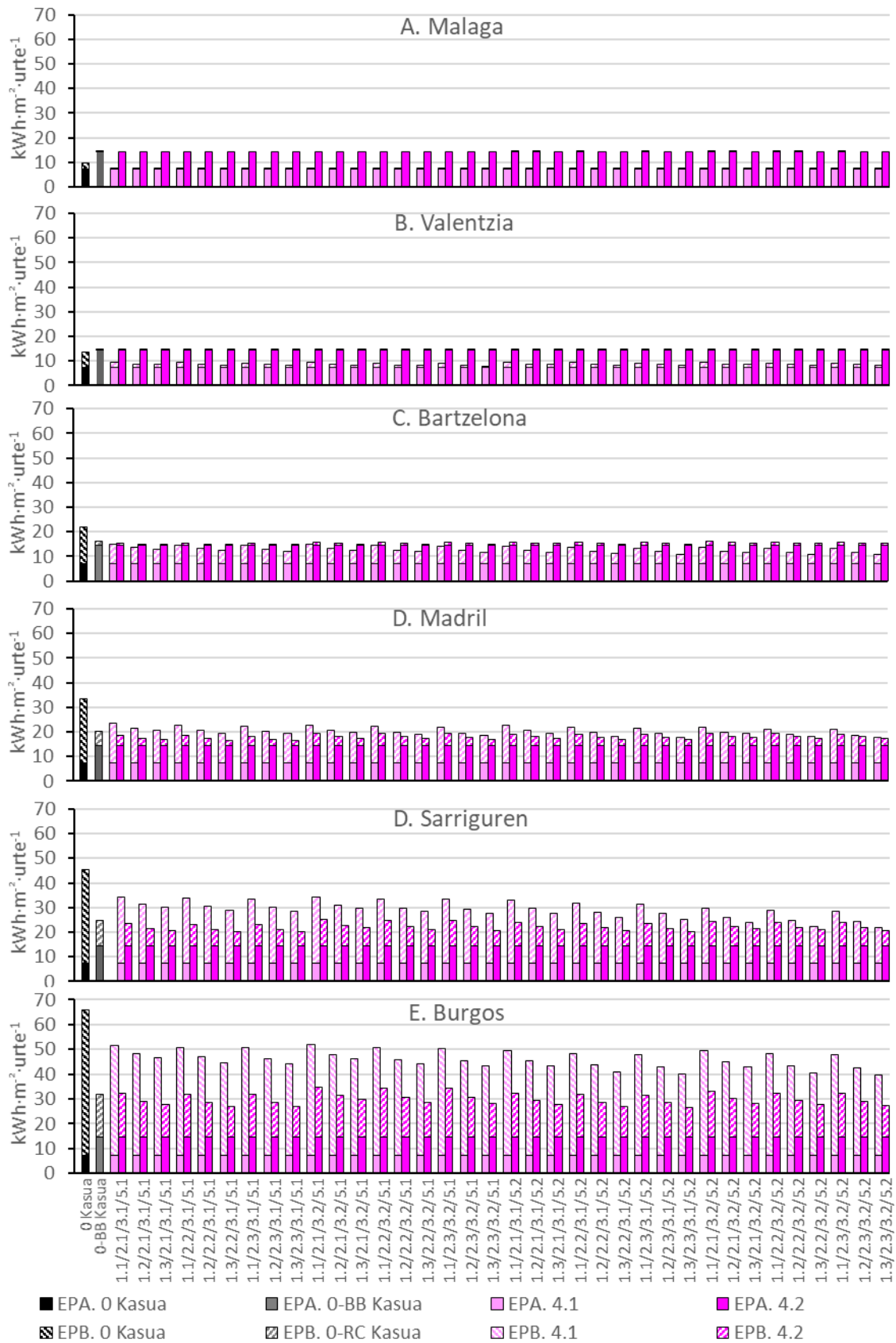
Klima eta aireztapen-sistemaren arteko elkarrenergina aztertzeko, 4.19 irudian eraikeko energia primarioaren kontsumoaren batezbestekoak hiri guztietan erakusten dira, berotegiaren batera bero-berreskurapena erabiltzen den edo ez den arabera.



4.19 Irudia. Hiri bakoitzean erabilitako aireztapen sistemaren arabera lortutako energia primarioaren kontsumoen batezbestekoak ($\text{kWh} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{urte}^{-1}$).

Klima epeletan ez dela komeni bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema bat erabiltzea argi erakusten du 4.19 Irudiak, energia primarioaren kontsumo totalak handiagoak baitira. Klima epel horietan, bero-berreskurapenarekin, ia desagertu egiten da berokuntzaren kontsumoa. Hala ere, berreskurapen-sistema bat instalatzeak haizagailuetan gehiago kontsumitzea dakar. Berokuntza-eskaria oso txikia denez, berokuntzan lortutako aurrezkiek ez dute konpentsatzen haizagailuen kontsumo handiagoa. Neguko klimaren gogortasuna handitu ahala, berokuntza-eskaria handitu egiten da, eta gero eta egokiagoa da beroa berreskuratzea. Madrilen, bero-berreskurapena erabiltzen denean, kontsumoen batezbestekoa berreskurapenik gabekoa baino txikiagoa da. Sarrigurenen, bero-berreskurapena duen sistemaren aldeko diferentzia esanguratsua da, eta Burgosen, energia-aurrezpen ahalik eta handienak lortzeko faktore erabakigarria bihurtzen da.

4.20 Irudian, berotegi-konfigurazio bakoitzaren arabera, eraikinaren energia primarioaren kontsumoak erakusten dira, emaitzak erabilitako aireztapen-sistemaren arabera antolatzen direlarik.



4.20 Irudia. Hiri bakoitzean, konfigurazio desberdinen arabera, energia primarioaren urteko kontsumoa, beroberreskurapena erabiltzen den edo ez den arabera taldekatuta.

EPA: energia primarioa, aireztapen-sistemaren haizagailuetan; EPB: energia primarioa, berokuntzan.

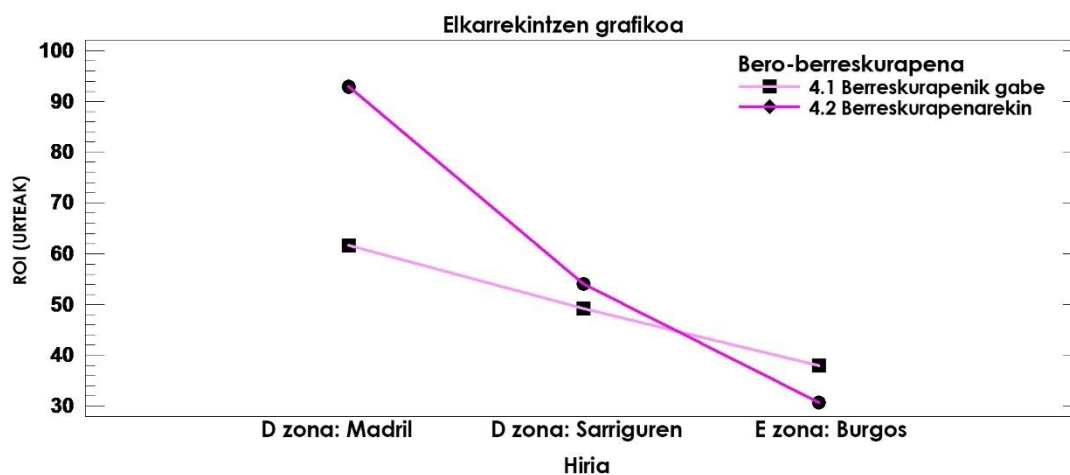
Berokuntza-eskari txikia dagoen klima epeletan, aireztapen-sistemaren haizagailuen kontsumoa berokuntzarena baino nabarmen handiagoa da. Kontuan izan behar da hautatutako eraikinak, ETK klima-zona horietan ezarritako isolamendua baino askoz ere gehiago duela, eta horrek berokuntza-eskaria txikia izatea dakar. A eta B klimazonetan (Malaga eta Valentzian), berotegirik gabeko eraikinaren kontsumoa (0 Kasua) eta berotegirik ez baina bero-berreskurapena duen eraikinarena (0-BB Kasua) alderatuz gero, berreskuragailua gehitzeak eraikinaren energia primario totalaren kontsumoa nabarmen handitzea dakarrela ikusten da. Gauza bera gertatzen da berotegietako edozeinekin batera instalatzen bada (4.2 Aldaera). Beroa berreskuratzean, berokuntza-kontsumoa minimoa da, edo, kasu batzuetan, desagertu egiten da. Hala ere, haizagailuena bikoiztu egiten da. Berokuntza-eskaria oso txikia denez, berreskuragailuaren instalazioaren ondorioz lortzen diren berokuntza-aurrezkiek ez dute konpentsatzen elektrizitate-kontsumo handiagoa, eta, beraz, eraikinaren guztizko kontsumoa handitu egiten da. Hortaz, argi geratzen da klima epel horietan ez dela komeni bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema bat erabiltzea.

Bartzelonako kasuan (C zona), Malagan eta Valentzian ez bezala, bero-berreskurapena instalatzeak (0-BB kasua) hobekuntza energetikoa dakar. Klima honetan, berokuntza-eskaria zertxobait handiagoa da, eta, beraz, berokuntzan lortutako aurrezkiek aireztapen-sistemaren energia-kontsumo handiagoa konpentsatzen dute. Hala ere, berotegiekin batera bero-berreskurapena jartzea ez da komenigarria, bere energia primarioaren kontsumoa, berotegiak bero-berreskurapenik gabe instalatzen direnean baino handiagoa delako.

Madriren (D zona), beroa berreskuratzen duen sistema bat erabiltzeak energia-kontsumo txikiagoa dakar dagoeneko, are gehiago berotegiekin konbinatzen bada. Sarrigurenen, D klima-zonan hau ere, beroa berreskuratzearen aldeko diferentzia Madriren baino handiagoa da.

Burgosen (E zona), bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema bat instalatzen den kasuetan lortutako energia-kontsumoak nabarmen txikiagoak dira. Berotegirik gabe, bero-berreskurapena instalatze hutsarekin (0-BB kasua), eraikineko kontsumoak, bero-berreskurapenarekin konbinatzen ez den edozein berotegi-konfigurazioarenak baino txikiagoak dira. Klima hotzetarako, beraz, bero-berreskurapena instalatzea funtsezko faktorea da energia aurrezteko. Beroa berreskuratzeaz gain, berotegiak instalatzen badira, aurrezkiak are handiagoak dira, benetan garrantzitsuak izatera heltzen direlarik.

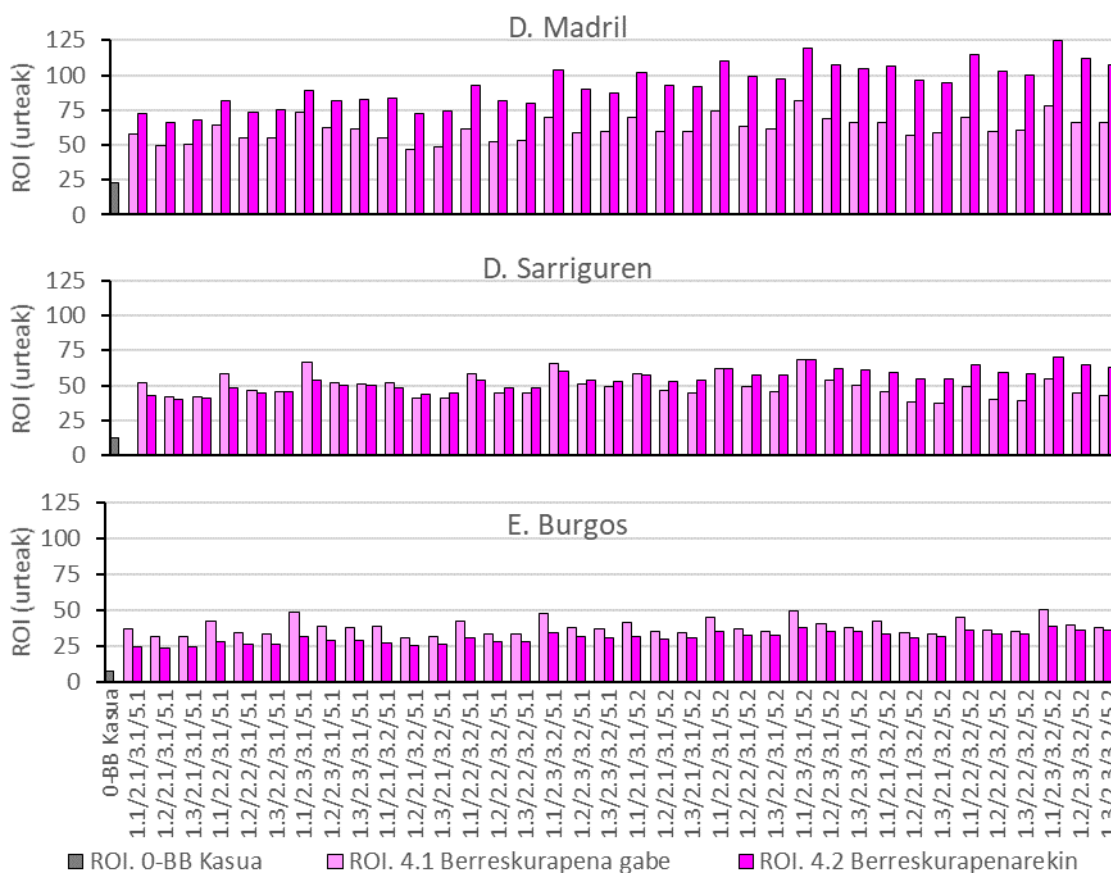
4.21 Irudiak konfigurazioen itzulera-epeen batezbestekoak alderatzen ditu, Madril, Sarriguren eta Burgosen bero-berreskurapenarekin eta berreskuratutako gabe.



4.21 Irudia. Inbertsioaren itzulera-epoen batezbestekoak Madril, Sarrioren eta Burgosen, bero-berreskurapenaren erabileraren arabera.

Madrilen inbertsioaren itzulera-epaek bero-berreskurapenik gabe askoz laburragoak dira. Sarriorenen batezbestekoak nahiko hurbil daude, baina oraindik ere baxuagoa da berreskurapenik gabe. Burgosen, beroa berreskuratzen denean batezbestekoa laburragoa da dagoeneko. Horrela, neguko klimaren gogortasuna handitu ahala epeak berdinduz doazela ikus daiteke, harik eta gune klimatiko hotzengan berreskurapena duten konfigurazioen batezbestekoa txikiagoa den arte.

4.22 Irudian, berotegiko konfigurazio guztien inbertsioaren itzulera-epaek bistaratzen dira, bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema bat instalatzen den ala ez kontuan hartuta multzokatzen direlarik.



4.22 Irudia. Konfigurazio desberdinen inbertsioaren itzulera-epeak Madril, Sarriguren eta Burgosen, bero-berreskurapenaren erabilerearen arabera taldekatuta.

Madrilen (D zona), berotegiak bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema batekin konbinatzeak oso epe luzeak suposatzen ditu. Beroa berreskuratutako gabe, itzulera-aldiak askoz laburragoak dira, eta 47 urteraino jaisten dira berotegi-konfigurazio onenarekin.

Sarrigurenen, D eremuan ere egon arren, itzulera-aldiak nabarmen txikiagoak dira; izan ere, lehen ikusi den bezala, aurrezpen energetikoak Madrilen baino handiagoak dira. Gainera, inbertsioaren itzulera-epeak bero-berreskurapenarekin eta berreskurapenik gabe antzekoak dira. Are gehiago, hainbat konfiguraziotan itzulerak txikiagoak dira dagoeneko bero-berreskurapenarekin. Kasurik onenean 37 urteko epea lortzen da.

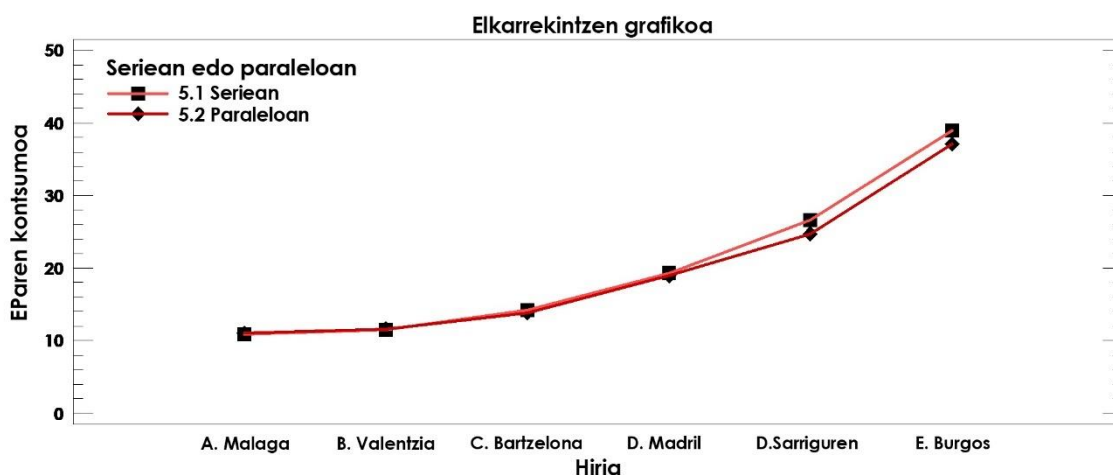
Burgosen (E zona) itzulera-epeak txikiagoak dira konfigurazio guztietan berotegiak beroa berreskuratzeko sistemekin konbinatzen direnean. Berotegiaren konfigurazio hoberekin, itzulera-epea 23 urtera jaisten da.

Nolanahi ere, kontuan hartu behar da hiru hirietan berotegirik gabe, bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema bat solik jartzeak (0-BB Kasua) berotegi horietako edozein instalatzea baino itzulera-epe askoz laburragoak dakartzala. Hala

ere, berotegi-konfigurazio onenekin baino gutxiago aurrezten da, eta hori, kontuan hartu beharreko alderdia da ere.

Seriean edo paraleloan

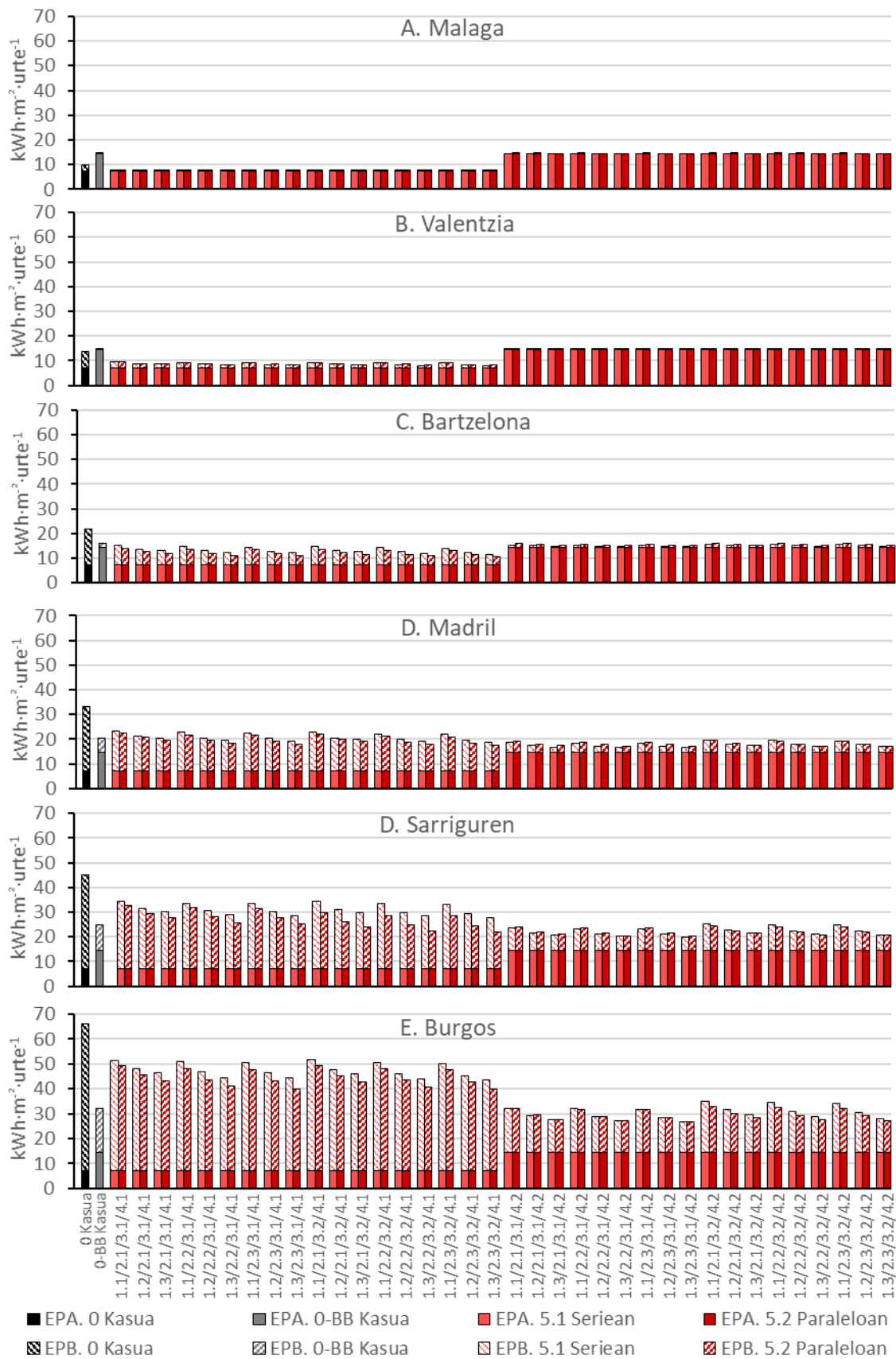
Moduluak seriean edo paraleloan jartzeak eraikinaren energia-kontsumoan duen eragina aztertu ahal izateko klima-zona desberdinetan, 4.23 Irudian, hautatutako sei hirietako aukera bakoitzaren batezbestekoak agertzen dira.



4.23 Irudia. Hiri bakoitzean moduluak seriean edo paraleloan instalatzen diren arabera lortutako energia primarioaren kontsumoen batezbestekoak ($\text{kWh} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{urte}^{-1}$).

Klima epelenetan, moduluak seriean instalatzearen edo paraleloan instalatzearen arteko kontsumo batezbestekoaren aldea minimoa da. Pixkanaka, neguko klimaren gogortasuna handitu ahala, aldeak gero eta handiagoak dira, batez besteko kontsumoak txikiagoak direlarik paraleloan.

Moduluak jartzeko moduaren eraginean sakontzeko, 4.24 Irudian konfigurazio guztien energia primarioaren kontsumoak aurkezten dira, bikoteka ordenatuta, seriean eta paraleloan jarritako kasuak alderatu ahal izateko.

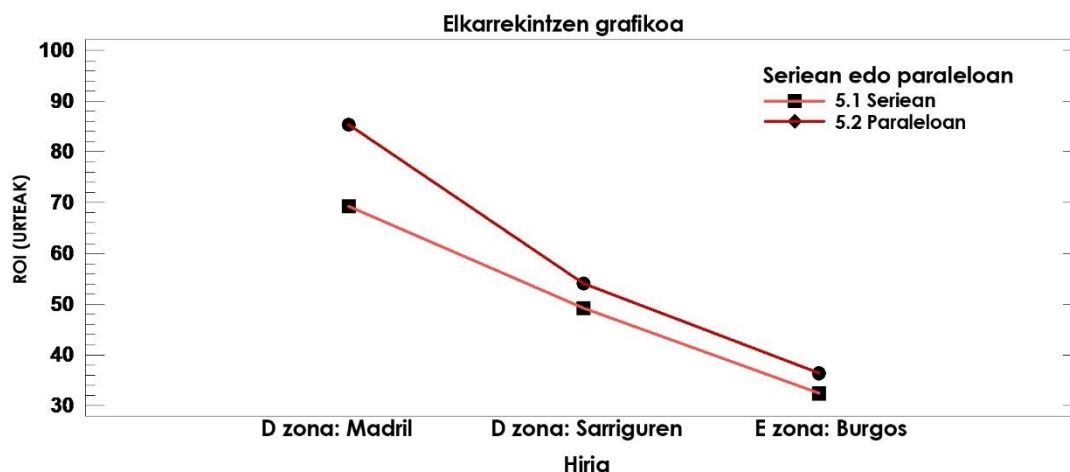


4.24 Irudia. Hiri bakoitzean, konfigurazio desberdinen arabera, energia primarioaren urteko kontsumoa, moduluak seriean edo paraleloan jartzen diren arabera taldekatuta.

EPA: energia primarioa, aireztapen-sistemaren haizagailuetan; EPB: energia primarioa, berokuntzan.

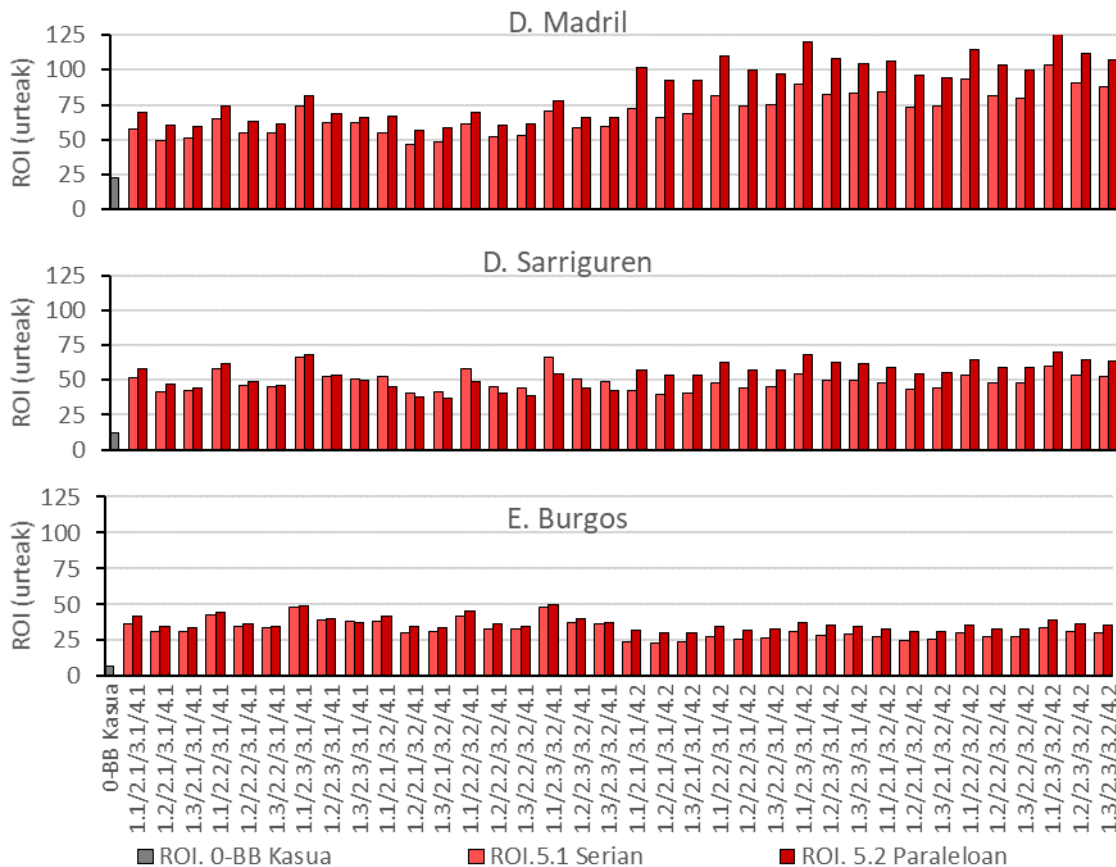
Beroa berreskuratzen duen aireztatze-sistematik erabiltzen ez denean (4.1 Aldaera), moduluak paraleloan jartzeak kontsumo txikiagoa dakar. Beroa-berreskurapenarekin (4.2. Aldaera), paraleloan edo seriean jartzearen arteko aldeak askoz txikiagoak dira, eta konfigurazio batzuetan seriean kontsumo txikiagoak lortzen dira.

Moduluak instalatzeko moduak inbertsioaren itzuleran zer eragin duen aztertzeko, 4.25 Irudian Madril, Sarriguren eta Burgosen inbertsioa berreskuratzeko epeen batezbestekoak agertzen dira.



4.25 Irudia. Inbertsioaren itzulera-epeen batezbestekoak Madril, Sarriguren eta Burgosen, moduluak seriean edo paraleloan jartzen diren arabera.

Inbertsioaren itzulera-batezbestekoak nabarmen altuagoak dira paraleloan, aldaera hori garestiagoa baita. Hala ere, Madrilen aldeak handiak diren bitartean, klimaren gogortasuna handitu ahala, aldeak murrizten doaz. Konfigurazio bakoitzean zer gertatzen den aztertzeko, 4.26 Irudian berotegi guztien itzulera-epeak erakusten dira, instalazio-moduaren arabera multzokatuta.



4.26 Iruia. Konfigurazio desberdinen inbertsioaren itzulera-epeak Madril, Sarriguren eta Burgosen, moduluak seriean edo paraleloan jartzen diren arabera taldekatuta.

Berreskurapena erabiltzen ez denean (4.1 Aldaera), paraleloan instalatzeak kostu handiagoa duen arren, kontsumoak seriean baino txikiagoak direnez, epeak antzekoak dira instalatzeko bi moduetan. Bero-berreskurapenarekin (4.2 Aldaera), itzulera-epeak nabarmen txikiagoak dira moduluak seriean instalatzen direnean. Kasu honetan, moduluak seriean edo paraleloan instalatzearen artean energia-kontsumoan dauden aldeak txikiak dira, eta seriean jartzeak kostu txikiagoa dakarrenez, itzulera-epeak txikiagoak dira.

Madrilen, itzulerak askoz txikiagoak dira moduluak seriean instalatzen direnean, batez ere beroa berreskuratzen denean. Sarrigurenen, moduluak instalatzeko moduaren artean ez dago hainbesteko alderik. Bero-berreskurapena ez duten konfigurazio batzuetan, paraleloan instalatzen direnean, epea laburragoa izatera ailegatu da. Burgosen ere ez dago alde handirik, baina, oro har, epeak zertxobait txikiagoak dira seriean.

4.1.3. ONDORIO PARTZIALAK. KONFIGURAZIORIK ONENAK

Atal honetan frogatu ahal izan da klimak eragin handia duela berotegien aurrezki-potentzian. Neguko klimaren gogortasuna zenbat eta handiagoa izan, orduan eta

aurrezpen handiagoak lortzen dira negutegiak erabiltzean. Klima hotzagoa den heinean aurrezkiak handitzen direnez, inbertsioaren itzulera-epeak ere murrizten dira. Era berean, zenbat eta eguzki-erradiazio handiagoa izan, orduan eta aurrezpen handiagoak lortzen direla egiaztatu da. Beraz, berotegi hauen portaerarik onena, klima hotz eta eguzkitsuetan gertatuko da.

Baldintza klimatikoek berotegiaren ezaugarri optimoetan eragina dutela frogatu ahal izan da. Klima batzuetan aurrezpen handiagoak dakartzaten faktoreak ez dira egokiak besteetan, eta, beraz, konfigurazio optimoak aldatu egiten dira klimaren arabera. 4.2 Taulan hiri bakoitzaren konfigurazio onenekin lortutako kontsumoak eta aurrezkiak erakusten dira, baita inbertsioaren itzulera-epeak ere. Hiri bakoitzeko 0 Kasuaren eta 0-BB kasuaren kontsumoa ere erakusten da.

4.2 Taula. Berotegien konfigurazio onenen energia kontsumo totalak, energia aurrezki totalak eta inbertsioaren itzulera-epeak.

| Klima-zona | Konfigurazioa | Kontsumoak | Aurrezkiak | ROI | |
|-------------------------------|---------------|--|--|---------------------------------|-----|
| Hiria | | kWh m ⁻² urte ⁻¹ | kWh m ⁻² urte ⁻¹ | Urteak | |
| A zona: Malaga | 0 Kasua | 9,75 | - | - | |
| | 0-BB Kasua | 14,45 | Aurrezkirik ez | Ez da inbertsioa berreskuratzen | |
| | Aurrezkiak > | 1.3 2.3 3.2 4.1 5.1 | 7,24 | 2,51 | 730 |
| | ROI < | 1.2 2.1 3.2 4.1 5.1 | 7,32 | 2,43 | 533 |
| | | | | | |
| B zona: Valentzia | 0 Kasua | 13,66 | - | - | |
| | 0-BB Kasua | 14,67 | Aurrezkirik ez | Ez da inbertsioa berreskuratzen | |
| | Aurrezkiak > | 1.3 2.3 3.2 4.1 5.1 | 7,96 | 5,70 | 158 |
| | ROI < | 1.2 2.1 3.2 4.1 5.1 | 8,50 | 5,15 | 121 |
| | | | | | |
| C zona: Bartzelona | 0 Kasua | 21,96 | - | - | |
| | 0-BB Kasua | 16,07 | 5,89 | 108 | |
| | Aurrezkiak > | 1.3 2.3 3.2 4.1 5.2 | 10,64 | 11,32 | 91 |
| | ROI < | 1.2 2.1 3.2 4.1 5.1 | 13,09 | 8,87 | 72 |
| | | | | | |
| D zona: Madril | 0 Kasua | 33,32 | - | - | |
| | 0-BB Kasua | 20,33 | 12,98 | 23 | |
| | Aurrezkiak > | 1.3 2.3 3.1 4.2 5.1 | 16,54 | 16,78 | 83 |
| | ROI < | 1.2 2.1 3.2 4.1 5.1 | 20,57 | 12,74 | 47 |
| | | | | | |
| D zona: Sarriguren | 0 Kasua | 45,24 | - | - | |
| | 0-BB Kasua | 24,78 | 20,46 | 12 | |
| | Aurrezkiak > | 1.3 2.3 3.1 4.2 5.1 | 20,01 | 25,24 | 50 |
| | ROI < | 1.3 2.1 3.2 4.1 5.2 | 24,03 | 21,22 | 37 |
| | | | | | |
| E zona: Burgos | 0 Kasua | 66,09 | - | - | |
| | 0-BB Kasua | 31,98 | 34,11 | 7 | |
| | Aurrezkiak > | 1.3 2.3 3.1 4.2 5.2 | 26,56 | 39,54 | 35 |
| | ROI < | 1.2 2.1 3.1 4.2 5.1 | 29,11 | 36,98 | 23 |
| | | | | | |

Logikoa den bezala, klimaren neguko gogortasuna handiagoa den heinean, energia primarioaren kontsumoak gero eta handiagoak direla erakusten dute emaitzek. Era berean, berotegiak instalatzean, gero eta energia-aurrezpen handiagoak lortzen dira, eta, ondorioz, egindako inbertsioaren itzulera-epeak gero eta laburragoak dira. Malagan, konfigurazio onenarekin, urtero 2,51 kWh·m⁻² soilik aurreztea lortzen den bitartean, Burgosen urtero 39,54 kWh·m⁻² aurreztea lortzen da. Klima epeletan, hasierako inbertsioa ez da berreskuratzen edo epeak oso altuak dira, eta, beraz, ez da komeni horrelako berotegiak erabiltzea. Klima hotzenetan, berriz, itzulera-epeak interesgarriagoak izaten hasten dira, Burgosen epeak 23 urtera jaitsi arte.

Energiaren ikuspegitik, berotegiaren konfigurazio optimoak aldatu egiten dira hiri bakoitzeko klimaren arabera. Klima guztietan aurrezpen handiagoa lortzen da emisibitate baxuko beira bikoitzarekin (1.3. Aldaera). Bistan denez, inguratzaile opakua

zenbat eta gehiago isolatu, orduan eta gehiago aurreztuko da; beraz, leku guztietan emaitzarik onenak 24 cm-ko isolamenduarekin lortzen dira (2.3 Aldaera). Gainerako aldagaiak klima-zonaren arabera aldatu egiten dira. Klima-zona epelenetan bero-berreskurapena erabiltzea ez da komeni. Klima horietako berokuntza-eskaria hain da txikia, berokuntzan lortutako aurrezkiek ez dutela aireztapen-sistema horren kontsumo handiagoa konpentsatzen, eta, beraz, Malaga, Valentzia eta Bartzelonan, energia-aurrezpen handienak 4.1 aldaerarekin lortzen dira. Aldea txikia bada ere, Malagan eta Valentzian, konfiguraziorik onena energia-aurrezkiari dagokionez, moduluak seriean instalatzean lortzen da (5.1 Aldaera); Bartzelonan, aldiz, paraleloan instalatzeak (5.2 Aldaera), emaitzak zertxobait hobetzen ditu. D klima-zonatik aurrera, bero-berreskurapena erabiltzea komeni da energia-aurrezkiaren ikuspegitik. Gainera, klima hotzagoa den heinean, bere instalazioak gero eta eragin handiagoa du. Madrilen eta Sarrigurenen emaitza onenak berreskurapenarekin eta seriean lortzen dira (4.2/5.1 aukera); Burgosen, berriz, berreskurapenarekin baina paraleloan (4.2/5.2 aukera). Ikusi dugunez, bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema bat instalatzen den ala ez kontuan hartuta, inertzia komenigarria izango da edo ez. Hori dela eta, beroa berreskuratzea komeni ez den A, B eta C klima-zonetan, inertiak (3.2. Aldaera) emaitzak hobetzen ditu, eta gainerako klimetan, bero-berreskurapenarekin aurrezki handiagoak lortzen direnez, inertzia ez da gomendagarria.

Inbertsioaren itzuleraren ikuspuntutik, hiri guztietako konfigurazio onenak beira bikoitzarekin lortzen dira (1.2 Aldaera) Sarrigurenen izan ezik, non emisibitate baxuko beira bikoitzarekin lortzen baitira (1.3 Aldaera). Itzulera-epeetan, bi beira mota horien arteko aldeak txikiak dira; beraz, luzarora begira, nahiz eta hasieran inbertsioa handiagoa egin behar izan, emisibitate baxuko beira erabiltzea komenigarritzat jotzen da, urtero aurrezki handiagoak lortzen direlako. Inguratzaile opakua isolamenduari dagokionez, epe laburrenak 8 cm-ko lodierako isolamenduarekin ematen dira (2.1 Aldaera). Lodiera desberdinen arteko aurrezki-aldeak oso txikiak dira, eta kostu-aldeak, berriz, nabarmenak. Beraz, alderdi energetiko eta ekonomikoak kontuan hartuta, 2.1 Aldaera egokiena dela uste da. Inertziari dagokionez, ur-deposituak erabiltzea (3.2 Aldaera) beroa berreskuratzen ez denean soilik komeni da. Burgosen izan ezik, itzulera-epeak txikiagoak dira beroa berreskuratzen ez denean. Hala ere, Madrilen eta, batez ere, Sarrigurenen, energia gehiago aurrezten da bero-berreskurapenarekin. Beraz, bi alderdi horiek kontuan hartu beharko dira berotegia aukeratzeko orduan. Burgosen, inbertsioaren itzulera-eperik laburrenak berreskurapenarekin lortzen dira (4.2 aldaera), baina, energia-aurrezkien aukerarik hoberenean ez bezala, irtenbiderik onena seriean da paraleloan izan beharrean. Paraleloan instalatzea garestiagoa denez, seriean inbertsioa lehenago berreskuratzen da.

4.2. EKT BETETZEKO BEROTEGIEN ERABILERAREN AZTERKETA

4.2.1. ERABILITAKO METODOLOGIA

Aurreko atalean, klima-zona desberdinetan berotegia ebaluatzeko, ezaugarri termiko berberak dituen bizitegi-eraikin bera hartu da abiapuntutzat. Horrela, klima-zona desberdinetan aukeratutako hirietan, eraikin horretan lortzen diren aurrezkiak konparatu ahal izan dira. Hala ere, EKTk eraikinek izan behar dituzten energia-eskaria kontrolatzeko baldintzak beren klima-zonaren arabera bereizten ditu [9]. Eskatutako transmitantzia eta hermetikotasun mugak aldatu egiten dira klima-zonaren arabera. Gauza bera gertatzen da energia-kontsumoaren mugaketarekin. Neguko klimaren gogortasuna zenbat eta handiagoa izan, orduan eta handiagoa da energia primarioaren kontsumoaren muga-balioa, bai berriztagarria ez dena ($C_{ep,nren\ lim}$), bai totala ($C_{ep,tot\ lim}$). 4.3 Taulan EKTk bizitegi-erabilera pribaturako klima-zonaren arabera ezarritako balioak laburbiltzen dira.

4.3 Taula. Energia-kontsumoaren mugako balioak, EKTren HE 0 oinarrizko dokumentuaren arabera.

| | Neguko klima-zona | | | | | |
|--|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | α | A | B | C | D | E |
| EKTren HE-0 | | | | | | |
| Energia primario berriztaezinaren kontsumoa | | | | | | |
| $C_{ep,nren\ lim}$ (kWh·m ⁻² ·urte ⁻¹) | ≤20 | ≤25 | ≤28 | ≤32 | ≤38 | ≤43 |
| Energia primarioaren kontsumo totala | | | | | | |
| $C_{ep,tot\ lim}$ (kWh·m ⁻² ·urte ⁻¹) | ≤40 | ≤50 | ≤56 | ≤64 | ≤76 | ≤86 |

EKTren arabera, honako zerbitzu hauek sartzen dira muga-kontsumo horietan: berokuntza, hozte-sistema, aireztapena, ur bero sanitarioa eta hezetasunaren kontrola, baina, bizitegi-erabilera pribatuan, argiztapena kanpoan geratzen da.

EKTk klima-zona bakoitzerako, inguratzaile termikoan zehar, gehieneko bero-transmisioaren koefiziente global bat ezartzen du ($k_{globala}$). Orain arte aztertutako eraikinaren bero-transmisioaren koefiziente globala, D klima-zonarako EKTk ezarritako muga baino txikiagoa da. 50 Pa-ko presioarekin aire-aldaketaren erlazioaren muga-balioa ere askoz txikiagoa da, eta, beraz, eraikinak, Sarrigurentzako eskatutakoak baino isolamendu eta hermetikotasun handiagoak dituela esan daiteke. Hala ere, Burgosen (E zona), azterketa-kasua askoz hermetikoagoa izan arren, eskatutako transmisio-muga globala ez du betetzen, gutxiगतik bada ere. Almerian, Valentzian eta Bartzelonan (A, B eta C zonak), aldiz, bero-transmisioaren koefizientea, ezarritako muga

baino askoz txikiagoa da eta beraz, eraikina gehiegi isolatuta dago klima epel horietan. Hermetikotasun-maila ere askoz handiagoa da.

Berotegi horiek EKT betetzen nola laguntzen duten egiaztatzeko, eraikina hiri bakoitzean ez da bakarrik ezaugarri termiko berberekin aztertuko. EKTk klima-zona bakoitzean ezartzen dituen energia-eskaria kontrolatzeko muga-baldintzetan ere aztertuko da. Beraz, berotegi horiek egungo EKTra egokitzen diren eraikinetan duten eragina ebaluatuko da. 4.4 Taulan, aztertu diren eraikinaren bi konfigurazioak agertzen dira, eta 4.5 Taulan EKTk klima-zona bakoitzerako ezarritako mugak eta eraikinean muga horretara egokitzeko hartutako balioak. Inguratzailearen transmitantzia batzuk murriztu egin dira mugekiko, bero-transmisioaren koefiziente globala (k_{globala}) bete ahal izateko.

4.4 Taula. Aztertutako eraikinaren konfigurazioak

| Eraikinaren konfigurazioa | Ezaugarriak |
|----------------------------------|---|
| 1 Eraikina | Orain arte analisatutako azterketa-kasua. Bere ezaugarriak 3.1 Taulan laburbiltzen dira. |
| 1-HE1 Eraikina | Azterketa-kasua, baina bere inguratzailea, klima-zona bakoitzean EKTk ezarritako energia-eskaria kontrolatzeko muga-baldintzetara egokitzen denean, 4.5 Taulan agertzen den bezala. |

4.5 Taula. 1-HE1 Eraikineko energia-eskaria mugatzeko muga-balioak, klima-eremuaren arabera

| | A zona Malaga | | B zona Valentzia | | C zona Bartzelona | | D zona Sarriguren Madril | | E zona Burgos | |
|--|------------------|-------------|---------------------|-------------|----------------------|-------------|--------------------------------|-------------|------------------|-------------|
| | Eraikina | EKT muga | Eraikina | EKT muga | Eraikina | EKT muga | Eraikina | EKT muga | Eraikina | EKT muga |
| Transmitantzia termikoaren muga-balioak, U_{muga} [$W\ m^{-2}\ K^{-1}$] | | | | | | | | | | |
| Fatxadak U_M | 0,53 | $\leq 0,7$ | 0,53 | $\leq 0,56$ | 0,49 | $\leq 0,49$ | 0,41 | $\leq 0,41$ | 0,37 | $\leq 0,37$ |
| Kanpoko zorua US | 0,53 | $\leq 0,7$ | 0,53 | $\leq 0,56$ | 0,49 | $\leq 0,49$ | 0,41 | $\leq 0,41$ | 0,37 | $\leq 0,37$ |
| Lokalekiko partizioak | 0,53 | $\leq 0,80$ | 0,53 | $\leq 0,75$ | 0,49 | $\leq 0,70$ | 0,55 | $\leq 0,65$ | 0,37 | $\leq 0,59$ |
| Estalkiak | 0,41 | $\leq 0,50$ | 0,41 | $\leq 0,44$ | 0,38 | $\leq 0,40$ | 0,35 | $\leq 0,35$ | 0,33 | $\leq 0,33$ |
| Baoak | 2,6 | $\leq 2,7$ | 2,3 | $\leq 2,3$ | 2,1 | $\leq 2,1$ | 1,8 | $\leq 1,80$ | 1,8 | $\leq 1,80$ |
| Inguratzaile termikoan zehar bero-transmisioaren koefizientea (K)^a [$W\ m^{-2}\ K^{-1}$] | | | | | | | | | | |
| $K_{gloabala}$ | 0,63 | $\leq 0,63$ | 0,61 | $\leq 0,61$ | 0,56 | $\leq 0,56$ | 0,51 | $\leq 0,51$ | 0,46 | $\leq 0,46$ |
| Eguzki-kontrolaren parametroaren muga-balioa [$kWh\ m^{-2}\ hilabete^{-1}$] | | | | | | | | | | |
| Q_{solju} | 2 | ≤ 2 | 2 | ≤ 2 | 2 | ≤ 2 | 2 | ≤ 2 | 2 | ≤ 2 |
| Inguratzaile termikoaren baoen airearekiko iragazkortasunaren muga-balioa^b [$m^3\ h^{-1}\ m^{-2}$] | | | | | | | | | | |
| $Q_{100,muga}$ | 27 | ≤ 27 | 27 | ≤ 27 | 9 | ≤ 9 | 9 | ≤ 9 | 9 | ≤ 9 |
| 50 Pa-ko presioarekin aire-aldaketa erlazioaren muga-balioa, n_{50} [h^{-1}]^c | | | | | | | | | | |
| N_{50} | 6 | ≤ 6 | 6 | ≤ 6 | 6 | ≤ 6 | 6 | ≤ 6 | 6 | ≤ 6 |
| Barneko partizioen gehieneko transmitantzia termikoa, U_{muga} [$W\ m^{-2}\ K^{-1}$] | | | | | | | | | | |
| Erabilera bereko unitateen artean, horizontalean | 1,8 | $\leq 1,80$ | 1,55 | $\leq 1,55$ | 1,35 | $\leq 1,35$ | 1,2 | $\leq 1,20$ | 1 | ≤ 1 |
| Erabilera bereko unitateen artean, bertikalean | 1,4 | $\leq 1,40$ | 1,2 | $\leq 1,20$ | 1,2 | $\leq 1,20$ | 1,2 | $\leq 1,20$ | 1 | ≤ 1 |
| Erabilera desberdineko unitateen artean Erabilera-unitateen eta eremu komunaren artean | 1,25 | $\leq 1,25$ | 1,1 | $\leq 1,10$ | 0,95 | $\leq 0,95$ | 0,85 | $\leq 0,85$ | 0,7 | $\leq 0,70$ |

^a Tarteko trinkotasunen muga-balioak ($1 < V/A < 4$) interpolazioaren bidez lortzen dira. Kasu honetan, $V/A = 1,57$

^b Adierazitako iragazkortasuna 100 Pa-eko gainpresioarekin neurtutakoa da, Q_{100} .

^c Tarteko trinkotasunen muga-balioak ($2 < V/A < 4$) interpolazioaren bidez lortzen dira. Kasu honetan, $V/A = 1,57$

Hiri bakoitzean berotegirik gabe lortutako energia-kontsumoak eta berotegiko konfigurazio optimoekin lortutakoak aztertuko dira, bai energia aurreztearen ikuspuntutik, bai inbertsioaren itzuleraren ikuspuntutik. Orain arte bezala, berokuntzaren eta aireztapen-sistemako haizagailuen energia primarioaren kontsumoaren batura kuantifikatuko da. Kontsumo horri, gainera, etxeko ur beroaren kontsumoa gehitu zaio. Horrela, kontsumo osoa ETK eskatutakoa baino txikiagoa izatea lortzen den egiaztatuko da. Azterketa-kasuak, Sarrigurenen dagoenez, ez du hozte-sistematik, eta, beraz, ez da haren kontsumoa zenbatuko. Hala ere, klima beroenetan beharrezkoa

izango litzateke hozte-sistemak instalatzea, eta kontuan hartu beharko lirateke energia primarioaren kontsumoak kuantifikatzeko orduan, EKT betetzen dela egiaztatzeko.

4.2.2. EMAITZAK

4.6 Taulan, eraikinaren berokuntzari eta aireztapen-sistemaren eragiketari dagokienez, berotegi-konfigurazio onenetan lortutako energia kontsumo eta aurrezkiak ageri dira, klima-zona bakoitzean hautatutako hirietan. Aldi berean, inbertsioaren itzulera-epeak ere erakusten dira. Era berean, berotegirik gabeko eta bero-berreskurapenik gabeko eraikinaren kontsumoa (0. Kasua) eta berotegirik gabeko baina bero-berreskurapena duen eraikinarena (0-BB Kasua) erakusten dira.

4.6 Taula. Berotegiko konfigurazio onenen berokuntzako eta haizagailuen eragiketako energia primarioaren kontsumoa, energia primarioaren aurrezkiak eta inbertsioaren itzulera-epeak, 0. kasuarekin eta 0-BB kasuarekin alderatuta.

| Klima-zona | Konfigurazioa | 1 Eraikina | | | 1-HE1 Eraikina | | | |
|-------------------------------------|---------------|--|------------|-------------|--|------------|-------------|-----|
| | | Kontsumoak kWh m ⁻² urte ⁻¹ | Aurrezkiak | ROI urte | Kontsumoak kWh m ⁻² urte ⁻¹ | Aurrezkiak | ROI urte | |
| A Zona: Malaga | 0 Kasua | 9,75 | - | - | 15,90 | - | - | |
| | 0-BB Kasua | 14,45 | - | - | 16,20 | - | - | |
| | Aurrezkia > | 1.3 2.3 3.2 4.1 5.1 | 7,24 | 2,51 | 730 | 8,69 | 7,21 | 119 |
| | ROI < | 1.2 2.1 3.2 4.1 5.1 | 7,32 | 2,43 | 533 | 9,56 | 6,34 | 93 |
| | | | | | | | | |
| B Zona: Valentzia | 0 Kasua | 13,66 | - | - | 23,54 | - | - | |
| | 0-BB Kasua | 14,67 | - | - | 19,01 | 4,53 | 218 | |
| | Aurrezkia > | 1.3 2.3 3.2 4.1 5.1 | 7,96 | 5,70 | 158 | 12,67 | 10,86 | 85 |
| | ROI < | 1.2 2.1 3.2 4.1 5.1 | 8,50 | 5,15 | 121 | 14,24 | 9,29 | 68 |
| | | | | | | | | |
| C Zona: Bartzelona | 0 Kasua | 21,96 | - | - | 35,50 | - | - | |
| | 0-BB Kasua | 16,07 | 5,89 | 108 | 24,89 | 10,61 | 31 | |
| | Aurrezkia > | 1.3 2.3 3.2 4.1 5.2 | 10,64 | 11,32 | 91 | 17,49 | 18,01 | 57 |
| | ROI < | 1.2 2.1 3.2 4.1 5.1 | 13,09 | 8,87 | 72 | 22,58 | 12,92 | 46 |
| | | | | | | | | |
| D Zona: Madril | 0 Kasua | 33,32 | - | - | 47,51 | - | - | |
| | 0-BB Kasua | 20,33 | 12,98 | 23 | 28,50 | 19,01 | 14 | |
| | Aurrezkia > | 1.3 2.3 3.1 4.2 5.1 | 16,54 | 16,78 | 83 | 22,86 | 24,65 | 52 |
| | ROI < | 1.2 2.1 3.2 4.1 5.1 | 20,57 | 12,74 | 47 | 31,63 | 15,88 | 36 |
| | | | | | | | | |
| D Zona: Sarriguren | 0 Kasua | 45,24 | - | - | 61,66 | - | - | |
| | 0-BB Kasua | 24,78 | 20,46 | 12 | 37,19 | 24,47 | 10 | |
| | Aurrezkia > | 1.3 2.3 3.1 4.2 5.1 | 20,01 | 25,24 | 50 | 28,83 | 32,83 | 36 |
| | ROI < | 1.3 2.1 3.2 4.1 5.2 | 24,03 | 21,22 | 37 | 36,16 | 25,51 | 30 |
| | | | | | | | | |
| E Zona: Burgos | 0 Kasua | 66,09 | - | - | 84,35 | - | - | |
| | 0-BB Kasua | 31,98 | 34,11 | 7 | 46,54 | 37,81 | 6 | |
| | Aurrezkia > | 1.3 2.3 3.1 4.2 5.2 | 26,56 | 39,54 | 35 | 36,19 | 48,17 | 28 |
| | ROI < | 1.2 2.1 3.1 4.2 5.1 | 29,11 | 36,98 | 23 | 41,25 | 43,10 | 19 |
| | | | | | | | | |

Emaitzen arabera, ingurutzaila termikoa EKTren baldintzetara egokitzen denean (1-HE1 Eraikina), energia-kontsumoak nabarmen handiagoak dira hiri guztietan. 0 Kasuan,

adibidez, 9,75 kWh·m⁻²·urte⁻¹-ko kontsumoa izatetik 15,90 kWh·m⁻²·urte⁻¹-koa izatera igarotzen da Malagan (A zona) eta 66,09 kWh·m⁻²·urte⁻¹ izatetik 84,35 kWh·m⁻²·urte⁻¹ izatera Burgosen (E zona). Eraikinaren berokuntza-eskaria handitzeak aurrezteko potentzial handiagoa dakar. Horrela, eraikinaren inguratzaile termikoa EKTra egokitzen denean (1-HE1 eraikina), berotegiak instalatzerakoan lortutako aurrezkiak askoz handiagoak dira hiri guztietan. Energiaren ikuspegitik berotegiaren konfigurazio onenarekin, aurrezkiak ia hirukoiztu egiten dira Malagan, 2,51tik 7,21 kWh·m⁻²·urte⁻¹-era. Burgosen ere aldaketa nabarmena da: 39,54tik 48,17 kWh·m⁻²·urte⁻¹-era. Berotegiaren kostua konfigurazio bakoitzean berdina denez, eraikinak gutxiago isolatzean, inbertsioaren itzulera-epeak nabarmen murrizten dira hiri guztietan. Burgosen, adibidez, 23 urtetik 19ra igarotzen da. Itzulera-epeak gero eta arazoizkoagoak dira. Eraikinak asko isolatzeak, jakina, energia kontsumoa murriztea dakar, baina baita eraikuntza kostua nabarmen handitzea ere. EKTren mugekiko gehiegi isolatutako eraikinaren kasuan (1 Eraikina), eraikinak energia kontsumo txikiagoa duenez, berotegiak instalatzean lortutako aurrezkiak gutxitu egiten dira, eta, ondorioz, itzulera-epeak handitu egiten dira.

Berotegiek EKT betetzeko duten eraginkortasuna egiaztatzeko, berokuntza-kontsumoaz eta aireztapen-sistemaren kontsumoaz gain, etxeko ur beroa eta hozte-sistema ere kontuan hartu beharko dira. EKTren arabera, iturri berriztagarrietatik sortutako energiaren gutxieneko ekarpena, etxeko ur beroaren urteko energia-eskariaren % 70 izango da gutxienez, hileko balioetatik abiatuta eta banaketaren, metaketaren eta birzirkulazioaren ondoriozko galera termikoak barne. Gutxieneko ekarpen hori % 60ra murriztu ahal izango da etxeko ur beroaren eskaria, eguneko 5.000 litro baino txikiagoa bada. Azterketa-kasuan, eguneko 1344 litroko eskaria duenez, etxeko ur beroaren kontsumoaren % 60 iturri berriztagarrietatik datorrela ezarri da. 4.7 Taulan, ur beroaren energia primarioaren kontsumoak erakusten dira hiri bakoitzean:

4.7 Taula. Etxeko ur beroaren energia primarioaren kontsumoen konparaketa hiri desberdinetan.

| Hiria | Etxeko ur beroaren kontsumoa (kWh m ⁻² urte ⁻¹) | |
|---------------------------------|--|----------|
| | Berriztaezina (40%) | Guztiera |
| A klima-zona: Malaga | 11,98 | 29,96 |
| B klima-zona: Valentzia | 12,23 | 30,57 |
| C klima-zona: Bartzelona | 12,45 | 31,13 |
| D klima-zona: Madril | 12,65 | 31,63 |
| D klima-zona: Sarriguren | 13,02 | 32,54 |
| E klima-zona: Burgos | 13,44 | 33,60 |

4.8 Taulan, lortutako emaitzak EKTren HE 0 Oinarizko Dokumentuan ezarritako kontsumo-mugekin alderatzen dira. Energia primarioaren kontsumoetan,

berokuntzaren, aireztapenaren eta ur bero sanitarioaren kontsumoak sartzen dira, baina ez hozte-sistemarenak. Gorriz, ETK ezarritako muga gainditzen duten balioak erakusten dira.

4.8 Taula. Eraikinaren energia primarioaren kontsumoen eta EKTren HE 0 Oinarizko Dokumentuan ezarritako mugen arteko konparaketa.

| Klima-zona | Hiria | Konfigurazioa | EParen kontsumoak (kWh m ⁻² urt ⁻¹) | | | | | |
|--------------------------------------|-------------|---------------------|--|---------|----------------|---------|---------------------------|---------|
| | | | Eraikuntza | | | | EKT HE 0aren muga balioak | |
| | | | 1 Eraikina | | 1-HE1 Eraikina | | Cep,nren | Cep,tot |
| | | | Cep,nren | Cep,tot | Cep,nren | Cep,tot | | |
| A3 zona: Málaga | | 0 Kasua | 21,73 | 39,71 | 27,88 | 45,86 | ≤25 | ≤50 |
| | | 0-BB Kasua | 26,43 | 44,41 | 28,18 | 46,16 | | |
| | Aurrezkia > | 1.3 2.3 3.2 4.1 5.1 | 19,22 | 37,20 | 20,67 | 38,65 | | |
| | ROI < | 1.2 2.1 3.2 4.1 5.1 | 19,30 | 37,28 | 21,54 | 39,52 | | |
| B3 zona: Valentzia | | 0 Kasua | 25,89 | 44,23 | 35,77 | 54,11 | ≤28 | ≤56 |
| | | 0-BB Kasua | 26,90 | 45,24 | 31,24 | 49,58 | | |
| | Aurrezkia > | 1.3 2.3 3.2 4.1 5.1 | 20,19 | 38,53 | 24,90 | 43,24 | | |
| | ROI < | 1.2 2.1 3.2 4.1 5.1 | 20,73 | 39,07 | 26,47 | 44,81 | | |
| C2 zona: Bartzelona | | 0 Kasua | 34,41 | 53,09 | 47,95 | 66,63 | ≤32 | ≤64 |
| | | 0-BB Kasua | 28,52 | 47,20 | 37,34 | 56,02 | | |
| | Aurrezkia > | 1.3 2.3 3.2 4.1 5.2 | 23,09 | 41,77 | 29,94 | 48,62 | | |
| | ROI < | 1.2 2.1 3.2 4.1 5.1 | 25,54 | 44,22 | 35,03 | 53,71 | | |
| D3 zona: Madril | | 0 Kasua | 45,97 | 64,95 | 60,16 | 79,14 | ≤38 | ≤76 |
| | | 0-BB Kasua | 32,98 | 51,96 | 41,15 | 60,13 | | |
| | Aurrezkia > | 1.3 2.3 3.1 4.2 5.1 | 29,19 | 48,17 | 35,51 | 54,49 | | |
| | ROI < | 1.2 2.1 3.2 4.1 5.1 | 33,22 | 52,20 | 44,28 | 63,26 | | |
| D1zona: Sarriguren | | 0 Kasua | 58,26 | 77,78 | 74,68 | 94,20 | ≤38 | ≤76 |
| | | 0-BB Kasua | 37,80 | 57,32 | 50,21 | 69,73 | | |
| | Aurrezkia > | 1.3 2.3 3.1 4.2 5.1 | 33,03 | 52,55 | 41,85 | 61,37 | | |
| | ROI < | 1.3 2.1 3.2 4.1 5.2 | 37,05 | 56,57 | 49,18 | 68,70 | | |
| E1zona: Bugos | | 0 Kasua | 79,53 | 99,69 | 97,79 | 117,95 | ≤43 | ≤86 |
| | | 0-BB Kasua | 45,42 | 65,58 | 59,98 | 80,14 | | |
| | Aurrezkia > | 1.3 2.3 3.1 4.2 5.2 | 40,00 | 60,16 | 49,63 | 69,79 | | |
| | ROI < | 1.2 2.1 3.1 4.2 5.1 | 42,55 | 62,71 | 54,69 | 74,85 | | |

Kasu askotan ez direla energia berritzainaren mugak betetzen erakusten dute emaitzek, batez ere eraikina EKTren energia-eskaria kontrolatzeko muga-baldintzetara egokitzen denean (1-HE eraikina). Gainera, kontsumo horietan ez da hozte-sistemarena sartu, eta, beraz, kontuan hartzean, muga askoz ere kasu gehiagotan gaindituko da. Aztertutako kasu askotan, EKT betetzeko energia-sistema berriztagarri eta eraginkorragoak sartu behar direla ikusten da.

Bai Malagan (A3 zona), bai Valentzian (B3 zona), 1-HE1 Eraikineko 0 kasuak eta 0-BB kasuak ez dute energia berritzainaren muga betetzen. Berotegiak jartzean,

kontsumoak apur bat behera egitea lortzen denez, mugak betetzea lortzen da. Gehiago isolatutako eraikinaren kasuak (1 Eraikina) kontsumo-mugak bete egiten ditu, Malagako 0-BB Kasua izan ezik. Dena den, kontuan izan behar da klima horietan arazoa ez dela neguan eraikinak berotzeko behar den energia-kontsumoa, udan hozteko beharrezkoa dena baizik. Malaga eta Valentzia, EKTren udako klimagogortasunaren arabera, 3 klima-zonan daude eta, beraz, eraikinak udan hoztu beharko dira. Hori dela eta, eraikina berotzeko orduan mugak betetzen diren arren, zer gertatzen den eraikinaren hozte-sistemekin aztertu beharko da, klima horietan hozkuntzan ematen baita energia-kontsumoaren zatirik handienetarikoa.

Bartzelonan (C2 zona) eta Madrilen (D3 zona), 0 Kasuak ez du berriztaezinaren muga betetzen, aztertutako eraikineko bi konfigurazioetan. 1-HE1 Eraikinean, energia totalaren kontsumoa ere ez dago mugaren barruan. Gainera, azken kasu horretan, bero-berreskurapena solik jartzea ez da nahikoa berriztaezinaren mugatik behera jaisteko. Energia gehien aurrezten duen berotegi-konfigurazioa gehitzean, berriz, kontsumoa muga azpitik jaisten da, nahiz eta hozkuntzarentzat, berriztaezina den kontsumo-tarte txikia geratu. 1 Eraikina aztertzen bada, bero-berreskurapena soilik instalatzen denean (0-BB kasua), kontsumoa muga baino pixka bat beherago dago, eta berotegidun aukerekin, kontsumoa oraindik gehiago jaisten da, nahiz eta hozkuntzaren kontsumoa kuantifikatuz muga betetzen den egiaztatu beharko den.

Sarrigurenen (D1 zona), 0 kasuak, eraikinaren bi konfigurazioetan, ez ditu energia berriztaezinaren mugak betetzen, ezta totalarenak ere. Soilik bero-berreskurapena erabiltzeak (0-BB Kasua) 1 Eraikinean energia berriztaezinaren mugaren azpitik jaitea dakar, baina ez 1-HE1 Eraikinean. Berotegiak jartzen direnean, kontsumoak nabarmen behera egiten du, 1 Eraikinean, mugatik behera argi eta garbi geratzen delarik. Hala ere, berotegiak erabiltzea ez da nahikoa 1-HE1 Eraikinak kontsumo-muga berriztaezina betetzeko.

Burgosen (E1 zona), 0 Kasuak ez ditu betetzen energia primario berriztaezinaren mugak, ezta totalak ere. 0-BB Kasuak, kontsumo totalaren mugaren azpitik dagoen arren, ez du energia berriztaezinaren muga betetzen, eta, beraz, bero-berreskurapena solik erabiltzea, ez da nahikoa EKT betetzeko. Berotegiak gehitzean, 1 Eraikinean mugak betetzen dira, baina ez 1-HE1 eraikinean.

Bai Burgos eta bai Sarriguren, 1 klima-zonaren barruan daude, udako klimaren gogortasunaren arabera, eta, beraz, haien hozte-eskaria oso txikia izango da. Emaizak ikusita, berotegien erabilerarekin eta inguratzailearen isolamendu eta hermetikotasun prestazioak zertxobait hobetuta, EKTren kontsumo-mugak bete daitezkeela ikus daiteke.

4.2.3. ONDORIO PARTZIALAK

Azterketa-kasuan, ingurutzaila EKTren energia-eskaria kontrolatzeko muga-baldintzetara egokitzen denean, inongo klima-zonatan ez da betetzen kontsumo-muga berriztaezina, ezta hozte-sistema kontuan hartzen ez bada ere. Beroberreskurapena instalatzeak, klima-zona batean ere ez du muga horretatik jaitea eragiten. Klima beroenetan, berotegiak jartzen direnean, berokuntzan pixka bat aurrezten denez, muga horretatik behera jaitea lortzen da. Hala ere, klima bero horietan, kontsumo garrantzitsuenak hozte-sistemaren ondorioz gertatzen dira eta zenbatu ez direnez, klimatizazio-sistemen efizientzia hobetu gabe eta sistema berriztagarrien erabilera gabe, nekez beteko da EKT. Klima hotzenetan, berotegiak sartzeak energia-aurrezpen askoz ere handiagoak dakartza. Dena den, eraikinaren ingurutzaila EKTren energia-eskaria kontrolatzeko muga-baldintzetara egokitzen denean, ez dira nahikoak muga berriztaezina betetzeko. Horregatik, berotegiez gain, klimatizazio-sistemen efizientzia hobetu beharko da edo energia berriztagarria erabili. Hala ere, ingurutzailaren isolamendua eta hermetikotasuna apur bat handitzen bada, EKT betetzea lortzen da berotegiak gehituz gero.

Aireztapen-sistemaren sarrera-aria aurreberotzeko berotegiak erabiltzeak, batez ere klima hotzenetan, EKTk eskatutako kontsumo-mugak betetzen lagun dezakeela ondoriozta daiteke, baina beharrezkoa izango da ingurutzailaren hobekuntzarekin, klimatizazio-sistema eraginkorragoekin edo energia berriztagarrien erabilera handiagoarekin konbinatzea.

4.3. EUROPAKO KLIMA DESBERDINEN ANALISIA

4.3.1. ERABILITAKO METODOLOGIA

Orain arte, berotegiek duten portaera Espainiako estatu osoan aztertu da, baina beste klima batzuek nola eragiten duten sakontzeko, Europako hiri garrantzitsuetan osatu da ikerketa. 4.9 Taulan, azterketarako hautatutako hirien ezaugarri klimatikoak erakusten dira. Klima eta kokapen desberdinak hartzen dituzten hirien lagin zabala aztertzen saiatu da.

4.9 Taula. Hautatutako Europako hirien ezaugarri klimatikoak

| Hiria | Saikapena | | GE _{bero_18} | | Batez besteko eguzki-erradiazioa | | | | | | Batez besteko | |
|---------------|-----------|---------|-----------------------|---------|--|-----------|------------------|-----------|--------------------|-----------|---------------|-----------|
| | | | | | (Wh m ⁻² egun ⁻¹) | | | | | | Temperatura | |
| | | | | | Horizontal globala | | Zuzeneko normala | | Horizontal difusoa | | Urriak | Urte osoa |
| | | | | | Urriak | Urte osoa | Urriak | Urte osoa | Urriak | Urte osoa | | |
| Köppen-Geiger | | Urriak | Urte osoa | Urriak | Urte osoa | Urriak | Urte osoa | Urriak | Urte osoa | Urriak | Urte osoa | |
| | | Maiatza | Maiatza | Maiatza | Maiatza | Maiatza | Maiatza | Maiatza | Maiatza | Maiatza | Maiatza | |
| Atenas | 0A | Csa | 1112 | 1112 | 3466 | 4565 | 3059 | 4155 | 1722 | 1862 | 13,9 | 17,9 |
| Lisboa | 0A | Csa | 1085 | 1087 | 3518 | 4506 | 3974 | 4695 | 1457 | 1704 | 13,7 | 16,3 |
| Malaga | 0A | Csa | 796 | 796 | 3934 | 4828 | 4637 | 5436 | 1389 | 1531 | 15,0 | 18,0 |
| Valentzia | 0A | Cfa | 1102 | 1102 | 3594 | 4408 | 4180 | 4849 | 1391 | 1558 | 13,7 | 16,8 |
| Bartzelona | 0B | Cfa | 1418 | 1419 | 3210 | 3995 | 2975 | 3449 | 1583 | 1862 | 12,3 | 15,7 |
| Madril | 1A | Cfa | 1936 | 1965 | 3452 | 4420 | 3467 | 4217 | 1537 | 1779 | 10,1 | 14,3 |
| Marseilla | 1A | Cfa | 1727 | 1733 | 3222 | 4224 | 3229 | 4111 | 1474 | 1684 | 11,0 | 14,8 |
| Erroma | 1C | Cfa | 1508 | 1514 | 2593 | 3494 | 1810 | 2650 | 1497 | 1718 | 11,9 | 15,2 |
| Sarriguren | 2B | Cfb | 2243 | 2279 | 2831 | 3844 | 2877 | 3939 | 1369 | 1551 | 8,7 | 12,2 |
| Belgrado | 3B | Dfb | 2726 | 2798 | 2765 | 3682 | 2500 | 3153 | 1443 | 1789 | 7,0 | 11,5 |
| Burgos | 3B | Cfb | 2812 | 2990 | 2814 | 3916 | 2864 | 4102 | 1326 | 1484 | 6,4 | 9,9 |
| Lyon | 3C | Cfb | 2420 | 2539 | 2365 | 3290 | 1679 | 2359 | 1445 | 1821 | 8,1 | 11,8 |
| Amsterdam | 3D | Cfb | 2658 | 2970 | 1945 | 2684 | 1539 | 1913 | 1210 | 1614 | 7,0 | 10,0 |
| Brusela | 3D | Cfb | 2641 | 2911 | 1799 | 2507 | 1074 | 1391 | 1272 | 1723 | 7,1 | 10,2 |
| Dublin | 3D | Cfb | 2531 | 2992 | 1872 | 2581 | 1311 | 1579 | 1284 | 1749 | 7,5 | 9,8 |
| Londres | 3D | Cfb | 2561 | 2868 | 1979 | 2757 | 1626 | 2031 | 1190 | 1619 | 7,4 | 10,2 |
| Milan | 3D | Dfb | 2710 | 2782 | 2051 | 2918 | 1283 | 1969 | 1294 | 1629 | 6,8 | 11,1 |
| Paris | 3D | Cfb | 2497 | 2645 | 2046 | 2918 | 1274 | 1855 | 1401 | 1828 | 7,7 | 11,1 |
| Bukarest | 4B | Dfa | 2945 | 3030 | 2825 | 3798 | 2307 | 3078 | 1586 | 1901 | 6,0 | 10,7 |
| Bratislava | 4C | Cfb | 2922 | 3036 | 2362 | 3269 | 1949 | 2560 | 1333 | 1740 | 6,0 | 10,3 |
| Viena | 4C | Dfb | 2987 | 3158 | 2201 | 3067 | 1669 | 2232 | 1307 | 1715 | 5,7 | 9,9 |
| Sofia | 4C | Dfb | 2953 | 3073 | 2134 | 3044 | 993 | 1624 | 1610 | 2023 | 5,8 | 10,2 |
| Berlin | 4D | Cfb | 2939 | 3155 | 1884 | 2692 | 1490 | 1925 | 1134 | 1599 | 5,9 | 9,8 |
| Hanburgo | 4D | Cfb | 3039 | 3367 | 1897 | 2609 | 1425 | 1693 | 1184 | 1669 | 5,5 | 9,0 |
| Ljubljana | 4D | Cfb | 3183 | 3385 | 2132 | 2944 | 1297 | 1772 | 1435 | 1855 | 4,9 | 9,1 |
| Frankfurt | 5C | Cfb | 3394 | 3738 | 2294 | 3069 | 1846 | 2302 | 1319 | 1705 | 4,0 | 7,9 |
| Kiev | 5C | Dfb | 3590 | 3809 | 2380 | 3265 | 1777 | 2314 | 1475 | 1920 | 3,2 | 8,0 |
| Munich | 5C | Dfb | 3394 | 3738 | 2294 | 3069 | 1846 | 2302 | 1319 | 1705 | 4,0 | 7,9 |
| Kopenhage | 5D | Cfb | 3186 | 3563 | 1815 | 2676 | 1499 | 1909 | 1126 | 1642 | 4,8 | 8,3 |
| Praga | 5D | Dfb | 3384 | 3701 | 1871 | 2622 | 1116 | 1502 | 1302 | 1747 | 4,0 | 8,0 |
| Varsovia | 5D | Dfb | 3312 | 3614 | 1939 | 2727 | 1413 | 1849 | 1230 | 1692 | 4,3 | 8,3 |
| Stockholm | 6D | Dfb | 3807 | 4239 | 1705 | 2516 | 1779 | 2128 | 915 | 1425 | 2,3 | 6,4 |
| Helsinki | 6D | Dfb | 4216 | 4712 | 1684 | 2585 | 1479 | 1950 | 1012 | 1549 | 0,6 | 5,1 |
| Minsk | 6D | Dfb | 3963 | 4329 | 1891 | 2642 | 1237 | 1505 | 1281 | 1797 | 1,6 | 6,3 |
| Mosku | 6D | Dfb | 4273 | 4654 | 1849 | 2658 | 1392 | 1790 | 1200 | 1681 | 0,3 | 5,4 |
| Oslo | 6D | Dfb | 3770 | 4172 | 1557 | 2398 | 1434 | 1905 | 922 | 1407 | 2,5 | 6,6 |

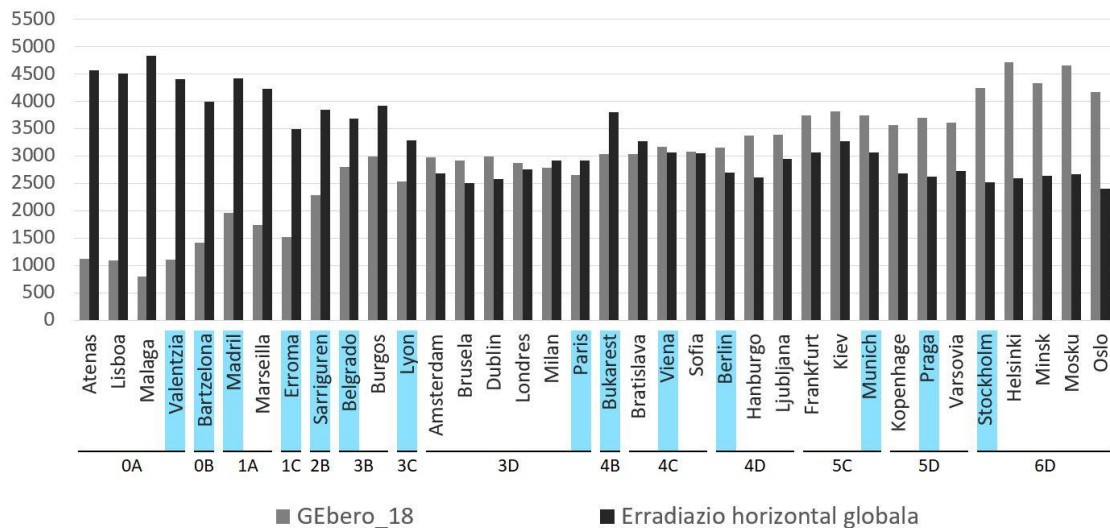
Orain arte egiaztatu ahal izan denez, eguzki-erradiazioa eta berokuntza-eskaria funtsezkoak dira sistema hauen errendimenduan. Hori dela eta, hiriak 18 °C-ko oinarritzko tenperatura duten berokuntza gradu-egun (GE_{bero}) kantitatearen eta eguzki-erradiazioaren arabera sailkatu dira. 4.10 Taulan erakusten den bezala, hiriak 0tik 6ra gradu-egun kopuruaren arabera eta A-tik D-ra, eguzki-erradiazio global horizontalaren

eguneroko batezbestekoaren arabera sailkatu dira. Horrela, hiri desberdinak antzeko ezaugarri klimatikoak dituzten taldeetan antola daitezke.

4.10 Taula. Hirien sailkapena GE_{bero} eta eguzki-erradiazioaren arabera.

| GE_{bero_18} | Maila |
|--|--------------|
| 0 | <1500 |
| 1 | 1500-2000 |
| 2 | 2000-2500 |
| 3 | 2500-3000 |
| 4 | 3000-3500 |
| 5 | 3500-4000 |
| 6 | > 4000 |
| Batez besteko eguzki-erradiazioa ($Wh\ m^{-2}\ \text{día}^{-1}$) | Maila |
| A | > 4000 |
| B | 3500-4000 |
| C | 3000-3500 |
| D | < 3000 |

4.27 Irudian, eguzki-erradiazio global horizontalaren eta GE_{bero} -en araberako hiri-talde desberdinak erakusten dira. Talde bakoitzeko hirien baldintza klimatikoak antzekoak direnez, horietako bakoitzean berotegiekin lortutako aurrezkien emaitzak, estrapolatu ahal izango dira. Hori dela eta, talde bakoitzean hiri bakar bat aukeratu da bere emaitzak baino ez aztertzeko. Talde bakoitzean hiririk adierazgarriena edo aldeztatik simulatutako hiri bat hautatu da. 4.27 Irudian, aukeratutako hiriak urdinez ageri dira.



4.27 Irudia. Hirien sailkapena, eguneko batez besteko eguzki-erradiazio globalaren ($\text{Wh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{eguna}^{-1}$) eta $\text{GE}_{\text{bero}_18}$ -ren arabera.

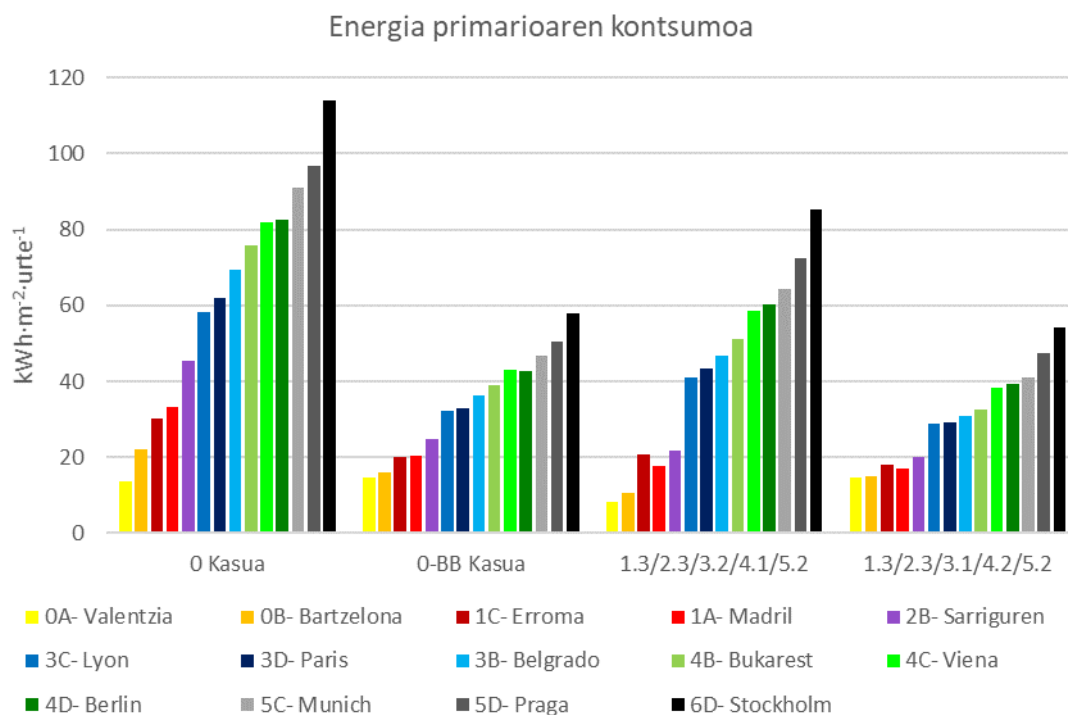
Herialde bakoitzak bere energia-eraginkortasunari buruzko araudia du eta beraz, eskakizunak ez dira berdinak. Kokaleku bakoitzeko energia-eskaria kontrolatzeko muga-baldintzak ere aldatu egiten dira. Gauza bera gertatzen da gutxieneko aireztatze-eskakizunekin. Azken energetik energia primarioa igarotzeko koefizienteak ere herialde bakoitzaren araberakoak dira. Hala ere, Europako hirietako emaitzak alderatu ahal izateko, Sarrigurengo azterketa-kasua hartu da abiapuntutzat. Eremu klimatiko hotzenetan azterketa-kasuko eraikina oso isolatuta ez egon arren, eta beroenetan, aldiz, gehiegi isolatuta egon arren, hiri guztietan ezaugarri termiko eta aireztapen-ezaugarri berberak dituen eraikina aztertzea erabaki da, emaitzak alderatu ahal izateko.

Kokapen bakoitzean, berotegirik gabeko eraikineko eta 4.11 Taulan agertzen diren bi berotegi-konfigurazioak gehitzen zaizkionean lortutako energia primarioaren kontsumoak kalkulatu dira. Burgoseko kontsumo txikieneko konfigurazioak aztertzea erabaki da, bai bero-berreskurapenarekin eta baita berreskurapenik gabe; izan ere, Europako hiri gehienek Burgosek baino klima hotzagoa dute. Baldintza klimatikoek nola eragiten duten aztertzeko, hiri bakoitzean lortzen diren aurrezkiak alderatu dira.

| Konfigurazioa | Ezaugarriak |
|----------------------|---|
| 1.3. 2.3 3.2 4.1 5.2 | Emisibitate baxuko beira bikoitza 24 cm-ko isolamendua Inertziarekin Bero-berreskurapenik gabe Paraleloan |
| 1.3. 2.3 3.1 4.2 5.2 | Emisibitate baxuko beira bikoitza 24 cm-ko isolamendua Inertziarik gabe Bero-berreskurapenarekin Paraleloan |

4.3.2. EMAITZAK

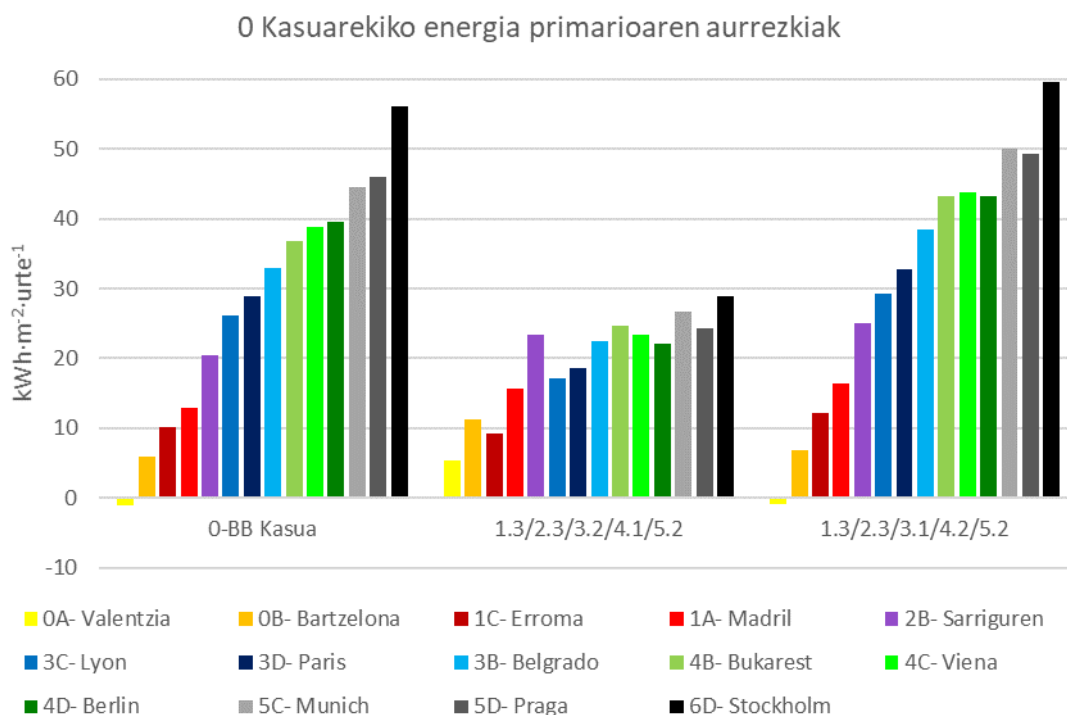
4.28 Irudian, hiri bakoitzean, bi berotegi-konfigurazioekin lortutako energia primarioaren kontsumo totalak erakusten dira. 0 Kasuaren eta 0-BB Kasuaren kontsumoak ere agertzen dira. Hiriak GE_{bero} kopuruaren arabera antolatuta dira, txikienetik handienara.



4.28 Irudia. Eraikinaren energia primarioaren kontsumo totala (berokuntza + haizagailuak) hiri guztietan: 0 kasua, 0-BB kasua eta 1.3/2.3/3.2/4.1/5.2 eta 1.3/2.3/3.1/4.2/4.2/5.2 konfigurazioak.

Espero zitekeen bezala, neguko klima-gogortasuna handitzen den heinean, eraikineko kontsumoak handitu egiten dira. Valentzian berotegirik gabeko eta bero-berreskurapenik gabeko eraikineko (0 Kasuko) energia primarioaren kontsumoa 13,66

kWh·m²·urte⁻¹-koa den bitartean Stockholmen, 114,00 kWh·m²·urte⁻¹-koa da, eta horrek Europan dauden alde klimatiko handiak erakusten ditu. GE_{bero} kopurua handitu ahala ematen den eraikinaren kontsumoaren igoera hori, aztertutako kasu guztietan errepikatu egiten da. Berotegien errendimendua argiago ikusteko, 4.29 Irudian, 0 Kasuarekin alderatuta beraien instalazioari esker lortutako energia primarioaren aurrezkiak agertzen dira, baita bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema soilik instalatzen denean lortutako aurrezkiak ere (0-BB kasua).



4.29 Irudia. 0 kasuarekin alderatuta, energia primarioaren aurrezkiak hiri guztietan.

0-BB Kasua

Valentziaren kasuan izan ezik, eraikinari bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema bat gehitzen zaionean (0-BB kasua), energia-kontsumoa murriztu egiten da 0 kasuarekiko. Aurreko ataletan ikusi den bezala, Valentziakoa bezalako klima batean berokuntza-eskaria oso txikia denez, bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema instalatzean, eraikinaren berokuntzan lortutako aurrezkiek ez dute haizagailuen kontsumo handiagoa konpentsatzen. Gainerako hiriak aztertuz gero, ikus daiteke bero-berreskurapenari esker lortutako aurrezkiek gora egiten dutela GE_{bero} kopurua handitu ahala. Hau da, berreskurapenaren eraginkortasuna handiagoa da klimaren neguko gogortasuna handitzen den heinean. Horrela, aurrezkiak Bartzelonako 5,89 kWh·m²·urte⁻¹-tik, Stockholmeko 56,04 kWh·m²·urte⁻¹-raino doaz.

2500 GE_{bero_18} baino gehiagoko hirietan (4.8 Taularen arabera, 3 klima-zonatik aurrera), bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema bat instalatze hutsarekin,

berreskurapenik gabeko berotegiekin baino gehiago aurrezten da. Gradu-egun kopurua handitu ahala, bero-berreskurapenaren aldeko diferentzia gero eta handiagoa da. Beraz, klima hotzetan, bero-berreskurapena energia-aurrezki esanguratsuak lortzeko faktore erabakigarria dela ikus daiteke.

Bero-berreskurapenik gabeko berotegiak

Bero-berreskurapenik gabeko berotegiak jartzean gertatzen dena aztertzen bada (1.3/2.3/3.2/4.1/5.2 konfigurazioa), oro har, GE_{bero} -ak handitu ahala energia primarioaren aurrezpenak areagotu egiten direla ikus daiteke 4.29 Irudian. Beraz, GE_{bero} gutxien dituzten hiriak dira, berriz ere, aurrezpen txikiak lortzen dituztenak, hau da, Valentzia, Bartzelona eta Erroma. Valentzian eta Bartzelonan, berotegia erabiliz lortzen diren aurrezkiak, berotegirik gabeko eraikinean soilik bero-berreskurapenarekin (0-BB kasuarekin) lortzen direnak baino handiagoak dira. Are gehiago, bi hiri horietan, berreskurapenik gabeko berotegiak instalatzean lortzen diren aurrezkiak, berreskurapena duen aireztapen-sistema batekin konbinatzen direnean lortzen direnak baino handiagoak dira. Beraz, bero-berreskurapenaren erabilerak berokuntza-eskari txikieneko klimetan ez duela interesik argi ikusten da. Madrilen eta Sarrigurenen (4.8 Taularen arabera 1A eta 2B klima-zonak, hurrenez hurren), bero-berreskurapenik gabeko berotegiak jartzean lortzen den kontsumo-murrizketa, 0-BB Kasuan lortzen dena baino handiagoa da. Dena den, aurrezpen handiagoak lortzen dira berotegiak bero-berreskurapenarekin konbinatzen direnean. Erroman, alde handirik ez badago ere, bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema bat soilik instalatzearekin, berreskurapenik gabeko berotegiak instalatuz baino aurrezpen handiagoak lortzen dira dagoeneko. Madrilgo GE_{bero} maila berean egon arren (1 klima-zona), Erromako eguzki-erradiazioa askoz txikiagoa denez, berreskurapenik gabeko berotegia jartzean lortzen diren aurrezkiak txikiagoak dira, eta, ondorioz, 0-BB kasuan baino aurrezki gutxiago lortzen dira.

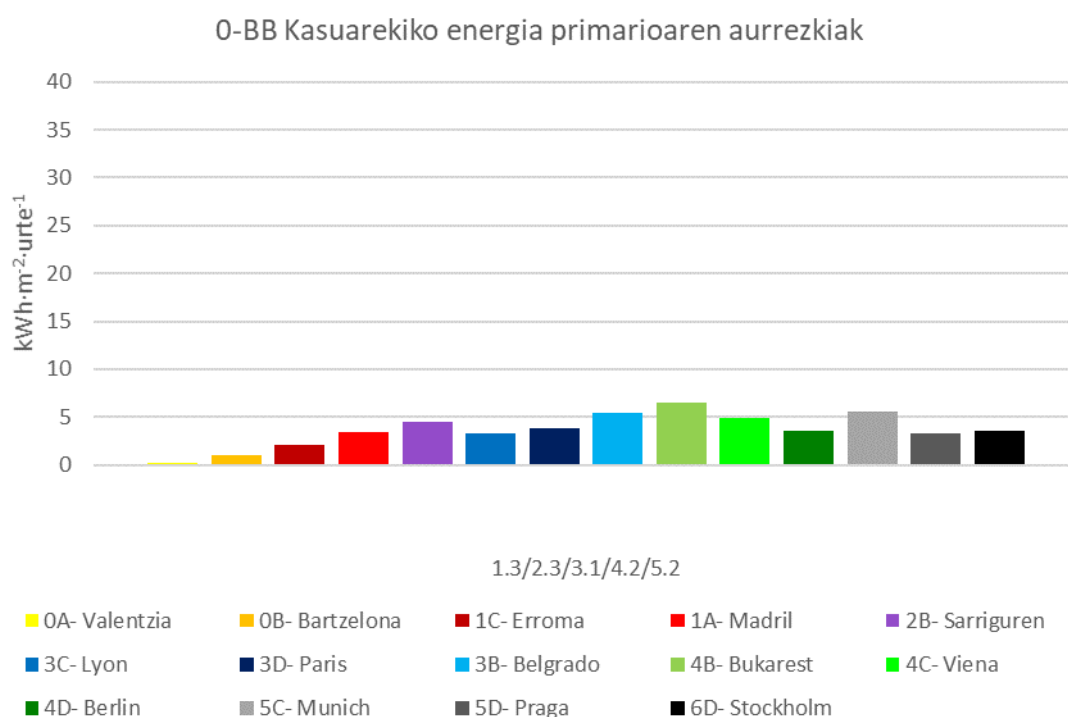
Bero-berreskurapenik gabeko berotegiekin aurrezpen handienak Stockholmen lortzen dira, urtean 28,82 kWh·m⁻²-ra iritsiz, nahiz eta eguzki-erradiazio gutxiko klima izan. Beraz, GE_{bero} -en kopuruak gora egin ahala, berotegiak jartzean lor daitezkeen aurrezkiak ere handitu egiten direla argi ikus daiteke. Hala ere, logikoa denez, antzeko GE_{bero} kopurua duten hirien arteko emaitzak alderatuz gero, zenbat eta eguzkitsuagoa izan klima, orduan eta aurrezpen handiagoak lortuko direla ere ikusten da. Horrela, eguzki-erradiazio handiagotari esker, 1 klima-zonako emaitzarik onenak Madrilen ematen dira, 3 klima-zonakoak Belgradon, 4 klima-zonakoak Bukaresten eta 5 klima-zonakoak Munichen. Beraz, berreskurapenik gabeko berotegiei esker eraikineko energia-kontsumoa txikiagoa izan dadin, honako bi faktore hauek hartu behar direla kontuan ondoriozta daiteke: eguzki-erradiazioa eta berokuntza-eskaria. Zenbat eta eguzki

erradiazio handiagoa, orduan eta aurrezpen handiagoak, baina, aldi berean, zenbat eta neguko klimaren gogortasun handiagoa, orduan eta eraikinaren berokuntza aurrezteko potentzial handiagoa. Honen ondorioz, aurrezpen handienak klima hotz eta eguzkitsuetan emango dira.

Bero-berreskurapena eta berotegien konbinazioa

4.29 Irudiak, Valentzian eta Bartzelonan izan ezik, hiri guztietan energia-aurrezpen handienak berotegiak bero-berreskurapenarekin konbinatzen direnean lortzen direla erakusten du, hau da 1.3/2.3/3.1/4.2/5.2 konfigurazioarekin. Are gehiago, gradu-egunen kopuruak gora egin ahala, lortutako aurrezkiek ere gora egiten dutela ikusten da. Aurrezkiek zatirik handiena bero-berreskuragailuari esker lortzen denez, eguzki-erradiazioak jada ez du hainbesteko eraginik emaitzetan, eta argi eta garbi gradu-egunen kopurua da garrantzi handiena duen faktorea. Beraz, Stockholmen lortzen dira emaitzarik onenak, urtero $59,66 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$ aurreztuz.

4.30 Irudian, bero berreskurapena eta berotegia konbinatzean lortzen diren aurrezkiak aurkezten dira, baina kasu honetan, 0-BB Kasuarekin alderatuta. Horrela, berotegiei esker lortzen diren aurrezkiak baino ez dira erakusten, berreskuragailuaren ondorioz lortutako aurrezkiak kontuan hartu gabe.



4.30 Irudia. Hiri guztietan, 1.3/2.3/3.1/4.2/5.2 konfigurazioarekin lortutako energia primarioaren aurrezpena 0-BB kasuarekiko.

Bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema bat instalatu ondoren, kontsumo-murrizketaren zatirik handiena berreskuragailuari esker lortzen denez, berotegiei esker

esklusiboki lortutako aurrezkiak ez da handia. Berotegiak instalatzeak berreskuragailuak lortutako aurrezkiak zertxobait handitzeko baino ez du balio. 0 kasuarekiko guztizko aurrezpen handienak Stockholmen ematen badira ere, soilik berotegiari esker lortzen direnak, ez dira hiri honetan eskuratzen, bere klima ez baita oso eguzkitsua. Berotegiei esker lortutako aurrezpen handienak Bukaresten eta Munichen ematen dira, klima hotz baina eguzkitsuetan dauden hiriak baitira. Txikiak, berriz, Valentzian eta Bartzelonan lortzen dira, eguzki-erradiazio handiena izan arren GE_{bero} gutxien dutelako. Beraz, berotegian lortutako aurrezkiak soilik aztertuz gero, berokuntza-eskariak eta eguzki-erradiazioak garrantzia dutela ikusten da berriro ere.

4.3.3. ONDORIO PARTZIALAK

Neguko klima-gogortasuna handitu ahala, berotegiei esker lortutako aurrezpenak handitzen dira. Aldi berean, bero-berreskurapena duen sistema bat erabiltzeak gero eta garrantzi handiagoa hartzen du. Horrela, Europan, neguko gogortasun txikiagoko klimetan izan ezik, guztizko aurrezpen handienak berotegiak bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema batekin konbinatzen direnean lortzen dira. Europako klima hotzenetan, konbinazio honek energia-aurrezpen benetan garrantzitsuak dakartza. Stockholmen, adibidez, $59,66 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$ aurrezpenak lortzen dira azterketa-kasuan.

Berotegiak bero-berreskurapenarekin konbinatzen ez direnean, bai berokuntza-eskariak bai eguzki-erradiazioak garrantzia dute lortutako aurrezkietan. Neguko klima-gogortasuna handitu ahala, lortutako aurrezkiak handitu egiten dira. Era berean, antzeko berokuntza gradu-egunak dituzten klimetan, zenbat eta eguzki-erradiazio handiagoa, orduan eta gehiago aurrezten da. Beraz, klima hotz eta eguzkitsuetan lortuko dira emaitzarik onenak.

Berotegiak bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema batekin konbinatzen direnean, kontsumoaren murrizketa gehiena berreskuragailuaren ondorioz gertatzen denez, berotegiari esker soilik lortzen diren aurrezkiak txikiak dira. Horren ondorioz, eguzki-erradiazioak ez du hainbesteko eraginik, neguko gogortasun klimatikoa eta berokuntza eskaria garrantzitsuagoak direlarik.

Berotegiak aireztapen-sistemaren sarrera-areala aurreberotzeko erabiliz gero aurrezpen handiak lor daitezkeela Europako klima hotzenetan ondoriozta daiteke, bereziki bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema batekin konbinatzen direnean.

5. ATALA

ONDORIOAK ETA ETORKIZUNEKO

IKERKETA-ILDOAK

5. ATALA. ONDORIOAK ETA ETORKIZUNeko IKERKETA-ILDOAK

5.1. ONDORIOAK

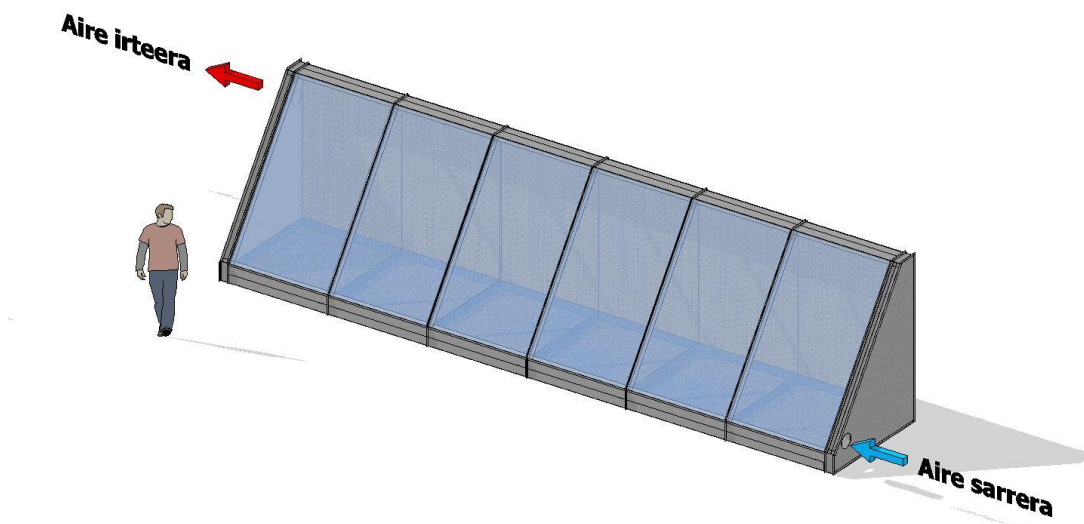
Doktorego Tesi honetan berotegien bidez aireztapen-sistemaren sarrera-airea aurreberotuz, energia-aurrezpen esanguratsuak lor daitezkeela frogatu da. Espero zitekeen bezala, berotegiaren ezaugarriek eta klimak berebiziko garrantzia dute lortutako aurrezkietan. Jarraian, ateratako ondorio nagusiak laburbiltzen dira.

5.1.1. BEROTEGIAREN DISEINUA ETA PROTOTIPOAREN ERAIKUNTZA

Eraikinen estalki lauetan berotegiak jartzeak zenbait abantaila ditu fatxadari atxikita jartzen direnekin konparatuz. Estalkian, forma eta bolumena ez daude hain mugatuta, eta, horri esker, beirateak angelu egokian jar daitezke, eguzki-irabazi handiagoak lortuz. Eraikinaren orientazioa, era berean, ez da hain mugatzailea, estalkian berotegiak fatxada-lerroari jarraitu gabe jar baitaitezke, eta, beraz, beti hegoaldera begira ipini daitezke. Bestalde, baldintza estetikoak eta hirigintzakoak txikiagoak izaten dira teilatuetan. Gainera, eraikinaren goialdean, beste eraikinek eta elementuek berotegia itzalez estaltzeko arrisku txikiagoa dago. Gainberotzea saihestea errazagoa dela kontuan hartu beharreko beste alderdi bat da. Normalean bao gehienak fatxadara irekitzen direnez, eta ez estalkira, teilatu lauetan jartzen direnean, berotegiak estali edo aireztapen-sistematik deskonektatu daitezke, eraikinaren aireztapen naturalari edo argiztapenari eragin gabe. Kanpoko airearen sarrera eta barneko aire kutsatuaren erauzketa eraikinetako estalkian egin ohi denez, berotegiak aireztapen-sistemarekin konbina daitezke, berotutako airea modu erraz eta ekonomikoan, eraikineko gela guztietan sartzeko. Are gehiago, estalkian kokatuz gero, berotegiak bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema batekin konbinatu ahal izango dira, eta horrek energia gehiago aurrezteka ekar dezake klima hotzetan. Abantaila horiek eta energia aurrezteko duten ahalmen handia ikusita, eraikinen estalki lauan jartzeko berotegia diseinatu da.

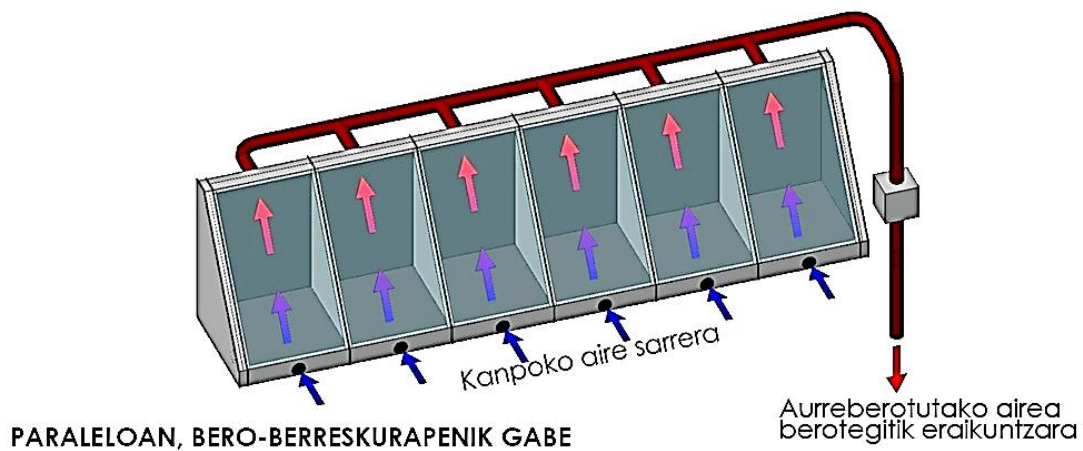
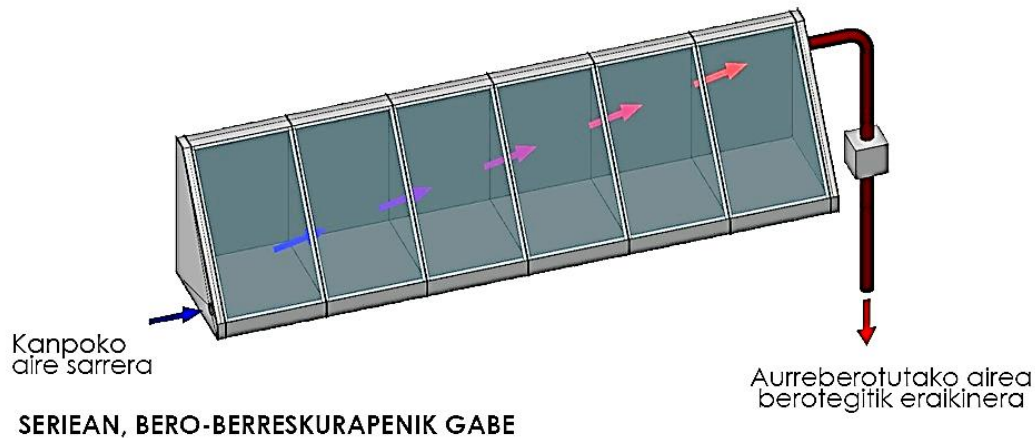
5.1 Irudian ikus daitekeen bezala, berotegiari prisma triangeluarraren forma ematea erabaki da. Hegoaldera begira dagoen prismaren aurpegia erabat beiratzatuta diseinatu da, ahalik eta eguzki-erradiazio handiena harrapatzeko. Gainerako gainazalak, aldiz, opakua izatea eta isolatuta egotea erabaki da, bero-galerak saihesteko. Berotegiaren azken forma zehazteko, beiraren angelu optimoa ezarri da. Horretarako, kontuan hartu behar da zenbat eta perpendikularrago iritsi eguzki-erradiazioa beirara, orduan eta handiagoak izango direla berotegiko eguzki-irabaziak. Hala ere, eguzkiaren posizioa eta inklinazioa aldatu egiten dira egunean zehar eta urtean zehar, lekuaren latitudearen arabera eta, hortaz, beiraren angelu optimoa kokalekuaren arabera alda daiteke. Horregatik, beiraren angeluaren arabera

berokuntza-aldian lortzen diren eguzki-irabaziak kuantifikatu dira. Azterketa hori EKTren klima-zona desberdinetako hiri adierazgarrietan egin da. Emaitzen arabera, Espainiako estatuan angelu optimoa horizontalarekiko 55° inguruan dagoela egiaztatuta da. Hori dela eta, inklinazioa hori ezarri da berotegiaren diseinurako.



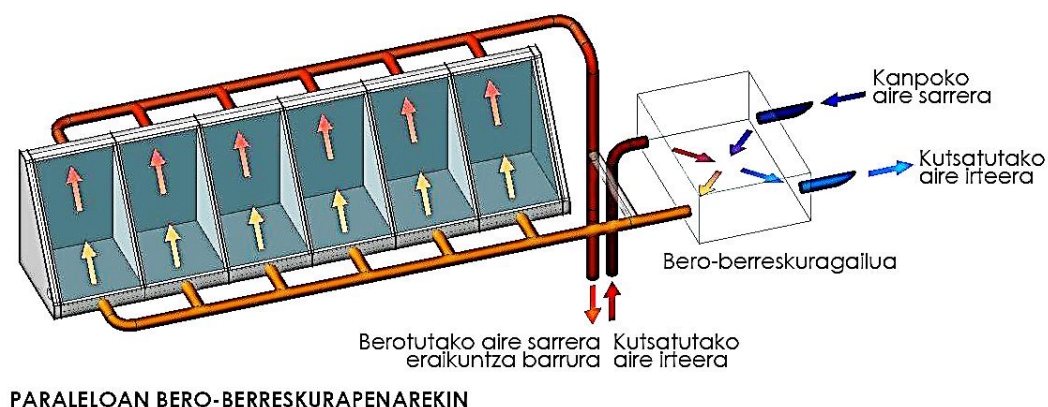
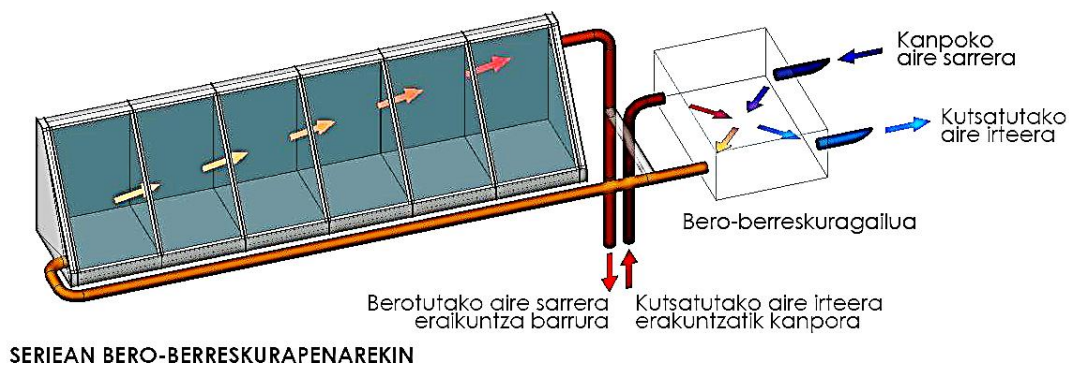
5.1 Irudia. Proiektatutako berotegiaren irudia.

Estalkien kokalekuetara eta eraikin mota desberdinen energia-beharretara egokitzeko gaitasuna hobetzeko, diseinua modularra izatea erabaki da. Eskuragarri dagoen espazioa, behar den energia-aurrezpena eta egin nahi den inbertsio ekonomikoaren arabera, berotegia osatzen duten moduluaren kopurua hauta daiteke. Diseinuak moduluak seriean edo paraleloan instalatzeko aukera ematen du (ikus 5.2 Irudia). Moduluak seriean instalatzean, airea mutur batetik sartzen da, berotzen den bitartean berotegi osoa zeharkatzen du, eta beste muturretik irteten da, eraikinaren barrualdera aireztapen-sistemaren bidez sartzeko. Paraleloan konektatzean, modulu bakoitzak konpartimentu estanko bat osatuko du, non kanpoko airea modulu bakoitzaren beheko aldetik sartuko den, eta, berotu ondoren, goiko aldetik hodi komun batera aterako den, aireztapen-sistemaren bidez eraikinean sartzeko.



5.2 Irudia. Bero-berreskurapenik gabeko berotegien funtzionamenduaren eskema, moduluak seriean eta paraleloan instalatzen direnean.

Berotegiaren diseinuak bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema batekin konbinatzea ahalbidetzen du ere. Klima hotzetan, bero-berreskurapenak aurrezpen handiak eragiten ditu eraikinetako berokuntzan. Berotegiekin konbinatuz gero, aurrezkiak are handiagoak izango dira. Bero-berreskuragailua erauzketa-airearen irteeraren eta berotegiko aire-sarreraren artean kokatuz gero, airea alde aurretik berotuta sartuko da beirazko espaziora. Berotegi-efektua dela eta, eraikinean sartu aurretik, oraindik gehiago berotuko da, eta energia-aurrezpen handiagoak lortuko dira eraikinaren berokuntzan. Hala ere, bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema batek haizagailuen eragiketan kontsumo handiagoa dakar, eta, beraz, bere erabilera beti ez da komenigarria izango. 5.3 Irudian, berotegiaren funtzionamenduaren eskema erakusten da, bero-berreskurapenarekin konbinatzen denean.



5.3 Irudia. Bero-berreskurapena duten berotegien funtzionamenduaren eskema, moduluak seriean eta paraleloan instalatzen direnean.

Behin berotegia diseinatu ondoren, modulu baten prototipoa eraiki da, baldintza meteorologiko desberdineko aldietan duen benetako portaera aztertzeko. Espero bezala, eguzki erradiazioak mota honetako eguzki sistemetan eragin handia duela erakusten dute emaitzek. Egun eguzkitsuetan berotegi barruan lortutako tenperaturak kanpokoak baino askoz altuagoak diren bitartean, egun hodeitsuetan barnealdeko tenperaturak ez dira asko aldatzen kanpoaldeko tenperaturekiko. Berotegi mota honek inertzia gutxi duela baieztatu ahal izan da, eta, beraz, eguneko orduetan lortutako tenperatura altuak azkar jaisten dira eguzki erradiazioa desagertzean. Ur-deposituak sartzean, egoera hori zertxobait aldatzen da. Inertzia termiko handirik lortzen ez den arren, eguzki erradiazioa desagertzean, tenperaturek denbora gehiago behar dute kanpoko tenperaturetara jaitsi arte.

Simulazio energetikoak berotegiaren diseinua eta errendimendua optimizatzeko balio dezake, baina horretarako simulazio-eredua ondo kalibratuta egon behar da. EnergyPlus programaren eredua baliozkotzeko, prototipoaren emaitza esperimentalak simulazio emaitzekin alderatu dira. Ezaugarri meteorologiko desberdineko aldiak azterteza erabaki da eta guztietan adostasun handia egon da tenperatura

esperimentalen eta simulaziokoen artean. Gainera, emaitzak argi eta garbi ASHRAE, FEMP eta IPMVPren irizpideek ezarritako ereduak baliozkotzeko mugen barruan egon dira. Baliozkotu ondoren, simulazio informatikoa erabili ahal izan da, mota horretako berotegiak eraikin eta kokaleku desberdinetan jartzeak ekar ditzakeen energia-aurrezpenak aztertzeke eta kuantifikatzeko.

5.1.2. BEROTEGIAREN PORTAERAREN AZTERKETA ETA OPTIMIZAZIOA

Berotegiaren eraikuntza-ezaugarrien arabera, barnealdean lortzen diren tenperaturak aldatu egiten dira, eta, beraz, eraikinean lortzen diren energia-aurrezpenak ere. Doktorego Tesian zehar, energia-aurrezkiei eragiten dieten berotegien ezaugarri nagusiak aztertu dira. Horretarako, Nafarroan aurkitzen den Sarriguren hiriko eraikin bat aukeratu da azterketa-kasu bezala, eta berotegi konfigurazio desberdinak gehitu zaizkio beraien eraginkortasuna egiaztatzeke. Analisia osatzeko, berotegiak EKTren klima-zona desberdinetan aztertu dira. Beira aldaera desberdinen erabilerak, berotegiko ingurutzaille opakuaren isolamendu mailak eta berotegiari inertzia termiko gehiago emateko ur-deposituak erabiltzeak duten eragina aztertu da. Era berean, berotegiaren batera bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema bat erabiltzea komeni den analizatu da. Moduluak seriean edo paraleloan instalatzeak nola eragiten duen ere aztertu da. Aldagai hauen konbinazioak 96 berotegi-konfigurazio desberdin aztertzea ekarri du. Aldagai bakoitzaren garrantzia eta aldagaien arteko elkarreragina zehaztu dira. Horretarako, lehenik eta behin, berotegiaren ezaugarriek barnealdeko tenperaturan nola eragiten duten aztertu da. Bigarrenik, konfigurazio bakoitzarekin lortutako energia-aurrezkiak alderatu dira. Azkenik, ikuspegi ekonomikotik analisia egiteko, konfigurazio bakoitzaren inbertsioaren itzulera-epeak kalkulatu dira. Hona hemen aldagai multzo bakoitzetik atera diren ondorioak.

5.1.2.1. BEIRA MOTA

Beira bakunarekin, bikoitzarekin eta emisibitate baxuko beirarekin berotegian lortzen diren tenperaturak alderatu dira. Berotegirako beira ideala ahalik eta transmitantzia termiko txikiena duena izango litzateke, baina eguzki-bero irabazien koefizienterik handienarekin. Normalean, aztertutako beiretan gertatzen den bezala, zenbat eta transmitantzia termiko txikiagoa izan, orduan eta txikiagoa da eguzkiaren irabazi termikoaren koefizientea; beraz, bi ezaugarrien arteko oreka bilatu beharko da. Klimaren arabera, bi ezaugarrietatik zeinek daukan garrantzi handiagoa egiaztatzea beharko da. Emisibitate baxuko beira bikoitzak eguzki-bero irabazien koefiziente txikiena eduki arren, transmitantzia termiko baxuena du ere. Horrek esan nahi du, eguzki-irabazi txikiagoak izan arren, beira horrekin galera termiko txikienak ematen direla ere. Eguzki-bero irabazien koefiziente handiena beira bakunak du, baina haren transmitantzia termikoa beste aldaerena baino askoz handiagoa da. Sarrigurenen

kasuan, berotegiaren irteerako tenperatura altuenak, eguzki-erradiazio kantitatearen arabera, batzuetan beira bikoitzarekin eta beste batzuetan emisibitate baxuko bikoitzarekin lortzen direla egiaztatu ahal izan da. Erradiazio handiko egunetan tenperatura zertxobait altuagoak lortzen dira beira bikoitzarekin. Egun eguzkitsu horietan, beira bikoitzarekin lortzen diren eguzki-irabazi handiagoek eragin gehiago dute emisibitate baxuko beirak duen transmitantzia termiko txikiagoa baino. Egun lainotuetan, ordea, tenperatura altuagoak lortzen dira emisibitate baxuko beira bikoitzarekin, isolatzeko ahalmen handiagoa baitu. Gauetz, zenbat eta txikiagoa izan beiraren transmitantzia termikoa, orduan eta gutxiago jaitsiko dira berotegiko tenperaturak, eta, beraz, emisibitate baxuko beira bikoitzarekin lortuko dira tenperatura altuenak. Berotegiaren irteerako egun osoko batez besteko aire-tenperaturak aztertzen badira, baxuenak beira bakunarekin ematen direla argi eta garbi ikusten da; izan ere, eguzki-bero irabazien koefizienterik handiena izan arren, bere transmitantzia termikoa gainerako beira motena baino askoz handiagoa da. Eguneko batez besteko tenperatura altuenak emisibitate baxuko beirarekin lortzen dira, transmitantzia termiko txikiena duelako.

Aztertutako hiru beira moten artean, EKTren klima-zona guztietan, energia-aurrezki handienak emisibitate baxuko beira bikoitzarekin lortzen dira, ondoren emisibitate baxuko tratamendurik gabeko beira bikoitzarekin, eta emaitza okerrenak, argi eta garbi, beira bakunarekin lortzen dira. Emaitzen arabera, ondoriozta daiteke beiraren ahalmen isolatzaileak eguzki-irabaziek baino eragin handiagoa duela aurrezkitan.

Emaitzek ere erakusten dutenez, neguko klima-gogortasun txikieneko zonetan, beira mota baten zein bestearen erabilieraren arteko aldea oso txikia da, berokuntza-eskaria oso txikia delako. Klima-gogortasuna handitu ahala, diferentziak handiagoak dira emisibitate baxuko beira bikoitzaren alde.

Bestalde, gainerako faktoreek erabilitako beiran duten eragina aztertuz gero, egiaztatu ahal izan da berotegiaren inguratzailerik opakoa zenbat eta gehiago isolatu, orduan eta eragin handiagoa duela beira motaren aukeraketak. Era berean, bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema bat instalatzean, energia gehiena berreskuragailuari esker aurrezten denez, beira motaren aukeraketa ez da beroa berreskuratzen ez denean bezain esanguratsua.

Ikuspegi ekonomikotik aztertuz gero, emaitza txarrenak inbertsioaren itzulerari dagokionez, beira bakunarekin lortzen dira berriro ere. Beira honek energiaren ikuspegitik ere portaera txarrena duenez, bere erabilera ez da gomendatzen. Beira bikoitzaren eta emisibitate baxuko beiraren arteko inbertsioaren itzulera-epeak antzekoak dira, eta laburragoak edo luzeagoak dira gainerako aldagaien arabera. Emisibitate baxuko beirarekin lortutako aurrezkiak handiagoak direnez, luzera begira,

aukera onena dela uste da. Dena den, inbertsio-gaitasuna ere kontuan hartu beharko da, emisibitate baxuko beira garestiagoa baita.

5.1.2.2. INGURATZAILE OPAKUAREN ISOLAMENDU MAILA

Espero zitekeen bezala, emaitzen arabera, berotegiaren inguratzaile opakua zenbat eta gehiago isolatu, orduan eta galera termiko gutxiago dago. Beraz, berotegiaren barruan tenperatura handiagoak lortzen dira, eta horrek eraikinean energia gehiago aurreztea dakar. Hala ere, inguratzailea behar bezala isolatu ondoren, isolamenduaren lodiera handitzean lortutako tenperaturen arteko aldeak oso txikiak direla egiaztatu da. Gainera, lodiera handitu ahala, bere eragina tenperaturetan gero eta txikiagoa da. Gauza bera gertatzen da eraikinean lortutako energia-aurrezkiekin: gutxienero isolamendu bat jarri behar da errendimendu egokia lortzeko, baina behin inguratzailea behar bezala isolatu ondoren, lodiera handitzeak eragindako aurrezki-aldeak ez dira oso esanguratsuak. Klima epeletan, berokuntza-eskaria txikia denez, lodiera handitzean eraikinean lortutako energia-aurrezkiaren hobekuntza baztergarria da. Klima hotzagoa den heinean, inguratzaile opakua gehiago isolatzeak gero eta eragin handiagoa du, nahiz eta lodieren arteko aldeak gutxi esanguratsuak izaten jarraitzen duten.

Isolamenduaren lodiera handitzeak kostu handiagoa dakar, eta horrek nabarmen handitzen du inbertsioaren itzulera-epea. Aztertutako lodieren artean (8 cm, 16 cm eta 24 cm), aldaerarik onena lodierarik txikiena duena dela uste da; izan ere, lortutako energia-aurrezkiak zertxobait baxuagoak izan arren, kostua askoz txikiagoa da, eta egindako inbertsioa, epe laburragoan berreskuratzen da.

5.1.2.3. INERTZIA

Inertzia termikoa handitzeko ur-deposituak erabiltzeak eragin handia du berotegiaren barruko tenperaturaren portaeran. Egun osoko batez besteko tenperaturak antzekoak izan arren, inertzia erabiliz gero tenperaturak egonkorragoak dira: eguerdian ez dira hain altuak, baina, aldi berean, gauez ez dira hainbeste jaisten.

Inertzia erabiltzea ez da beti onuragarria izaten eraikinean energia-aurrezpen handiagoak lortzeko. Berotegia bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema batekin konbinatzen denean, gauez, kanpoko airea zuzenean sartzen da eraikinera berreskuragailutik igaro ondoren, berotegitik pasatu gabe. Horrela, gaueko ordu horietan, berreskuragailuan aurreberotutako airea ez da berotegian hozten. Beraz, eguneko orduetan baino ez da airea zirkularazten berotegian zehar, momentu horretan solik berreskuragailuan berotutako airea gehiago berotzeko gai baita. Hori dela eta, inertzia areagotzen duten ur-deposituak erabiltzea ez da komenigarria, metatutako beroaren zati bat gauez galduko bailitzateke, eraikinean sartzen den airea gehiago berotzeko balio ez duenean. Beroa berreskuratzen ez denean, berriz, inertiak

hobekuntza txiki bat eragiten du emaitzetan. Emari konstanteko aireztapen-sistema bat erabili izan da eta beraz, berreskurapena jartzen ez bada, airea eraikinean modu uniformeagoan sartzeko beroa metatzea onuragarria da. Horrela, inertzia termikoa ez dela komeni beroa berreskuratzen duen sistema bat instalatzen denean, baina bai erabiltzen ez denean ondoriozta daiteke. Beroa berreskuratzen ez denean, ur-depositu horiek sartzek dakarren hobekuntza areagotu egiten da moduluak paraleloan instalatzen diren kasuetan.

Soluzioaren kostua asko handitzen ez duen neurria denez, inertiarekin inbertsioaren itzulera-epeak, handiagoak edo txikiagoak izango dira, beroa berreskuratzen den arabera. Orokorrean, bero-berreskurapenik gabe itzulerak txikiagoak dira inertiarekin, eta beroa berreskuratzen denean inertzirik gabe.

5.1.2.4. BERO-BERRESKURAPENA

Bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema bat instalatzen denean, airea berreskuragailuan aurreberotu ondoren berotegian sartzen denez, berotegitik irteteen lortutako tenperaturak beroa berreskuratzen ez denean lortutakoak baino askoz altuagoak dira.

Bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema bat erabiltzeak eraikineko berokuntzan energia aurreztea dakar. Hala ere, aldi berean, kontsumoa handitu egiten da aireztapen-sistemaren haizagailuetan. Honen ondorioz, bere erabilera ez da komenigarria klima beroetan. Klima horietan berokuntza-eskaria oso txikia denez, lortutako berokuntza-aurrezkiek ez dute konpentsatzen haizagailuen kontsumo handiagoa. Neguko klimaren gogortasuna handitu ahala, eraikinaren berokuntzan lortutako aurrezkiak gero eta garrantzitsuagoak dira, bero-berreskurapenak dakarren haizagailuen energia-kontsumo handiagoa argi eta garbi gainditu arte. Klima hotzenetan, bero-berreskurapena funtsezkoa da eraikinetan energia-aurrezpen esanguratsuak lortzeko. Klima hauetan, berreskurapena duen aireztapen-sistema berotegiekin konbinatzen bada, energia-aurrezpen totalak oraindik garrantzitsuagoak dira.

Berotegiak bero-berreskurapena duen aireztapen sistema batekin konbinatzean direnean, aurrezpen gehienak berreskuragailuari esker lortzen direnez, berotegiak jartzeak dakarren aurrezpen gehigarria txikia da. Beraz, soil-soilik berotegiei esker lortzen den errendimendua txikiagoa da berreskurapenarekin konbinatzen ez direnean baino.

5.1.2.5. SERIEAN EDO PARALELOAN INSTALATZEA

Berotegiaren barruko tenperaturaren portaera ere nabarmen aldatzen da moduluak seriean edo paraleloan jartzen diren arabera. Moduluak seriean instalatzen direnean berotegiaren irteera-tenperaturak eta paraleloan dauden moduluen irteera-

temperaturak alderatzen badira, gauean, argi eta garbi baxuagoak dira lehen kasuan. Egunez, eguzki erradiazioaren araberrakoak dira, egun eguzkitsuetan seriean temperatura altuagoak lortzen baitira, baina egun lainotsuenetan paraleloan. Moduluak paraleloan instalatzean lortutako temperaturek, gorabehera gutxiago dituzte, eta, beraz, kasu honetan, berotegiak inertzia termiko handiagoa duela ondoriozta daiteke.

Gainerako aldagaien eragina kontuan izanik, energia aurrezpen handienak lortzen dituen aukera aldatu egiten da. Alde batetik, beroa berreskuratzen duen aireztapen-sistema bat erabiltzen ez denean, paraleloan energia emaitzak seriean baino askoz hobekak dira. Kasu honetan, moduluak seriean eta paraleloan instalatzearen arteko itzulera-epeak oso antzekoak dira; izan ere, moduluak paraleloan jartzea garestiagoa den arren, energia gehiago aurrezten da. Beste alde batetik, bero-berreskurapena duen sistema bat instalatzen denean, seriean instalatzearen edo paraleloan instalatzearen arteko kontsumo-aldeak txikiak dira. Paraleloan instalatzearen hasierako kostua askoz handiagoa denez, itzulera-epeak ere aldaera honekin altuagoak izan ohi dira.

5.1.3. BEROTEGIAREN TAMAINA

Zenbat eta handiagoa izan berotegia, orduan eta aurrezki gehiago lortzen dira eraikinean, baina modulu bakoitzeko lortutako aurrezkiak gero eta txikiagoak dira. Era berean, zenbat eta handiagoa izan berotegia, hainbat eta handiagoa da kostu totala, baina txikiagoa moduluko kostua. Hori dela eta, berotegiak bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema batekin konbinatzen ez direnean, inbertsioaren itzultzer-epe luzeenak berotegia txikia denean izaten dira. Lortutako aurrezkiak minimoak dira eta moduluko kostua handia. Bere tamaina handitzen doan heinean, inbertsioa berreskuratzeko epea murrizten doa, modulu bakoitzeko kostua ere jaisten doalako. Dena den, gero eta txikiagoa da beherakada, modulu bakoitzeko aurrezpena ere murriztu egiten baita berotegiaren tamainak gora egin ahala. Horrela, tamaina batetik aurrera, itzulera-epeek behera egiteari uzten diote eta gero eta handiagoak izaten hasten dira.

Berotegia bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema batekin konbinatzen denean, aurrezpen gehienak berreskuragailuari esker eskuratzen direnez, berotegiaren tamaina handitzeari esker soilik lortzen den kontsumoaren jaitziera txikia da. Horregatik, berotegia zenbat eta handiagoa izan, orduan eta handiagoa da inbertsioaren itzulera-epea.

Berotegiaren tamaina aukeratzekoan ondoriozta daiteke, lortzen den aurrezki kontuan hartzeaz gain, jakin behar dela, halaber, tamaina batetik aurrera berotegiaren

errendimendua gero eta txikiagoa izango dela eta inbertsioaren itzulera-epea gero eta handiagoa izango dela.

5.1.4. KLIMAREN ERAGINA

5.1.4.1. ESPAINIAKO KLIMA-ZONEN AZTERKETA

Klimak horrelako berotegien instalazioan duen eraginean sakontzeko, eraikin bat aukeratu da azterketa-kasu gisa eta Espainiako estatuko klima-zona desberdinetan kokatzen denean gertatzen dena aztertu da. Neguko klimaren gogortasuna zenbat eta handiagoa izan, orduan eta handiagoak dira eraikineko berokuntzako kontsumoak baina, aldi berean, aurrezpen handiagoak lortzen dira berotegiak instalatzean. Klima epelenetan, berokuntza-eskaria oso txikia denez, lortutako energia-aurrezpenak ere oso txikiak dira. Hala ere, klima hotzagoa den heinean, gero eta interes handiagoa hartzen du berotegien erabilerak. Aurrezkiak gero eta garrantzitsuagoak dira, eta, beraz, inbertsioaren itzulera-epeak ere murrizten doaz pixkanaka. Estatu espainiarrean aztertutako hirien artean, emaitzarik onenak Burgosen lortu dira argi eta garbi, EKTren neguko gogortasun handieneko klima-eremuan, E klima-zonan alegia. Okerrenak, aldiz, Malagan eman dira, neguko klima-gogortasun txikieneko eremuan, A klima-zonan. Azterketa-kasuan, Burgosen, berotegiaren konfigurazio onenarekin, berotegirik gabeko eraikinarekiko $48,17 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{urte}^{-1}$ -eko energia primarioaren aurrezpena lortzen den bitartean, Malagan, $7,21 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{urte}^{-1}$ aurreztea baino ez da lortzen, klimak duen eragin handia erakutsiz.

Jakina, zenbat eta handiagoak izan aurrezki energetikoak, orduan eta lehenago berreskuratzen da egindako inbertsioa. Klima epelenetan, lortzen diren aurrezkiak oso txikiak direnez, itzulera-epeak oso handiak dira, eta, beraz, ikuspegi honetatik ez da komeni berotegiak erabiltzea. Neguko gogortasuna handitu ahala, epeak murrizten doaz. Horrela, azterketa-kasua Burgosen kokatzen denean, berotegiaren konfigurazio optimoarekin 19 urteraino jaisten da epea.

Klima beroenetan, beroa berreskuratzen duen aireztapen-sistema bat erabiltzeak kontsumo handiagoak eragiten ditu eraikinean; izan ere, eskaria txikia denez, eraikinaren berokuntzan lortzen diren aurrezkiek ez dute konpentsatzen haizagailuen kontsumo handiagoa. Klima horietan, beroa berreskuratu gabe berotegiak erabiltzea ere ez da oso interesgarria, egin beharreko inbertsioa handia baita lortzen diren aurrezkiatarako. Klima hotzagoa den heinean, gero eta interes handiagoa hartzen du bero-berreskurapenaren erabilerak. Azterketa-kasuan, EKTko C klima-zonaraino bero-berreskurapena ez da komeni. D klima-zonan, berotegiak bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema batekin konbinatzen direnean, energia-aurrezpen handiagoak lortzen dira jada. Hala ere, kostu handiagoko alternatiba denez, inbertsioa

berreskuratzeko epea, oro har, luzeagoa da bero-berreskurapenarekin. E klima-zonan, neguko eremu klimatiko gogorrean, lortutako aurrezkiak nabarmen handiagoak direnez, bero-berreskurapenarekin itzulera-epeak txikiagoak dira dagoeneko.

Bistan denez, eguzki-erradiazioak ere eragin handia du berotegien portaeran. Zenbat eta eguzki-erradiazio handiagoa, orduan eta tenperatura altuagoak lortzen dira berotegien barnealdean, eta, ondorioz, eraikinaren berokuntzan energia gehiago aurrezten da. Beraz, berotegien portaerarik onena klima hotz baina eguzkitsuetan lortzen da. Edonola ere, berotegiak bero-berreskurapenarekin konbinatzen direnean, aurrezpen gehienak berreskuragailuari esker lortzen direnez, eguzki-erradiazioak ez du hainbesteko garrantzirik eta kokalekuaren neguko klimaren gogortasunak eragin nabarmen handiagoa du.

Negutegiaren konfigurazio onena klimaren arabera aldatzen da. 5.1 Taulan, klima-zona bakoitzaren konfigurazio onenak erakusten dira, lortutako aurrezpenari eta inbertsioaren itzulera-epeei dagokienez.

5.1 Taula. Konfigurazio onenak klima-eremuaren arabera

| Energia-aurrezki handieneko konfigurazioak | | | | | | |
|--|------------|---------------|-----|-----|-----|-----|
| Klima-zona | Hiria | Konfigurazioa | | | | |
| A klima-zona | Malaga | 1.3 | 2.3 | 3.2 | 4.1 | 5.1 |
| B klima-zona | Valentzia | 1.3 | 2.3 | 3.2 | 4.1 | 5.1 |
| C klima-zona | Bartzelona | 1.3 | 2.3 | 3.2 | 4.1 | 5.2 |
| D klima-zona | Madril | 1.3 | 2.3 | 3.1 | 4.2 | 5.1 |
| D klima-zona | Sarriguren | 1.3 | 2.3 | 3.1 | 4.2 | 5.1 |
| E klima-zona | Burgos | 1.3 | 2.3 | 3.1 | 4.2 | 5.2 |

| Itzulera-epe laburrenako konfigurazioak | | | | | | |
|---|------------|---------------|-----|-----|-----|-----|
| Klima-zona | Hiria | Konfigurazioa | | | | |
| A klima-zona | Malaga | 1.2 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 |
| B klima-zona | Valentzia | 1.2 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 |
| C klima-zona | Bartzelona | 1.2 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 |
| D klima-zona | Madril | 1.2 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 |
| D klima-zona | Sarriguren | 1.3 | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.2 |
| E klima-zona | Burgos | 1.2 | 2.1 | 3.1 | 4.2 | 5.1 |

Energia aurrezpenaren ikuspuntutik konfigurazio onenak aztertuz gero, klima guztietan emisibitate baxuko beira bikoitzarekin (1.3 Aldaerarekin) lortzen dira aurrezpen handienak. Era berean, kokaleku guztietan isolamenduaren lodierarik handienarekin (2.3 Aldaerarekin) lortzen dira emaitzarik onenak. Hala ere, gainerako aldagaiak aldatu egiten dira eremu klimatikoaren arabera. Ikusi dugunez, inertiaren egokitasuna, bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema instalatzen den edo ez den araberakoa da.

Hori dela eta, bero-berreskurapena komeni ez den tokietan, konfiguraziorik onena ur-deposituak inertzia emateko erabiltzen direnean lortzen da (3.2 Aldaera), eta gainerako klimetan, berreskurapenarekin aurrezpen handiagoak lortzen direnean, inertziarik gabe (3.1 Aldaera). Bero-berreskurapenaren erabilera ez da egokia Malagan, Valentzian eta Bartzelonan, hau da, klima-zona epelenetan; beraz, klima hauetan konfigurazio optimoa inertziarekin eta berreskurapenik gabe lortzen da (3.2/4.1 Aldaera). Aldea txikia den arren, Malagan eta Valentzian moduluak seriean jartzeak (5.1 Aldaera) aurrezpen handiagoa dakar; Bartzelonan, berriz, paraleloan jartzeak (5.2 Aldaera) zertxobait hobetzen ditu emaitzak. D eta E klima-zonetan, energia-aurrezpen handiagoak lortzen dira bero-berreskurapenaren erabilerarekin (4.2 Aldaera) eta, beraz, baita inertziarik gabe ere. Gainera, klima hotzagoa den heinean, gero eta garrantzi handiagoa hartzen du berreskurapenak. Madrilen eta Sarrigurenen, konfigurazio onena berreskurapenarekin eta moduluak seriean instalatzean lortzen da (4.2/5.1 aukera), eta Burgosen, berriz, berreskurapenarekin baina paraleloan (4.2/5.2 aukera).

Inbertsioaren itzuleraren ikuspuntutik, Sarrigurenen izan ezik, konfiguraziorik onenak beira bikoitzarekin lortzen dira (1.2 Aldaera). Hala ere, beira bikoitzarekin eta emisibitate baxuko beira bikoitzarekin (1.3 Aldaera) lortzen diren itzulera-epeak oso antzekoak dira. Beraz, urtean gehiago aurrezten denez, epe luzera begira, komenigarritzat jotzen da emisibitate baxuko beira erabiltzea. Inguratzaile opakua isolamenduari dagokionez, klima guztietan, itzulera-epe onena duen konfigurazioa 8 cm-ko isolamendurekin lortzen da (2.1 Aldaera). Lodiera desberdinen arteko aurrezki-aldeak oso txikiak dira, eta kostu-aldeak, berriz, nabarmenak. Hori dela eta, alderdi energetiko eta ekonomikoak kontuan hartuta, 2.1 Aldaera dela egokiena uste da. Inertzia aztertuz gero, beroa berreskuratzen ez denean, ur-deposituak erabiltzea (3.2 Aldaera) komenigarria dela itzulera-epeak laburragoak izateko ikusten da. Bero-berreskurapenarekin, berriz, inertziarik gabe (3.1 Aldaera) lortzen dira emaitza hobek. Burgosen izan ezik, inbertsioaren itzuleraren ikuspegitik konfiguraziorik onenak, bero-berreskurapenik gabe lortzen dira (4.1 Aldaera). Burgosen, berriz, inbertsioaren itzulera-epeak laburragoak dira dagoeneko berreskurapenarekin (4.2 Aldaera), baina energia-aurrezkiekin ez bezala, soluzio onuragarriena seriean da, paraleloan izan beharrean. Sarrigurenen izan ezik, paraleloan instalatzeak suposatzen duen gastu handiagoaren ondorioz, inbertsioa lehenago berreskuratzen duten konfigurazioak seriean lortzen dira.

5.1.4.2. EUROPAKO KLIMA DESBERDINEN ANALISIA

Espainiako klima-zonetan gertatzen dena aztertu ondoren, Europako hiri nagusiak analizatu dira. 36 hiriren baldintza klimatikoak alderatu dira, gradu-egunen kopuruaren eta eguzki-erradiazioaren arabera multzokatuz; izan ere, negutegien errendimenduari

eragiten dioten ezaugarri nagusiak direla uste da. Talde bakoitzeko hirien emaitzak antzekoak izango direnez, azterketarako hiri bakar bat aukeratu da talde bakoitzeko.

Europako klima epelenetan, aurrezkiak ez dira handiak, eta, beraz, berotegiaren erabilera ez da oso interesgarria. Gainera, ikusi den bezala, klima beroenetan, bero-berreskurapena erabiltzea ez da komeni. Emaitzek erakusten dutenez, neguko klimaren gogortasuna handitu ahala, berotegiei esker lortzen diren aurrezkiak gero eta handiagoak dira. Europako klima hotzenetan, berotegiei esker lor daitezkeen aurrezkiak benetan garrantzitsuak izan daitezke, are gehiago eguzki-erradiazio handia badute.

Berotegiak bero-berreskurapenarekin konbinatzen ez direnean, bai gradu-egunen kopuruak eta baita eguzki-erradiazioak ere, garrantzi handia dute lortutako aurrezkietan. Neguko klimaren gogortasuna gora egin ahala, aurrezkiek ere gora egiten dute. Horrela, Stockholmen lortzen dira energia-aurrezpen handienak, aztertutakoen artean berokuntza-eskari handiena duen hiria baita. Azterketa-kasuan, $28,82 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{urte}^{-1}$ aurreztea lortzen da Stockholmen. Era berean, berokuntza gradu-egun kopuru antzekoa duten klimen artean, zenbat eta eguzki-erradiazio handiagoa, orduan eta aurrezpen handiagoak lortzen dira. Pragak eta Munichek antzeko gradu-egun kopurua dute, baina Munichek duen eguzki erradiazio handiagoari esker aurrezpen handiagoak lortzen dira azken honetan, aurrezkiak $26,63 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{urte}^{-1}$ -ra iristen direlarik. Berlin, Viena eta Bukarest antzeko berokuntza-eskaria duten hiriak diren arren, Bukaresten lortzen dira aurrezpen handienak, eguzkitsuagoa baita, $24,69 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{urte}^{-1}$ lortuz. Gauza bera gertatzen da Lyon, Paris eta Belgradoren artean, non azken horren eguzki-erradiazio handiagoak aurrezki gehiago eragiten duen ($22,44 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{urte}^{-1}$). Beraz, bero-berreskurapenik gabe, eguzki-erradiazioak eta gradu-egunek garrantzi handia dutela lortutako emaitzetan ondoriozta daiteke.

Berotegiak bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema batekin konbinatzen direnean, berreskuragailuari esker lortzen direnez aurrezki gehienak, eguzki-erradiazioak ez du hainbesteko garrantzirik, eta neguko klima-gogortasuna da eragin handiagoa duena. Horrela, Stockholmen lortzen dira aurrezpen handienak: $59,66 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{urte}^{-1}$. Klima hotzagoa den heinean, gero eta alde handiagoa dago bero-berreskurapena duten eta ez duten aukeren artean. Beraz, gero eta garrantzitsuagoa da bero-berreskurapena energia aurrezteko. Berotegiak bero-berreskurapenarekin konbinatzeak Europako klima hotzenetan energia-aurrezpen benetan garrantzitsuak ekartzen dituela ondoriozta daiteke.

5.1.5. ERAIKUNTZAREN KODE TEKNIKOA BETETZEKO BEROTEGIEN ERABILERA

Neguko klimaren gogortasuna zenbat eta handiagoa izan, EKTren isolamendu eta hermetikotasun eskakizunak gero eta handiagoak dira. Energia primarioaren kontsumo-

mugak, totala zein berriztaezina, ere aldatu egiten dira eremu klimatikoaren arabera, eta gero eta txikiagoak dira neguko klima-gogortasuna murrizten den heinean. Azterketa-kasuan, eraikinaren inguratzailea EKTren energia-eskaria kontrolatzeko muga baldintzetara egokitzen denean, ez da betetzen inongo klima-zonetan berriztagarria ez den kontsumo-muga, nahiz eta soilik berokuntza, ur-beroa eta aireztapena kontuan hartu eta ez hozte-sistema. Gauza bera gertatzen da eraikinean, berotegirik gabe, soilik bero-berreskurpena jartzen denean. Klima beroenetan berotegiak jartzean, aldiz, eraikinaren berokuntzan aurrezpen txiki bat lortzen denez, muga horretatik behera jaistea lortzen da, gutxiagatik bada ere. Klima bero horietan, ordea, hozte-sistemarenak dira kontsumorik garrantzitsuenak; beraz, klimatizazio-sistemen eraginkortasuna hobetu gabe eta sistema berriztagarriak erabili gabe, nekez beteko da EKT. Klima hotzenetan, berotegiak sartzeak energia-aurrezpen handiagoak eragiten baditu ere, inguratzailea EKTren energia-eskaria kontrolatzeko muga-baldintzetara egokitzen denean, aurrezkiak ez dira nahiko kontsumo berriztaezinaren muga betetzeko. Hori dela eta, berokuntza-sistemen efizientzia hobetu edo beste energia-iturri berriztagarriren bat erabili beharko da. Hala ere, inguratzailearen isolamendua eta hermetikotasuna apur bat handitzen bada, berotegi-konfigurazio onenak soilik erabiliz EKT betetzea lortzen da.

Klima hotzenetan batez ere, aireztapen-sistemaren sarrera-aria aurreberotzeko berotegiak erabiltzeak, EKTk eskatutako kontsumo-mugak betetzen lagun dezakeela ondoriozta daiteke, eraikineko berokuntzan energia-aurrezpen esanguratsuak eragiten baititu. Hala ere, inguratzailearen hobekuntzarekin, berokuntza-sistema eraginkorragoekin edo energia berriztagarrien erabilera handiagoarekin konbinatzea beharrezkoa izango da araudia bete ahal izateko.

5.1.6. ONDORIO OROKORRA

Klima-aldaketaren ondorioak arintzeko, berotegi-efektuko gasen isuriak murrizteko beharrak, araudiak gero eta murriztaileagoak izatea eragin du. 2020tik aurrera Europako Batasunean eraikitzen diren eraikin berri guztiak energia-kontsumo ia nulukoa izan beharko dira. 2050erako, Batasunak ekonomia hipokarbonikoa lortu nahi du, eta, horretarako, berotegi-efektuko gasen isurketak % 80 murriztu beharko ditu, 1990eko mailekin alderatuta [3]. Eraikuntzaren sektorean energia berriztagarriak erabiltzea eta energia-kontsumoa murriztea funtsezkoa da helburu horiek lortzeko; izan ere, bizitegi-sektoreko eta hirugarren sektoreko eraikinen kontsumoa Europar Batasuneko guztizkoaren % 40 inguru da. Testuinguru horretan, eraikinen kontsumoa murriztuko duten sistema berriak bilatu behar dira. Helburu horrekin, aireztapen-sistemako sarrera-aria aurreberotzeko gai den berotegi modularra diseinatu da, eraikineko berokuntzan energia aurrezteko. Berotegi horien eraikuntza-ezaugarri nagusiak eta toki bakoitzeko

klima-baldintzen arabera nola aldatzen diren aztertu da. Horrela, Espainiako klima-zona bakoitzerako diseinatutako berotegiaren konfigurazio optimoak zehaztu dira.

Doktorego Tesian zehar frogatu denez, berotegi horiek erabiltzea energia kontsumoa murrizteko oso tresna baliagarria da klima hotz eta eguzkitsuetan. Klima epelagoetan bere erabilerak ez du interes handirik; izan ere, lortutako energia-aurrezkiak txikiak dira, eta, beraz, inbertsioaren itzulerak oso altuak. Hala ere, klima hotzenetan, aurrezkiak oso garrantzitsuak izatera heltzen dira, are gehiago bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema batekin konbinatzen direnean. Neguko klima-gogortasuna handitu ahala, aurrezkiak areagotu egiten dira, eta horrek inbertsioaren itzulera-epeak gero eta txikiagoak izatea eragiten du. Gainera, gero eta garrantzitsuagoa da berotegiak bero-berreskurapena duen aireztapen-sistema batekin konbinatzea. Azken hilabeteetan elektrizitatearekin gertatu den bezala, datozen hamarkadetan energiaren prezioa igo daiteke, eta horrek interesgarriagoa egingo luke berotegiak erabiltzea. Era berean, berotegiaren eraikuntza industrializatuz gero eta ekoizpena handituz gero, kostuak murriztu egin litezke, eta horrela, itzulera-epeak murriztu.

Beraz, berotegi horiek erabiltzeak energia-kontsumo ia nuluko eraikinak lortzen lagundu dezakeela modu eraginkorrean uste da, are gehiago beste sistema batzuekin konbinatzen badira. Ondoriozta daiteke Doktorego Tesiak frogatu duela aireztapen-sistemaren sarrera-areia aurreberotzeko berotegiak erabiltzea, lagungarria izan daitekeela, eraikinen energia-kontsumoa murrizteko funtsezko erronka lortzeko.

5.2. ETORKIZUNeko IKERKETA-ILDOAK

Lan honetan berotegien portaera aztertu da aireztapen-sistema emari konstantekoa denean. EKtk, Osasungarritasunari buruzko Oinarrizko Dokumentuan [74], etxebizitzetako lokal bizigarrietan kanpoko aire-emaria nahikoa sartu behar dela ezartzen du, lokal bakoitzean urteko batez besteko CO₂-aren kontzentrazioa 900 ppm baino txikiagoa izan dadin eta 1.600 ppm gorako urteko CO₂-aren metaketa 500.000 ppm·h baino txikiagoa izan dadin. Gainera, kanpo aire-emaria nahikoa izan behar da giza presentziarekin zuzenean lotuta ez dauden kutsatzaileak kentzeko, eta baldintza hori betetzat jotzen da lokal bizigarri bakoitzeko 1,5 l·s⁻¹-eko gutxieneko emaria ezarrita, okupaziorik gabeko aldietan. Nolanahi ere, EKtk, aireztapen-baldintza horiek betetzat jotzeko balio duen gutxieneko emari konstanteko aireztapena finkatzen du, eta emari hori izan da Tesian zehar orain arte erabili dena. Hala ere, interesgarritzat jotzen da berotegiaren azterketan sakontzea aireztatze-emaria etengabea ez denean. Sortutako CO₂ kopurua okupazio egoeraren eta okupatzaileen jardueraren arabera denez, eraikinaren erabileraren arabera, aireztapen-emaria aldatu egin daiteke. Kontuan izan behar da, sistema hauen inertzia falta dela eta, berotegiak sarrera-areia berotzeko gai direla batez ere egunez, eguzki erradiazioa jasotzen dutenean. Horrela, egunez gaez

baino emari handiagoa behar den erabileretan, aurrezkiak handitu egingo direla aurreikusten da. Beraz, emari konstanterik ez duen aireztapen-sistema batekin berotegien portaera aztertzea erabilera-profil desberdinetan, jarraitu beharreko ikerketa-ildo interesgarria dela uste da. SARS-COV-2 koronabirusaren agerpenarekin, aireztapenak kutsatzeko arriskua murrizteko duen garrantzia egiaztatu ahal izan da, eta horrek aireztapen-mailak handitzea ekarri du. Aireztapenaren beharra handitzean, berotegien erabilerarekin lortutako aurrezkiak areagotu egingo dira; beraz, oso interesgarria dirudi sistema horien portaera aireztapenaren behar berrieekin aztertzea.

Hiri-baratzetarako eraikinen estalkietan kokatutako berotegien erabilera aztertzea interesgarria izan daiteke, batez ere aldi berean aireztapen-sistemaren sarrera-airea berotzeko balio badute. Hiri-nekazaritzak abantaila batzuk ditu. Alde batetik, eraikinek nekazaritzarako potentziala izan dezaketen gutxiegi erabilitako espazioak eskaintzen dituzte [90]. Baratze komunitarioak ere, ikuspegi sozial eta ekonomikotik, onuragarriak izan daitezke tokiko biztanleentzat [91]. Nekazaritza jarduerak okupatzaileen ongizate emozional, mental eta fisikoa hobetu dezakete [92]. Era berean, hiri inguruneke nekazaritza-ekoizpenak lan aukerak sor ditzake [93]. Elikagaien garraioarekin lotutako karbono-isuriak murriztea dakar baita ere [94]. Sistema bertikaletan laborantza hidroponiko eta aeroponikoak erabiltzeak erraztu egin dezake hiri-baratze horiek instalatzea (ikus 5.3 Irudia). Berotegiak erabiltzen badira, baratze horien ekoizpena hobetu egin daiteke eta, aldi berean, eraikinean energia aurrezteko balio dezakete. Jakina, berotegien diseinua egokitu beharko litzateke, eskakizun higrotermikoak ez baitira berdinak izango. Ildo horretan, berotegien funtzio bikoitz hori zenbateraino izan daitekeen onuragarria eta berotegien ezaugarriei nola eragiten dien aztertu beharko litzateke.



5.4 Irudia. Laborantza bertikala.

Iturria: <https://can-agri.com>.

Orain arte, aireztapen-sistemaren sarrera-arean berotzeko berotegiaren erabilera aztertu bada ere, berotegiak bero-ponpa baten errendimendua hobetzeko ere erabil daitezke. Bero-ponparen eraginkortasuna estuki lotuta dago lurrungailuaren eta kondentsadorearen tenperatura-mailekin [95]. Maila horiek zenbat eta hurbilago egon, orduan eta handiagoa izango da errendimendu-koefizientea (COP) [96]. Berotegiek, lurrungailuan fluido hoztailea lurruntzen duen airearen tenperatura igotzeko balio dezakete, eta horrek bero-ponparen COP handitzea ekarriko du, energia aurrezteko lortuz.

Beiratearen ordez, berotegietan panel fotovoltaiko erdi-gardenak instalatzeak duen eragina aztertzea interes handikoa litzateke. Horretarako, egin denaren berdina den prototipoa eraiki ahal izatea espero da, baina beiratearen ordez panel fotovoltaiko erdi gardenak jarri. Horrela, bi sistemen eraginkortasunak kuantifikatu eta alderatu ahal izango dira. Panel fotovoltaikoak berotegiarekin konbinatzeak zenbait abantaila ekar ditzake. Nahiz eta, ziur aski, airea aurreberotzeko orduan, berotegiaren errendimendua jaitxi egingo litzatekeen, eguzki-erradiazioaren zati bat panel fotovoltaikoak xurgatuko lukeelako, berotegi hauekin energia elektrikoa ere lortuko litzateke. Gainera, negutegiko airea panel fotovoltaikoen atzealdetik zirkularazi egingo litzatekeenez, hainbat abantaila lortuko lirateke [95, 97]. Lehenik eta behin, panelen tenperatura murriztu egingo litzateke, eta horrek eraginkortasun elektrikoa handituko luke. Gainera, moduluen deslaminatzeko joera murriztuz, sistemaren balio-bizitza luzatzea lortuko litzateke. Azkenik, panelak askatutako beroak berotegiko airea gehiago berotzeko balioko luke, sistemaren errendimendua hobetuz. Aldi berean, sistema horri bero-ponpa bat gehitzen bazaio, paneletan lortutako elektrizitatea konpresorea elikatzeke erabili ahal izango da. Emmi et al.ek [98] egindako azterketaren arabera, bero-ponpa panel fotovoltaikoekin konbinatzen bada sistemaren errendimendu energetikoa % 16 eta % 25 bitartean hobetu daitezke, bero-ponpa arruntaren sistemarekin alderatuta. Beraz, berotegiak, panel fotovoltaikoak eta bero-ponpa konbinatzen dituen sistemaren ikerketan sakondu beharra dagoela uste da, energia aurrezteko etorkizun handiko bidea izatea espero baita.

6. BIBLIOGRAFIA

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Europako Batzordea, Energiaren eta Garraioaren Zuzendaritza Nagusia, «2020ko ikuspegia: gure energia aurreztea,» 2007.
- [2] Europako Batzordea, «Energia-eraginkortasuna eta energiaren segurtasunari eta 2030erako esparruari egiten dion ekarpena,» 2014.
- [3] Europako Batzordea, «2050erako energiaren ibilbide-orria,» 2011.
- [4] IDAE, «Energia-kontsumoaren analisisa. Azken txostena,» 2011.
- [5] T. Kisilewicz, «Glazed building wall as a solar thermal collector,» *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, %1. bol.9(1), pp. 83-99, 2009.
- [6] A. Sánchez-Ostiz, A. Monge-Barrio, S. Domingo-Irigoyen eta P. González-Martínez, «Design and experimental study of an industrialized sunspace with solar heat storage,» *Energy and Buildings*, %1. bol.80, pp. 231-246, 2014.
- [7] E. S. Morse, «Warming and ventilating apartments by the sun's rays». Amerikako Estatu Batuak Patentea 246626, 1881.
- [8] F. Trombe. Amerikako Estatu Batuak Patentea 3,832,992, 1972.
- [9] Sustapen Ministerioa. Espainiako Gobernua, *HE oinarriko dokumentua. Energia aurreztea. Eraikuntzaren Kode Teknikoa*, 2019.
- [10] O. A. Barra eta E. P. Carratelli, «A theoretical study of laminar free convection in 1-D solar induced flows.» *Solar Energy*, %1. bol.23(3), pp. 211-215.
- [11] R. Fuchs eta J. F. McClelland, «Passive solar heating of buildings using a transwall structure,» *Solar Energy*, %1. bol.23(2), pp. 123-128, 1979.
- [12] T. J. Maloney eta V. Habib, «Design, fabrication and testing of a marketable waterwall component,» 1979.
- [13] A. Lacaton eta J. P. Vassal, *Structural freedom, a precondition for the miracle. Lacaton & Vassal. Recent work, 2G*, %1. bol.60, Gustavo Gili, 2012.
- [14] F. Passerini, «Sunspaces for passive building heating: calculation models and utilization of empirical data (Doctoral thesis),» Trento, 2012.
- [15] P. Reconsost, «Arquieficiencia.com,» 27 Septiembre 2018. [Online]. Available:

<https://arquieficiencia.files.wordpress.com/2012/07/7-ga-invernaderos.pdf>.

- [16] G. Mihalakakou eta A. Ferrante, «Energy conservation and potential of a sunspace: sensitivity analysis,» *Energy Conversion and Management*, %1. bol.41(12), pp. 1247-1264, 2000.
- [17] M. Tan, «Opposite sunspaces passive solar air heating system,» *Solar energy*, %1 / %2 bol.60(3-4), pp. 127-134, 1997.
- [18] G. Chiesa, M. Simonetti eta G. Ballada, «Potential of attached sunspaces in winter season comparing different technological choices in Central and Southern Europe.,» *Energy and Buildings*, %1. bol.138, pp. 377-395, 2017.
- [19] G. Mihalakakou, «On the use of sunspace for space heating/cooling in Europe,» *Renewable Energy*, %1. bol.26(3), pp. 415-429, 2002.
- [20] D. Aelenei, H. de Azevedo Leal eta L. Aelenei, «The use of attached-sunspaces in retrofitting design: the case of residential buildings in Portugal,» *Energy Procedia*, %1. bol.48, pp. 1436-1441, 2014.
- [21] G. Oliveti, M. De Simona eta S. Ruffolo, «Solar contribution evaluation for building attached sunspace in the Mediterranean,» in *International conference passive and low energy cooling for the built environment*, Santorini, Grecia, 2005.
- [22] G. C. Bakos eta N. F. Tzagas, «Technology, thermal analysis and economic evaluation of a sunspace located in northern Greece,» *Energy and Buildings*, %1. bol.31(3), pp. 261-266, 2000.
- [23] K. M. Bataineh eta N. Fayed, «Analysis of thermal performance of building attached sunspace,» *Energy and buildings*, pp. 1863-1868, 2011.
- [24] C. Torra, J. A. Cusidó eta J. Puigdomènech, «Some experiences on design and calculation of sunspaces in Mediterranean climates,» *Solar & Wind Technology*, %1. bol.5 (4), pp. 365-378, 1988.
- [25] A. Monge-Barrio eta A. Sánchez-Ostiz, «Energy efficiency and thermal behaviour of attached sunspaces, in the residential architecture in Spain. Summer Conditions,» *Energy and Buildings*, %1. bol.108, pp. 244-256, 2015.
- [26] M. Reichenbach , «8.8 Apartment buildings in cold climates: Sunspaces,» in *Sustainable Solar Housing*, 2013, p. 171.
- [27] K. Hilliaho, E. Mäkitalo eta J. Lahdensivu, «Energy saving potential of glazed space:

Sensitivity analysis.» *Energy and Buildings*, %1. bol.99, pp. 87-97, 2015.

- [28] A. D. González, «Estudio de la temperatura en un invernadero adosado con orientación norte en la Patagonia Andina,» *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 2012.
- [29] G. Ulpiani, D. Giuliani, A. Romagnoli eta C. di Perna, «Experimental monitoring of a sunspace applied to a NZEB mock-up: Assessing and comparing the energy benefits of different configurations,» *Energy and Buildings*, %1. bol.152, pp. 194-215, 2017.
- [30] A. Vukadinović, J. Radosavljević, A. Đorđević eta N. Petrović, «Effects of the geometry of residential buildings with a sunspace on their energy performance,» *Facta universitatis-series: Architecture and Civil Engineering*, %1. bol.17(1), pp. 105-118, 2019.
- [31] R. Chareille, J. Roux, D. Covalet eta O. Hartmann, «Impact of a veranda on the reduction of the energy consumption in residential buildings: an application of the Clim2000 software.,» in *Seventh International IBPSA Conference*, Rio de Janeiro, Brazil, 2001.
- [32] L. Ma, X. Zhang, D. Li, M. Arıcı eta C. Yıldız, «Influence of sunspace on energy consumption of rural residential buildings,» *Solar Energy*, %1. bol.211, pp. 336-344., 2020.
- [33] S. Bistoni, A. Iriarte, V. Luque eta L. Saravia, «Caracterización de un acumulador de piedra con flujo de aire no reversible,» *Avances en Energías renovables y medio ambiente*, %1. bol.4(2), pp. 29-34, 2000.
- [34] S. Bistoni, A. Iriarte eta L. Saravia, «Modelización de un acumulador de calor en lecho de agua,» *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, %1. bol.6(2), 2012.
- [35] W. Chen eta W. Liu, «Numerical and experimental analysis of convection heat transfer in passive solar heating room with greenhouse and heat storage,» *Solar Energy*, %1. bol.76(5), pp. 623-633, 2004.
- [36] W. Chen eta W. Liu, «Numerical analysis of heat transfer in a composite wall solar-collector system with a porous absorber,» *Applied Energy*, %1. bol.78, %1 zk.2, pp. 137-149, 2004.
- [37] A. Fernández-González, «Analysis of the thermal performance and comfort conditions produced by five different passive solar heating strategies in the United

States midwest,» *Solar Energy*, %1. bol.81, %1 zk.5, 2007.

- [38] M. Owrak, M. Aminy, M. T. Jamal-Abad eta M. Dehghan, «Experiments and simulations on the thermal performance of a sunspace attached to a room including heat-storing porous bed and water tanks,» %1. bol.92, pp. 142-151, 2015.
- [39] A. Vukadinović, J. Radosavljević eta A. Đorđević, «Energy performance impact of using phase-change materials in thermal storage walls of detached residential buildings with a sunspace,» *Solar Energy*, %1. bol.206, pp. 228-244, 2020.
- [40] S. Lu, H. Tong eta B. Pang, «Study on the coupling heating system of floor radiation and sunspace based on energy storage technology,» *Energy and Buildings*, %1. bol.159, pp. 441-453, 2018.
- [41] G. Oliveti, N. Arcuri, M. De Simone eta R. Bruno, «Solar heat gains and operative temperature in attached sunspaces,» *Renewable energy*, %1. bol.39(1), pp. 241-249., 2012.
- [42] M. Santamouris, G. Mihalakakou, A. Argiriou eta D. Asimakopoulos, «On the efficiency of night ventilation techniques for thermostatically controlled buildings,» *Solar Energy*, %1. bol.56(6), pp. 479-483, 1996.
- [43] M. J. Cabrerizo , D. San Ginés, L. Agurto , P. Espinosa, E. Roldán eta A. Del Amo, «Evaluación del funcionamiento de invernaderos integrados en viviendas de protección oficial y consideraciones de diseño basadas en la experiencia en el barrio de Valdespartera-Zaragoza,» 2012.
- [44] D. Ignjatović, M. Jovanović-Popović eta J. Kavran, «Application of sunspaces in fostering energy efficiency and economical viability of residential buildings in Serbia,» *Jasna Kavran*, %1. bol.98, pp. 3-9, 2015.
- [45] E. Mazria, *Passive Solar Energy Book*, Amerikako Estatu Batuak, 1979.
- [46] M. J. Suárez, A. J. Gutiérrez, J. Pistono eta E. Blanco, «CFD analysis of heat collection in a glazed gallery,» *Energy and Buildings*, %1. bol.43, p. 108–116, 2011.
- [47] J. M. Mottard eta A. Fissore, «Thermal simulation of an attached sunspace and its experimental validation.,» *Solar Energy*, %1. bol.81(3), pp. 305-315, 2007.
- [48] M. J. Suárez López, Análisis numérico de sistemas solares pasivos en la edificación (Tesis doctoral), Gijón, 2012.
- [49] M. J. Suárez López, S. Soutullo Castro, A. Navarro Manso eta E. Blanco Marigorta, «Heat collection in an attached sunspace,» *Renewable Energy*, %1. bol.145, pp.

2144-2150, 2020.

- [50] U.S. Department of Energy's (DOE) Building Technologies Office (BTO), and managed by the National Renewable Energy Laboratory (NREL), «EnergyPlus. Weather Data,» [Online]. Available: <https://energyplus.net/weather>.
- [51] A. R. Rempel, . A. W. Rempel, K. V. Cashman, K. N. Gates , C. J. Page eta S. Barbara, «Interpretation of passive solar field data with EnergyPlus models: Unconventional wisdom from four sunspaces in Eugene, Oregon,» *Building and Environment*, %1. bol.60, pp. 158-172, February 2013.
- [52] Q. Ma, W. Gao, H. Fukuda, X. Wei eta X. Chen, «Heat utilization of a ventilated sunspace in a non-insulated apartment.,» *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, pp. 1-13., 2020.
- [53] S. Schiller, D. A. Jump, E. M. Franconi, M. Stetz eta A. Geanacopoulos, «M&V guidelines: measurement and verification for federal energy projects, version 2.2,» 2000.
- [54] L. Webster eta J. Bradford, «M&V Guidelines: Measurement and Verification for Federal Energy Projects; Version 3.0,» 2008.
- [55] L. Webster, J. Bradford, D. Sartor, J. Shonder, E. Atkin, S. Dunnivant, D. Frank, E. Franconi, D. Jump eta S. Schiller, «M&V Guidelines: Measurement and Verification for Performance-Based Contracts; Version,» 2015.
- [56] IPMVP Committee, «International Performance Measurement and Verification Protocol: Concepts and Optionsfor Determining Energy and Water Savings, Volume I,» Washington, DC, USA, 2012.
- [57] A. S. Anđelković, I. Mujan eta S. Dakić, «Experimental validation of a EnergyPlus model: Application of a multi-storey naturally ventilated double skin façade,» *Energy and Buildings*, %1. bol.118, pp. 27-36., 2016.
- [58] V. Gutiérrez González, G. Ramos Ruiz eta C. Fernández Bander, «Empirical and Comparative Validation for a Building Energy Model Calibration Methodology.,» *Sensors*, %1. bol.20(17), p. 5003, 2020.
- [59] M. Royapoor eta T. Roskilly, «Building model calibration using energy and environmental data.,» *Energy and Buildings*, %1. bol.94, pp. 109-120., 2015.
- [60] A. Nadal, P. Llorach-Massana, E. Cuerva, E. López-Capel, J. I. Montero, A. Josa, J. Rieradevall eta M. Royapoor, «Building-integrated rooftop greenhouses: An energy

and environmental assessment in the mediterranean context,» *Applied energy*, %1. bol.187, pp. 338-351, 2017.

- [61] O. Pons, A. Nadal, E. Sanyé-Mengual, P. Llorach-Massana, E. Cuerva, D. Sanjuan-Delmàs, P. Muñoz, J. Oliver-Solà, C. Planas eta M. R. Rovira, «Roofs of the Future: Rooftop Greenhouses to Improve Buildings Metabolism,» *Procedia engineering*, %1. bol.123, pp. 441-448, 2015.
- [62] «Solar Decathlon Europe 2014,» [Online]. Available: <http://www.solardecathlon2014.fr/en/>. [Atitze-data: 27 01 2020].
- [63] W. Wang, M. Yuan, Y. Z. Li eta C. Li, «Numerical investigation on the impact of an on-top sunspace passive heating approach for typical rural buildings in northern China,» *Solar Energy*, %1. bol.186, pp. 300-310., 2019.
- [64] United States Environmental Protection Agency, «Introduction to Indoor Air Quality,» 2018. [Online]. Available: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/introduction-indoor-air-quality>.
- [65] European Environment Agency, «The European environment — State and outlook 2005,» Copenhagen, 2005.
- [66] M. Orme, «Estimates of the energy impact of ventilation and associated financial expenditures,» *Energy and Buildings*, %1. bol.33, pp. 199-205, 2001.
- [67] H. B. Awbi , «Chapter 7 - Ventilation, Renewable and Sustainable Energy Reviews,» 1998, pp. 157-188.
- [68] J. Koffi , «Analyse multicritère des stratégies de ventilation en maisons individuelles.,» 2009.
- [69] M. W. Liddament eta M. Orme, «Energy and ventilation,» *Applied Thermal Engineering*, %1. bol.18(11), pp. 1101-1109, 1998.
- [70] S. C. Jansen, «Exergy in the built environment. The added value of exergy in the assessment and development of energy systems for the built environment,» 2013.
- [71] M. Odriozola Maritorea , «Medición y simulación de diferentes tipos de sistemas de ventilación y su repercusión en la calidad del aire interior y el consumo energético. Tesis Doctoral. Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea,» 2014.
- [72] S. Guillén-Lambea, B. Rodríguez-Soria eta J. M. Marín, «Review of European ventilation strategies to meet the cooling and heating demands of nearly zero

energy buildings (nZEB)/Passivhaus. Comparison with the USA,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, %1. bol.62, pp. 561-574, 2016.

- [73] Sustapen Ministerioa. Espainiako Gobernua, *Errege Dekretuaren ebazpena, Eraikuntzaren Kode Teknikoa onartzen duen martxoaren 17ko 314/2006 Errege Dekretua aldatzen duena.*, 2018.
- [74] Sustapen Ministerioa. Espainiako Gobernua, *HO oinarrizko dokumentua. Osasungarritasuna. Eraikuntzaren kode tekniko*, 2019.
- [75] J. Neila, «Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible: buenas prácticas edificatorias.» 2014. [Online]. Available: <http://polired.upm.es/index.php/boletincfs/article/view/2269>.
- [76] G. Allesina, C. Ferrari, A. Muscio eta C. Pedrazzi, «Easy to implement ventilated sunspace for energy retrofit of condominium buildings with balconies,» *Renewable Energy*, %1. bol.141, pp. 541-548., 2019.
- [77] S. Pedrazzi, C. Ferrari, G. Allesina eta A. Muscio, «Smart use of mechanical ventilation for energy retrofit of residential dwellings,» in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019.
- [78] G. Ulpiani, S. Summa eta C. di Perna, «Sunspace coupling with hyper-insulated buildings: Investigation of the benefits of heat recovery via controlled mechanical ventilation,» *Solar Energy*, %1. bol.181, pp. 17-26, 2019.
- [79] Q. Ma, H. Fukada, M. Lee, T. Kobatake, Y. Kuma, A. Ozaki eta X. Wei, «Experimental Analysis of the Thermal Performance of a Sunspace Attached to a House with a Central Air Conditioning System.,» *Sustainability*, %1. bol.10(5), p. 1428, 2018.
- [80] M. J. Suárez López, A. J. Gutiérrez Trashorras, J. L. Parrondo Gayo eta E. Blanco Marigorta , «Analysis of an Attached Sunspace with a Thermal Inertia Floor,» *Energies*, %1. bol.11, %1 zk.5, p. 1136, 2018.
- [81] W. Koppen eta R. Geiger, *Handbuch der klimatologie*, Berlin, 1930.
- [82] «AEMET. Web de la Agencia Estatal de Meteorología, del Gobierno de España,» [Online]. Available: <http://www.aemet.es>. [Atzitze-data: 27 01 2020].
- [83] American Society of Heating, Ventilating, and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), «Guideline 14-2014, Measurement of Energy and Demand Savings,» ASHRAE, Atlanta, 2014.

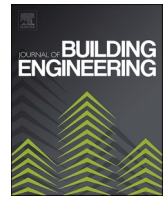
- [84] T. Reddy, I. Maor, S. Jian eta C. Panjapornporn, «Procedures for Reconciling Computer-Calculated Results with Measured Energy Data,» Atlanta, GA, USA, 2006.
- [85] J. Robertson, B. Polly eta J. Collis, «Evaluation of Automated Model Calibration Techniques for Residential Building Energy Simulation,» Golden, CO, USA, 2013.
- [86] G. Ramos Ruiz eta C. Fernández Bandera, «Validation of Calibrated Energy Models: Common Errors,» *Energies*, %1. bol.10, %1 zk.10, p. 1587, 2017.
- [87] P. G. Schild eta M. Mysen, *Recommendations on specific fan power and fan system efficiency. Technical Note*, %1. bol.65, AIVC, 2009.
- [88] Espainiako Gobernuak, «CO₂-aren emisio-faktoreak eta Espainiako eraikinen sektorean kontsumitutako azken energia-iturrien energia primarioa igarotzeko koefizienteak,» 2016.
- [89] Eusko Jaurlaritzak-Gobierno Vasco, «Base de precios de edificación y urbanización,» [Online]. Available: <http://www.euskadieuprecios.com/index.php>. [Atitze-data: 2021].
- [90] A. Palliwal, S. Song, H. T. W. Tan eta F. Biljecki, «3D city models for urban farming site identification in buildings,» *Computers, Environment and Urban Systems*, %1. bol.86, %1 zk.101584, 2021.
- [91] B. Shepard, «Community gardens, creative community organizing and environmental activism. Environmental social work,» pp. 141-154, 2012.
- [92] G. A. Rook, «Regulation of the immune system by biodiversity from the natural environment: An ecosystem service essential to health,» *Proceedings of the National Academy of Sciences*, %1. bol.110, %1 zk.46, pp. 18360-18367, 2013.
- [93] A. Tablada eta X. Zhao, «Sunlight availability and potential food and energy self-sufficiency in tropical generic residential districts,» *Solar Energy*, %1. bol.139, pp. 757-769, 2016.
- [94] L. Y. Aste eta N. T. Kishnani, «Building Integrated Agriculture: Utilising Rooftops for Sustainable Food Crop Cultivation in Singapore,» *Journal of Green Building*, %1. bol.5, %1 zk.2, pp. 105-113, 2010.
- [95] K. Martin-Escudero, E. Salazar-Herran, Á. Campos-Celador, G. Diarce-Belloso eta I. Gomez-Arriaran, «Solar energy system for heating and domestic hot water supply by means of a heat pump coupled to a photovoltaic ventilated façade,» *Solar Energy*, %1. bol.183, pp. 453-462, 2019.

- [96] Y. Liu, J. Ma, G. Zhou, C. Zhang eta W. Wan, «Performance of a solar air composite heat source heat pump system,» *Renewable Energy*, %1. bol.87, %1 zk.3, pp. 1053-1058, 2016.
- [97] G. Hailu, P. Dash eta A. S. Fung, «Performance Evaluation of an Air Source Heat Pump Coupled with a Building-Integrated Photovoltaic/Thermal (BIPV/T) System under Cold Climatic Conditions,» *Energy Procedia*, %1. bol.78, pp. 1913-1918, 2015.
- [98] G. Emmi, A. Zarrella eta M. De Carli, «A heat pump coupled with photovoltaic thermal hybrid solar collectors: A case study of a multi-source energy system,» *Energy Conversion and Management*, %1. bol.151, pp. 386-399, 2017.

7. ERASKINAK

7. ERANSKINAK

7.1. TESIAREKIN ERLAZIONATUTAKO ARGITARATU DEN ARTIKULUA



Energy savings using sunspaces to preheat ventilation intake air: Experimental and simulation study

J. Gainza-Barrencua^{a,*}, M. Odriozola-Maritorena^b, Rufino Hernandez_Minguillon^c,
I. Gomez-Arriaran^b

^a Department of Architecture, University of the Basque Country (UPV/EHU), Spain

^b Research Group ENEDI, Department of Thermal Engineering, University of the Basque Country (UPV/EHU), Alameda Urquijo, S/N, 48013, Bilbao, Bizkaia, Spain

^c Research Group CAVIAR, Department of Architecture, University of the Basque Country (UPV/EHU), Spain

ARTICLE INFO

Keywords:

Sunspace
Solar heating
Mechanical ventilation
Heat recovery
Heat storage
Prototype

ABSTRACT

This paper investigates the potential benefits of sunspaces to preheat the ventilation intake air to reduce the energy consumption of buildings. When sunspaces are combined with a mechanical ventilation system, it is possible to easily introduce the preheated air into every space of the building, which is of great relevance for energy savings. A modular sunspace prototype was designed and built to analyze its real thermal behavior. After validating the simulation model with experimental results, different sunspace configurations were tested in a residential building for different climates. Our findings indicate that sunspaces can significantly improve the energy behavior of the building, but the savings depend on different factors. First and foremost, the effectiveness of these systems clearly depends on the climate. While in zones with little need for heating the sunspace use is not advisable, in colder zones the energy savings are substantial, even more if they are combined with heat recovery ventilation. In the coldest climatic zone in Spain, annual primary energy savings of 38.48 kWh·m⁻² were achieved with the best sunspace configuration, which represents a heating saving of 58%. Results also reveal that inertia is not convenient when using heat recovery ventilation. Lastly, when choosing the size of the sunspace, as its efficiency depends on its size, not only total savings should be considered, but also the investment to be made and its return.

1. Introduction

The European Union is committed to developing a sustainable, competitive and secure energy system by 2050 [1]. Considering that almost 50% of the EU's final energy consumption is used for heating and cooling, of which 80% is used in buildings, the achievement of the Union's energy and climate goals is linked to efforts to renovate its building stock by giving priority to energy efficiency.

With the goal of achieving near zero energy buildings (nZEB), constructions are being built better insulated and airtight, which requires a ventilation system to provide optimal indoor air quality. The health and comfort of a building's occupants are related to indoor air quality [2,3]. However, ventilation produces an increase in energy demand. According to Orme [4], who analyzed the annual energy consumption in the commercial and residential sector of 13 industrialized countries, the renewal of air represents approximately 48% of the heating consumption. Awbi [5], in turn, estimates the percentage associated with

ventilation at between 30% and 60%. Similar values were given by other researchers [6–8]. Moreover, this percentage increases as more thermally efficient buildings are constructed. The energy-saving potential of ventilation is a major aspect. As such, a heat recovery ventilation system (hereinafter HRV system) is recommended for cold climates to recover both latent and sensible heat, therefore reducing energy consumption [9].

Another important strategy to reduce heating demand is using free solar energy. Although the simplest passive solar system is a window facing the sun (direct gain), indirect systems such as sunspaces take better advantage of these solar gains. Kisilewicz [10] concluded that, although the useful solar gains of both systems are similar, the indirect system considerably reduces the risk of overheating the building. Sánchez-Ostiz et al. [11], in turn, compared a prefabricated sunspace with a window, concluding that the sunspace has a better performance.

The use of attached sunspaces to the facades to reduce winter energy consumption is a strategy that has been widely used since the 70s. It can

* Corresponding author.

E-mail addresses: joseba.gainza@ehu.eus, moises.odriozola@ehu.eus (J. Gainza-Barrencua).

<https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102343>

Received 13 November 2020; Received in revised form 18 February 2021; Accepted 23 February 2021

Available online 27 February 2021

2352-7102/© 2021 Elsevier Ltd. All rights reserved.

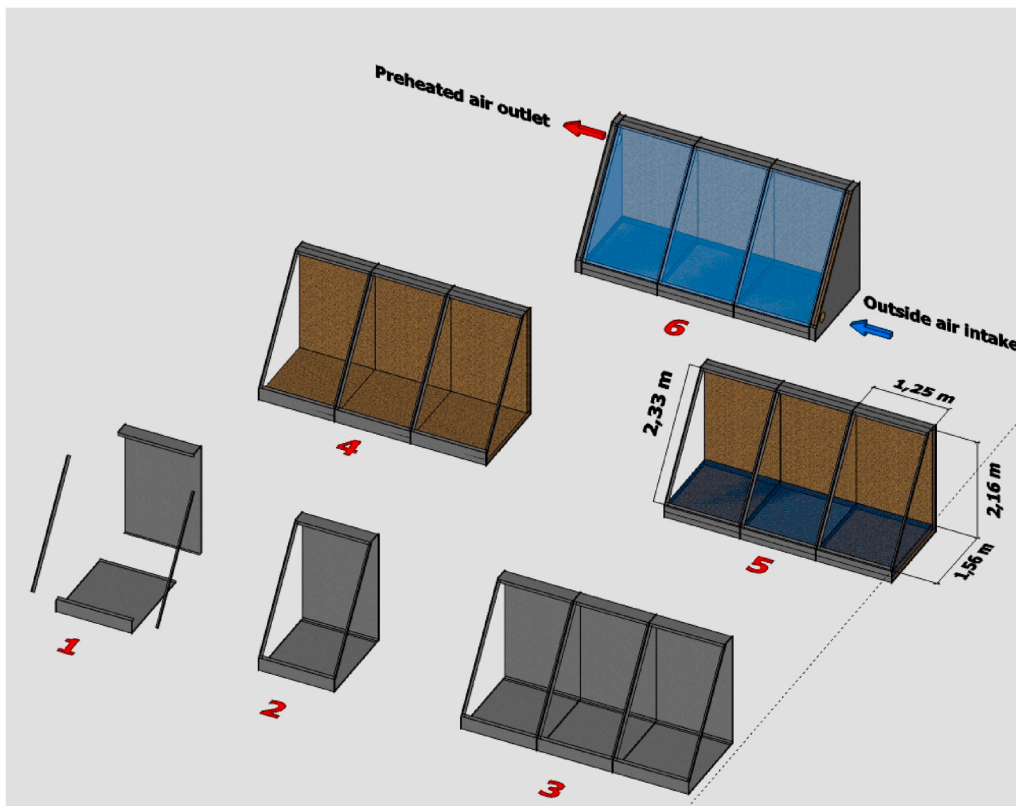


Fig. 1. Sunspace design and construction process.

entail important energy savings, but values vary depending on weather conditions and sunspace characteristics. In their analysis of a glazed gallery located in the north of Spain, Suárez et al. [12] quantified the associated energy savings at between 15% and 32%. Also in Spain, Monge-Barrio and Sánchez-Ostiz [13] analyzed attached sunspaces and found that the overall demand for thermal conditioning can be reduced by 50% on average. Hilliaho et al. [14] studied the impact of different types of glazed spaces, establishing that the energy saving potential of the Finnish building stock from the 1960s to the 1970s varies between 1% and 30%, being typically about 9%. Recent works of research have analyzed sunspaces in different places, climates, and typologies. For example, Chiesa et al. [15] studied the use of attached sunspaces in 50 Southern and Central European locations and concluded that the potential applicability changes with different climatic conditions. Mihalakakou [16] considered the behavior of sunspaces in four European cities (Milan, Dublin, Athens and Florence) to determine that attached sunspaces reduce heating demand in winter, but in summer, especially in southern European countries, overheating problems can appear. However, Bataineh and Fayed [17] stress that overheating during summer can be avoided by night ventilation and interior shading. Aelenei et al. [18] examine different variables in their study of sunspaces in five cities in Portugal, including natural ventilation, shading elements, type of glass and different orientations. Other studies in different locations and climatic conditions include Greece [19], Freiburg [20] and the Mediterranean [21]. According to their results, the energy savings and optimal characteristics of the sunspace depend on the climatic conditions.

For an adequate distribution throughout the building of the heated air in the sunspace, it is possible to incorporate a mechanical ventilation system. Allesina et al. [22] concluded that glazing south-facing balconies and using a simple-flow system to introduce the heated air into the building can be a suitable solution for retrofitting residential buildings, since energy savings can be obtained in a relatively simple way. Both Ma et al. [23] and Ulpiani et al. [24] studied the savings

obtained by installing a sunspace with mechanical ventilation that was activated depending on the temperature difference between the adjacent bedroom and the sunspace. In the case of Ma et al., the annual heating load energy consumption can be reduced by nearly 15% with the use of this ventilated sunspace. However, these solutions have several limitations. On the one hand, each dwelling must have its own ventilation system. On the other, preheated air is only introduced into the adjoining room. Ma et al. [25] also experimentally analyzed the thermal performance of a sunspace attached to a single-family house with a central air conditioning system, concluding that about 12% of energy can be saved. In their design, warm air from the sunspace was sent to the central air conditioning room, from where it was distributed throughout the house. The study delved into the use of sunspace to preheat ventilation air in single-family houses, but this use can also be applied in multiple dwelling buildings, taking advantage of the collective ventilation system.

While the use of sunspaces attached to the facade of buildings has been widely analyzed, the energy savings of the rooftop sunspaces remains understudied, in spite of the significant advantages they have over the attached ones. First, when sunspaces are placed on the rooftop, the shape and volume are not so limited. Second, it is possible to position the glazing at an optimal angle, which allows greater solar gains. Third, aesthetic and urban requirements are usually less. Fourth, it is more unlikely that other buildings and elements will shade the sunspace. Last, avoiding overheating is also easier, since the sunspace can be covered or disconnected from the ventilation system.

Previous research has identified further potential benefits of rooftop greenhouses for growing vegetables, since the residual heat of the building, the concentration of CO₂ in the exhausted air and the collected rainwater all improve production conditions [26,27]. The Phileas project also developed a roof greenhouse connected to a central atrium [28]. In addition to vegetable production, these sunspaces can improve the energy performance of the building. Wang et al. [29] proposed a rooftop sunspace on a rural building in China. The conditioned space was



Fig. 2. Image of the built prototype.

separated from the sunspace by a partially glazed slab with vents. This increased the amount of interior daylight throughout the day; improved interior ventilation by allowing control of the opening of the vents; and enhanced the roof insulation owing the layer of air between the ceiling and roof. Nevertheless, these buildings do not take advantage of the heat generated to preheat ventilation intake air. As many buildings with balanced ventilation systems introduce the intake air from the rooftop, it is possible to combine mechanical ventilation with sunspaces to easily introduce the preheated air into every space of the building. This does not usually happen in the attached sunspace, as the preheated air is only introduced into the adjoining room.

In order to fill the gaps in current research, a novel sunspace is proposed to preheat the ventilation intake air flowrate to reduce the energy consumption of the building. Most previous studies focus on single-family dwellings or, when collective residential buildings are analyzed, on solutions consisting of glazing the south-facing balconies. This study, on the other hand, analyzes an innovative modular sunspace capable of adapting to different flat roofs of diverse types of buildings, taking advantage of the benefits of this location. The combination of sunspace with the mechanical ventilation of the building has not been conveniently studied so far, even less in collective housing buildings. The suggested sunspace uses the collective ventilation system to supply preheated air in a simple and economical manner. In addition, the proposal allows combining the sunspace with a heat recovery ventilation system, a solution that is considered to need further study. Thanks to the special characteristics of this design, it is therefore a solution with great energy saving potential compared to other sunspaces.

Our research combined an experimental and a simulation study. A prototype was first designed, built and monitored in order to test the thermal behavior under real conditions. The simulation model was calibrated and validated with experimental results. Finally, a residential building was chosen as a case study to quantify the energy savings that these sunspaces entail. Considering the sunspace behavior in six cities located in the different climatic zones of Spain, our results reveal substantial energy savings in colder climates.

2. Methods

2.1. Design of sunspace

The sunspace was designed to simplify the construction process and increase efficiency. A rectangular triangle section with the hypotenuse fully glazed and facing the sun allows the maximum solar radiation to be captured (facing south in the northern hemisphere). In addition, the remaining surfaces were designed opaque and well insulated to prevent heat losses. Calculating the optimal angle of the glazing is critical, i.e., the more perpendicular the solar radiation reaches the glass, the greater the solar gains in the sunspace. However, since the position and inclination of the sun throughout the year varies according to the latitude, the optimum glazing angle changes. In turn, the climate also influences the solar radiation received. The sunspace with different degrees of inclination (from 35° to 70° in 5° steps) was simulated using the EnergyPlus program. Based on these results, the optimum angle for winter has been established at 55°.

A modular design was proposed to improve the adaptability of sunspaces to different situations. Depending on the available space, the required savings and the cost of the installation, the number of modules could be chosen. Fig. 1 captures the design and construction process. Each module has four pieces of galvanized steel sheet screwed together (step 1 and 2). The modules could be joined together to reach the required size (step 3). After building the steel structure, the insulation panels of expanded cork agglomerate are placed on the opaque surfaces of the envelope (step 4). It is possible to give inertia by introducing heat-storing water tanks over the insulated floor (step 5). Heat storage systems make the temperature inside the sunspaces more stable [12,30,31]. According to the literature, the use of water as heat storage improves the behavior of sunspaces [11,32,33]. Once the steel structure is formed and the insulation and water tanks situated, the glass would be placed to close the south face of the sunspace (step 6). As is often the case in Trombe walls, the interior walls are dark in color to increase absorptivity.

As shown in step 6 of Fig. 1, outside air enters the sunspace from the bottom of one of the lateral sides; it is warmed up as it passes through the

Table 1
Type of sensors and measurements and accuracy.

| Sensor | Characteristics |
|------------------------------------|---|
| Air temperature sensors | Pt100, 1/3 class, 4 wire Sheath: 316 Stainless Steel 3 mm diameter, 50 mm longitude Working range: -75 °C to 250 °C Crimped direct output |
| Surface temperature sensors | Multi-wire cable 4 × 0.5 mm isolated with PFA, T ^a . Pt100 flexible adhesive Silicone encapsulation Element class 1/3, 4 wires Isolated cable with PFA Dimensions: 30 × 14 × 3,4 mm |
| Hot-wire thermo-anemometers | Measuring range from 0 to 5 m/s Temperature range -20 ... 60 °C/-4 ... 140 °F |
| Electronic flow meter | Model KIMO DMB610C |

sunspace until it finally leaves from the top of the opposite lateral side. The preheated air is introduced into the building by a mechanical ventilation system to reduce heating demand.

The installation of the HRV system can entail great energy savings, which could be even higher if combined with sunspaces. If the heat recovery unit preheats the sunspace intake air with the building exhaust air, it will be heated even more in the sunspace before entering the building thanks to the greenhouse effect. Thus, the overall efficiency of the system will improve. As air intakes and outlets are normally located on the roofs in balanced ventilation systems, the configuration of the ducts does not significantly change.

2.2. Experimental study

As shown in Fig. 2, a prototype of one of these modules was built on the terrace of the Higher Technical School of Architecture of the University of the Basque Country, in Donostia-San Sebastian. Located in northern Spain, its climate is Cfb, according to the Köppen-Geiger classification. This prototype is used to analyze the real behavior of these sunspaces, as well as to calibrate the computer model.

The sunspace was located on the rooftop where the most solar radiation is received, with its glazed surface facing south. A double low emissivity glass with argon gas inserted between the panes was used. This glass has a thermal transmittance of $1.4 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ and a Solar Heat Gain Coefficient (SHGC) of 0.592. It should be noted that the glazing in sunspaces can become dirty and reduce solar gains. In the case of the constructed prototype, due to the slope of the glazing, it remained reasonably clean. Even so, to compare the measurements with the simulation model, every week during the monitoring periods it was checked and cleaned. Although in this case it was not necessary, it is possible to use self-cleaning glass to improve this situation.

To insulate the opaque envelope of the sunspace, an 8 cm thick cork chipboard with a thermal conductivity coefficient of $0.04 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ was chosen. An axial fan was placed to introduce outside air through the lower area of the module. Once the air is preheated, it exits from the top of the opposite side of the enclosure. Thus, it simulates the behavior it would have in normal operation, where the intake air would be preheated in the sunspace before entering the building. The sunspace has been analyzed with and without inertia. To provide inertia, a 75-L tank was incorporated into the floor.

The prototype was equipped with sensors and a Datalogger to record measurements. The sensors were placed at four points to register air temperature: at the air inlet and outlet, and outside and inside the sunspace. Surface temperature sensors were installed on both sides of the enclosure to analyze the thermal resistance. To determine air velocity and estimate the flow rate into the sunspace, two hot-wire thermo-anemometers were installed at the air inlet and outlet. The air velocities and the results obtained by an electronic flow meter were compared, resulting in $135 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ average flow. The characteristics of the installed

Table 2
Cases analyzed experimentally and by computer simulation.

| Period | Characteristics | Date |
|--------|-------------------------|-----------------------|
| P1 | Summer. Without inertia | 2019-08-02/2019-08-06 |
| P2 | Winter. Without inertia | 2019-11-16/2019-11-20 |
| P3 | Summer. With inertia | 2020-08-12/2020-08-16 |
| P4 | Winter. With inertia | 2020-01-12/2020-01-16 |

sensors are shown in Table 1.

Meteorological data, so important in the behavior of this type of solar systems, was provided by AEMET (State Agency of Meteorology of the Government of Spain) [34]. Air temperature, relative humidity, solar radiation (direct, diffuse and global), atmospheric pressure, cloudiness and wind speed and direction were considered.

The prototype was tested in four periods with different conditions: in summer without inertia; in winter without inertia; in summer with inertia and in winter with inertia (Table 2).

2.2.1. Simulation model validation

The energy simulation was carried out with Design Builder software, which uses the EnergyPlus simulation engine. EnergyPlus has been used and validated in previous research on the use of sunspaces [11,15,35]. Nonetheless, the simulation program was further validated by comparing it to the prototype measurements due to the complexity of these solar systems.

The same characteristics of the prototype were introduced into the computer model to assure result comparability. The different elements of the terrace were also modeled, since they can shade the sunspace. In turn, a climate file with the meteorological data obtained from AEMET [34] was introduced into the program.

As ASHRAE Guidelines 14–2002 [36] and 14–2014 [37] explain, uncertainty analysis is the process of determining the degree of confidence in the true value when using measurement procedures and/or calculations. ASHRAE Guidelines were followed to calibrate the sunspace model. This entails determining two dimensionless indicators of errors, NMBE (Normalized Mean Bias Error) and CV(RMSE) (Coefficient of Variation of the Root Mean Square Error). The simplified NMBE formula and the CV(RMSE) formula [38] are shown in Eq. (1) and Eq. (2):

$$NMBE = \frac{\sum_{i=1}^{N_i} (M_i - S_i)}{\sum_{i=1}^{N_i} (M_i)} \times 100(\%) \quad (1)$$

$$CV(RMSE) = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_i} \left[\frac{(M_i - S_i)^2}{N_i} \right]}}{\frac{1}{N_i} \sum_{i=1}^{N_i} M_i}} \times 100(\%) \quad (2)$$

where M_i and S_i are, respectively, the measured and simulated values, and N_i is the number of values used.

According to the ASHRAE guidelines, a building model is calibrated if hourly NMBE values fall within $\pm 10\%$ and hourly CV(RMSE) values fall below 30%. To validate the model, the experimental and simulation temperatures inside the prototype were compared, verifying that they were within the limits. The simulation model was validated in the four periods presented in Table 2.

2.3. Simulation study

2.3.1. Case study

Once the computer model had been validated, a case study was simulated to quantify the savings that the use of this type of sunspaces can entail. The chosen building is located in Pamplona, a city in northern Spain, with a Cfb climate according to the Köppen-Geiger classification. The building has a rectangular floor plan of $47 \times 13 \text{ m}$, with north-south orientation on its longer facades. It has commercial premises on



Fig. 3. South elevation of the selected building.

Table 3
Building thermal characteristics.

| Element | Thermal characteristics |
|------------------------------|---|
| Envelope: | |
| Flat Roof | $U = 0,257 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ |
| Facade | $U = 0,256 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ |
| Window % | 17% |
| Window frame characteristics | Material: aluminum (with thermal break) $U = 5014 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ |
| Glazing characteristics | Double glazing (4-6-4) SHGC = 0,74 $U = 3146 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ |
| HVAC | |
| Heating system | Individual natural gas boilers Efficiency 89% |
| Ventilation flow per portal | $712 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ |
| Total ventilation flow | $1425 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ |

Table 4
Set temperatures for heating.

| Period | timetables | | | |
|---------------------|------------|------------|-------------|-------------|
| | 0:00–6:59 | 7:00–14:59 | 15:00–22:59 | 23:00–23:59 |
| January to May | 17 °C | 20 °C | 20 °C | 17 °C |
| June to September | – | – | – | – |
| October to December | 17 °C | 20 °C | 20 °C | 17 °C |

Table 5
Study cases.

| Case | Characteristics | Ventilation system |
|-----------------------|--------------------------|---|
| Without heat recovery | | |
| Case 0 | Without sunspace | Simple exhaust ventilation |
| Case 1 | Sunspace without inertia | Simple supply ventilation |
| Case 2 | Sunspace with inertia | Simple supply ventilation |
| With heat recovery | | |
| Case 0-HRV | Without sunspace | Balanced ventilation with heat recovery |
| Case 1-HRV | Sunspace without inertia | Balanced ventilation with heat recovery |
| Case 2-HRV | Sunspace with inertia | Balanced ventilation with heat recovery |

the ground floor and two upper floors for housing (6 dwellings per floor). Fig. 3 shows the south facade of the building.

The thermal particularities of the building, as well as the HVAC system characteristics are presented in Table 3. The building has a mechanical ventilation system. The total ventilation flow has been defined based on the minimum flow rates required by the Spanish Technical Building Code [39]. The set temperatures for heating and the building’s usage profiles have also been established based on the Spanish Technical

Building Code. Table 4 illustrates the heating set temperature.

This building was analyzed without sunspace (case 0), incorporating a sunspace without inertia (case 1) and adding the same sunspace, but with water heat storage to give inertia (case 2). Each of these cases in turn was simulated by incorporating an air-to-air heat exchanger to recover energy from the building’s exhaust air. According to previously carried out simulations, when an HRV system is installed, it is not convenient to pass the air through the sunspace at night. Instead of heating the air that comes from the heat recovery unit, the sunspace would cool it at night because of the radiative cooling. Therefore, the preheated air in the heat exchanger will only go through the sunspace from 9:00 to 19:00, when it heats the air even more. The cases analyzed are summarized in Table 5.

Due to the building’s rooftop characteristics, up to 36 modules could be installed to build a 45 m long sunspace and a total glazed area of 112.50 m^2 . Fig. 4 shows how the building would look with the installation of the sunspace.

2.3.2. Simulation analysis

Depending on sunspace characteristics, temperatures inside the sunspace vary and hence, building energy savings will also differ. For each case, the air temperature inside the sunspace during the typical winter week was analyzed hour by hour.

Final and primary heating energy consumption was calculated for each case. In addition, final and primary energy consumption in the fans of each ventilation system were obtained to get the total primary energy consumption. To determine the electric power of each ventilation system and to establish its energy consumption, the recommended Specific Fan Power (hereinafter SFP) values of the Air Infiltration and Ventilation Centre were used [40]. The appropriate value of SFP for a specific application depends on the size of the ventilation system, whether it is balanced or has heat recovery, the intermittency of operation, and of course, costs. For case 0, which has a simple exhaust ventilation system, an SFP value of $1 \text{ kW m}^{-3} \text{ s}^{-1}$ was considered. In cases 1 and 2, since installing a simple supply ventilation system to introduce the preheated air into the building has been chosen, a value of $1 \text{ kW m}^{-3} \text{ s}^{-1}$ was also taken into account. The value rises to $2 \text{ kW m}^{-3} \text{ s}^{-1}$ for cases 0-HRV, 1-HRV and 2-HRV, as the heat recovery unit is incorporated. These values are in agreement with the SFP values of the fans installed in actual buildings in Spain. To convert the final energy of the different sources into primary energy, the coefficients established by the Spanish government were considered [41].

To analyze the influence of sunspace size, the primary energy consumption was quantified when 12, 18, 24, 30 and 36 modules were installed. The savings obtained per module for each size were also calculated, dividing the savings obtained by the number of modules.

The Spanish Technical Building Code (CTE) [39] differentiates five



Fig. 4. Image of the building with the sunspace.

Table 6
Locations selected for this Research, according to different winter climate zones in Spain.

| City | Latitude | CTE classif. | Köppen– Geiger classif. ^a | HDD ₁₈ ^b | | Avg. global hor. Rad (Wh/m2) ^b | | Avg. Direct Normal Rad (Wh/m2) ^b | | Avg. Diffuse hor. Rad (Wh/m2) ^b | | Avg. temp. (°C) ^b | |
|-----------|----------|--------------|--------------------------------------|--------------------------------|------|---|------|---|------|--|------|------------------------------|-------|
| | | | | Oct-May ^c | year | Oct-May ^c | year | Oct-May ^c | year | Oct-May ^c | year | Oct-May ^c | year |
| Málaga | 36° 40' | A | Csa | 796 | 796 | 3934 | 4828 | 4637 | 5436 | 1389 | 1531 | 15,04 | 17,96 |
| Valencia | 39° 30' | B | Csa | 1051 | 1052 | 3574 | 4464 | 3687 | 4348 | 1540 | 1747 | 13,89 | 17,26 |
| Barcelona | 41° 16' | C | Csa | 1418 | 1419 | 3210 | 3995 | 2975 | 3449 | 1583 | 1862 | 12,26 | 15,68 |
| Madrid | 40° 27' | D | Csa | 1936 | 1965 | 3452 | 4420 | 3467 | 4217 | 1537 | 1779 | 10,08 | 14,29 |
| Pamplona | 42° 45' | D | Cfb | 2243 | 2279 | 2831 | 3844 | 2877 | 3939 | 1369 | 1551 | 8,75 | 12,19 |
| Burgos | 42° 21' | E | Cfb | 2812 | 2990 | 2814 | 3916 | 2864 | 4102 | 1325 | 1484 | 6,38 | 9,88 |

^a Köppen Classification according to Iberian Climate Atlas, by AEMET [34].

^b These data are extracted from EnergyPlus Weather Data, with which the simulations have been done.

^c Heating period of Spanish Technical Building Code [39].

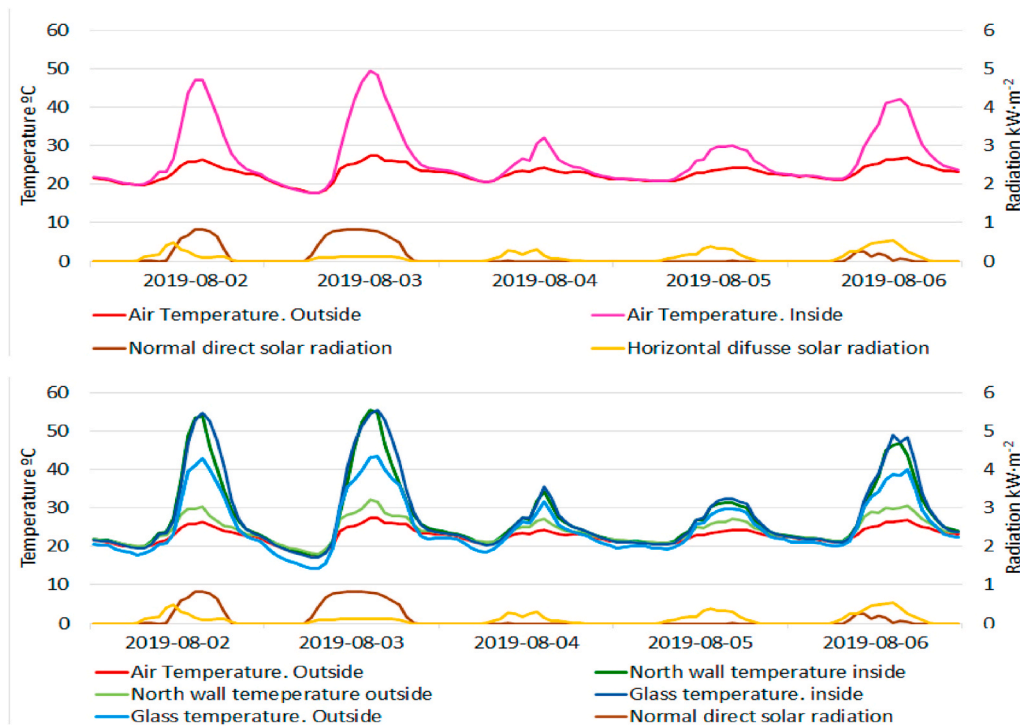


Fig. 5. Comparison of prototype inside and outside temperatures for P1 period.

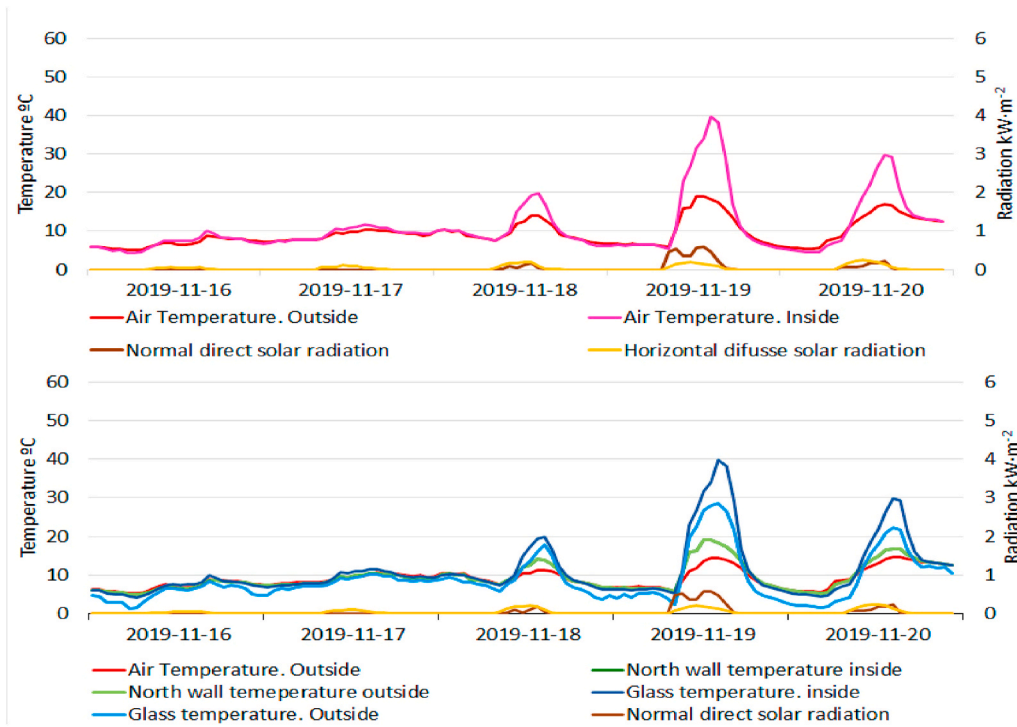


Fig. 6. Comparison of prototype inside and outside temperatures for P2 period.

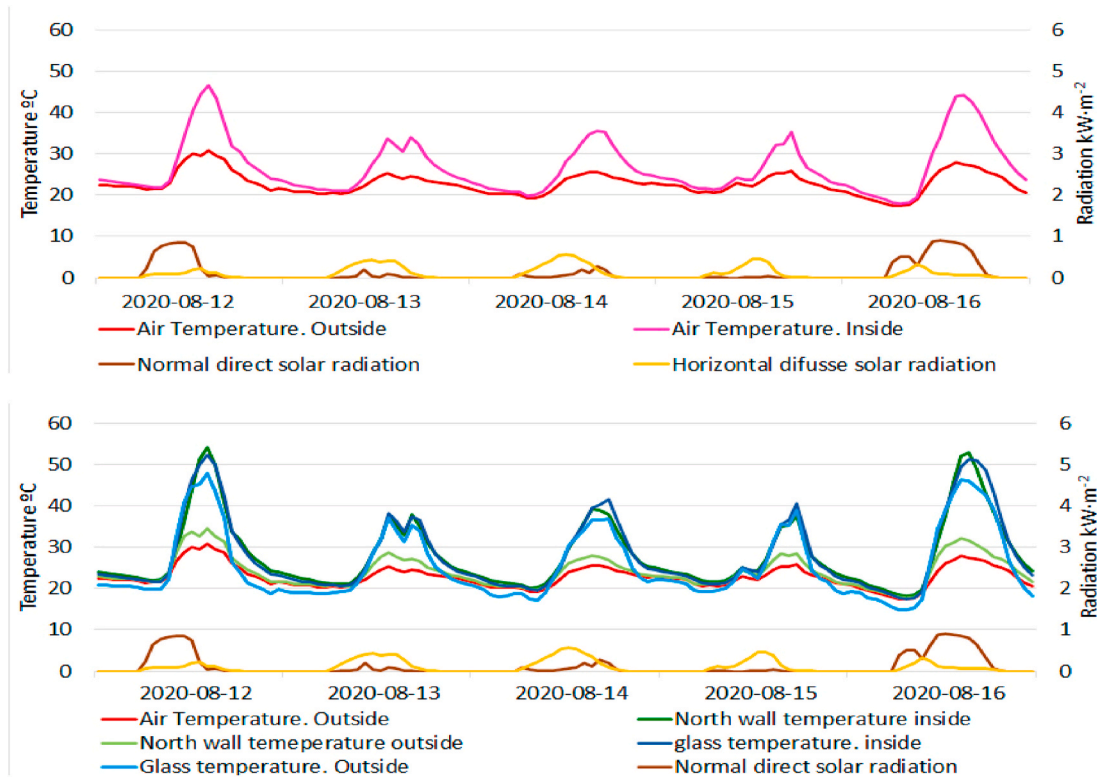


Fig. 7. Comparison of prototype inside and outside temperatures for P3 period.

climatic zones according to their Winter Climate Severity (A, B, C, D, E, from the milder to the coldest winter). In addition to Pamplona, the results of the energy savings of the most populated city in each climatic zone were compared. Their main climatic characteristics are summarized in Table 6.

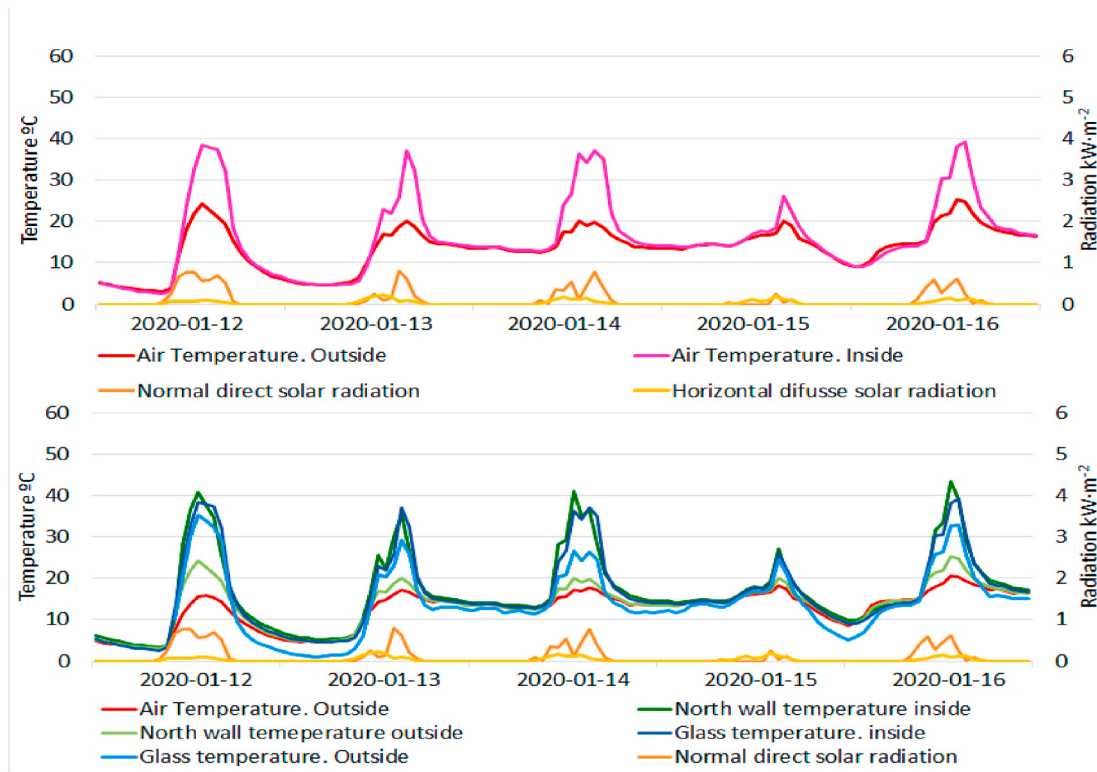


Fig. 8. Comparison of prototype inside and outside temperatures for P4 period.

Table 7

Difference between the outside temperature and the temperature recorded inside the sunspace.

| | Day | Solar radiation kWh·m ⁻² | | Average temperature difference (°C) | | | Maximum temperature difference (°C) |
|--|-------|-------------------------------------|--------------------|-------------------------------------|------------|---------------------|-------------------------------------|
| | | Normal direct | Horizontal diffuse | Total 0h–24h | Day 9h–19h | Night 0h–9h/19h–24h | |
| P1 Summer conditions Without inertia | Day 1 | 4.97 | 2.50 | 5.3 | 11.6 | 0.8 | 21.1 |
| | Day 2 | 8.88 | 1.41 | 6.1 | 13.5 | 0.8 | 21.9 |
| | Day 3 | 0.00 | 1.80 | 1.7 | 3.6 | 0.4 | 7.8 |
| | Day 4 | 0.01 | 2.60 | 2.0 | 4.2 | 0.5 | 5.9 |
| | Day 5 | 1.16 | 3.90 | 4.5 | 9.9 | 0.7 | 15.4 |
| P2 Winter conditions Without inertia | Day 1 | 0.03 | 0.35 | 0.1 | 0.5 | -0.1 | 1.0 |
| | Day 2 | 0.02 | 0.57 | 0.3 | 0.8 | 0.0 | 1.3 |
| | Day 3 | 0.48 | 1.04 | 1.0 | 2.5 | 0.0 | 5.9 |
| | Day 4 | 3.61 | 1.14 | 3.1 | 7.6 | -0.1 | 14.1 |
| | Day 5 | 0.90 | 1.35 | 1.8 | 4.7 | -0.3 | 9.2 |
| P3 Summer conditions With inertia | Day 1 | 5.19 | 1.25 | 4.5 | 9.6 | 0.9 | 17.6 |
| | Day 2 | 0.44 | 3.35 | 3.1 | 6.0 | 1.0 | 10.1 |
| | Day 3 | 1.20 | 3.89 | 3.8 | 7.0 | 1.4 | 14.8 |
| | Day 4 | 0.09 | 2.45 | 2.4 | 4.3 | 1.1 | 12.1 |
| | Day 5 | 7.66 | 1.56 | 6.1 | 12.2 | 1.7 | 20.4 |
| P4 Winter conditions With inertia | Day 1 | 4.94 | 0.55 | 4.6 | 9.6 | 1.0 | 16.4 |
| | Day 2 | 2.26 | 1.06 | 2.7 | 5.6 | 0.6 | 15.3 |
| | Day 3 | 3.17 | 0.85 | 3.9 | 8.2 | 0.8 | 16.0 |
| | Day 4 | 0.46 | 0.81 | 1.3 | 2.1 | 0.7 | 6.9 |
| | Day 5 | 2.83 | 0.77 | 2.8 | 6.7 | 0.0 | 14.5 |

3. Results and discussion

3.1. Experimental results

3.1.1. Analysis of the behavior of the prototype

Figs. 5–8 present the temperatures obtained inside and outside the sunspace in each period. The upper part of the graphs displays air temperatures, while the lower part shows surface temperatures of the

enclosure. Normal direct solar radiation and diffuse horizontal solar radiation are also included.

During days with high solar radiation, indoor air temperatures are much higher than outdoor ones. However, when there is little radiation, there is practically no difference between outdoor and indoor temperatures, as illustrated in the first two days of Fig. 6. When comparing surface temperatures, the difference by day between the interior and exterior face of the north facade is large because this enclosure has low



Fig. 9. Comparison of experimental and simulation temperatures in the P1, P2, P3 and P4 periods.

thermal transmittance. At night, surface temperatures drop rapidly to match outside temperatures. In the case of glass, the differences between both faces by day are smaller, since transmittance is higher, which increases thermal losses through the glass. During the night, the temperature of the outer face of the glass clearly drops below the outside temperature.

Table 7 shows the average of the difference between inside and outside air temperatures and the maximum difference achieved each day. The table also includes normal direct and diffuse horizontal solar radiation to check its influence.

On days with the highest solar radiation (day 2 for P1, day 4 for P2, day 5 for P3 and day 1 for P4) the daily average indoor and outdoor

Table 8
 NMBE and CV(RMSE) index for prototype 1, 2, 3 and 4.

| Prototype | Index | ASHRAE Guideline 14 | Results |
|-----------|----------|---------------------|---------|
| P1 | NMBE | ±10 | 0.48 |
| | CV(RMSE) | 30 | 8.57 |
| P2 | NMBE | ±10 | -6.11 |
| | CV(RMSE) | 30 | 11.89 |
| P3 | NMBE | ±10 | 1.87 |
| | CV(RMSE) | 30 | 8.00 |
| P4 | NMBE | ±10 | 1,10 |
| | CV(RMSE) | 30 | 17.40 |

temperature differences are significant, ranging between 3.1 °C and 6.1 °C. In turn, the maximum differences reached at noon are between 14.1 °C and 21.9 °C. On days with less solar radiation (day 3 for the P1, day 1 for the P2, day 4 for the P3 and day 4 for the P4), on the other hand, the daily average differences are only between 0.1 °C and 2.4 °C, and the maximum difference between 1.0 °C and 12.1 °C. Thus, great differences are observed depending on solar radiation. Since sunspace is intended for use in winter, if we compare the periods P2 and P4, both the average and maximum temperature differences are much higher at P4. With the same weather conditions, the maximum temperature reached at noon should be higher at P2 due to its lack of inertia, but as the solar radiation is much lower in this period, this does not occur. Therefore, our experimental results clearly indicate that there are great differences in the temperatures reached inside the sunspace depending on meteorological conditions.

If we now turn to night conditions, average temperature differences are minimal every day. In the P2 period, it even becomes negative, due to radiative cooling. As solar radiation decreases, temperatures drop fast to equal the exterior ones. According to Figs. 7 and 8, when the water heat storage is added to the sunspace (P3 and P4), conditions improve slightly: indoor and outdoor temperatures do not match so quickly. In any case, the effect of the water heat storage is not especially important as the average difference at night only reaches 1.7 °C at best (day 5 of P3).

3.1.2. Simulation model validation

Fig. 9 compares the simulation and experimentally measured temperatures in P1, P2, P3 and P4. During the daytime, experimental temperatures are usually somewhat higher than simulation ones, although

this is not always the case, as in period P2. By contrast, at night, simulation temperatures are moderately higher. While at night experimental temperatures equalize outside temperatures, simulation temperatures during the night stay slightly above. Thus, the prototype has marginally less inertia compared to the simulation model. Despite these small differences, there is an acceptable agreement between the simulation and the experimental temperatures in every case. As shown in Table 8, the NMBE and CV (RMSE) values are clearly within the limits set by the ASHRAE to consider that the model is calibrated [37].

3.2. Simulation results

3.2.1. Sunspace temperature results

Fig. 10 provides the temperatures reached at the exit of the 36 module sunspace during the typical winter week. Comparing cases with and without thermal inertia, it is observed that the use of water heat storage clearly varies the behavior of the sunspace temperature, making them more stable. For the configurations without HRV, temperatures reached at noon in case 2 are lower than in case 1. However, at night, the opposite occurs: due to its higher inertia, the temperature in case 2 does not descend as much as in case 1. Regarding configurations with HRV, a similar pattern is observed. In case 1-HRV, the temperatures reached at noon are notably higher than in 2-HRV. In fact, it is in 1-HRV where the highest temperatures of all cases are obtained. At night, on the other hand, the highest temperatures are achieved in 2-HRV.

The use of HRV represents a large increase in sunspace temperatures. Comparing case 1-HRV with case 1 and 2-HRV with 2, the temperatures reached at both day and night are significantly higher when using the HRV system. In the cases with HRV, during the night, air gets into the building from the heat recovery unit without passing through the sunspace, which means that the sunspace air is not renewed and thus, temperatures reached at nighttime are still higher.

The results also reveal that on the sunniest days in case 1, higher temperatures are obtained than in 2-HRV, thanks to its lack of inertia. On the other hand, in days with less solar radiation, temperatures in case 1 are much lower, in fact below the temperatures of 2-HRV. The importance of the weather conditions in this type of sunspaces is again demonstrated.

Table 9 summarizes the maximum and average differences between inside and outside depending on its configuration in the typical winter

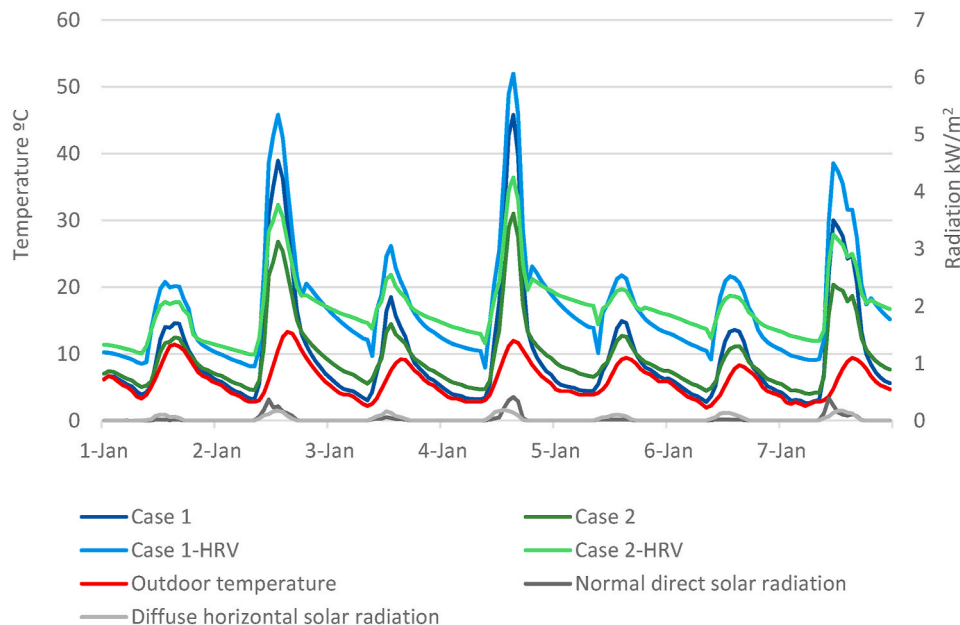


Fig. 10. Temperatures inside the sunspace in the typical winter week depending on the different configurations.

Table 9
Average and maximum differences in the typical winter week.

| Day | Solar radiation kWh·m ⁻² | | Case | Average temp. difference °C | | | Maximum temp. difference °C |
|--------------|-------------------------------------|--------------------|-------|-----------------------------|------------|--------------|-----------------------------|
| | Normal direct | Horizontal diffuse | | Night 0h-9h/19h-24h | Day 9h-19h | Total 0h-24h | |
| Day 1 | 0.10 | 0.51 | 1 | 0.52 | 2.32 | 1.27 | 4.25 |
| | | | 2 | 1.20 | 1.21 | 1.21 | 2.28 |
| | | | 1-HRV | 4.45 | 8.82 | 6.27 | 11.71 |
| | | | 2-HRV | 5.44 | 7.39 | 6.25 | 9.21 |
| Day 2 | 1.49 | 0.85 | 1 | 0.87 | 14.90 | 6.72 | 28.34 |
| | | | 2 | 2.23 | 9.04 | 5.07 | 16.22 |
| | | | 1-HRV | 7.26 | 21.23 | 13.08 | 35.23 |
| | | | 2-HRV | 7.92 | 14.77 | 10.78 | 22.19 |
| Day 3 | 0.28 | 0.69 | 1 | 0.89 | 5.06 | 2.63 | 10.99 |
| | | | 2 | 2.97 | 4.04 | 3.42 | 7.17 |
| | | | 1-HRV | 9.51 | 12.58 | 10.79 | 18.65 |
| | | | 2-HRV | 11.18 | 11.59 | 11.35 | 15.01 |
| Day 4 | 1.47 | 0.99 | 1 | 1.02 | 14.89 | 6.80 | 33.85 |
| | | | 2 | 2.79 | 9.02 | 5.38 | 19.03 |
| | | | 1-HRV | 10.20 | 21.74 | 15.01 | 40.03 |
| | | | 2-HRV | 11.58 | 15.63 | 13.27 | 24.45 |
| Day 5 | 0.15 | 0.55 | 1 | 0.72 | 3.37 | 1.83 | 5.76 |
| | | | 2 | 2.69 | 2.84 | 2.75 | 3.98 |
| | | | 1-HRV | 10.13 | 11.57 | 10.32 | 13.39 |
| | | | 2-HRV | 12.46 | 10.93 | 11.59 | 14.32 |
| Day 6 | 0.13 | 0.72 | 1 | 0.73 | 3.96 | 2.08 | 6.67 |
| | | | 2 | 1.99 | 2.91 | 2.37 | 4.43 |
| | | | 1-HRV | 7.68 | 11.92 | 9.45 | 15.59 |
| | | | 2-HRV | 10.39 | 10.81 | 10.56 | 13.20 |
| Day 7 | 1.33 | 0.94 | 1 | 0.71 | 13.89 | 6.20 | 25.22 |
| | | | 2 | 2.21 | 8.84 | 4.97 | 15.60 |
| | | | 1-HRV | 8.38 | 21.23 | 13.73 | 33.76 |
| | | | 2-HRV | 10.48 | 15.81 | 12.70 | 23.12 |
| All the week | 4.96 | 5.26 | 1 | 0.78 | 8.34 | 3.93 | 33.85 |
| | | | 2 | 2.30 | 5.41 | 3.60 | 19.03 |
| | | | 1-HRV | 8.23 | 15.58 | 11.23 | 40.03 |
| | | | 2-HRV | 9.92 | 12.42 | 10.93 | 24.45 |

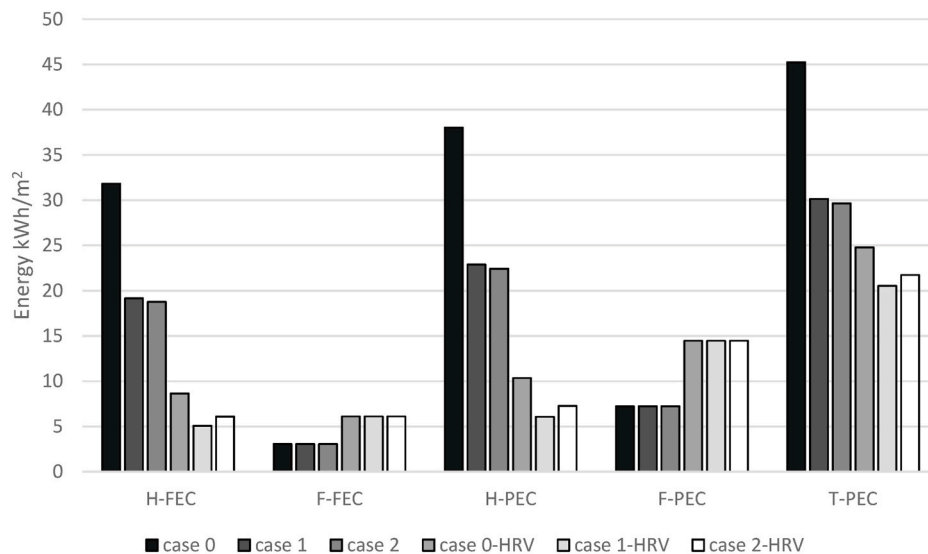


Fig. 11. Annual energy consumption considering the energy used for heating and in fans.

week. At night, the differences in cases 1-HRV and 2-HRV are much greater than in cases 1 and 2, thanks to the incorporation of the HRV system. The results also show how incorporating water heat storage also causes the temperature differences to be bigger: In case 2, differences are greater than in case 1, as happens between 2-HRV and 1-HRV. Thanks to the heat recovery and inertia, it is in 2-HRV where the largest differences are reached during the night. If we now turn to daytime, the largest

differences are also due to HRV, but in this case, the highest value corresponds to 1-HRV, because of its lack of inertia. Taking day and night together, there is a large difference between the cases with an HRV system (case 1-HRV and 2-HRV) and those without (case 1 and 2). Nonetheless, the differences between the cases with and without inertia are small. Although the use of water heat storage affects the behavior of the sunspace temperature, the average differences throughout the day

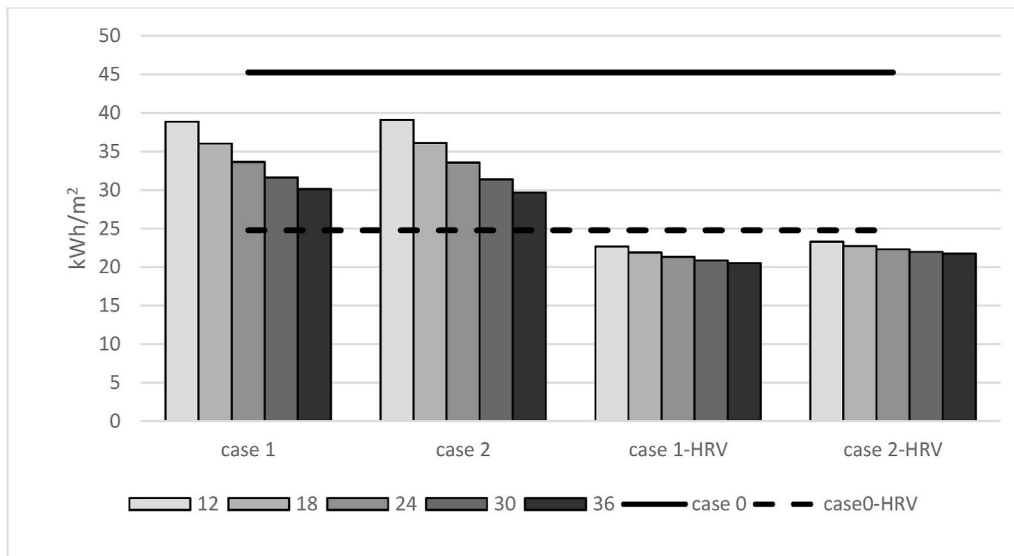


Fig. 12. Annual total primary energy consumption for 12, 18, 24, 30 and 36 module sunspaces.

and night between cases 1 and 2, as well as between cases 1-HRV and 2-HRV are small, since the total solar gains are the same. As expected, the maximum differences are achieved with case 1-HRV, because of the HRV and lack of inertia.

3.2.2. Energy consumption results

Fig. 11 presents the final and primary energy consumption results for the whole year, including both heating and fans consumption. H-FEC represents Heating final energy consumption; F-FEC, Final energy consumption in fans; H-PEC, Heating primary energy consumption; F-PEC, Primary energy consumption in fans; and T-PEC, Total Primary energy consumption.

If the building without sunspace and without an HRV system (case 0) is considered as the reference, the final and primary heating consumption in cases 1 and 2 are around 40% and 41% lower, respectively. Therefore, in cases without HRV, the results improve when water tanks are incorporated, although the difference is not important (only 1%). Regarding the cases with an HRV system, the heating consumptions are

much lower: for cases 0-HRV, 1-HRV and 2-HRV, they are, respectively, around 73%, 84% and 81% lower than case 0. Incorporating water heat storage when using an HRV thus implies higher consumption. As mentioned above, to prevent cooling the air that has been preheated in the heat recovery unit, the air will only go through the sunspace from 9:00 to 19:00. At night, the air enters directly into the building after passing through the heat recovery unit. In this case, storing heat in the sunspace has no sense, as some of that heat will be released at night, when it is not used to heat the air.

With regard to fans, the incorporation of a heat exchanger (cases 0-HRV, 1-HRV and 2-HRV) causes consumption to double. As electricity has a higher primary energy conversion factor than natural gas, the fans have a proportionally greater impact on the total primary consumption.

When analyzing the total primary energy consumption, if case 0 is taken as reference, the total primary energy saving in case 1 is 33%, while in case 2 it rises to 35%. Yet in case 0-HRV, consumption is 45% lower. This result indicates that, in this climate, simply incorporating an HRV system to the building is better than installing any sunspace

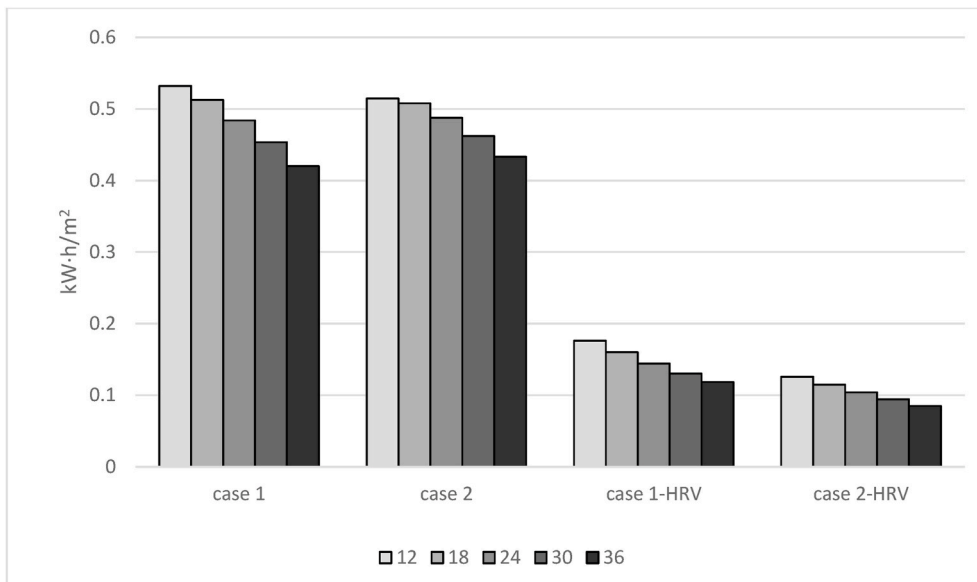


Fig. 13. Annual total primary energy savings per module depending on sunspace size.

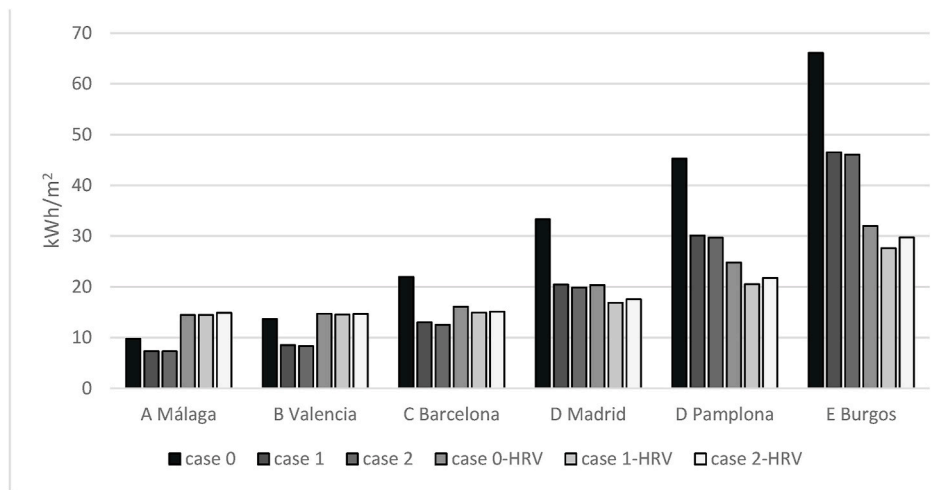


Fig. 14. Annual total primary energy consumption for Malaga, Valencia, Barcelona, Madrid, Pamplona and Burgos.

without HRV (case 1 and 2). Therefore, the installation of a heat recovery unit is a fundamental factor to improve the energy performance of the building. For the case 2-HRV, 52% total primary energy savings are obtained, whereas for the best case (1-HRV), savings rise by 55%, which represents almost $25 \text{ kW h m}^{-2} \cdot \text{y}^{-1}$.

3.2.3. Number of sunspace modules results

Fig. 12 shows the total primary energy consumption for each case depending on sunspace size. Building consumptions in the cases 0 and 0-HRV are also displayed. Obviously, the more modules installed, the greater the energy savings. However, as the sunspace is larger, the advantages from installing additional modules become less and less. For example, in case 1, when going from 12 to 18 modules, 2.84 kW h m^{-2} savings are obtained; while when going from 30 to 36 modules, savings are only 1.72 kW h m^{-2} . Furthermore, in cases with HRV, the extra savings obtained by increasing the number of modules are much lower than when a heat exchanger is not used.

The above results indicate the convenience of analyzing savings per module to establish how many modules should be installed (Fig. 13). In the cases with HRV, the savings of the 0-HRV case have been subtracted. In this way, only the savings obtained from the sunspaces are considered, without taking into account those from the heat exchanger. In every case, the larger the sunspace, the greater the total savings, although savings per module decrease. As the economic cost of each module is the same, lower savings per module will lead to a higher return on investment. When choosing the size, not only total energy savings, but also the economic cost of the investment and its return must be considered. In cases with HRV the savings per module are significantly lower.

3.2.4. Results according to Spanish climate zones

Primary energy consumption in each Spanish climate zone is presented in Fig. 14. Results illustrate that the advantages of using sunspaces depends on climate conditions. In the area with the least need for heating (zone A Málaga), sunspaces with HRV are not advisable because, instead of obtaining savings, the consumption is even higher than in case 0. The heating energy savings do not compensate for the higher consumption in fans due to heat recovery. In cases without HRV, although energy savings are achieved, they are small. In Valencia (zone B), the situation improves slightly but savings are still small or, when heat recovery is used, consumptions are even still higher than in case 0. In conclusion, in climates with little need for heating, HRV systems and sunspaces are not convenient. In Barcelona (zone C), sunspaces improve the energy behavior of the building in every case. However, the use of HRV is not recommended, as savings are less. In Madrid (Zone D),

installing sunspaces without HRV is better than simply installing a heat exchanger. However, combining HRV with sunspaces results in greater savings. In Pamplona (Zone D) and Burgos (Zone E), important savings are achieved. Results indicate that the more severe the winter climate, the greater the savings obtained. Further, the use of the HRV system is increasingly important the colder the climate. Burgos (Zone E) presents the best performance: under the optimal configuration (case 1-HRV), annual savings rise to 38.48 kWh m^{-2} of primary energy, which represents a saving of 58%. In previous research of other mechanically ventilated sunspaces, savings of 15% [23] and 12% [25] were obtained. Although the performance of these systems depends on the particular conditions of each case, the results obtained of 58% demonstrate the great savings potential of the sunspace in this study. At the light of the results, it can be concluded that the use of these sunspaces is really interesting from winter severity conditions corresponding to D climate zone, according to the Spanish technical code, which could be equivalent to a Cfb area from Köppen-Geiger classification. All in all, our research demonstrates that combining HRVs and sunspaces in cold climates substantially improves the energy performance of the building.

4. Conclusions

This paper has addressed the potential benefits of sunspaces to pre-heat ventilation air and reduce the energy consumption in buildings. In order to analyze the thermal behavior, a sunspace prototype was designed, built and monitored. After validating the simulation model with experimental results, a case study was analyzed to quantify energy savings in residential buildings. Four different sunspace scenarios were considered: with and without heat storage to give inertia, and these two configurations combined with a heat recovery ventilation system. Savings obtained with different sizes of sunspace were analyzed. Finally, in order to consider the influence of climate, the performance of the sunspace was tested for different climatic zones.

Our findings demonstrate that the use of sunspaces improves the energy performance of buildings, but the savings depend on different factors. First, as expected, the meteorological conditions have a great influence on the behavior of these systems. While on sunny days temperatures inside the sunspace are much higher than outside, on cloudy days the differences are significantly small. Second, inertia is not always convenient. In the cases without heat recovery ventilation, using water tanks means a modest improvement in energy savings. Moreover, in cases with HRV, inertia is not useful. In order to avoid cooling the preheated air in the recovery unit at night, the air only goes through the sunspace during the day and, therefore, accumulating the heat is not advisable, since part of the heat will be lost at night. Third, the savings

obtained per module vary depending on sunspace size; the larger the sunspace, the lower the savings per module. As the cost of each module is the same, lower savings per module will lead to a higher return on investment. Thus, when choosing the size, not only the total energy savings must be taken into account, but also several economic aspects, such as the investment made and its return. Last, the effectiveness of these systems clearly depends on the climate. When there is little need for heating, the use of sunspaces is not convenient. The savings obtained are small or the energy consumption of the building even increases when a heat recovery system is used, since the savings in heating do not compensate for the higher consumption in the ventilation system. On the other hand, in colder climatic zones the energy savings are especially important. In turn, when these sunspaces are combined with a heat recovery ventilation system, the savings obtained in cold climates are substantial. In the case study, the annual savings vary from 2.47 kWh·m⁻² in Malaga, located in the warmest climatic zone in Spain, to 38.48 kWh·m⁻² in Burgos, a city in the coldest zone, which means going from a 25% saving in heating the building to 58%. The more severe the winter climate conditions, the higher the heating demand and therefore, the greater the possibility of savings. As another fundamental factor is the solar radiation, it can be concluded that cold climates with high direct solar radiation are ideal for this type of sunspaces.

We believe this paper presents useful insights into the potential benefits of sunspaces, in particular, when they are combined with a mechanical ventilation system. In these cases, the preheated air is distributed easily throughout the building, which improves the energy saving potentials compare to other type of sunspaces. For us, this is one of the most important contributions of the paper, since the advantages of using sunspaces with mechanical ventilation deserve further research.

CRedit author statement

J. Gainza-Barrencia: Conceptualization, Investigation, Methodology, Writing - Original Draft.

M. Odriozola-Maritorea: Conceptualization, Investigation, Writing - Review & Editing.

Rufino Hernandez_Minguillon: Conceptualization, Resources, Supervision.

I. Gomez-Arriaran: Validation, Writing - Review & Editing.

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgements

We would like to thank to the help of the Thermal Area of The Laboratory for the Quality Control in Buildings of the Basque Government. We also want to thank AEMET, State Meteorological Agency, for providing the weather information. Finally, we would like to acknowledge the support of the Department of Environment, Territorial Planning and Housing of the Basque Government and the support of the Department of Architecture of the University of the Basque Country. The research is included in the activities related to the CAVESIA project.

References

- [1] EC (European Community), Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency, Off. J. Euro. Union 156 (2018).
- [2] EPA, United States environmental protection agency. <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/introduction-indoor-air-quality>.
- [3] European Environment Agency, The European Environment: State and Outlook 2005, European Communities, 2005.
- [4] M. Orme, Estimates of the energy impact of ventilation and associated financial expenditures, *Energy Build.* 33 (3) (2001) 199–205.
- [5] Hazim B. Awbi, et al., Ventilation, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2 (1–2) (1998) 157–188.
- [6] Justin Koffi, Analyse multicritère des stratégies de ventilation en maisons individuelles, 2009. Tesis Doctoral.
- [7] Sabine Charissa Jansen, Exergy in the Built Environment. The Added Value of Exergy in the Assessment and Development of Energy Systems for the Built Environment, 2013.
- [8] Silvia Guillén-Lambea, Beatriz Rodríguez-Soria, José M. Marín, Review of European ventilation strategies to meet the cooling and heating demands of nearly zero energy buildings (nZEB)/Passivhaus. Comparison with the USA, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 62 (2016) 561–574.
- [9] María Justo Alonso, et al., Review of heat/energy recovery exchangers for use in ZEBs in cold climate countries, *Build. Environ.* 84 (2015) 228–237.
- [10] Tomasz Charisiewicz, Glazed building wall as a solar thermal collector, *Arch. Civil Mech. Eng.* 9 (1) (2009) 83–99.
- [11] Ana Sánchez-Ostiz, et al., Design and experimental study of an industrialized sunspace with solar heat storage, *Energy Build.* 80 (2014) 231–246.
- [12] López Suárez, María José, et al., Analysis of an attached sunspace with a thermal inertia floor, *Energies* 11 (5) (2018) 1136.
- [13] Aurora Monge-Barrio, Ana Sánchez-Ostiz, Energy efficiency and thermal behaviour of attached sunspaces, in the residential architecture in Spain. Summer Conditions, *Energy Build.* 108 (2015) 244–256.
- [14] Kimmo Hilliäho, Eerik Mäkitalo, Jukka Lahdensivu, Energy saving potential of glazed space: sensitivity analysis, *Energy Build.* 99 (2015) 87–97.
- [15] Giacomo Chiesa, Marco Simonetti, Gloria Ballada, Potential of attached sunspaces in winter season comparing different technological choices in Central and Southern Europe, *Energy Build.* 138 (2017) 377–395.
- [16] G. Mihalakakou, On the use of sunspace for space heating/cooling in Europe, *Renew. Energy* 26 (3) (2002) 415–429.
- [17] Khaled M. Bataineh, Nadia Fayez, Analysis of thermal performance of building attached sunspace, *Energy Build.* 43 (8) (2011) 1863–1868.
- [18] Daniel Aelenei, Hugo de Azevedo Leal, Laura Aelenei, The use of attached-sunspaces in retrofitting design: the case of residential buildings in Portugal, *Energy Procedia* 48 (2014) 1436–1441.
- [19] G.C. Bakos, TSAGAS, N.F. Technology, thermal analysis and economic evaluation of a sunspace located in northern Greece, *Energy Build.* 31 (3) (2000) 261–266.
- [20] Francesco Passerini, Sunspaces for Passive Building Heating: Calculation Models and Utilization of Empirical Data, Tesis Doctoral, University of Trento, 2012.
- [21] G. Oliveti, M. Simona, S. Ruffolo, Solar contribution evaluation for building attached sunspace in the Mediterranean climate, in: *En Proceedings of the International Conference Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment*, Santorini, Greece, 2005.
- [22] Giulio Allesina, et al., Easy to implement ventilated sunspace for energy retrofit of condominium buildings with balconies, *Renew. Energy* 141 (2019) 541–548.
- [23] Qingsong Ma, et al., Heat Utilization of a Ventilated Sunspace in a Non-insulated Apartment. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 2020, pp. 1–13.
- [24] Giulia Ulpiani, Serena Summa, Costanzo di Perna, Sunspace coupling with hyper-insulated buildings: investigation of the benefits of heat recovery via controlled mechanical ventilation, *Sol. Energy* 181 (2019) 17–26.
- [25] Qingsong Ma, et al., Experimental analysis of the thermal performance of a sunspace attached to a house with a central air conditioning system, *Sustainability* 10 (5) (2018) 1428.
- [26] Ana Nadal, et al., Building-integrated rooftop greenhouses: an energy and environmental assessment in the mediterranean context, *Appl. Energy* 187 (2017) 338–351.
- [27] Oriol Pons, et al., Roofs of the future: rooftop greenhouses to improve buildings metabolism, *Proc. Eng.* 123 (2015) 441–448.
- [28] Solar Decathlon, Solar Decathlon Europe 2014, 2014.
- [29] Weishu Wang, et al., Numerical investigation on the impact of an on-top sunspace passive heating approach for typical rural buildings in northern China, *Sol. Energy* 186 (2019) 300–310.
- [30] López Suárez, María José, et al., Heat collection in an attached sunspace, *Renew. Energy* 145 (2020) 2144–2150.
- [31] Wei Chen, Wei Liu, Numerical analysis of heat transfer in a composite wall solar-collector system with a porous absorber, *Appl. Energy* 78 (2) (2004) 137–149.
- [32] Mehrnaz Owraq, et al., Experiments and simulations on the thermal performance of a sunspace attached to a room including heat-storing porous bed and water tanks, *Build. Environ.* 92 (2015) 142–151.
- [33] Alfredo Fernández-González, Analysis of the thermal performance and comfort conditions produced by five different passive solar heating strategies in the United States Midwest, *Sol. Energy* 81 (5) (2007) 581–593.
- [34] AEMET, Agencia Estatal de Meteorología, del Gobierno de España [Online] [Cited: 01 27, 2020.], <http://www.aemet.es>.
- [35] Alexandra R. Rempel, et al., Interpretation of passive solar field data with EnergyPlus models: un-conventional wisdom from four sunspaces in Eugene, Oregon, *Build. Environ.* 60 (2013) 158–172.
- [36] Guideline, ASHRAE. Guideline 14-2002, Measurement of Energy and Demand Savings, American Society of Heating, Ventilating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta, Georgia, 2002.
- [37] Guideline, ASHRAE. Guideline 14-2014, Measurement of Energy, Demand, and Water Savings. 2014, American Society of Heating, Ventilating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta, Georgia, 2014.

- [38] Germán Ramos Ruiz, Carlos Fernández Bandera, Validation of calibrated energy models: common errors, *Energies* 10 (10) (2017) 1587.
- [39] Código Técnico de la Edificación, Documento básico HS: salubridad y HE: Ahorro de energía, Ministerio de Fomento, Madrid, 2016.
- [40] P.G. Schild, M. Mysen, Recommendations on specific fan power and fan system efficiency, Technical Note AIVC 65 (2009).
- [41] IDAE, Factores de emisión de CO₂ y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España. Documento Reconocido del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Madrid, 2016.