



IKER
GAZTE
NAZIOARTEKO
IKERKETA EUSKARAZ

IV. IKERGAZTE NAZIOARTEKO IKERKETA EUSKARAZ

2021eko ekainaren 9, 10 eta 11a
Gasteiz, Euskal Herria

ANTOLATZAILEA:
Udako Euskal Unibertsitatea (UEU)

INGENIARITZA ETA ARKITEKTURA

Instalazio termikoen Termoekonomia-diagnostikoa

*Irati Prol Godoy, Ana Picallo Perez
eta Jose M^a P. Sala Lizarraga*

65-71 or.

<https://dx.doi.org/10.26876/ikergazte.iv.03.08>

ANTOLATZAILEA:



LAGUNTZAILEAK:



Instalazio termikoen Termoekonomia-diagnostikoa

Prol-Godoy, I., Picallo-Perez, A., Sala-Lizarraga, J.M.P.

*ENEDI ikerketa taldea, Ingeniaritza Energetikoko saila, Euskal Herriko Unibertsitatea
(Bilboko ingeniaritza eskola. Pl. Ingeniero Torres Quevedo, 1 48013-Bilbo)*

iratipg@gmail.com

Laburpena

Baliabide fosilak agortzen daudelako edo klima-aldaketa dagoelako, energia aurrezteko hainbat teknika sustatu dira. Instalazio termikoen mantentze-lanak funtsezkoak dira ekipoen eta sistemen funtzionamendu egokia bermatzeko. Horretarako, diagnostiko bat egitea da gakoa, akatsak detektatu eta ebaluatu ahal izateko. Termoekonomia-diagnostikoak identifikatzen du sistemaren anomalia batek eragindako kostuen igoera.

Horrela, lan honetan azaltzen dira Termoekonomia-diagnostikoa eraikinen instalazio-termikoetan aplikatzeko oinarri teorikoak. Termoekonomia-diagnostikoaren nondik-norakoak eta ikerketarako instalazio esperimentalak azaltzen dira, alegia.

Hitz gakoak: Instalazio-termikoa, Termoekonomia-diagnostikoa, exergia.

Abstract

Concern for energy saving due to causes such as the depletion of fossil resources or climate change has encouraged the development of different techniques with the aim of energy saving. The maintenance of thermal installations is one of the key tasks to ensure the proper functioning of equipment and systems. For this, the key is to carry out a diagnosis that allows the detection and evaluation of failures. The thermo-economic diagnosis is a tool capable of identifying the cost increase due to an anomaly in the system.

Thus, this paper presents the theoretical bases of a research whose objective is to apply the thermo-economic diagnosis in the thermal installations of buildings, that is, the description of the thermo-economic diagnosis and of the experimental installation where the research is going to be carried out.

Keywords: Thermal installation, Thermo-economic diagnosis, exergy.

1. Sarrera eta motibazioa

Lan honetan aurkezten da ikerketa luze baterako oinarri teorikoa: ikerketaren beharra eta hori aurrera eramateko motibazioa.

Eraikinek eraiki, erabili eta eraitsi artean, energia-kontsumo eta ingurumen-inpaktu handia eragiten dute, eraikinak beharrezko zerbitzuez hornitzeko eta eraikitze behar den energiaren ondorioz. European, eraikinek azken energia-kontsumoaren % 40 eta atmosferara egiten diren negutegi-efektuko gasen isurketen % 36 eragiten dute (Europako Batzordea, Energia Saila, 2020). Espainian, berriz, hirugarren sektoreak (etxebizitzak eta zerbitzuak) % 31ko eragina du energia-kontsumoan (IDAE, 2015).

Instalazio termikoek mantenu-ekintzak jasan bat behar dituzte; horrela bermatzen baitira ekipoen funtzionamendu egokiak eta haien arteko interakzioak. Halere, gehienetan, ekipoak diseinatzen eta horien kontrola optimizatzen dihardute ikerlariek. Kontuan hartu behar da ekintza horiek, diseinua eta optimizazioa, alegia, behin bakarrik inplementatzen direla, mantentze-lana ez bezala, instalazioaren balio-bizitza osoan zehar egin behar delako. Horregatik, FDD diagnostikoa (fault detection and diagnosis) funtsezkoa da akatsak detektatzeko eta ebaluatzeko.

Diagnostikoa sistema automatikoen bidez egiteko instalazioan sentsoreak behar dira eta datuak denbora errealean irakurri behar dira. Tamalez, datu horien kalitatea askotan degradatuta dago,

eta horrek nabarmen mugatzen du diagnostiko- eta kudeaketa-sistemen potentziala, bai eta kontrol-sistemarena ere. Gainera, zaila da erregistro dinamikoetan datu akastuak iragaztea.

FDD teknika berritzaile bat dago, exergian oinarritzen dena eta Termoeconomia-diagnostikoa deritza. (Yoo et al., 2018)

Azal ditzagun banan-bana exergia, Termoeconomia eta Termoeconomia-diagnostikoa:

- Exergiak energia batek lanean bihurtzeko duen gaitasuna adierazten du, alegia, kalitatea. Energia-forma batzuk osorik bilaka daitezke lanean, adibidez energia elektrikoa non energia guztia exergia baita. Baina badira beste energia-forma batzuk, hala nola beroa, zeinentzat zati bat bakarrik lanean bihurtzeko daitezke, eta horrela bero-fluxu baten zati bat bakarrik da exergia-fluxua. (Piccolo et al., 2020)
- Termoekonomiak, termodinamika- eta ekonomia-teorien bidez, prozesu batean kontsumitutako baliabide naturalak kuantifikatzen ditu, eta, beraz, kontsumitutako baliabideei dagokienez, produktu jakin baten kostua ematen du. Exergia-analisia eta ekonomia-analisia konbinatzen ditu, eta fluxuei diru-kostuak esleitzen dizkio; fluxuak, oro bat, exergia fluxuak dira zeintzuek energiaren kalitatea adierazten baitituzte. Beraz, ohiko energia-analisiekin lortu ezin daitezkeen informazioa ematen du. (Valero eta Torres, 2006)
- Termoeconomia-diagnostikoa erabiliz identifikatzen dira sistemaren anomaliak eragindako kostu igoerak. Sistemaren anomaliak akats txikiak dira, instalazioaren guztizko geldialdia eragiten ez dutenak, baina bai aldiz, kontsumo igoera. Anomalia hauek ekipoen jarreraren eta horien arteko interakzioetan eragiten dute eta funtzionamendu-egoera aldatzen dute etekina murriztuz.

Anomalia bat intrintsekoa izan daiteke (osagai baten barruko errore baten ondorioz) edo induzitua (akatsa nahiz eta beste ekipu batean egon, zeharka eragiten du alboko osagai baten funtzionamenduan). Termoeconomia-diagnostikoaren helburua anomalia intrintsekoak eta induzituak aurkitzea da eta horien eragina kuantifikatzea.

Hala ere, nahiz eta interes handikoa izan, eta, Termoeconomia-diagnostikoa eraikinetan aurrerapen handia ekar dezakeen arren, ikerketa-fasean dago, eta eguneroko jardunean oso gutxi erabiltzen da. Industria-munduan Termoekonomiaren adar honetako argitalpenak badaude ere, eraikinen-instalazioen arloan lan gutxi daude. Halere, aipatu beharra dago argitaratu berri den “Exergia-analisia eta Termoeconomia eraikinetan: energia-sistema jasangarrien analisia eta diseinua” liburua. (Sala eta Piccolo, 2019)

2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

Ikerketa honen helburua da eraikinen energia-instalazioetan Termoeconomia-diagnostikoa aplikatzea. Horretarako, instalazio experimental batean egingo dira saiakuntzak eta emaitzak Termoeconomia-diagnostikoa eraikinetan garatzeko erabiliko dira. Instalazio experimentalak Eusko Jaurlaritzako Eraikuntzaren Kalitatea Kontrolatzeko Laborategian (EKKL) dago. Instalazio experimental modulagarria da, eta hainbat energia-teknologia aztertzen ahalbidetzen du. Teknologien arteko integrazioa ebaluatzeko erabiltzen da eta baita energia berriztagarri berriak ikertzeko ere. Instalazio honen interesik handiena bere izaera erdi-birtuala da, hau da, edozein etxebizitzatarako berokuntzaren eta ur bero sanitarioaren (UBS) eskaera-profilak kalkulatzeko TRNSYS (Transient Simulation System) softwarearekin simulazioa eginez eta kontrol-sistemaren bidez, etxebizitzaren eskaera-profil hori leialki erreproduzitzeko duen bero-kantitate bat barreia daiteke.

TRNSYS sistema iragankorren portaera simulatzeko erabiltzen den softwarea da. Simulazio gehienak energia termiko eta elektrikoko sistemetan oinarritzen diren arren, TRNSYS beste sistema dinamikoa

batzuk modelatzeko ere erabil daiteke, hala nola trafiko-fluxua edo prozesu biologikoak. Programak liburutegi zabal bat dauka ekipoak modelatzeko.

Ikerketaren helburua betetzeko, urrats hauek jarraitu beharko dira:

- Instalazio-termikoen diagnostiko-metodologiak aztertu beharko dira; ahalik eta irakurketa bibliografiko zabalena eginez (batez ere, hirugarren sektoreko eraikinen eta egoitzen berokuntzako eta etxeko ur beroko instalazioetan oinarrituz).
- Termoeconomia-diagnostikoaren hastapenak ezagutu beharko dira eta hori aplikatzeko prozedura aztertu beharko da.
- EKKLren instalazio esperimentalaren funtzionamendua aztertu beharko da. Metodologia ikasi eta egingo diren entseguak diseinatu eta eraiki beharko dira.
- Diagnostikoa aplikatzeko saiakuntza esperimentala gauzatuko da eta horretako, ekipo bakoitzaren modelo termikoa lortu beharko da anomaliarik gabeko funtzionamendu-moduan.
- Hautatutako EKKLren ekipoan anomalia bat sartuko da. Hala nola, bero trukagailuari plaka bat kenduko zaio, balbula bat “ito” egingo da, tuturen batean zikinkeria sartuko da, etab. Orduan, berriro egingo da saiakuntza esperimentala anomaliekin eta ondorioak aztertuko dira. Horrela Termoeconomia-diagnostikoa aplikatu eta ebaluatuko da anomaliak eragindako ondorioak aztertzeko eta kuantifikatzeko.
- Ondorio eta eztabaida nagusiak definituko dira Termoeconomia-diagnostikoaren prozedura garatzeko.

3. Ikerketaren muina

Ikerketa hau hasi berria da eta zeregin anitz dauzka helburu guztiak betetzeko. Besteak beste:

- Termoeconomia-diagnostikoa aztertzea eta ezagutzea.
- EKKLren saiakuntza-instalazio esperimentala diseinatzea.
- TRNSYSen instalazioa simulatzea.
- Instalazio-termikoaren energia- eta exergia- analisisa egitea.
- Instalazioan egon daitezkeen anomaliak aztertzea eta inplementatzea.
- Termoeconomia-diagnostikoaren teoria eraikinetan garatzea.

Orain arte Termoeconomia-diagnostikoaren egoera aztertu egin da eta EKKLren instalazio esperimentalaren funtzionamendua aztertu da. Hori dela eta, azken puntu honetan oinarrituko da ikerketaren muinaren azalpena:

3.1. EKKLko planta esperimentalaren deskribapena

Esan bezala, instalazio modulagarria da eta hainbat sorkuntza-ekipo daude: batzuk erregai fosiletan oinarritzen dira eta beste batzuk energia berriztagarrietan. Ekipo berriak moduluz-modulu txerta daitezke.

Beraz, saiakuntza-banku bat da eta elkartzen da karga termikoak eta elektrikoak simulatzeko sistema batekin; gainera, aldagaiak kontrolatzeko, bistaratzeko eta automatikoki erregistratzeko sistema bat ere badago. Proba-banku honetan beharrezko ekipamendua gaineratuz, saiakera hauek egin daitezke:

- Barne errekuntzako aldizkako motorrak, Stirling motorrak, mikroturbinak, erregai-pilak, etab.

- Biltegitratze termikoko eta elektrikoko sistemak.
- Eguzki-kolektoreak, panel fotovoltaikoak, minigeneradore eolikoak, etab.
- Etab.

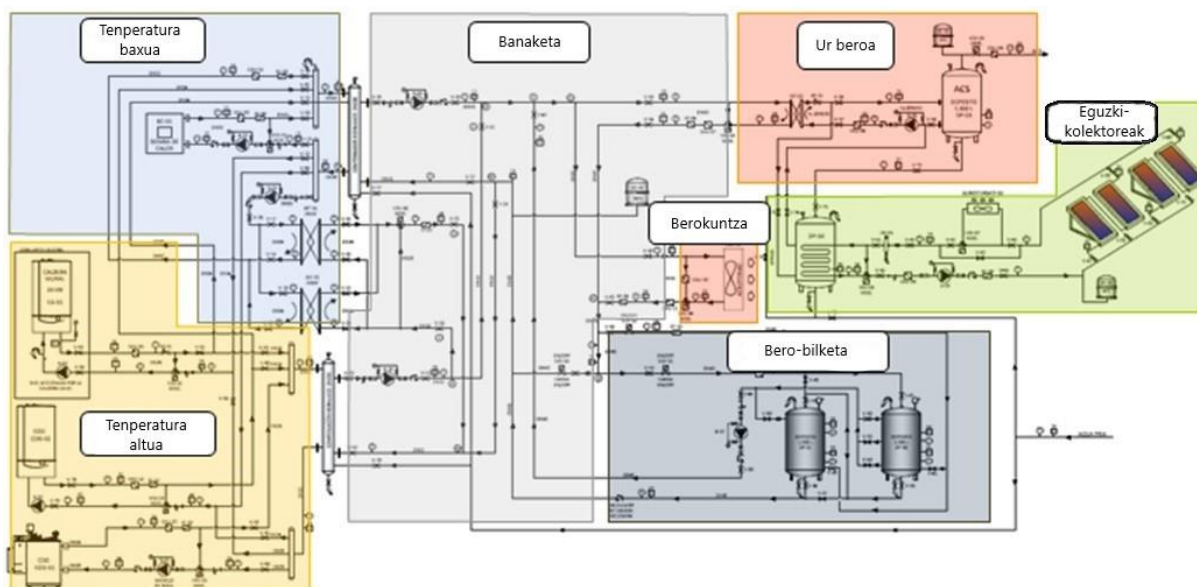
3.2. Egungo ekipoa

EKKLren instalazio experimentalak gaur egun dituen ekipoa bost modulu nagusitan banatzen dira: (1) tenperatura altua sortzeko moduluak, (2) tenperatura baxua sortzeko moduluak, (3) biltegitratze termikoa, (4) ur bero sanitarioaren (UBS) ekoizpen moduluak (5) berokuntza-kontsumoaren moduluak eta (6) eguzki-kolektoreen moduluak.

- Tenperatura altua sortzeko, barne-errekuntzako kogenerazio motor bat (5,5 kW elektriko eta 12,5 kW termiko ekoizten ditu), Stirling motor bat (1 kW elektriko eta 5 kW termiko) eta kondentsazio-galdara bat (28 kW termiko UBS eta 20 kW termiko berokuntza, %97ko etekinarekin) daude.
- Tenperatura baxua sortzeko kondentsazio-galdarak ere balio du. Bestalde, aire-ur bero-ponpa bada dago (17.9 kW termiko ekoizten ditu 2.5 balioko COParekin).
- Biltegitratze termikorako 1000 litroko bi tanke daude eta UBSa gordetzen dute. Etorkizunean, fasea aldatzeko materialen biltegitratze-sistema bat sartuko da.
- UBS ekoizteko moduluak 1000 litroko beste tanke bat dauka.
- Beroa disipatzeko moduluak aerotermo batek (fan coil ingelesez) osatzen du, gehienez 24,9 kW-ko potentzia termiko nominalarekin.
- Eguzki-kolektoreen moduluak beroa ekoizten du biltegitratze termikoko UBS tankeetan.

1. irudian planta experimentalaren printzipio-eskema aurkezten da.

1. irudia. Entsegu-instalazioaren eskema



3.3. Funtzionamendu-modua

Saiakuntza bat martxan jartzeko, instalazio osoaren eragiketa-estrategiak definitu behar dira; alegia, modulu bakoitzaren lehentasunak zehaztu behar dira eta lan-baldintzak ezarri (bai barneko set-pointak eta baita moduluen arteko harreman-baldintzak ere). Funtsezkoa da instalazioak asetu

beharreko eskari-termikoa simulatzea, programatutako eragiketen bidez. Bi eragiketa mota daude: (1) eskaera-kurbak alde aurretik definitu edo (2) TRNSYS plataforma erdi-birtuala erabili.

- Lehenengo eragiketan etxebizitza kasuari dagokion eskari-kurba diskretizatua programatu behar da. Hau da: berokuntza-eskaria (fan coil edo aerotermoan disipatuko da) eta UBS-eskaria (UBS moduluan disipatuko da).

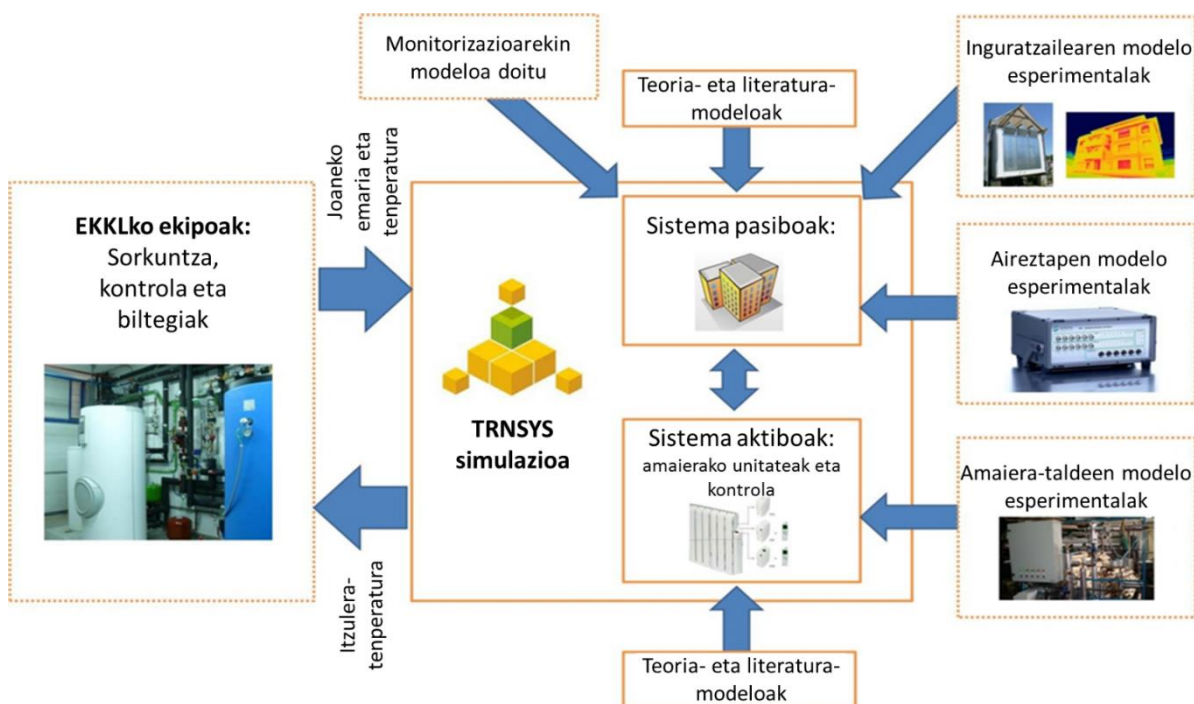
Berokuntza-eskaria emulatzeko aerotermoari ur beroa ematen zaio zirkuitu hidraulikoaren bidez; honek haizagailua modulatu, aurrez sartutako eskari-kurba disipatuko du. Eskari-kurba potentzia termikoaren balio diskretuetan oinarritzen denez, horiek une oro alderatzen dira lortutako energia-datuekin (ekipoaren tenperatura- eta emari-sentsoreekin) eta horrela modulatu da.

Ur bero sanitarioaren eskaria ur hotzaren zirkuitu ireki batekin eta ur beroaren zirkuitu ireki batekin zehazten da (biltegi sartzen eta irteten diren emariak, hain zuzen). Aerotermoaren antzera, sistemak erreproduzitzeko UBS eskari-kurba bat programatu da. Kurba hori diskretizatu egiten da, eta UBS emariaren balioak sartzen dira. Biltegi irteera-emari erreala kontrolatzen da emari-neurgailu baten bidez eskaera-kurba jarraitzeko.

- Bestalde, instalazioaren ebaluazio esperimentalak konbina daitezke TRNSYSeko plataformarekin. Ondorioz, alde aurretiko eskari-kurbak zehaztu beharrean, eskaria aldiro kalkulatu da dagokion eraikinarekin eta klima-baldintzekin. Hau da, balio erreala simulazio baten sartzen dira eta instalazioak asetu beharreko eskari berriak kalkulatu dira; horregatik esaten da plataforma sasi-birtual bat dela.

2. irudian, plataformaren eskema aurkezten da. Eskema horretan bereizten dira prozesu esperimentalak (EKKL ekipoen instalazioa) eta simulatuak (TRNSYS simulazioa). Plataforma honen bidez eraikinaren ezaugarri guztiak integra daitezke (geometria-, arkitektura- eta erabiliera- ezaugarriak, klima, etab.) eta aztertu beharreko ekipoaren edo elementuaren benetako portaera ezagutzen da.

2. irudia. Plataforma sasi-birtualaren azalpena



3.4. Kontrol-sistema eta datuak jasotzea

Instalazioak 120 seinale baino gehiago ditu, aldagaiak kontrolatzeko eta monitorizatzeko, eta horrela bermatzen da informazio zehatza eta funtzionamendu zuzena. Bertan doitasun handiko 46 tenperatura-zunda instalatu dira (Pt 100 1/10 mota), 11 emari-neurgailu elektromagnetiko daude (% 0,1 baino gutxiagoko ziurgabetasunarekin), 2 presostato (bat zirkuitu orokorrean eta bestea barnealdeko tenperaturaren), eta hezetasuna neurtzeko sentsoreak.

Instalazioa CPU automata programagarri baten bidez kontrolatzen da eta hedapen-modulu baten bidez kudeatzen da. Horrez gain, seinaleen sarrera- eta irteera-txartelak ere erabiltzen dira, Ethernet bidez PC batera konektatuta. Bertan, interfazea dago eta datuak jasotzen dira.

4. Ondorioak

Ikerketa honen helburua eraikinen instalazio termikoen prebentziozko mantentze-ekintzak indartzea da, Termoeconomia-diagnostikoaren ezagutzak aplikatuz eta sentsoreetatik jasotako datu errealetan oinarrituta. Horretarako, ezinbestekoa da Termoekonomiaren oinarritzko jakintza izatea eta instalazio termikoen jarrera dinamikoa kontuan hartzea. Beraz, ikerketaren nondiko norakoak azaldu ostean, EKKLko instalazio esperimentalaren azalpen sakon bat egin da; hor oinarrituko baitira lanaren garapena eta emaitzak.

"Etxeen hazkunde ekonomikoan, enpleguan, berrikuntzan eta energia-pobrezia murrizten laguntzen du energia-eraginkortasunean inbertitzeak, eta, beraz, ekarpen positiboa egiten dio ekonomia-, gizarte- eta lurralde-kohesioari", (Europar Parlamentua eta Kontseilua. 2012/27/EB Zuzentaraua) eta hori da, hain zuzen ere, ikerketa honen bidez bilatzen dena. Era berean, Europako Helburuen jarduera-ildo bati ekin nahi zaio: energiaren kontsumoa eta karbono-aztarna murriztu erabilera adimendun eta jasangarriaren bidez. Hori guztia, Termoekonomiaren ikuspegitik.

5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Hasi berria den ikerketa honetan, lortu nahi diren helburu guztiak betetzeko ekintza batzuk egiteke daude. EEKLren instalazioa behin aztertuta, instalazioaren eragiketa-estrategiak definituko dira bai eskaera-kurbak alde aurretik simulatuz bai eta TRNSYS softwarean instalazioaren ebaluazio esperimentalala eginez. Bi funtzionamendu-moduek, ekipoen elkarrekintzaren eta instalazioaren ulermenean bai eta datuen interpretazioan ere lagunduko dute.

Azkenik, ekipoen anomaliak Termoeconomia-diagnostikoaren bitartez aztertuko dira eta anomaliak dakartzan ondorioak kuantifikatuko dira.

Horrela, ikerketan lortutako ondorioen eta emaitzen helburua da eraikinen instalazio-termikoko diagnostikoan aurrerapauso bat egitea, ikerketa mundutik haratago, eguneroko jardunean aplikatzeko nahiarekin.

6. Erreferentziak

Europako Batzordea, Energia Saila (2020): *La eficiencia energética de los edificios*, Brusela, 1 or.

Europar Parlamentua eta Kontseilua. 2012/27/EB Zuzentaraua, 2012ko urriaren 25ekoa, energia-eraginkortasunari buruzkoa, 2019/125/EE eta 2010/30/EB Zuzentarauak aldatzen dituen eta 2004/8/EE eta 2006/32/EE Zuzentarauak indargabetzen dituen. Europar Batasunaren Egunkari Ofiziala L 315, 2012ko azaroak 14, 8. or.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) (2015): *El consumo de energía en España*. [<http://guiaenergia.idae.es/el-consumo-energia-en-espana/>]

- Picallo, A., Sala, J. M., Iribar, E. (2020): Exergia: herramienta para promover la eficiencia energética en los edificios. *Elhuyar*.
- Sala, J. M. eta Picallo, A. (2019): *Exergy Analysis and Thermoeconomics of Buildings: Design and Analysis for Sustainable Energy Systems*. Butterworth-Heinemann.
- Valero, A., & Torres, C. (2006). Thermoeconomic analysis. Center of Research for Energy Resources and Consumption, Centro Politecnico Superior, Universidad de Zaragoza, Spain.
- Yoo, Y., Oh, H. S., Uysal, C., & Kwak, H. Y. (2018). Thermoeconomic diagnosis of an air-cooled air conditioning system. *International Journal of Exergy*, 26(4), 393-417.

7. Eskerrak eta oharrak

Esker-ona eman nahi zaio Eusko Jaurlaritzaren Etxebizitza Sailari eta azken urteotako Etxebizitza Zuzendariei; bereziki D. Agustin de Lorenzori (Eusko Jaurlaritzako Eraikuntzaren Legediaren eta Kalitate Kontrolaren zuzendaria eta Eraikuntza Kalitatea Kontrolatzeko Laborategiaren zuzendaria (EKKL)).

Gainera, lan hau Eusko Jaurlaritzaren IKASIKER lankidetzak lagunduta egingo da.