

Biomasa-galdara baten karakterizazio esperimentalak eta simulazio dinamikoak

(Experimental characterization and dynamic simulations of a biomass boiler)

Laura Alonso*¹, Carol Pascual¹, Jon Iturralde¹, Miren Madinabeitia²,
Jon Makibar³, Mikel Argoitia³

¹ TECNALIA, Basque Research and Technology Alliance (BRTA)

² Gipuzkoako Ingeniaritza Eskola, Eibarko atala (UPV-EHU)

³ Domusa Calefacción S. Coop.

LABURPENA: Energia termikoa lortzeko iturri berriztagarrien artean biomasa daukagu. Lan honetan, pellet galdara baten karakterizazio esperimentalak burutu da, bai karga finkoetan, bai modu dinamikoan. Entsegu dinamikoak burutzeko, bulegoak eta laborategiak dauzkan eraikin bateko karga termikoko erabili dira. Bestalde, instalazioaren modeloa garatu da, TRNSYS simulazio programaren bidez. Galdararen modeloa entsegu esperimentalen emaitzen bidez balioztatu da. Horrela, simulazioen zehaztasuna ziurtatzen da, eta modeloa erabil daiteke galdarak instalazio batean nola funtzionatuko lukeen aztertzeko.

HITZ GAKOAK: biomasa galdara, simulazio dinamikoak, energia berriztagarria.

ABSTRACT: Biomass is one of the available renewable energy sources which can be used for thermal energy generation. In this work, the experimental characterization of a pellet boiler has been carried out, with fixed thermal loads, and also in a dynamic mode. In order to perform the dynamic testing, the thermal energy demands of a building with offices and laboratories have been used. Additionally, a model of the installation has been developed with TRNSYS simulation software. The model of the boiler has been validated with the experimental testing results. That way, the accuracy of the simulation is ensured, and the model can be used to analyze how the boiler would operate in a certain installation.

KEYWORDS: biomass boiler, dynamic simulations, renewable energy

LABURDURAK: ΔP : karga galera; BBA: Beheko berotze-ahalmena; $C_{p,ub}$: Uraren bero-ahalmen espezi-fikoa; E_{pellet} : Pellet emaria; E_{ub} : Ur beroaren emaria; E_{uh} : Ur hotzaren emaria; STb: Ur-bero biltegiaren kontsigna temperatura; STi: Galdararen irteerako ur beroaren kontsigna temperatura; STs: Galdararen sarrerako ur beroaren kontsigna temperatura; $T_{i,eg}$: Errekuntza gasen irteerako temperatura; T_{ing} : Inguruko temperatura; $T_{i,ub,b}$: Biltegiaren irteerako ur beroaren temperatura; $T_{i,ub,g}$: Galdararen irteerako ur beroaren temperatura; $T_{i,uh,b}$: Biltegi-giko ur hotzaren irteerako temperatura; $T_{s,ub,b}$: Biltegiaren sarrerako ur beroaren temperatura; $T_{s,ub,g}$: Galdararen sarrerako ur beroaren temperatura; $T_{s,uh,b}$: Biltegiaren sarrerako ur hotzaren temperatura; $T_{uh,b}$: Ur-hotzeko biltegiaren temperatura.

* **Harremanetan jartzeko / Corresponding author:** Laura Alonso. TECNALIA, Basque Research and Technology Alliance (BRTA), Anardi Indurstrigunea, 5, 20730 Azepeitia (Gipuzkoa). – laura.alonso@tecnalia.com –

Nola aipatu / How to cite: Alonso, Laura; Pascual, Carol; Iturralde, Jon; Madinabeitia, Miren; Makibar, Jon; Argoitia, Mikel (2020). «Biomasa-galdara baten karakterizazio esperimentalak eta simulazio dinamikoak». *Ekaia*, 40, 2021, 329-343. (https://doi.org/10.1387/ekaia.21856).

Jasotze-data: 2020, ekainak 29; Onartze-data: 2020, azaroak 16.

ISSN 0214-9753 - eISSN 2444-3581 / © 2021 UPV/EHU



Lan hau Creative Commons Aitortu-EzKomertziala-LanEratorririkGabe 4.0 Nazioartekoa lizentzia baten mende dago

1. SARRERA

Energia termikoa lortzeko iturri berriztagarrien artean biomasa daukagu. Biomasaren erabilera azkeneko urteetan zabaltzen ari da: adibidez, estatu-mailan pellet-kontsumoa 175.000 tonatik 598.000 tonara igo da 2012 eta 2018 bitartean [1]. Biomasa erregai lehiakorra da, eskualdeen independentzia energetikoari laguntzen diona, eta CO₂ emisioetan neutroa. Biomasa erregailuek zenbait araudi bete behar dituzte, diseinu ekologikoari eta ezaugarri teknikoari eta emisioari dagokienez.

Lan honetan, Domusako Bioclass Max 150 kW-ko pellet-galdara baten karakterizazio esperimentalak burutu da, bai karga finkoetan, bai modu dinamikoan. Helburuetako bat galdararen ezaugarri teknikoak (potentzia erabilgarria eta errendimendua) eta emisioak neurtzea izan da. Erregai solidoak erabiltzen dituzten 500 kW-rainoko galdarek EN 303-5 [2] arau teknikoak ezarritako baldintzak bete behar dituzte. Baldintza horien artean, azaltzen da galdarek zer-nolako entseguak egin behar zaizkien. Burututako karga finkoko entseguetan araudi horren irizpideei jarraitu diegu.

Bestalde, entsegu dinamikoak garatzeko ez diegu arau teknikoari jarraitu, baizik eta laborategian bertan diseinatutako metodologiari. Horiek burutzeko, bulego eta laborategiak dauzkan eraikin bateko karga termikoak kalkulatu dira. Karga termiko horiek modu kontrolatu batean ezarri zaizkio sistemari, galdarari konektatuta dagoen ur-biltegia hoztuz. Helburua galdarak karga termiko desberdinen aurrean nola erantzuten duen ikustea da, eta entseguaren emaitzak simulazio batekin alderatzea.

Azkenik, instalazioaren modeloa garatu da TRNSYS [3] simulazio programaren bidez. Galdararen modeloa entsegu esperimentalen emaitzen bidez balioztatu da. Horrela, simulazioen zehaztasuna ziurtatzen da eta modeloa erabil daiteke galdarak eraikinean nola funtzionatuko lukeen aztertzeko.

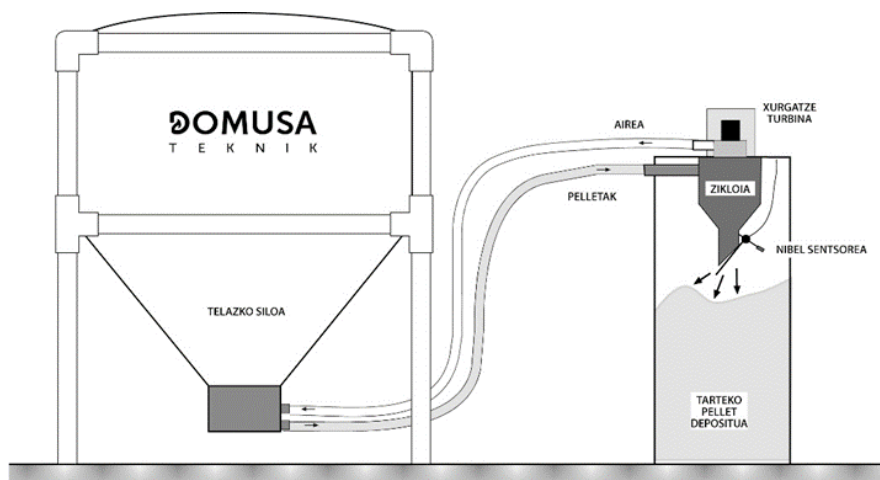
2. ENTSEGU METODOLOGIA

Biomasa-galdara karakterizatzeko, Tecnaliako Sistema Termiko eta Energia Eraginkortasuneko laborategian instalazio bat prestatu da. Gehienez 300 kW-ko potentzia duten galdarekin lanean aritzeko aukera eskaintzen du instalazioak.

Frogak egiteko erabili den pellet-galdararen potentzia termikoa 45-150 kW artekoa da. Galdararen kontrol elektronikoari esker pellet-erregailuaren potentzia bero-eskaerari doitzen zaio. Era horretan, pizte eta itzaltze zikloak murriztuz, sistema osoaren eraginkortasuna hobetzen da.

Galdara erregaiz automatikoki elikatu ahal izateko, telazko pellet-silo bat instalatu da; 1. irudian irudikatzen dira siloa eta galdarako pellet-erre-

serbaren biltegia. Siloa eta galdara bi maukaz lotuta daude, batetik pelletak biltegitik dira zirkulatuak xurgatze-sistema baten bitartez, eta bestetik airea itzuliko da. Zirkulazioa betetzean xurgatzea eragiten duen turbina gelditu eta zirkulazioa erregaiatu askatzen da. Sentsoreak maila egiaztatzen eta, oraindik erreserba-biltegia bete gabe egonez gero, beste zirkulazio bat burutuko du, nahikoa erregai egon arte.



1. irudia. Telazko siloa eta pellet-elikatze sistema.

Pellet-galdararen errausen garbiketa erabat automatikoa da. Hau da, pellet-erregailua eta bero trukagailua automatikoki garbitzen dira. Horrek, eraginkortasuna handitzeaz gain, egin beharreko mantentze-lanak murrizten ditu. Sortutako errausak konprimatu eta bolumen handiko erraus kaxan biltegitik dira.

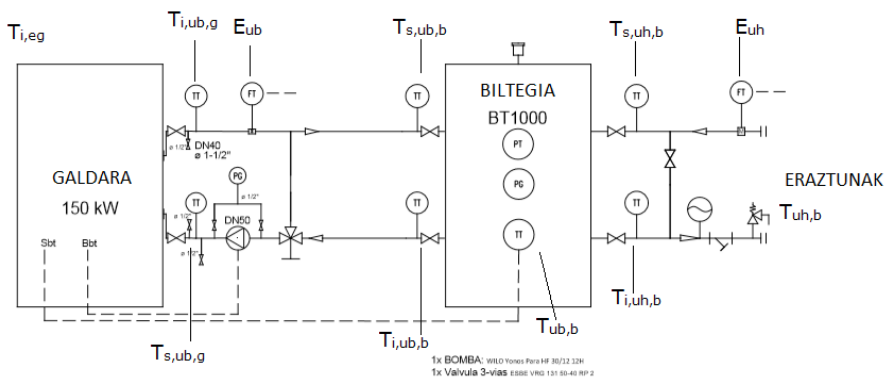
Galdara ur-beroko biltegi bati konektatuta lan egiteko diseinatu dago. Kontrol elektronikoak ur-biltegiaren tenperatura zaintzen du eta, horren arabera, behar duen potentzia ematen du.

2. irudian instalazio hidraulikoaren eskema ikus daiteke. Alde batetik, galdara eta zirkuitu primarioa daude, ur beroko biltegitik. Biltegitik ura kontsigna-tenperaturatik jaitsiz gero, galdara martxan hasten da. Urak tenperatura zehatz bat lortu arte zirkuituak ura hiru-bideko balbularen bidez by-passetik galdarara bideratzen du, eta, behin zirkuitua berotuta, balbula ireki eta ur-biltegia berotzen hasten da; horretarako, biltegitik behealdetik hartutako ura galdaran berotu eta biltegiaren goialdean metatzen da.

Beste aldetik, zirkuitu sekundarioa dago, xahutze-erdi dagokiona. Ur-biltegitik ateratzen den zirkuituaz aparte, 2. irudian agertzen ez den ur ho-

tzeko biltegiak eta hozteko makinak osatzen dute. Hozteko makinak ura hoztu eta ur hotzeko biltegian gordetzen du. Ur hotzeko biltegitik ura, ponpa baten bidez, ur beroko biltegiara bideratzen da. Zirkulazio-ponparen abiadura eta hiru-bideko balbula erregulatuz, ur hotza biltegi sekundariotik primarioa bideratzen da.

Galdararen azterketa burutzeko, batez ere funtzionamenduari dagokionez, bi entsegu mota burutu dira: entsegu finkoak eta dinamikoak. Lehen % 30eko, % 60ko eta % 100eko kargetan egin da. Bigarrena, berriz, eraikin baten energia-eskaera erreala emulatuz egin da.



2. irudia. Instalazioaren eskema.

Bi entsegu mota hauek puntu jakin batzuk dituzte aztergai: karga finkoetan galdararen errendimendua, konbustio kalitatea eta kontsumo energetikoa. Bestalde, dinamikoetan energia-eskaera desberdinen aurrean izandako erantzuna eta erretzailearen egoera ikustatu dira. Oro har, galdararen saiakuntzetan zehar entsegu-bankuaren funtzionamendua egokia den behatu da, eta ahulezia-puntuak zein eta zergatik izan daitezkeen ikertu da.

EN 303-5 araudia [2] berokuntzarako galdareei dagokie, hain zuzen ere konbustio solidoa erabiltzen dutenei, eskuzko karga zein karga automatikoarekin eta 500 kW potentzia erabilgarri nominalerainoko galdareei aplikatzen zaiena. Araudiak galdarek bete beharreko baldintzak zehazten ditu, eraikuntzari, segurtasunari eta ezaugarri teknikoiei dagokienez. Bestalde, baldintza horiek betetzeko entseguak zehazten ditu.

Burutako karga finkoko entseguetan EN 303-5 araudiaren irizpideei jarraitu diegu, hain zuzen ere, araudiak ezarritako honako baldintza hauek bete dira:

- Irteerako batezbesteko ur-tenperaturak 70°C eta 90°C bitartean egon behar du.

- Irteera eta sarrerako ur-tenperatura diferentziak 10 K eta 25 K bitartekoa izan behar du.
- Tenperatura igoerak honako hau bete behar du:

$$\frac{T_{i,ub,g} + T_{s,ub,g}}{2} - T_{ing} > 35K \quad (1)$$

Hona hemen entseguetan erabilitako tresneriaren ezaugarriak:

1. taula. Galdarako potentzia erabilgarria eta konbustio ezaugarriak neurtzeko tresneriaren bereizmena eta zehaztasuna.

Tresneria	Bereizmena	Zehaztasuna
Temperatura-sentsoreak	0,01	0,11
Emari-neurgailua	0,01	3 %
Gas-analizatzailea		
O ₂	0,1 Vol. %	± 0.2 Vol. %
CO	1 ppm	±20 ppm (0...400 ppm) ±5 % batezbestekoa (401...1000 ppm) ±10 % batezbestekoa (1001...4000 ppm)
NO	1 ppm	±5 ppm (0...100 ppm) ±5 % batezbestekoa (101...2000 ppm) ±10 % batezbestekoa (2001...3000 ppm)
Tiro	0,01 hPa	±0,02 hPa edo ±5 % batezbestekoa (-0,50...0,60 hPa) ±0,03 hPa (0,61...3,00 hPa) ±1,5 % batezbestekoa (3,01...40,00 hPa)
ΔP	0,1 hPa	± 0,5 hPa (0,0...50,0 hPa) ±1 % batezbestekoa (0,0...50,0 hPa) ±1,5 % batezbestekoa (gainerako tartea)
Temperatura	0,1°C (-40,0...999,9°C) 1°C (gainontzeko tartea)	± 0,5°C (0,0...100,0°C) ±0,5 %batezbestekoa (gainerako tartea)

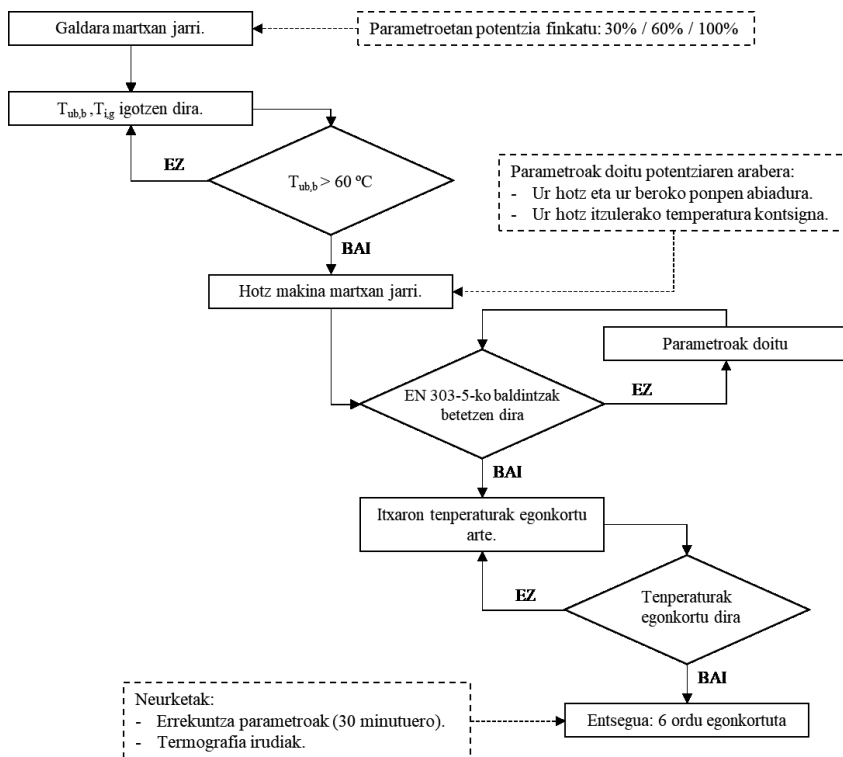
2.1. Karga finkoetako entseguak

Entsegu hauek % 30eko, % 60ko eta % 100eko kargetan eta bi pellet motarekin egin dira: «Pellet mota 1» (EBE pellet) eta «Pellet mota 2» (RIB pellet) komertzialekin. Lehenengo proban eskuz bete da biltegia, pellet-zakuen bidez (Pellet mota 1). Bigarreanean (Pellet mota 2), berriz, automatikoki elikatu da galdara-silotik. Entsegua hasi aurretik, pellet elikatze-sistemaren ka-

librazioa burutu da; horretarako, galdarak emandako 200 pellet-dosiren pisua neurtu eta ondoren emaitza galdarako kontrolean sartu da.

Behin galdara martxan dagoela, biltegiko ur beroa 60°C ingurura berotzean eta kearen temperatura igotzen ari dela ikusi ondoren, hozteko makina pizten da, galdarak sortzen duen beroa jarraian xahutzeko, eta horrela egoera egonkor batera iristeko. Hori kontrolatzeko, ur hotzeko zirkulazio-ponparen abiadura, hiru-bideko balbularen kontsigna temperatura eta zirkuitu primarioko ponparen abiadura ezartzen dira, entsegu-kargaren arabera. Zirkuitu primarioan hiru-bideko balbula ere erregulatu behar da galdararen irteerako temperatura jakin bat lortu ahal izateko. Proba batzuetan biltegiko balbula ere erabili da nahi den irteerako eta sarrerako temperatura-aldea lortzeko. Entsegu guztietan galdararen irteera-temperatura eta sarrera-temperaturaren arteko aldea EN303-5 arau teknikoak ezartzen dituen muga barruan mantendu dira [2].

Entseguak 6 orduko iraupena dauka behin temperaturak egonkortutakoan. Momentu horretatik, errekontzan sortutako emisioen neurketak 30 minutuan behin egiten dira, eta entseguren batean argazki termografikoak ere aterara dira, konbekzio- nahiz erradiazio-galeren estimazioa egiteko.

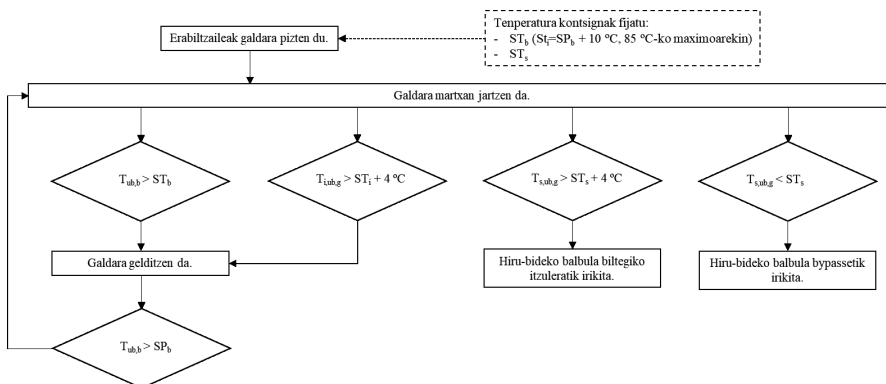


3. irudia. Entsegu finkoen metodologia.

2.2. Entsegu dinamikoak

Entsegu dinamikoak burutzeko erabilitako instalazioa karga finkoetakoaren berdina da, baina funtzionamendua guztiz automatizatuta dago laborategiko Delphin kontrol software-aren bidez. Egindako aldaketa bakarra ur beroaren zirkuituko hiru-bideko balbula izan da: eskuz erregulatzekoa kontrol automatiko batez ordezkatu da. Kontrola burutzeko galdararako itzulerako urak gutxienez 60°C -ra egon behar duela zehaztu da ($ST_s = 60^{\circ}\text{C}$), hiru-bideko balbula kontsigna horren arabera bypassetik edo ur-biltegitik ireki dadin.

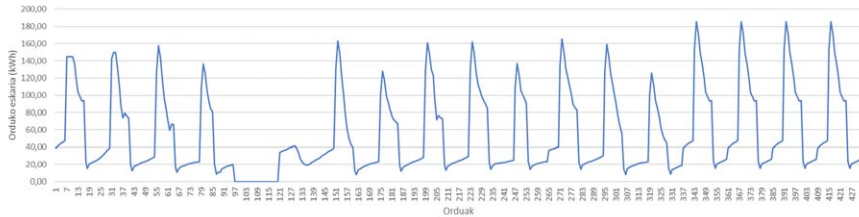
Alde batetik, galdarak honako temperatura-kontsigna hauen arabera funtzionatzen du: ur-biltegiak 80°C -ra heldu behar du (entsegurako ezarritako temperatura-kontsigna, $ST_b = 80^{\circ}\text{C}$), eta galdararen temperatura (galdara barruan irteeran neurtzen den uraren temperatura, ST_i) ur-biltegia baino 10°C altuago izateko dago programatuta, 85°C -ko maximoarekin. Galdara gelditu egingo da ur-biltegitiko temperatura kontsignakoa (80°C) baino handiagoa denean eta galdararen temperatura galdararen kontsigna baino 4°C altuagoa denean (89°C). Ur-biltegitiko temperaturak 5°C -ko histeresia du ezarrita. Horrek esan nahi du ur-biltegitiko temperatura kontsignakoa baino 5°C baxuagoa denean galdara martxan jartzen dela berriro. 4. irudian galdararen modu automatikoko funtzionamendu-logika irudikatzen da.



4. irudia. Galdararen funtzionamendu-logika.

Bestalde, eskaera termiko erreal bat emulatu da hozteko makinaren bidez; beraz, orduero energia-eskari jakin batzuk zehaztu dira, altuenak 185 kWh -koak; eta galdararen biltegitiko ura hoztu da eskaera horiei jarraituz, kontsumoa emulatuz. Eskaera termikoak aztertutako eraikinean simulatutako aste hotzenaren eskaeretan oinarritu dira. 5. irudian karga termiko horiek irudikatzen dira. Astean zehar dauden energia-eskariak altuak dira egunean zehar, eta baxuak gauean eta asteburuetan. Energia-eskaririk ga-

beko egun bat ere sartu da, kasu horretan galdarak izango lukeen funtzio-
namendua ezagutzeko.



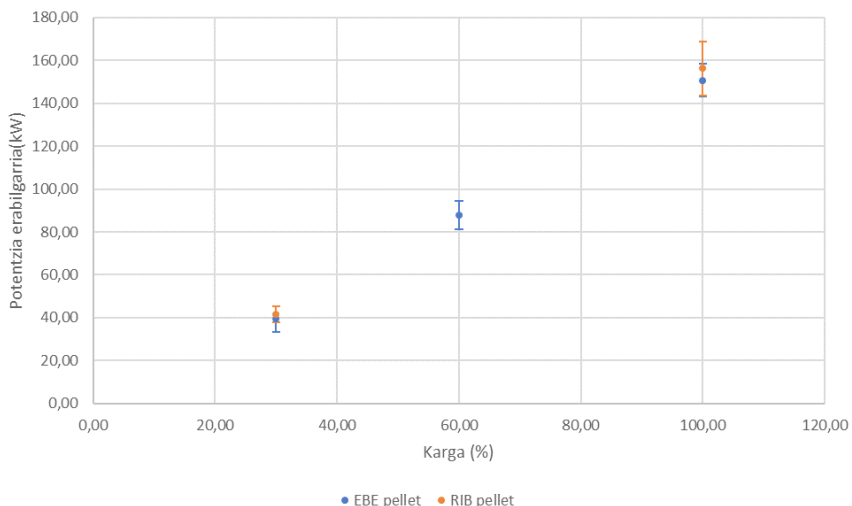
5. irudia. Entsegu dinamikoan ezarritako karga termikoak.

3. ENTSEGUEN EMAITZAK

3.1. Karga finkoko entseguen emaitzak

6. irudian galdarak emandako potentzia termikoa ikus daiteke, karga bakoitzeko (30% , 60% eta 100%) eta pellet mota desberdinentzat, kalkulaturako ziurgabetasunekin. Ziurgabetasuna kalkulatzeko, neurketen desbiderapen estandarra eta sentsoreen bereizmena eta zehaztasuna hartzen dira kontuan. Ziurgabetasuna JGCM gidari jarraituz kalkulatu da [4].

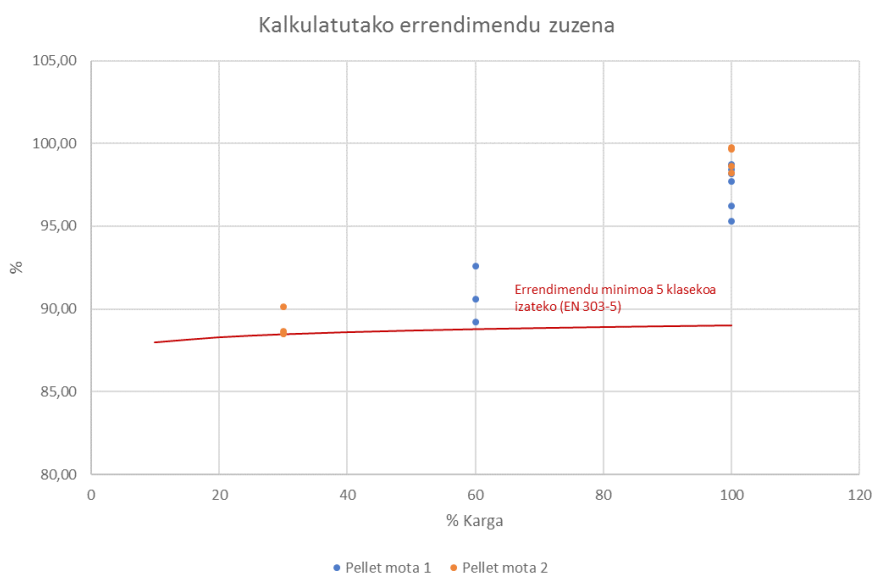
Galdarak emandako potentzia erabilgarria



6. irudia. Kalkulatutako galdarak emandako potentzia erabilgarria karga desberdinetan eta pellet mota desberdinekin.

Karga finkoetako entseguetan jasotako datuekin (ur-emaria eta galdararen sarrerako eta irteerako tenperaturak), erregaiaren beheko berotze-ahalmen teorikoarekin eta pellet-emariarekin galdararen errendimendua kalkulatu da honako formula honen bidez (metodo zuzena [5]).

$$\eta = \frac{E_{ub} \cdot Cp_{ub} \cdot (T_{i,ub,g} - T_{s,ub,g})}{BBA \cdot E_{pellet}} \quad (2)$$



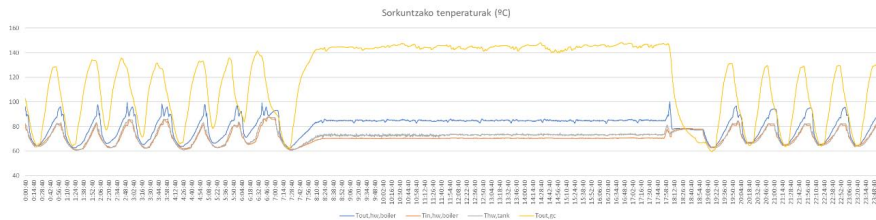
7. irudia. Kalkulatutako errendimenduen eta EN 303-5en arabera 5 klasekoa izateko izan beharreko errendimendu minimoaren arteko konparaketa.

7. irudian, kalkulaturako errendimenduen emaitzak ikus daitezke. EN 303-5 arau teknikoak galdara 5 klasekoa izateko zehazten dituen errendimendu-balioak gainditzen ditu galdarak. Bestalde, errekontzan sortutako emisioen neurketen arabera, 5 klasekoa izateko irizpideak ere betetzen dira (CO emisio maximoa = 500 mg/m³). NO_x emisioei dagokienez, ez da gainditzen 2015/1189 UE Batzordearen arauak [6] ezartzen duen urtaroko muga (NO_x emisio maximoa = 200 mg/m³).

3.2. Entsegu dinamikoen emaitzak

Eskari altuko eguna

8. irudian, galdararen martxan jartze- eta gelditze-zikloak errepara dai-
tezke. Gauean energia-eskaria dagoenean galdara segituan martxan jartzen
da eskari horri erantzuna emateko, eta behin ur-biltegian kontsignako ten-
peraturara heltzen denean, gelditu egiten da. Egunean zeharreko orduetan,
berdin gertatzen da: aldaketa bakarra da eskariak altuagoak direla eta mar-
txan dagoen denbora tartea altuagoa dela, denbora horretan karga ehuneko
altuan egiten du lan potentzia modulatu; kasu honetan, esaterako, 8:00tik
18:00etara gertatzen da. Galdarak modu jarraian lan egiten duen periodoan,
potentzia erabilgarria 112 kW eta 149 kW tartekoa da eta karga-ehunekoa
% 81 eta % 100 bitartekoa.



8. irudia. Sorkuntzako temperaturak (galdararen sarrera eta irteerako temperatu-
rak, biltegiko temperatura eta kearen temperatura). Eskari altuko eguna.

9. irudiak azaltzen du ezarritako eskarien pilaketa, galdarak emandakoa
eta laborategiko entsegu-bankuan xahututakoa. Guztira, egun osoan zehar
1.823 kWh eman ditu galdarak.

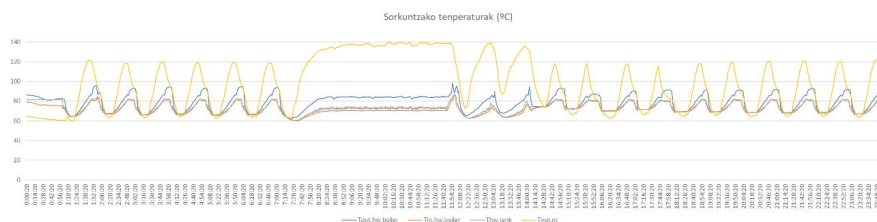


9. irudia. Pilatutako ezarritako energia-eskaria, galdarak emandako energia eta
laborategiko entsegu-bankuan xahututakoa. Eskari altuko eguna.

Eskari baxuko eguna

Eskari baxuarekin galdarak duen funtzionamendua altuarekin due-
naren berdina da, baina kasu honetan galdarak karga maximoan jarraian

funtzionatzen duen denbora askoz txikiagoa da. Kasu honetan martxan jartzeko eta gelditzeko ziklo gehiago dago, 10. irudian ikus daitekeen bezala.



10. irudia. Sorkuntzako temperaturak (galdararen sarrera eta irteerako temperaturak, biltegioko temperatura eta kearen temperatura). Eskari baxuko eguna.

Pilatutako orduko ezarritako eskaria, galdarak emandako energia eta laborategiko entsegu-bankuan xahututakoa ikus daiteke 11. irudian. Aztertutako egun horretan, galdarak guztira 998 kWh eman ditu.

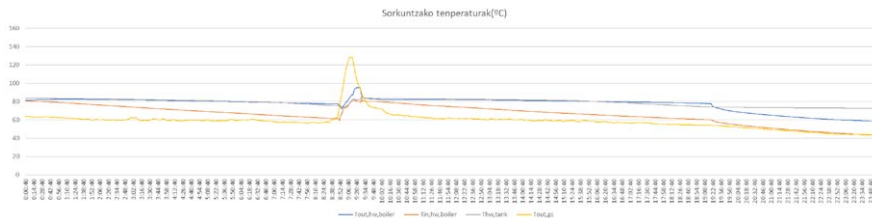


11. irudia. Pilatutako ezarritako energia-eskaria, galdarak emandako energia eta laborategiko entsegu-bankuan xahututakoa. Eskari baxuko eguna.

Eskaririk gabeko eguna

Eskaririk gabeko egunetan galdararen erantzuna nolakoa den ikusteko, hozteko makinak ez du ur-biltegi berao xahutuko; beraz, ur-biltegi berao-galerei emandako erantzuna agertzen da.

Adibidez, egun zehatz batean 22:40-tik ez zitzaion eskaririk ezarri sistemari, eta hurrengo egunean 8:50 arte galdara ez zen martxan jarri; beraz, ia 12 ordu inguru igarotzen dira biltegioko temperatura 75°C-ra jaitsi arte. 12. irudian ikus daiteke 8:50-ean galdara martxan jarri zela eta ur-biltegi kontsignako temperaturara heldutakoan berriro gelditu zela.



12. irudia. Sorkuntzako temperaturak (galdararen sarrera eta irteerako temperaturak, biltegioko temperatura eta kearen temperatura). Eskaririk gabeko eguna.

Galdarak egun horretan zehar emandako energia totala oso balio baxua da, ur-biltegioko galera termikoei bakarrik baitagokie, guztira 20 kWh 12 ordutan.

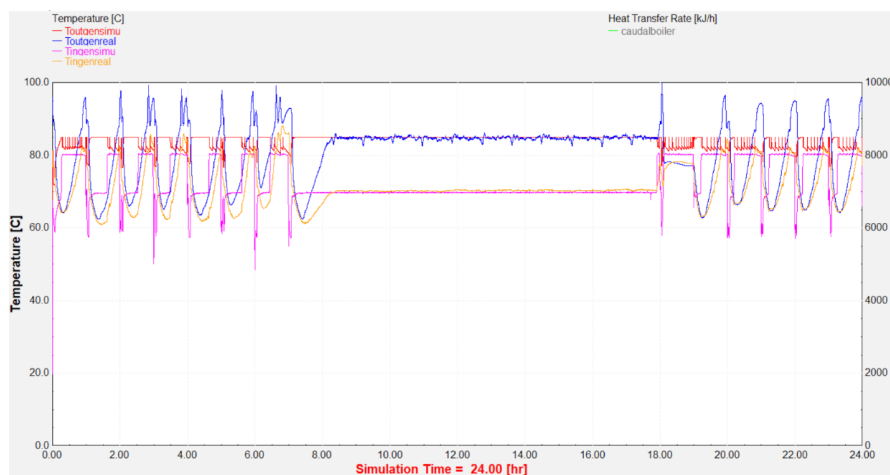
4. SIMULAZIOAK

Simulazioak oso erabilgarriak dira ekipo bat egoera desberdinetan nola dabilen aztertzeko. Domusako pellet galdararen kasuan, adibidez, eraikin baten integrazioaren bideragarritasun tekno-ekonomikoa aztertzeko erabil daitezke. Simulazioak zehaztasunez egin ahal izateko, lehenik eta behin galdararen modeloaren balidazioa egin behar da. Horretarako, TRNSYS programa [3] eta entseguen emaitzak erabili dira. Sistema termikoen simulazio dinamikoak egiteko erabiltzen da TRNSYS. Programan instalazioaren hainbat osagai estandarren modeloak aurretik zehaztuta daude (adibidez: ponpak, balbulak, eta abar). Baina modelo horiek benetan zehatzak eta erabilgarriak izateko balioztatu behar dira. Balioztatzeke, simulazioek ematen dituzten emaitzak errealitatean neurtutakoekin konparatzen dira, eta modeloa aldaketak egiten dira bien arteko desbiderapena murrizteko. Zenbat eta datu erreal gehiago izan, orduan eta modelo zehatzagoa lor daiteke.

Kasu honetan, galderaren modelo entseguen emaitzez baliatuz doitu da. Horretarako, fase desberdinetan egin da balioztatzea, entseguen egin den modu berean.

Lehenengo doikuntza karga finkoekin egin da. Modeloa, galdararen eta erreagaiaren datu ezagun guztiak sartu dira; adibidez, galdararen potentzia, pellet-en hezetasuna, eta abar. Orduan, % 100eko karga finkoaren simulazioa egin da, eta parekoak izan dira modeloaren emaitzak eta entseguetan lortutakoak. Gero, % 30eko karga definitu da, galdararen parametroak doitu, eta emaitza onak lortu dira. Doikuntza hori ondo egitea garrantzitsua da, galdararen modulazioa definitzen baitu (karga partziala eta totala) eta, ondorioz, bere funtzionamendua egoera guztietan egokia dela ziurtatzen baitu.

Karga finko desberdinekin modelo zehatza lortzean, karga dinamikoak simulatzeko prestatu da. Horretarako, osagai berriak sartu dira benetako sistema zehaztasunez irudikatzen; adibidez, kontrola. Orduan, eskari altuko eguna simulatu da, entseguan erabilitako eskaera berdina modeloan sartuz. Honako irudi honetan, galdararen neurtutako tenperatura erreala eta simulatuak ikus daitezke.



13. irudia. Entsegu dinamikoaren emaitzak (urdina eta laranja) vs. simulazioen emaitzak (arrosa eta gorria).

13. irudian, bi egoera desberdin ikusten dira. Alde batetik, gaueko orduetan tenperatura-pikoak ikusten dira, eta modelo ez da zehaztasun handiz doitzen. Eguneko ordu horiek karga txikiei dagozkie. Kasu horietan, entseguetan orduoro sartzen diren demandak bete bezain pronto galdara gelditu egiten da, martxan jartze- eta gelditze-zikloetan sartuz. Une horietan dagoen egonkortasun falta simulatzea zaila da modeloarentzat. Transitorio horietan zehaztasuna hobetzeko, sistemaren inertiak eta galdararen jartze-prozesuan gertatzen diren faseak detaile-maila handiagoarekin simulatu beharko lirarteke, konplexutasun handia gehituz. Errealitatean, biomasako galdarak gehienetan karga jarriekin egiten dute lan, eta etenak gutxitan gertatzen dira. Horregatik, galdarak jarraian lan egiten duen periodoetan doikuntza ona izatea da benetan garrantzitsua. Kasu horietan, modeloak zehaztasun handia ematen du entseguekin konparatuz. Beraz, modelo balioztatutzat jotzen da.

5. ONDORIOAK

Pellet-galdara bateko karakterizazioa egiteko instalazioa prestatu da laborategian. Pelletak elikadura-sistema automatiko baten bidez iristen dira

galdarara, eta galdarak sortutako ur beroa biltegi batean metatzen da. Labo-
rategiko hotz-zirkuitu baten bidez ur beroko biltegia hozten da, entseguen
beharren arabera. Instalazio horrek karga finkoetako nahiz dinamikoetako
entseguak burutzeko aukera ematen du.

Karga finkoetako entseguak % 30, % 60 eta % 100ko kargan egin dira.
Neurtutako parametroekin galdarak emandako potentzia erabilgarria eta
errendimendua kalkulatu dira. Errekuntza-gasen emariak ere neurtu dira.
Kalkulatutako errendimendua galdara 5 klasekoa izateko bete beharreko
balioak gainditzen du, eta, emisioei dagokienez, CO eta NO_x neurtutako
balioek araudia betetzen dute.

Karga dinamikoetako entseguek galdarak karga aldakorrei nola egi-
ten dien aurre ikusteko balio izan dute. Eskaera termiko altuak dituenan,
galdarak jarraian funtzionatzen du, karga-ehuneko altuan modulutzen. Es-
kaera termiko baxuak dauzkan orduetan, galdarak martxan jartze eta gel-
diera ugari egiten ditu. Azkenik, eskari gabeko egunean bero galerengatik
biltegiaren tenperatura nahiko jaisten den momentura arte, eta, beraz, gal-
dara berriz martxan jarri arte, 12 ordu pasatzen dira. Froga eta simulazioe-
tan erabilitako ur-biltegiaren bolumena handitzeko edota biltegiako tenpe-
ratura kontrolatzeko, sistema optimizatu beharko litzateke martxa jartzean
eta geldieren kopurua murrizteko.

Galdararen modeloa TRNSYS simulazio programan garatu eta balioz-
tatu da, laborategiko entseguen emaitzen bitartez. Horretarako, modeloa
entsegu-fase desberdinetan neurtutako datuekin doitu da. Horrela, egiaz-
tatzten da modeloak errealitatean ematen den galdararen funtzionamendua
egoera desberdinetan erreplikatzeko duela. Karga finkoetan zein dinamiko-
tan modeloa erantzun zehatza ematen du. Beraz, erabilgarria da modeloa
balioztatzeke eta galdararen egokitasuna aztertzeke.

BIBLIOGRAFIA

- [1] AVEBIOM, 2019. Decálogo para el desarrollo y consolidación del sector de la biomasa. Eskuragarri: https://www.avebiom.org/proyectos/informes/decalogo-por-la-biomasa-2019?language_content_entity=es [2020, 18/09].
- [2] AENOR. 2013. *UNE-EN 303-5:2013 Calderas de calefacción. Parte 5: Calderas especiales para combustibles sólidos, de carga manual y automática y potencial útil nominal hasta 500 kW. Terminología, requisitos, ensayos y marcado.*
- [3] KLEIN S.A. et al. Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison, USA. 2017. *TRNSYS 18: A Transient System Simulation Program*, Eskuragarri: <http://sel.me.wisc.edu/trnsys> [2020, 24/06].
- [4] CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA. 2008. *JGCM:100 2008. Evaluación de datos de medición. Guía para la expresión de la incertidumbre*

- de medida*. Eskuragarri: <https://www.cem.es/sites/default/files/gum20digital1202010.pdf> [2020, 24/06].
- [5] IDAE. 2007. *Guía técnica. Procedimiento de inspección periódica para calderas*. Eskuragarri: <https://www.idae.es/publicaciones/guia-tecnica-procedimiento-de-inspeccion-periodica-de-eficiencia-energetica-para> [2020, 24/06].
- [6] Reglamento UE 2015/1189 de la Comisión de 28 de abril de 2015 por el que se desarrolla la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en relación con los requisitos de diseño ecológico aplicables a las calderas de combustible sólido. Eskuragarri: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32015R1189> [2020, 24/06].

