

Beroa berreskuratzeke sistema berritzaile baten garapena

M. Iribecampos^{1,a}, U. Morales^{1,b}, M. Merchán^{2,c}, G. Urchegui^{3,d}, J. Calviño^{4,e},
M. Baraldi^{5f}, J. Larrañaga^{1,g}, I. Ulacia^{1,h}

¹Mondragon Unibertsitatea, Loramendi kalea 4, 20500 Arrasate

²Tecnalia, Mikeletegi Pasealekua 2, 20009 Donostia

³MSI grupo, Ama Kandida, 21, 20140 Andoain

⁴Enerbasque, Viena kalea 3, 01002 Gasteiz

⁵ARC srl, Via Bottego 36, 41126 Modena (Italia)

^amiribecampos@mondragon.edu, ^bumorales@mondragon.edu, ^cmikel.merchan@tecnalia.com,
^dgurchegui@msigrupo.com, ^ejcp@enerbasque.com, ^fmattia.baraldi@arcsrl.com,
^gjlarranaga@mondragon.edu, ^hiulacia@mondragon.edu

Gako-hitzak: Ekonomia zirkularra, energia soberakinaren aprobetxamendua, ORC, CVT

Laburpena. Lan honen helburua energia intentsiboko industria prozesuetatik datozen tenperatura baxuko eta ertaineko erregaien gasetatik energia berreskuratzea da. Helburu horrekin diseinatu den soluzioak Rankineren Ziklo Organiko teknologian oinarrituta dagoelarik, energia termikoa energia mekaniko bihurtzea ahalbidetzen du, ondoren energia hori airea konprimatzeko erabiliz. Planteatutako mekanismoan transmisio aldakor jarraitu bat erabiliko da energiaren etekina maximizatze aldera eta energia fluktuazioak leuntzeko. Horrekin batera, energia soberakina gordetzeko sistema bat ere erabiliko da etekina maximizatzeke. Planteatutako soluzioaren funtzionamendua aztertze aldera simulazio batzuk egin dira eta lan baldintza ezberdinetan sistemak duen portaera aztertu da.

1. Sarrera

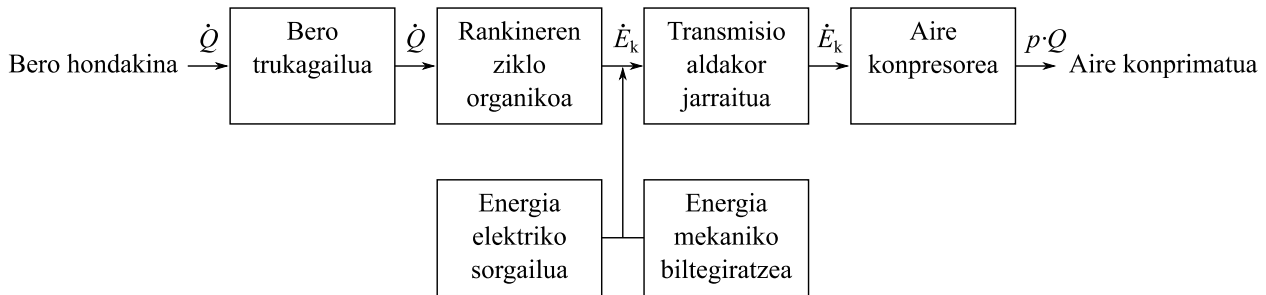
Zenbait sektore industrialetan beroa erabiltzen da materialen eraldatze prozesuetan. Esaterako, metalurgian zein birziklapen prozesuetan elementuen arteko erreakzio kimikoak ahalbidetzeko beroa erabili ohi da. Orain arte, behin bero energia erabili eta gero, airezko bero trukagailu batzuen bitartez bero soberakina atmosferara isuri ohi izan da ihes gasen bitartez¹.

Dokumentu honetan energia intentsiboko industria prozesuetatik datozen tenperatura baxuko eta ertaineko erregaien gasetatik energia berreskuratzeke sistema bat aurkezten da, energia soberakina airea konprimatzeko erabiliko delarik. Izan ere, airea konprimatzea prozesu garestia izan ohi da energia asko eskatzen duen prozesua delako.

25 kW-ko bero iturritik 200 l/min-ko aire konprimatua lortzeko gai den sistema baten saiakuntza batzuk egin izan dira². Saiakuntza horietan zuzeneko transmisio sistemak erabili izan dira hedagailutik aire konpresorera energia mekanikoa transferitzeko. Lan honetan planteatzen den soluzioan aldiz, transmisio aldakor jarraitu (CVT bezala ezaguna ingelesezko hitzen akronimotik eratorria) bat erabiltzea proposatzen da energia sorrera eta erabileraren arteko fluktuazioak xurgatzeko helburuarekin. Horrez gain, energia soberakina gordetzeko gailu mekaniko bat erabiltzea ere proposatzen da.

2. Soluzioaren diseinua

Garatu den soluzioa (RECUWASTE izenez ezaguna) atal ezberdinez osatuta dago energia termikoa aire konprimatu bihurtzeko. 1. Irudian ageri dira RECUWASTE soluzioan erabilitako gailuak eta beraien arteko erlazioak. Soluzioak bi zati nagusi dauzka, batetik, ardatz nagusian beroa energia mekaniko bihurtzeko atala, transmisio mekanikoa eta aire konpresorea daude. Horrez gain, ardatz lagungarrian, energia soberakina biltegitratzeko bi gailu daude, batetik energia mekaniko biltegitratze sistema (inertzia bolantea), eta bestetik birsortzeko balazta (energia elektriko sorgailua). Atal bakoitzaren artean energia transferentzia nola ematen den ere ageri da irudian, \dot{Q} beroari dagokio, \dot{E}_k energia zinetikoa litzake eta $(p \cdot Q)$ konprimatutako airearen presioa eta emaria izango lirateke.



1. irudia. RECUWASTE soluzioaren eskema

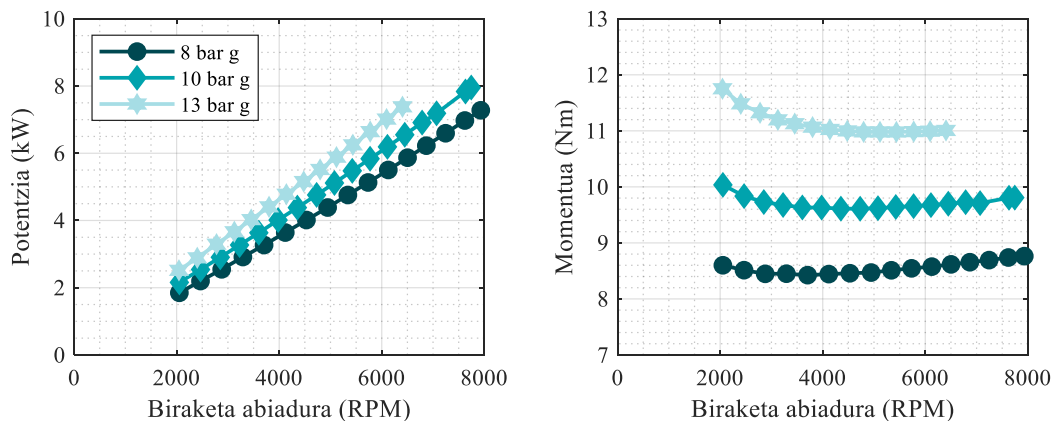
2.1. Bero trukagailua

Bero trukagailua industriako ihes-gasetatik beroa berreskuratzeko gailua da. Ur zirkuitu itxi batek tximiniatik isurtzen diren gasen beroa hartu eta Rankineren Ziklo Organikoko (ORC ingelesezko hitzen akronimotik eratorria) lurrungailuan askatzen du, fluido organikoa lurruntzen delarik. Bero trukagailua industriako gasekin kontaktuan egongo da, hori dela eta, gas hauek eraman ohi duten partikulek bero trukagailuaren tutuen gainazalean gelditu daitezke, bero fluidoaren arteko bero transmisioa murriztuz. Ondorioz, gainazal tratamendu ezberdinak aztertu dira proiektu honetan itsatsitako partikula kopurua ahalik eta txikiena izan dadin.

2.2. Rankineren ziklo organikoa

Lurrunezko Rankineren Ziklo baten funtzionamendu bera du, baina ura erabili beharrean fluido organiko bat erabiltzen da zirkuituan. Fluido organiko hauen lurruntze tenperatura urarena baino baxuagoa izan ohi da, hori dela eta, tenperatura diferentzia baxua dagoen kasuetan erabili daiteke.

Rankineren zikloaren zein aire konpresorearen potentzia 2. Irudian ageri den grafikan adierazten da. Irudian ikusi daitekeen bezala, momentua presio gradientearen arabera da. Simulaziotan ondorengo grafikako datuak erabili dira sistemaren funtzionamendua aztertu eta kontrola diseinatzeko.



2. irudia. ORC-aren zein konpresorearen momentua abiaduraren funtzioan presio diferentzia ezberdinak kontsideratuz.

2.4. Energia mekanikoaren biltegitratze gailua

Energia mekanikoa biltegitratzeko konpositezko inertzia-bolante bat proposatu da proiektu honetan. Inertzia-bolanteak energia zinetikoaren gordailuak dira eta duten energia bolantearen biraketa abiaduraren eta inertiaren menpe dago 4. ekuazioak erakusten duen bezala⁴.

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot \omega^2 \cdot I \quad (4)$$

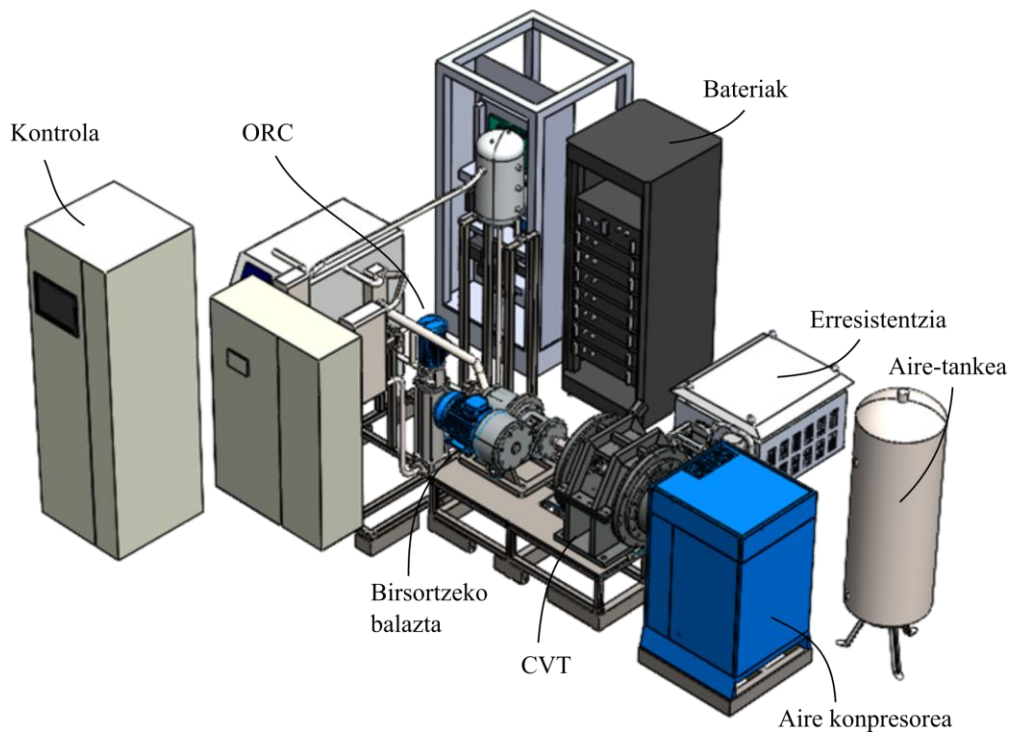
ω bolantearen biraketa abiadura eta I inertzia momentua izanik. Orokorrean inertzia handiko bolanteak dira ohikoenak, masa handia eta abiadura nahiko baxua izan ohi dutenak energia gordetzeko garaian. Proiektu honetan konposite bidez egindako inertzia bolante bat proposatu da. Zuntz-jarraizko bolante bat sortu da proiektu honetan, karbonoa material arina da, ondorioz, inertzia momentu txikia izan ohi du. Hori dela eta, energia mekaniko handia gordetze aldera, biraketa abiadura altuak behar dira. Horrez gain, inertzia bolantea fabrikazio gehigarriko prozesuak erabiliz garatu da.

2.5. Energia elektrikoa biltegitratze gailua

Energia soberakina birsortzeko balaztaren bitartez energia elektrikoan bihurtu daiteke. Horretarako, ORC-ko irteerako eta CVT-aren sarrerako ardatzean, motore sinkrono bat erabili da energia soberakina elektrizitate bihurtzeko, izan ere asinkronoa izango balitz abiadura jakin baten soilik egin lezake lan. Energia sorgailu honekin batera inbertsore bat erabiliko da korrante alferno trifasikoa korrante zuzen bihurtzeko eta horrela bateriak kargatu ahal izateko. Gainera, motore sinkronoa izanik, bateriara bideratutako energia kopurua kontrolatu daiteke, hau da, ORC-ko energiaren zati bat airea konprimatzeko erabili liteke eta beste zati bat elektrizitate bezala gordetzeko aukera legoke. Gainera, diseinatutako sistemaren bitartez, aire konprimatu eskaria handiagotuko balitz, eta ORC-ak energia gehiago emateko aukerarik izango ez balu, motore bezala ere lan egiteko aukera legoke.

2.6. Diseinua

Diseinatutako mekanismoa 4. Irudian ageri da. Bertan aurretik definitutako elementu ezberdinak ageri dira.



4. irudia. RECOWASTE soluzioaren diseinua irudia

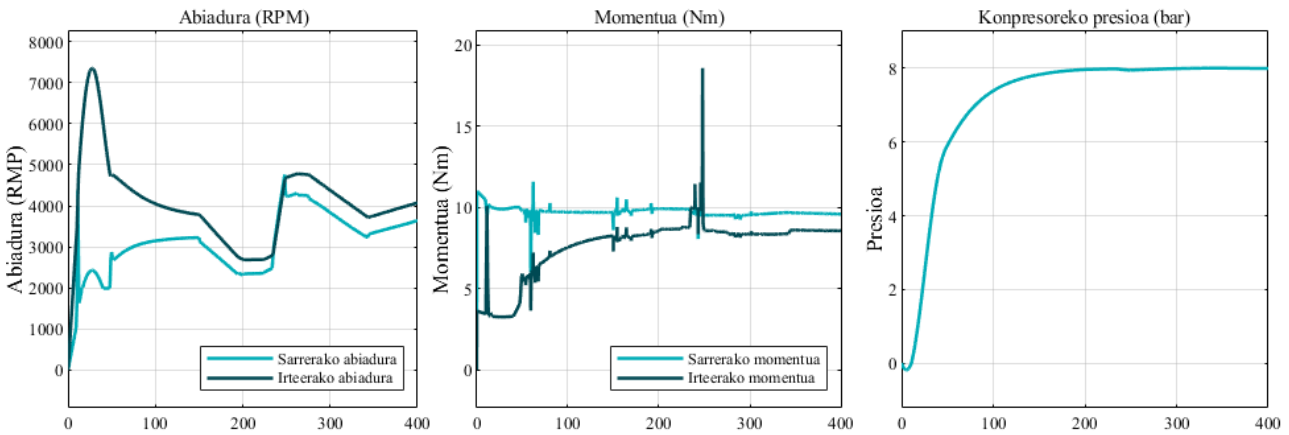
3. Simulazio eta kontrola

Garatutako sistema hau eraiki aurretik, eduki dezaken portaera aztertzeko kasu ezberdinak simulatu eta saiaturiko dira. Simulatuko diren baldintza ezberdinak 1. Taulan ageri dira.

1. taula. Simulatu diren lan baldintza ezberdinen azalpena.

	Deskribapena
Abioa	ORC-an energia asko eta konpresoreko presioa 0 bar den kasua
Energia konstantea	ORC-an sortzen den energia eta kontsumitzen den energia berdina
Energia aldakorra	ORC-an eta aire konprimatu kontsumoan fluktuazioak

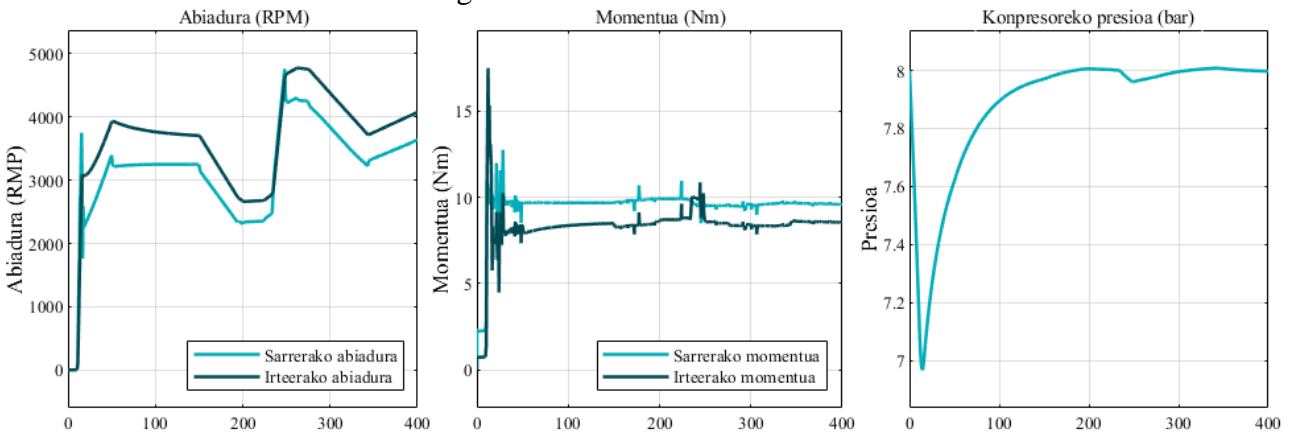
Bi simulazio mota egin dira, alde batetik, ekipo bakoitzaren simulazioak egin dira eta bakoitzaren funtzionamendua aztertu da. Bestetik, sistema osoa simulatzeko *Simulink*-eko modelo bat sortu da, sarrerako eta irteerako baldintza ezberdinak simulatu dira.



5. irudia. Sistemaren abioko baldintza, aire konprimatuko tankean presiorik ez dagoen kasua

5. irudian ageri den bezala, hasierako abioko baldintzan CVT-tik irteerako abiadura asko handiagoz da, izan ere transmisioak biderkatzaile moduan egiten du lan kasu honetan. Izan ere, sarrerako momentua irteerakoa baino handiagoa denez irteerako momentua txikitu behar da. Gainera, biderkatzaile moduan lan eginez, azkarrago iristen da konpresoreko tankea 8 bar-eko presiora.

Horrez gain, momentuko irudian ageri den bezala, hasieran 4 Nm-ko irteerako momentu bat dago, nahiz eta presiorik ez eduki (teorikoki momentua zero izan beharko litzake) ageri den momentua elementu mekanikoen inertiak mugitzen hasteko beharrezko momentua da.



6. irudia. ORC-ko energia sorrera eta konpresoreko kontsumoa berdintsuak diren kasuko emaitza

6. irudian sarrerako eta irteerako energiak ezberdinak diren kasua ageri da. Kontsumo eta sorkuntza ezberdinak ageri dira bertan, ondorioz, fluktuazio batzuk ageri dira abiadura, momentuko zein presioko kurban. Sorkuntzan 10 Nm-ko momentua legoke simulatutako egoeran, aire konprimatuko kontsigna aldiz 8 bar-eko presioan dago finkatuta, ondorioz, transmisioak biderkatzaile modura egiten du lan, momentu txikiagoa behar baita konpresorean sorkuntzan baino.

4. Ondorioak

Industriako ihes-gasen bero soberakina aprobetxatzeko sistema bat aurkeztu da dokumentu honetan. Egindako analisiak erakutsi duen bezala, diseinatu den atal bakoitzak proiektuko espezifikazioak betetzen ditu. Horretan oinarrituta simulazio batzuk burutu dira. Lortutako ondorio nagusienetako bat abioko kasuko zailtasuna da, izan ere, konpresorean airerik ez dagoenean erresistentzia momentu txikia dago sisteman, ondorioz, sistema azeleratu egiten da kontrolik gabe. Kasu horietan birsortzeko balazta erabiliz, sorkuntzako eta kontsumoko energiak berdindu litezke, hau da, sortzen den energia aprobetxatzeko aukera ematen du proposatutako soluzioak.

5. Eskerrak

Proiektu hau aurrera eramaten jende asko aritu da eta eskerrik beroenak eman nahi dizkiegu parte hartu duten guztiei.

Proiektu honek Europar Batasunaren Horizon 2020 ikerketa eta berrikuntza programaren finantziazioa jaso du 820670 hitzarmen zenbakidun diru laguntzarekin.



6. Bibliografia

1. F. Campana, M. Bianchi, L. Branchini, A. De Pascale, A. Peretto, M. Baresi, A. Fermi, N. Rossetti, R. Vescovo, *ORC waste heat recovery in European energy intensive industries: Energy and GHG savings*, Energy Conversion and Management, Vol. 76 (2013) 244
2. TASIO, Horizon 2020 ikerketa eta berrikuntza programak finantziatutako proiektua
3. M. Iribecampos, J. Larrañaga, A. Arana, I. Ulacia, *Contact model for toroidal type continuously variable transmissions*, Lubmat, Lubrication, Tribology and condition monitoring conference and exhibition. 2020 abenduak 15 - 17, Euskal Herria
4. U. Olaziregi, U. Morales, M. Merchán, L. Aretxabaleta, I. Ulacia, *Zuntz-jarraizko konpositeen fabrikazio gehigarria egokitutako inertzia-bolanteen diseinua*, Materialen Zientzia eta Teknologia V. Kongresua