

Mutrikuko olatu zentralaren azterketa eta potentzia maximoko puntuaren jarraipena

(A study of Mutriku Wave Power Plant and Maximum Power Point Tracking-based Control)

*Jon Lekube Garagarza**, *Aitor J. Garrido Hernandez,*
Izaskun Garrido Hernandez

Sistemen Ingeniaritza eta Automatika saila UPV/EHU

* jon.lecube@ehu.eus

DOI: 10.1387/ekaia.16402

Jasoa: 2016-05-26

Onartua: 2016-09-27

Laburpena: Susperraldian dauden energia iturri berriztagarri berriak berebiziko garrantzia izatera iritsi dira gaur egungo gizartean. Petrolioarekiko menpekotasuna eta berotegi efektua direla medio, energia lortzeko bide berriak miatu beharra nabarmendu da. Ozeanoek eta itsasoek energia kantite handia pilatzen dute bere baitan. Hala ere, gizakia oraindik ez da gai izan energia honetaz egokiro baliatzeko. Ur-zutabe oszilatzailean oinarritutako metodoa da gaur egun itsasotik energia ateratzeko sistema guztien artean gehien ikertuenetako bat. Alabaina, lorturiko efizientzia baxuek zaildu egiten dute teknologia honen erabilera. Gaur egungo kontrol-metodo berriek, aldiz, efizientzia hau hobetzea ahalbidetzen dute. Metodo hauen artean badago potentzia maximoko puntuaren jarraipena, batez ere energia eolikoan asko erabilia.

Hitz-gakoak: olatu-energia, ur-zutabe oszilatzailea (OWC), potentzia maximoko puntuaren jarraipena (MPPT).

Abstract: New emerging renewable energy sources are reaching a vital importance in the actual society. Novel ways of energy harnessing must be explored to overcome fuel dependency and the global warming. There is a huge amount of energy to be obtained from oceans and seas. However, the human being has not been able to harness this energy properly. Oscillating Water Column-based (OWC) method is at present one of the most studied techniques among the ocean energy systems. Nonetheless, low efficiencies in energy conversion hinder the success of this technology. The recent control methods allow to improve this efficiency. Among these methods the Maximum Power Point Tracking (MPPT) strategy can be found, which is extensively used in wind energy.

Keywords: wave energy, Oscillating Water Column (OWC), Maximum Power Point Tracking (MPPT).

1. SARRERA

Azken mende honetan, nabarmen igo da gure gizartearen energia-konsumoa. Industriaren garapenak eta bizi-kalitatearen hobekuntzak energia-mendekotasuna ere areagotu du bere horretan. Arazo honi aurre egin ahal izateko, hainbat metodo garatu dira energia-iturri desberdinak erabiliz energia hau eraldatzeko. Hala ere, erregai fosiletan edota fisio nuklearrean oinarritzen dira haietako asko, tamalez gaur egun gehien erabilienak. Erregai fosilak etorkizun hurbilean agortuko dira ziur aski, baina gainera, fisio nuklearreko zentralen segurtasuna zalantzan jarri dute azken hiru hamarkadetan Chernobyl eta Fukushima gertatutako istripuek. Gainera, ingurumena babestearen aldeko kontzientzia nabarmen hasi da, bai gizartean baina baita agintarien artean ere. Honen adibide argia dugu 2015eko azaroan eta abenduan Parisen ospatutako *Nazio Batuen Klima Aldaketaren Konferentzia* (COP21), berotegi-efektua 2 °C-ra mugatu duena [1].

Efizientzia energetikoak eta energia berriztagarriek ezinbesteko garrantzia hartu dute CO₂-igorpena eta erregaiekiko mendekotasuna murrizteko. Nahiko heldutasun erdietsi dute batez ere energia hidraulikoak baina baita energia eolikoak eta eguzki-energiak ere. Hala ere, energia-iturri berriztagarri berriak ezinbestekoak izango dira energia-konsumoari aurre egiteko. Iturri hauen artean daude biomasa, energia geotermikoa edota itsas energia. Hauetako bakoitzean hainbat teknologia garatu dira, baina edonola, oraindik ez da lortu desiratutako efizientziaz energia eraldaketa gauzatzea. Hau dela eta, ikerkuntza-egitasmo anitzak [2-4] garatu dira teknologia hauen efizientzia hobetzeko asmoz; horrela, mundu osoan zehar hedatu da gai honetikiko interesa.

Artikulu honetan landutako gaiari jarraiki, esan beharra dago gure planetaren % 70a, ozeanoek eta itsasoek osatzen dutela batez beste. Hau dela eta, bertatik lor daitekeen energia kantitate handiak agerian gelditzen dira. Itsasoko ur-azalaren mugimendu etengabeek energia zinetikoa garraiatzen dute, eta hau, energia-bihurgailu egokien bidez energia elektriko bilaka daiteke. Jarraian ikus daitekeen bezala, bihurgailu hauek talde desberdinetan sailkatu daitezke erabili nahi den energia-iturriaren arabera:

- Olatu-energia: olatuen gora eta beherako mugimendua baliatzen dute energia eraldatzeko. Olatuek energia kantitate handiak pila-tzeaz gain, baldintza egokiak aurreikusteko erraztasuna ere eskaintzen dute.
- Marea-energia: mareek sortutako itsasgora eta itsasbeheraren arteko garaiera-desberdintasuna erabiltzen dute metatutako energia potentziala eraldatzeko. Metodo hau garatzeko eragozpenak egon dira, azpiegitura handia eta kokapen egokia behar dituelako eta ingurumen-arazoak eragiten dituelako.

- Korronte-energia: Ozeanoetan sortzen diren ur-masen mugimenduetatik eratorritako energia da. Korronte hauek iraunkorrek dira, eta beraz, auresangarriak.
- Energia mareotermikoa: sakoneko ur hotzaren eta ur-azaleko ur epe-laren arteko desberdintasunaz baliatzen dira sorgailu termiko bat mugitzeko. Tenperatura-aldaketa handiko lekuen eskasiak mugatzen du metodo honen erabilpena.
- Energia osmotikoa: Itsasoko eta ibaietako uren gatz-kontzentrazio maila desberdinen ondorioz erabilitako energia da.

Goian azaldutako arrazoi horiengatik guztiengatik, olatu-energia eta korronte-energia dira gaur egun gehien ikertutako itsas energi iturriak. Artikulu honetan lehenengo multzoa sakonago aztertuko da.

2. OLATU-ENERGIA

Olatuen energia erabiltzeko zenbait teknologia garatu dira azken urteetan. Teknologia hauen artean badaude ur-zutabe oszilatzailea (*LIMPET* [5]), Arkimedes efektuan oinarritutakoak (*AWS ocean* [6]), bakarkako edo taldekako egitura flotatzaileak (*AquaBuOY* [7], *Pelamis* [8]) edota gaineztatzean oinarritutakoak eta talka-sistemak (*Wave Dragon* [9]). Hala ere, oraindik ezin dugu jakin hauetako zeinek emango dituen emaitzarik onenak.

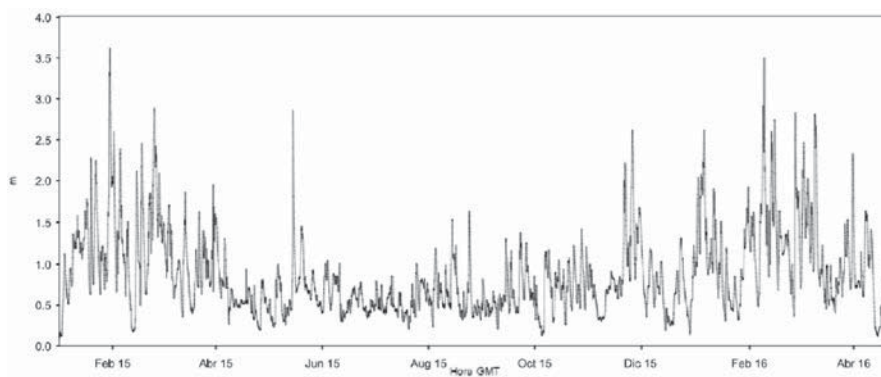
2050 urterako aurreikusita dago mundu osoan itsasotik 337 GW erabiliko direla, eta horretarako beharrezkoa den teknologia ordurako garatua egotea espero da [9]. Olatu-energiari dagokionez, urtero 16 PWh energia sortzeko aukera izango da. Gutxi gorabehera 2040rako espero den kontsumoaren % 50a lortuko litzateke olatu-energiari esker. Ikusmira Euskal Herrian jarrita, 2020rako 60 MW-ko jomuga ezarri zuen Eusko Jaurlaritzak 2011an [10]. Helburu hauek lortzeko beharrezkoa da teknologia honen errendimendua hobetzea beronen errentagarritasuna bermatzeko; eta horretan ezinbestekoak dira Mutrikuko *NEREIDA MOWC* olatu zentrala eta Armintzako BIMEP proiektua [11], garapen hau errazteko.

2.1. Mutrikuko olatu zentrala

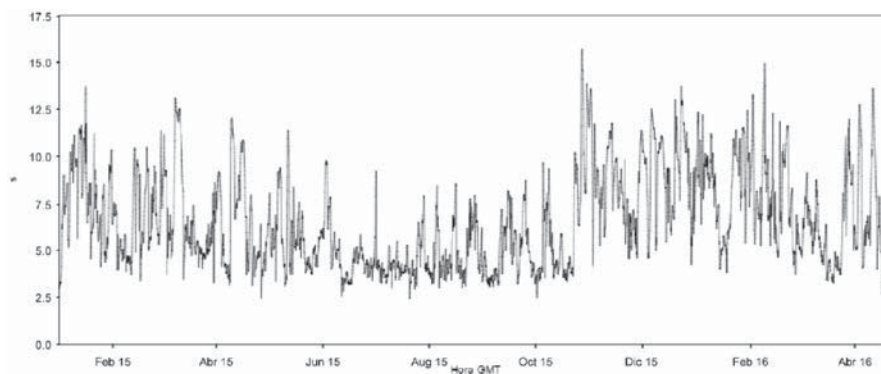
2011ko uztailean jarri zen abian ur-zutabe oszilatzailea (ingelesez, Oscillating Water Column) deritzon printzipioan oinarritutako olatuen energia erabili ahal izateko lehendabiziko zentrala Euskal Herrian. Zentral hau Mutrikun kokatuta dago eta *NEREIDA MOWC* izena du [11,12]. 1. irudian ikus daitezkeen moduko 18.5 kW-ko 16 sorgailuz osatua dago, eta beraz, guztira 296 kW-ko potentzia elektrikoa sortzeko gai da. Hala ere, itsasoaren baldintzen arabera sortzen du aldiune bakoitzean potentzia. Hots, itsaso barea dagoenean eta olatu askoko itsasaldia dagoenean ez dira beti potentzia berdinak sortzen.



1. irudia. Mutrikuko NEREIDA MOWC olatu zentrala.



2. irudia. Olatuen aldiuneko altuera (3171032 SIMAR puntua).



3. irudia. Olatuen aldiuneko periodoa (3171032 SIMAR puntua).

Hau dela eta, beharrezkoa da kokapen horri dagozkion itsasaldien datuak ezagutzea azterketa sakonago bat burutu ahal izateko.. Gaur egun dauden neurgailuak itsaso sakonean kokatzen dira. Beraz, ezinezkoa da zentralaren inguruan jasotzen diren olatuen mailak zehazki neurtzea. Hala ere, hurbilen kokatuta dagoen neurgailua (3171032 SIMAR puntua) 1.25 itsas milia iparralderantz dago [13], eta beraz, beronek emandako datuak balioarritzat har daitezke.

Neurgailu honek emandako datuen arabera, olatu zentrala kokatzen den kostaren inguruan 1 metroko altuera eta 10 segundoko periodoa duten olatuak gertatzen dira urtean zehar batez beste. Hala ere, balio hauek aldaketak jasan ditzakete urte-sasoaren arabera. 2. eta 3. Irudietan ikus daitezke hurrenez hurren olatuen altueren eta periodoen aldiuneko balioak, urte oso batean zehar gertatu direnak.

2.2. Ur-zutabe oszilatzailea

Ur-zutabe oszilatzailea (OWC) ganbera batean dagoen airearen presio-aldaketetan oinarritzen da. Presio-aldaketa hau olatuen sarrera-irteerak sortzen dute. Horretarako, teknika honetan oinarritzen diren sistemen elementu garrantzitsu bat izaten da harrapaketa-ganbera, ur maila azpitik irekigune bat izaten duena. Irekigune honetatik sartzen dira olatuak ganberara, eta bertan dagoen airea konprimitzen dute [14]. Bestalde, ganberaren goiko aldean hodi bat dago, eta bertan turbina kokatzen da. Olatuak ganberara sartzean eragindako presio-igoeraren ondorioz, bertako airea hoditik igarotzen da eta turbina mugiarazten du. Era berean, olatuaren irteerak utzitako hutsuneak presio-jaitsiera bat eragiten du ganberaren barruan. Ondorioz, desplazatu egin den aire-bolumena turbina dagoen hoditik zehar berriro igarotzen da ganberara, eta olatuak utzitako hutsunea betetzen du.

Hainbat teoria garatu dira olatuen dinamika aztertzeko: Airy, Stokes, Cnoidal eta olatu bakartia. Airyrena [15-16] litzateke deskribapen goiztiar eta bakunena. Teoria honek zehaztasun nahikoa eskaintzen du ingeniari-tzako hainbat arazo ebatzi ahal izateko.

Teoria hau garatuz, frogatzen da hoditik igarotzen den airearen abiadura honako ekuazioarekin kalkula daitekeela [17],

$$v_t(t) = \frac{8awc}{\pi D^2} \cdot \sin \frac{\pi l}{cT} \cos \frac{2\pi}{T} t, \quad (1)$$

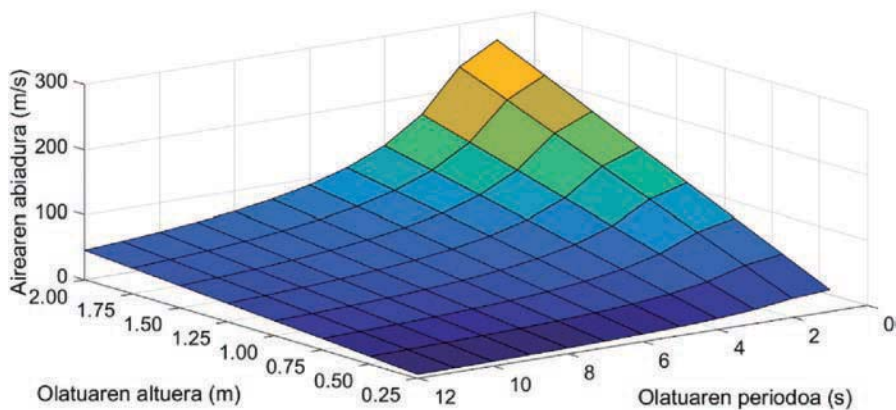
non, a olatuaren anplitudea den, T olatuaren periodoa eta c olatuaren abiadura. Era berean, baditugu w harrapaketa-ganberaren zabalera, l luzera eta D hodiaren diametroa. Beraz, olatuaren ezaugarriek ez ezik, ganbararen ezaugarriek ere eragina dute airearen abiaduran.

Ekuazio hau erabilia edozein olatuaren altuera eta periodorentzat harrapaketa-ganbera barneko airearen abiadura desberdinak kalkula daitezke.

1. Taulan laburbiltzen dira 0.25 eta 2 metro bitarteko olatu-altuerek eta 1 eta 12 segundo bitarteko periodoek sortzen dituzten airearen abiaduren balioak. Era berean, 4. irudiak modu grafikoan biltzen ditu balio hauek.

1. taula. Olatuaren altuera eta periodo desberdinek sortzen dituzten harrapaketa-ganbera barneko airearen abiadurak (m/s).

		Olatuaren altuera (m)							
		0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2
Olatuaren periodoa (s)	1	33.377	66.755	100.13	133.51	166.89	200.26	233.64	267.02
	2	29.305	58.610	87.915	117.22	146.52	175.83	205.13	234.44
	3	21.384	42.768	64.152	85.536	106.92	128.30	149.69	171.07
	4	16.540	33.081	49.621	66.162	82.702	99.243	115.78	132.32
	5	13.421	26.842	40.263	53.684	67.104	80.525	93.946	107.37
	6	11.270	22.540	33.810	45.080	56.350	67.620	78.890	90.160
	7	9.7045	19.409	29.114	38.818	48.523	58.227	67.932	77.636
	8	8.5168	17.034	25.551	34.067	42.584	51.101	59.618	68.135
	9	7.5860	15.172	22.758	30.344	37.930	45.516	53.102	60.688
	10	6.8374	13.675	20.512	27.349	34.187	41.024	47.862	54.699
	11	6.2225	12.445	18.668	24.890	31.113	37.335	43.558	49.780
	12	5.7087	11.417	17.126	22.835	28.543	34.252	39.961	45.669



4. irudia. Harrapaketa-ganbera barneko airearen abiadurak olatuaren altuera eta periodo desberdinetarako.

2. eta 3. irudietan ikus daiteke gorriz mugatutako eremuaren barnean daudela Mutrikuko kostaldean jasotzen diren olatuek batez beste sorturiko aire fluxuaren abiadurak.

Ikus daitekeenez, 20 m/s eta 40 m/s bitartean jasotzen dira harrapaketa-ganbera barneko airearen abiaduraren balio deigarrienak.

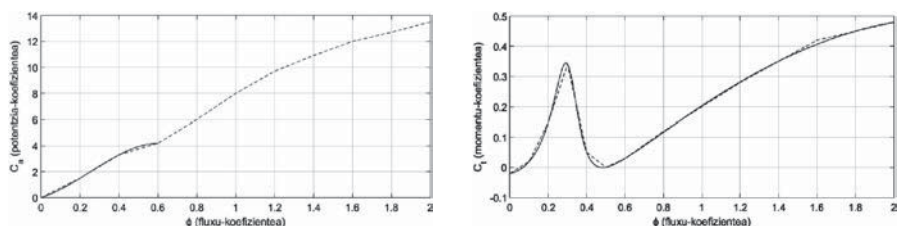
Lehenago esan bezala, turbinatik igarotzen den aireak bi noranzko ditu olatuak sartzean eta irtetean duen energia erabili nahi delako. Hala ere, sorgailuaren ardatzean bi noranzkoko mugimendua lortu beharrak potentzia-elektronika konplexuago eta garestiago bat erabiltzera behartuko gintuzke. Hau ekiditeko konponbideetako bat Wells motako turbinak dira. Turbinaren itxura simetrikoa izaki, bi noranzkoko airea eduki arren, noranzko berean gertatzen da beti turbinaren biraketa. 5. irudian ikus daiteke Mutrikun muntatuta dauden Wells turbinetako bat.



5. irudia. Wells turbina.

C_p potentzia-koefizientea eta C_t momentu-koefizientea dira Wells turbinaren ezaugarri garrantzitsuenak. Momentu-koefizienteak mugatu egingo du turbinaren errendimendua.

6. irudiko balio hauek enpirikoak dira, baina badago beraiekiko hurbilketa matematiko bat egitea.



6. irudia. Potentzia-koefizientea (ezkerrean) eta momentu-koefizientea (eskuinean). Balio enpirikoa (lerro etena) eta hurbilketa matematikoa (lerro jarraia).

Φ fluxu-koefizientea erabiltzen da koefiziente hauen balioa lortzeko sar-
rera gisa. Koefiziente honek bere gain hartzen ditu besteak beste harrapa-
keta-ganberako aire-fluxuaren abiadura eta turbinaren biraketa abiadura:

$$\phi = \frac{v_t}{r \cdot \omega_t}. \quad (2)$$

Harrapaketa-ganberan dagoen airearen presio-aldaketa sarrerako olatu-
aren araberakoa izateaz gain, turbinaren biraketa-abiadurak ere badu ze-
rikusia. Izan ere, turbinaren biraketa zenbat eta azkarragoa izan, mugiarazi-
ziko den aire-bolumena handiagoa da, eta beraz, airearen presio-aldaketa
ere handiagoa izango da ganbera barnean. Wells turbinen kasuan, jarraian
deskribatutako ekuazioarekin kalkula daitezke harrapaketa-ganberan gerta-
zen diren presio-aldaketak:

$$dP = C_a \frac{\rho b l_1 n}{2} \frac{1}{a_1} (v_t^2 + (r \cdot \omega_t)^2), \quad (3)$$

non, C_a aipatutako potentzia-koefizientea den, ρ airearen dentsitatea, b tur-
binaren palaren zabalera, l_1 palaren luzera, n pala kopurua, r turbinaren
erradioa eta a_1 turbinak barreiatutako azalera.

Turbina eta sorgailua ardatz berean kokatzen dira, lehenbizikoak
emandako indar-momentua bigarrenera transmititzen delarik. Presio-al-
daketa kasuan bezala, indar-momentua ere sarrerako olatuak sortutako
airearen abiaduraz gain, turbinaren biraketa-abiaduraren araberakoa ere
izango da:

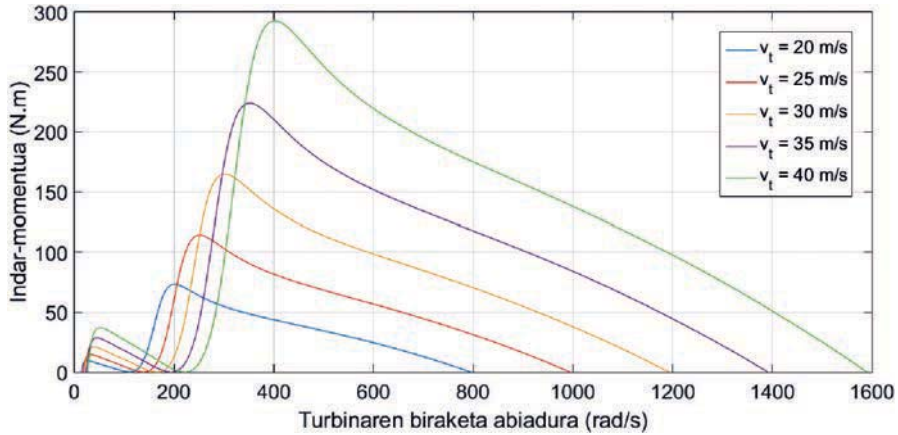
$$T_t = C_t \frac{\rho b l_1 n}{2} r (v_t^2 + (r \cdot \omega_t)^2). \quad (4)$$

Kasu honetan potentzia-koefizientearen ordez momentu-koefizientea
erabiltzen da. Koefiziente honen itxura dela eta, indar-momentuari dago-
kionez hiru funtzionamendu-eremu desberdin bereiz daitezke 7. irudian
ikus daitekeen bezala:

1. Galera- edo stalling-eremua deritzona turbinaren abiadura txikietan
gertatzen da, gutxi gorabehera 250 rad/s azpitik sarrerako olatuaren
arabera. Bertan, balio txikiko erorketa bat nabari da indar-momen-
tuan. Erorketa hau momentu-koefizientearen itxuragatik gertatzen
da —hots, turbinaren ezaugarri bat da— eta fluxu-koefizientearen
balioak $\Phi = 0.3$ balioa gainditzen duenean gertatzen da.
2. Potentzia optimoko eremuan turbinak ematen duen indar-momen-
tua maximoa da, eta beraz, sorgailuari emandako potentzia meka-

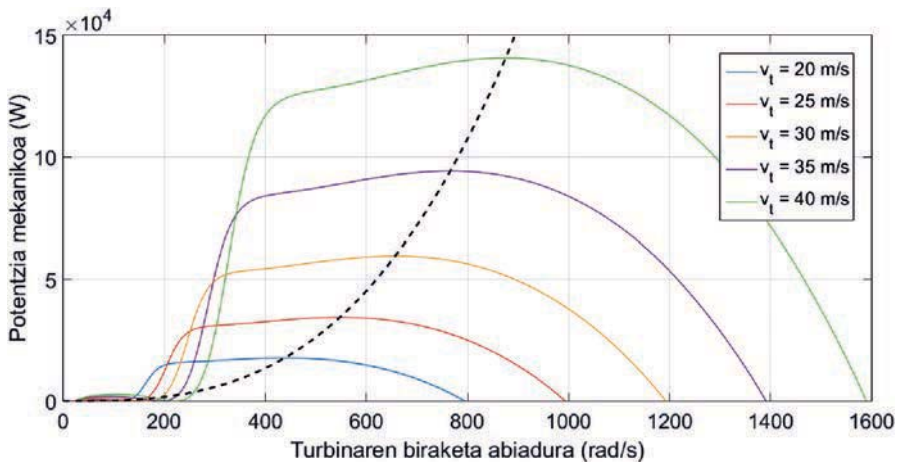
nikoa ere maximoa izango da. Eremu honetan lortzen dira sistemak atzeman dezakeen efizientziarik altuenak.

3. Efizientzia-erorketa deritzon eremuan turbinak emandako indar-momentua gain behera etortzen da, turbinaren abiadura handitu arren.



7. irudia. Indar-momentua Wells turbinetan harrapaketa-ganberako airearen abiadura, v_t , desberdinetarako.

Sorgailuak turbinak emandako potentzia mekanikoa potentzia elektrikora eraldatzen du. Potentzia mekanikoa indar-momentuaren eta turbinaren biraketa-abiaduraren arteko erlazioaren bidez kalkula daiteke. Ondorioz, 8. irudian ikus daitezke aztertutako sistemaren kasurako lortutako potentzia mekanikoak.



8. irudia. Potentzia mekanikoa Wells turbinetan harrapaketa-ganberako airearen abiadura, v_t , desberdinetarako.

Sistemaren efizientzia hobetzea helburu hartuta, bigarren eremuan, hots potentzia maximoko eremuan lan egitea litzateke hoberena. Ere mu hau le- rro etenez adierazi da 8. irudian eta ondoren aztertuko den bezala berau ja- rraitzea izango da kontrol-sistemaren helburua.

3. KONTROL SISTEMA

8. irudian ikus daitekeen bezala, turbinak sorgailuari emandako poten- tzia mekanikoa harrapaketa-ganberako airearen abiaduraren —hots, ola- tuaren altuera eta periodoaren— arabera aldatzen da. Gainera, turbinaren biraketa abiaduraren arabera sistema desiratutako eremutik galeradun gu- neetara igaro daiteke. Agerian geratu denez, eremuen arteko mugak ere olatuaren ezaugarriaren arabera aldatzen dira. Honek (2) ekuazioan azaldu- takoa berresten du, hau da, kontuan izan beharko dela ganberako airearen abiadura eta turbinaren biraketa abiaduraren arteko erlazioa.

Orain arte egin diren olatu-neurketek adierazten dute bai altuerak eta baita periodoak ere aldaketak jasaten dituztela. Aldaketa nabarietak urte- sasoiaren arabera gertatzen diren arren, olatu batetik hurrengora ere des- berdintasunak nabari daitezke. Honek kontrol fidagarri eta moldakor baten beharra erakusten du.

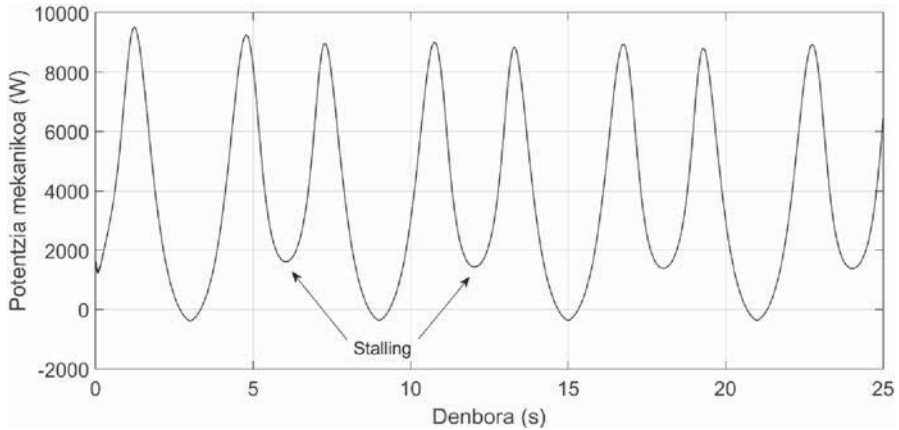
Orain arte garatu diren kontrol-algoritmo gehienek [14, 18-20] helbu- rua stalling- edo galera-efektua saihestea izan da. Hala ere, turbinaren abia- dura kontrolatuta [21-22] efektu hau saihesteaz gain posible da sistema modu eraginkorragoan ere kudeatzea. Jarraian emango dira bi kontrol mota hauen xehetasunak.

3.1. Balbularen kontrola

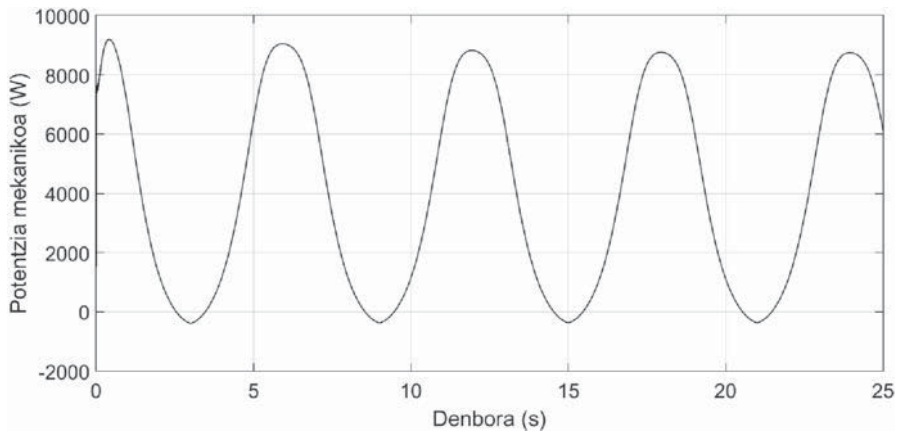
Esan bezala, gaur egun aire-balbulak erabiltzen dira ur-zutabe oszila- tzailean oinarritutako energia zentraletan. Balbula hauek gehiegizko indar mekaniko baten aurrean sorgailua babesteko erabiltzen dira batetik, eta sta- lling portaera ekiditeko bestetik. Stalling portaeraren ondorioz turbinak sor- gailuari emandako potentzia mekanikoa nabarmen murrizten da. Hau dela eta, sorgailuak eman dezakeen potentzia elektrikoa mugatua da, eta beraz, efizientzia urriak lortzen dira.

9. irudiak erakusten du turbina galera-eremuan dagoenean potentzia me- kanikoa nabarmen murrizten dela. Hau dela eta, sorgailuari emandako batez besteko potentzia askoz txikiagoa da funtzionamendu normalarena baino. Au- rreko atalean esan bezala, momentu-koefizientea dela eta, fluxu-koefizien- teak 0.3 balioa gaitzen duenean stalling portaera azaltzen da. (2) ekuazioan ikus daiteke aire-balbulak harrapaketa-ganberako airearen abiadura mugatzen duela fluxu-koefizientea muturreko balio honen azpitik mantentzeko.

10. irudian aire-balbularen bidezko kontrola erabili da. Ikus daitekeen bezala, aire-balbularen bidez turbinak emaniko batez besteko potentzia mekanikoa nabarmen hobetu daiteke.



9. irudia. Stalling portaeraren ondorioz lortutako potentzia mekanikoa.



10. irudia. Balbularen kontrolaren bidez lortutako potentzia mekanikoa.

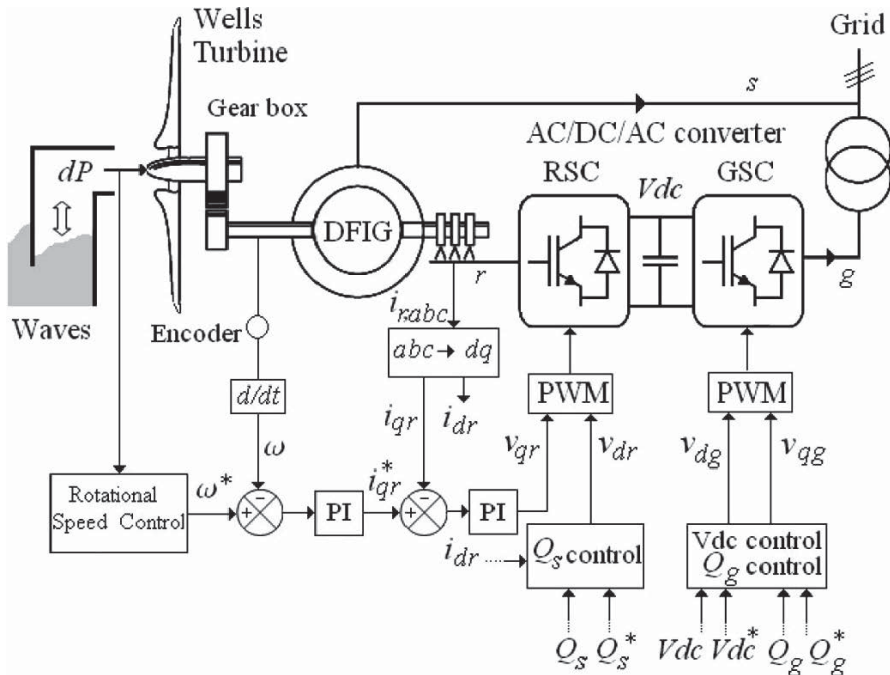
Ur-zutabe oszilatzaileetan erabiltzen diren aire-balbulak tximeleta formakoak dira, 11. irudian ikus daitekeen bezala. Olatuaren arabera balbula honen kokapena erregulatzeko motor bat izaten dute albo batean. Gainera, grabitate indarrak baliatutako emergentziazko itxiera baterako pisua ere ezartzen da. Zentrala deskonektatu behar bada, pisua lurrerantz erortzen da eta balbula guztiz ixten da.



11. irudia. Aire-balbula eta emergentziako itxierarako pisua.

3.2 Abiadura-kontrola

Aireari balbula bidez oztoppa jartzeak potentziaren zati bat alferrik gal-
tzea dakar. Gainera, sistema mekanikoak denbora faktore bati lotuta egon
ohi dira beti, denbora behar izaten baitute beraien kokapena erdiesteko.
Horretaz gain, elementu hauek inguru kaltegarrietan kokatuta daude itsa-
soko urak duen kresalaren ondorioz.



12. irudia. Abiadura-kontrolaren eskema orokorra.

Bestalde, Mutrikuko olatuen zentrolean dauden sorgailuen ezaugarriak medio [23], beharrezkoa da sortzen den potentzia guztia sarera bota aurretik korrante zuzenera helaraztea. Hau dela eta, agerikoa da beharrezkoa dela sorgailuen potentziaren adinako potentzia-bihurgailu bat; hau arazo handi bat litzateke potentzia handiko zentralen kasurako.

Arazo hauek ekidite aldera proposatu da energia eolikoan jada egokiro darabilten baina Mutrikun inplementaturik ez dagoen abiadura kontrola. Horrela, errotorearen, hots turbinaren biraketa-abiadura kontrolatzen da 12. irudian azaltzen den kontrol-eskema erabilita. Horretarako, beharrezkoa da errotoreko korrantea kontrolatzea elikadura bikoitzeko indukzio-makina baten bidez (ingelesez, Doubly-Fed Induction Generator-DFIG). Errotorea bihurgailu baten bidez konektatzen den bitartean, estatorea zuzenean lotzen da sarera. Hau dela eta, bihurgailuak potentzia osoaren % 25-% 30a baizik ez du maneiatzen.

8. irudian ikus daiteke turbinak bere abiaduraren arabera aldatu egiten duela sorgailuari ematen dion potentzia mekanikoa. Horrela, badago turbinak potentzia maximoa ematen duen abiadura optimo bat.

Biraketa-abiadura eta potentzia mekanikoaren arteko erlazioak potentzia maximoko puntua zehazten du. 8. irudian lerro etenez adierazi da puntu hori. Horrenbestez, abiadura-kontrolak sorgailuaren errotoreko korrantea finkatzea du helburu. Behin korrantea finkatuta, abiadura optimoa lortzen da aldiune bakoitzean sarrerako olatuaren ezaugarrien arabera.

Gainera, potentzia maximoko puntua jarraituz gero stalling portaera ekiditeko beharrezkoa den gutxieneko abiadura ere lortzen da. Beraz, abiadura-kontrolaren bidez potentzia maximoa lortzeaz gain, stalling portaera ere saihestuko litzateke.

4. ONDORIOAK

Artikulu honetan OWC moduan oinarritutako olatuen zentral bat aztertu eta bere errendimendua hobetu asmoz beste kontrol eskema bat proposatu da. Horretarako, potentzia maximoko puntuaren jarraipena egin da sarera entregatutako potentzia handiagotzeko helburuarekin. Erreferentzia modura Mutrikuko NEREIDA MOWC olatuen zentrala erabili da. Kontrol hau garatzeaz gain aire-balbularen funtzionamendua ere azaldu da. Abiadura-kontrolaren kasuan, sistemak sorgailuaren irristaketan eragiten du, bere abiadura sarrerako olatuaren arabera doitzeko. Era horretan, sorgailuak abiadura optimoa erdiesten du sarrerako olatu bakoitzerako. Estrategia honen erabilerak stalling portaera ekiditea ahalbidetzen duen arren, olatu handiko uneetan ezinbestekoa izango da aire-balbularen bidez turbinatik igarotzen den airea erregulatzea. Lortzen da bi kontrol-estragiek sortu-

tako potentzia elektrikoa areagotzea, baina potentzia maximoko puntuaren jarraipenean oinarritutako kontrolak efizientzia eta zehaztasun hobea eskaintzen du.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] «Adoption of the Paris agreement, Draft decision-/CP.21», *Framework convention on climate change*, 12 December 2015, <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/109r01.pdf>, azkenengo sarrera 2016ko maiatzaren 26an.
- [2] GARRIDO, A.J., GARRIDO, I., BARAMBONES, O., ALKORTA, P. eta MASEDA, F.J. 2008. «Simple linear models for plasma control in tokamak reactors». *Proceedings of the International Conference on Control, Automation and Systems (ICCS '08)*, 2429-2432.
- [3] PAREDES-SÁNCHEZ, J.P., GUTIÉRREZ-TRASHORRAS, A.J., GONZÁLEZ-CABALLÍN, J. M. 2013. «Bio-smartcity: Biomass supply to a Smartcity. A case study». *2013 International Conference on New Concepts in Smart Cities: Fostering Public and Private Alliances (SmartMILE)*, 1-4.
- [4] CASELLA, F. 2004. «Modeling, Simulation, control, and optimization of a geothermal power plant». *IEEE Transactions on Energy Conversion*, **19**, 170-178.
- [5] BOAKE, C.B., WHITTAKER, T.J.T. eta FOLLEY, M. 2002. «Overview and Initial Operational Experience of the LIMPET Wave Energy Plant». *Proceedings of The Twelfth (2002) International Offshore and Polar Engineering Conference*, 586-594.
- [6] BEIRAO, P., VALERIO, D. eta SA DA COSTA, J. 2007. «Comparison of control strategies applied to the Archimedes Wave Swing». *Proceedings of the European Control Conference 2007*, 4651-4658.
- [7] WEINSTEIN, A., FREDRIKSON, G., CLAESON, L., FORSBERG, J., PARKS, M.J., NIELSEN, K., JENSES, M.S., ZANDIYEH, K., FRIGAARD, P., KRAMER, M. eta ANDERSEN, T.L. 2003. «AquaBuOY-the offshore wave energy converter numerical modeling and optimization». *OCEANS 2003. Proceedings*, **4**, 1988-1995.
- [8] AHMED, T., NISHIDA, K., NAKAOKA, M. 2010. «Grid power integration technologies for offshore ocean wave energy». *2010 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*, 2378-2385.
- [9] MÜLLER, N., KOURO, S., GLARÍA, J. eta MALINOWSKI, M. 2013. «Medium-voltage power converter interface for Wave Dragon wave energy conversion system». *2013 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*, 352-358.
- [10] «Annual Report: Ocean Energy Systems (OES) 2015». *The Executive Committee of Ocean Energy Systems*. <https://report2015.ocean-energy-systems.org/>, azkenengo sarrera 2016ko maiatzaren 26an.

- [11] ULAZIA, A. eta IBARRA, G. 2015. «Itsas energia irakasten R-rekin». *Ekaia*, **28**, 27-37.
- [12] TORRE-ENCISO, Y. 2009. «Mutriku Wave Power Plant: From Conception to Reality». *European Federation of Agencies and Regions for Energy and the Environment (FEDARENE)*.
- [13] «Datos históricos: oleaje». *Puertos del estado, Ministerio de Fomento*. <http://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx>, azkenengo sarrera 2016ko maiatzaren 26an.
- [14] ALBERDI, M. 2011. «Itsas olatuen energia eraldatzeko zentral baten deskribapena». *Ekaia*, **24**, 237-256.
- [15] CHADWICK, A., MORFETT, J. eta BORTHWICK, M. 2004. «Hydraulics in Civil and Environmental Engineering». *Spon Press*.
- [16] LE ROUX, J.P. 2008. «An extension of the Airy theory for linear waves into shallow water». *Coastal Engineering*, **55**, 295-301.
- [17] GARRIDO, A.J., OTAOLA, E., GARRIDO, I., LEKUBE, J., MASEDA, F.J., LIRIA, P. eta MADER, J. 2015. «Mathematical Modeling of Oscillating Water Columns Wave-Structure Interaction in Ocean Energy Plants». *Mathematical Problems in Engineering*, **2015**.
- [18] GARRIDO, A.J., GARRIDO, I., ALBERDI, M., AMUNDARAIN, M., BARAMBONES, O. eta ROMERO, J. A. 2013. «Robust control of oscillating water column (OWC) devices: power generation improvement». *Proceedings of the OCEANS-San Diego*, 1-4.
- [19] AMUNDARAIN, M., ALBERDI, M., GARRIDO, A.J. eta GARRIDO, I. 2011. «Modeling and simulation of wave energy generation plants: output power control». *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, **58**, 105-117.
- [20] FALCAO, A.F.D.O., VIEIRA, L.C., JUSTINO, P.A.P. eta ANDRÉ, J.M.C. S. 2003. «By-pass air-valve control of an OWC wave power plant». *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, **125**, 205-210.
- [21] FALCAO, A.F.D.O. 2002. «Control of an oscillating-water-column wave power plant for maximum energy production». *Applied Ocean Research*, **24**, 73-82.
- [22] AMON, A., BREKKEN, K.A. eta SCHACHER, A. 2012. «Maximum Power Point Tracking for Ocean Wave Energy Conversion». *IEEE Transactions on Industry Applications*, **48**, 1079-1086.
- [23] OSA, J.L. eta ITURREGI, A. 2010. «Selection of the Electrical Generator for a Wave Energy Converter». *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'10)*.