



IKER  
GAZTE  
NAZIOARTEKO  
IKERKETA EUSKARAZ

## V. IKERGAZTE

NAZIOARTEKO IKERKETA EUSKARAZ

2023ko maiatzaren 17, 18 eta 19a  
Donostia, Euskal Herria

ANTOLATZAILEA:  
Udako Euskal Unibertsitatea (UEU)



Aitortu-PartekatuBerdin 3.0

## INGENIARITZA ETA ARKITEKTURA

**Aerosorgailu flotagarrien kontrol-  
tekniken garapena energia  
eolikoaren ekoizpena  
optimizatzeko**

*Eneko Sotomayor Pego,  
Josu Jugo Garcia,  
Javier López Queija,  
Santiago Alonso Quesada  
eta Eider Robles Sestafe*

183-190 or.

<https://dx.doi.org/10.26876/ikergazte.v.03.24>

ANTOLATZAILEA:



BABESLEAK:



LAGUNTZAILEAK:



# Aerosorgailu flotagarrien kontrol-tekniken garapena energia eolikoaren ekoizpena optimizatzeko

Eneko Sotomayor<sup>1</sup>, Josu Jugo<sup>1</sup>, Javier López-Queija<sup>2</sup>, Santiago Alonso<sup>1</sup>, Eider Robles<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Elektrizitatea eta Elektronika Saila. EHU. Sarriena auzoa z/g, 48940 Leioa.

<sup>2</sup> TECNALIA, Basque Research and Technology Alliance (BRTA), Parque Tecnológico de Bizkaia Astondo Bidea, Edificio 700E, 48160 Derio.

eneko.sotomayor@ehu.eus

## Laburpena

Egungo energia berriztagarrien beharra asetzeko premiazkoa da haize-energiaren ekoizpena garatzea, itsasoan kokatutako turbinen baldintzak aproposak baitira energia ugari sortzeko. Aerosorgailu flotagarriak optimizatzeko kontrol kodiseinu metodologia bat garatzeko helburuarekin sortutako KONFLOT proiektuaren barne, makina horien kontrol-diseinuan dauden aukerak aztertu dira. Horretarako, haize-turbinen dinamika simulatzeko baliagarriak diren software-ak erabili dira, kontrola errotorearen palen *pitch* angeluarentzako kontrol prediktibo (NMPC) problemaren ebazpenean oinarrituz. Saiakera eta konfigurazio desberdinak burutuz teknika desberdinek aurkezten dituzten abantailak aztertu dira, etorkizunean aplikatu daitezkeen teknika finagoentzat oinarriak definituz.

**Hitz gakoak:** Aerosorgailu flotagarriak, energia eolika, *pitch* kontrola, OpenFAST

## Abstract

*In order to satisfy the current need to get energy via renewable sources, developing the generation of eolic energy is key, since the conditions of the offshore wind turbines are optimal to produce large amounts of energy. As part of the KONFLOT project, whose main objective is to develop a control co-design methodology for floating offshore wind turbines, the options regarding control design for wind turbines have been studied. To fulfill such task, softwares that are useful to simulate the dynamics of floating offshore wind turbines have been used, basing the control of the machine in the resolution of a predictive control (NMPC) problem for the pitch angles of the rotor blades. The advantages offered by different configurations and control techniques have been analyzed, in order to define the foundations to future more sophisticated techniques.*

**Keywords:** *Floating offshore wind turbines, eolic energy, blade-pitch control, OpenFAST*

## 1 Sarrera eta motibazioa

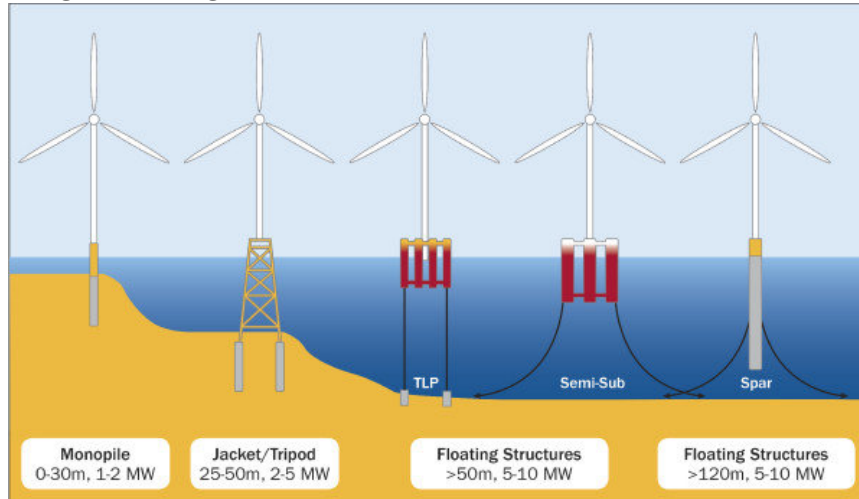
Azken urteotan, energia berriztagarrien garapenaren beharra biziki hazi da, era horretan ekoiztutako energia erre-gai fosiletatik ekoizten dena gaingaitzera bultzatuz, azken horien erabilpena ordezkatzeko asmoz (GWEC, 2017). Izan ere, energia ez-berriztagarrien produkzioa eta erabilpena ingurumenarentzat kaltegarria izateaz ez ezik, erre-gai moduan erabil daitezkeen fosilak ez dira agorrezinak. Gauzak horrela, energia berriztagarrien artean energia eolikoak hainbat abantaila aurkezten ditu, haizearen ugaritasun eta eskuragarritasuna adibidez, edota haize-indarra elektrizitatean bihurtzeko erabiltzen diren turbinen teknologiaren garapena.

Aerosorgailuak itsasoan kokatzeak zenbait abantaila aurkezten ditu: alde batetik, itsas zabalean haizearen baldintzak aproposagoak dira haize-korronteak altuagoak eta egonkorragoak direlako; gainera, itsasoaren gainazalak marruskadura baxuagoa azaltzen du haizearentzat lurrean aurki daitezkeen mendi edota eraikinekin alderatuta (Konstantinidis eta Botsaris, 2016). Bestalde, parke eolikoak kostatik urrun egoteak hainbat ingurunean duen eragin akustiko eta bisualekin erlaziozko mugaketak ezabatzen ditu. Hala eta guztiz ere, aerosorgailuak itsasoan barrena ezartzeak bere desabantailak ditu. Adibidez, makinaren muntaia edota haien mantentze-lanak suposatzen duen kostua zeharo altuagoa da lurreko aerosorgailuekin alderatzean.

Aerosorgailuak itsasoaren sakoneraren arabera desberdinu ditzakegu, 1 irudiak erakusten duen bezala: 0 eta

50 metro bitarteko uretan dorrea itsasoaren ondora finkatzen da, haren dinamikak lurlean kokatutako sorgailuen antzekoa izanik. Ur sakonagoetan, hondoraino doan dorre bat ezartzea ez da bideragarria eta makina flotagarriak egiten dira; ondorioz, sistema osoaren dinamika konplikatu egiten da (López-Queija et al., 2022). Gauzak horrela, diseinatu beharreko kontrol-sistema sofistikatuagoa izan behar da flotatzen egotearen ondorioz ager daitezkeen efektuak konpentsatzeko.

**1. Irudia: Aerosorgailuen konfigurazio desberdinak itsasoaren sakoneraren arabera (Bailey et al., 2014).**



Horrekin guztiarekin, energia eolikotik etekin maximoa atera ahal izateko itsasoan barrena kokatutako aerosorgailu flotagarrien diseinu eta kontrol-sistema optimoak bilatzea funtsezkoa da.

**2 Arloko egoera eta ikerketaren helburuak**

Energia berriztagarrietara trantsizioa egiteko hainbat pausu eta erabaki hartu dira azken urteotan. Ezarritako helburuak lortu ahal izateko, premiazkoa da energia eolikoan kostuak murrizteko teknika berritzaileak garatzea, energia-mota hori merkaturatu eta mundu-mailako energia-ekoizpenean rol esanguratsu bat lortzeko. Behar horri aurre egiteko, hain zuzen, sortu zen KONFLOT proiektua.

Orain arte, aerosorgailu flotatzaileen eraikuntza era sekuentzialean egin da, hau da, lehenik egitura diseinatu eta muntatu, eta azken faseetan kontrola gehitu. Metodo horrek aurkezten duen arazo nagusia etapa bakoitza aurrekoek mugatzen dutela; ondorioz, garatutako kontrol-diseinuak oso garrantzi gutxi du sistema osoaren optimizazioan. KONFLOT proiektuaren helburu nagusia diseinu-metodologia bat garatzea da, zeinean hasiera batetik sisteman parte hartzen duten azpisistema, dinamika eta kontrol desberdinak kontuan hartuko diren (García-Sanz, 2019). Horrelako prozesuei kontrol kodiseinua (KKD) deritze. Aipatu beharra dago KONFLOT proiektuan aerosorgailuetarako ez ezik, olatuen mugimendutik energia sortzen duten sorgailuetarako ere garatuko dela azaldutako diseinu-metodologia.

Horrelako metodologia bat garatzera iristeko, helburu tekniko desberdinak proposatzen dira: aplikatuko den KKD teknikak finkatzea, sisteman eragin gehien duten aldagaiak finkatzea eta horiek ebaluatzeko metrikak ezartzeari, KKD metodologia inplementatzea zenbakizko metodoetan eta optimizazio-algoritmoetan oinarrituz eta lortutako metodologia aplikatzea baliagarritasuna zehazteko. Prozesu hori aurrera eramanez ahal izateko hainbat euskal enpresa eta zentrok hartuko dute parte: TECNALIA, Mondragon Goi Eskola Politeknikoa, EHU Elektrizitate eta Elektronika Sailako ICE ikerketa taldea, IKERLAN, Basque Center of Applied Mathematics eta Euskadiko Energia Klusterra. Partaide bakoitzak bere ikerketa-esparruaren eta ezagutzen arabera proiektuko hainbat ataletan hartuko du parte.

EHU-ko Elektrizitate eta Elektronika Sailareko ICE ikerketa taldearen helburu nagusia KKD metodologian integratuko diren aerosorgailu flotagarrien kontrol-teknika aurreratuak garatzean datza.

### 3 Aerosorgailu flotagarriak simulatzeko tresnak

Itsasoan barrena eraikitzen diren aerosorgailu flotagarriak azpialat desberdinez osatutako sistema konplexuak dira (errotorea, turbina, dorrea, platafaforma, etab.). Gainera, sistemaren fisika aztertzea ere erronka handia da aerodinamika, hidrodinamika, materialen deformazioa edota ainguratze-sistemaren fisikak kontuan hartu behar direlako, besteak beste. Hori dela eta, horrelako sistema bat ikertzeko simulazio-tresna egokiak behar dira. Jarraian azalduko dira lan honetan erabiltzen diren bi simulazio-tresna nagusiak.

#### 3.1 OpenFAST

OpenFAST haize-turbinen erantzuna simulatzeko balio duen tresna bat da, zeinak sistemaren dinamika guztiak kontuan hartzen dituen. NREL-ek (*National Renewable Energy Laboratory*) 2007-an garatzen hasi zuen ikerlarien tesiaren parte bezala (Jonkman, 2007). OpenFAST aerodinamika, hidrodinamika, kontrol-sistemen dinamika eta dinamika estrukturalak aztertzen dituzten modulu konputazionalak bateratzen dituen software askea da (National Renewable Energy Laboratory, 2023). Modulu bakoitza konplexua denez eta analisi ez-linealak ebaztea ahalbidetzen duenez, simulazioek errealtatean oso fidagarriak diren erantzunak ematen dituzte, OpenFAST garatu zuten ikerlariek erakutsi zuten bezala.

Gainera, aipatu bezala kontrol-sistemak erabiltzeko modulu bat dago integratuta, zeinak sistema osoaren askatasun-gradu anitz kontrolatzea ahalbidetzen duen. Modulu hori ROSCO (ingelesez Reference OpenSource Controller) da, NREL enpresak garatutako kontrolagailu generiko bat hain zuzen (National Renewable Energy Laboratory, 2022). Haren helburua aerosorgailuen ikerketan lagunduko duten kontrol-aukerak eskaintzea da. Hala eta guztiz ere, OpenFAST-ek aukera ematen du erabiltzaileak diseinatutako kontrolagailuak erabiltzeko, MATLAB-Simulink edo Fortranen bitartez programatuako DLL-en (*Dynamic-Link Library*) bitartez adibidez. Hori dela eta, aerosorgailu flotagarrien kontrolaren inguruan ikertzeko tresna oso interesgarria da, ez baita bideragarria diseinatutako kontrolak sistema errealean batean frogatzea.

Azkenik, modulu bakoitzaren portaera finkatzeko aldagai ugari konfiguratu daitezke simulazio bakoitzaren aurretik, eta hortaz dinamikaren portaeraren erabateko kontrola izanik. Gauzak horrela, sistema konplexuak simulatzeaz gain, eredu sinpleagoak ere zehaztu daitezke.

#### 3.2 Sistemaren pertsonalizatutako eredu sinplifikatuak

Kontrola diseinatzeko erabiltzen diren ereduaren helburua ez da aerosorgailu errealean portaera simulatzea, baizik eta erantzun orokorragoak lortzea saiakera ugariaren bitartez, koste konputazional txikiagoa duten eredu sinplifikatuak garatuz. Horrela, sistemaren askatasun-graduak murriztu daitezke, eta aldagai horientzako garrantzitsua den dinamika-ekuazioak besterik ez dira inplementatu behar sistemaren erantzuna aztertu ahal izateko.

Gainera, mota horietako ereduak beharrezkoak dira zenbait kontrol-motenzako, aurrerago ikusiko den bezala. Hortaz, kontrol-seinalea sortzeko erabiltzen diren sistemaren konplexutasunaren arabera, eta seinalearekin lortzen diren erantzunaren arabera, sistema osoan gehien eragiten duten aldagaiak zeintzuk diren identifikatzeko aukera ematen du, KKD prozesuan oso erabilgarria izango dena.

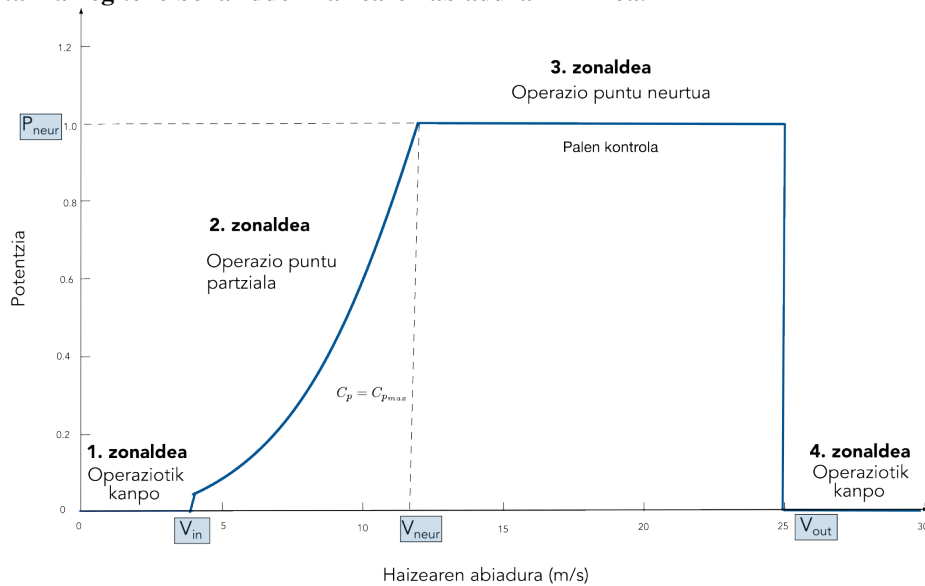
### 4 Pitch angeluaren bidezko errotorearen abiaduraren kontrola

KONFLOT proiektuaren helburu nagusia den kontrol kodiseinu metodologia garatzeko, EHU-ko IEC ikerketa taldea aerosorgailuaren kontrola optimizatzearen arduraduna da. Hori dela eta, lan horren lehenengo faseetan kontrol-teknika desberdinak aztertuko dira.

Aerosorgailuetan, haizearen abiaduraren arabera lau kontrol-zonalde desberdintzen dira: lehenengo zonaldean haizeak ez du abiadura nahikoa sorgailuan momentu bat sortzeko, eta ez da kontrolik aplikatzen. Bigarren zonaldean, tarteko haize-abiadurantzat sorgailuaren momentua kontrolatzen da energia-ekoizpen maximoa lortzeko. Haize-abiadura altuetan hirugarren zonaldea definitzen da, non errotorearen abiadura konstante mantenduko den palek haien ardatzean zehar sortzen duten angelua (hemendik aurrera palen *pitch* angelua) kontrolatuz. Laugarren zonaldean haizea bortitzegia da aerosorgailuak era segurua batean operatzeko, eta hortaz kontrolak turbina geldiarazten du. Zonalde desberdinen eskema 2 irudian ikus daiteke.

Ikerketaren lehen pausuetan hirugarren zonaldeko haizeak aztertu dira, ondorioz errotorearen abiadura-angeluarra *pitch* angeluaren bidez kontrolatuz. Gainera, kontrola NMPC (ingelesez *Nonlinear Model Predictive Control*) problema batean oinarrituko da. Eredu horietan kontrola optimizatu egiten da denbora-tarte jakin

**2. Irudia: Aerosorgailuaren kontrol-zonalde desberdinak, haizearen abiaduraren arabera (Contreras et al., 2017).  $V_{in}$  eta  $V_{out}$  sistemak operatu ahal izateko haizearen abiadura minimo eta maximoak dira, hurrenez hurren.  $P_{neur}$  aerosorgailuak ekoiztu dezakeen potentzia operazio puntu neurtuan da, eta  $V_{neur}$  sistemak puntu horretan lan egiteko behar duen haizearen abiadura minimoa.**



baterako, baina soilik kalkulua egin den unerako aplikatuz. Horrela, uneoro kontrol-seinale optimoa aplikatuko da, zeinak kontuan hartu dituen etorkizunean ager daitezkeen efektuak, sistemaren portaera hoberenetik urruntzen direnak minimizatuz.

NMPC problemetan kontrolaren optimizazioa egiteko sistema fisikoaren eredu sinplifikatu bat erabiltzen da. Hasteko, ikerketan *IEA 15-Megawatt* erreferentziazko turbinaren (Gaertner et al., 2020) eredu sinplifikatu bat erabili da, bakarrik bi askatasun-gradu dituen: errotoaren abiadura eta palen *pitch* angelua. Ondorioz, sistema ez da flotagarria izango, lurrera ezarritakoa baizik. Gauzak horrela, aztertu beharreko dinamika asko sinplifikatzen da, errotoarekin haizearekin duen elkarrekintza bakarrik aztertuz. Modelo oso sinplifikatu horrekin lan egin da ikerketa oraingoz lehenengo faseetan dagoelako, eta jarraian azalduko diren saiakeren helburua proposatutako kontrol-sistemarekin lan egitea posible den aztertzea da hain zuzen. Noski, saiakerak burutu eta erantzunak interpretatu ahala, sistemaren konplexutasuna handituko da askatasun graduak gehituz, ikerketak aurrera egiten duelarik. NMPC problema numerikoki askatzeko Acados tresna erabiliko da, zeina kontrol-optimizazio problemaren ebazpen numerikoa burutzeko softwarea den (Systems Control and Optimization Laboratory, 2023).

Aitzitik, sistemaren sarrera bezala erabiliko den haizea EOG (ingelesez *Extreme Operating Gust*) motakoa da, erreferentziazko abiadura 24 m/s-koa izanik, 30 m/s-ko abiadura maximoa eta 10 segundo inguruko iraupena.

Horrelako motako haizearentzat ereduaren operazio-puntu optimoa bilatu da, eta hau izan da lortutakoa: errotoaren abiadura angeluarra 7,56 rpm eta *pitch* angelua 21,86°. Bi balio horiek izan dira sistemari ezarritako hasierako baldintzak.

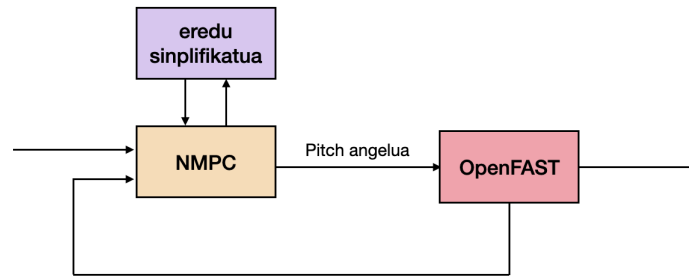
#### 4.1 Begizta itxiko kontrola

Hasteko, 3 irudiak erakusten duen begizta itxiko kontrol-eskema jarraituko da. Izan ere, NMPC problema ebaztean lortutako *pitch* angeluaren kontrol-seinalearekin OpenFAST-en denbora-pausu bakoitza simulatuko da, lortutako egoera hurrengo iterazioko NMPC problema askatzeko erabiliz. Konfigurazio hori *feedback* izenaz ere ezagutzen da.

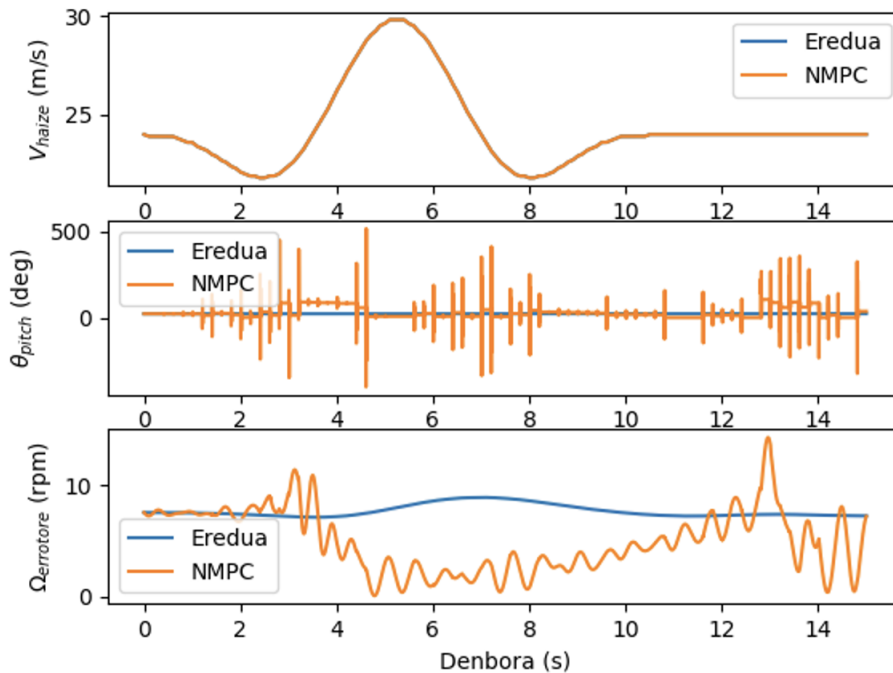
Gainera, OpenFAST-en bidez aerosorgailuaren ereduarentzako aurre-diseinatutako kontrolarekin ere simulazioa burutu da, NMPC-arekin lortutakoa erreferentziazko erantzun batekin konparatu ahal izateko. Simulaziotik lortutako balioak 4 irudian erakusten dira.

Argi ikus daiteke proposatutako kontrolarekin sistemaren erantzuna ez dela batere egokia. Errotoaren abia-

3. Irudia: Aerosorgailuaren errotoareen abiaduraren begizta itxiko kontrol-sistemaren eskema.



4. Irudia: Begizta itxiko kontrola aplikatuz aerosorgailuaren simulazioaren erantzunak.



dura angeluarrak oszilazio handiak azaltzen ditu, eta bere balioa kalkulaturako abiadura optimotik asko urruntzen da simulazioan zehar. Gainera, *pitch* angeluaren oszilazioak oso bortitzak dira, hainbat puntutan 500°-ko baliora hurbilduz. Ondorioz, kontrol hori erabilitako ereduarentzat baztertu egin daiteke.

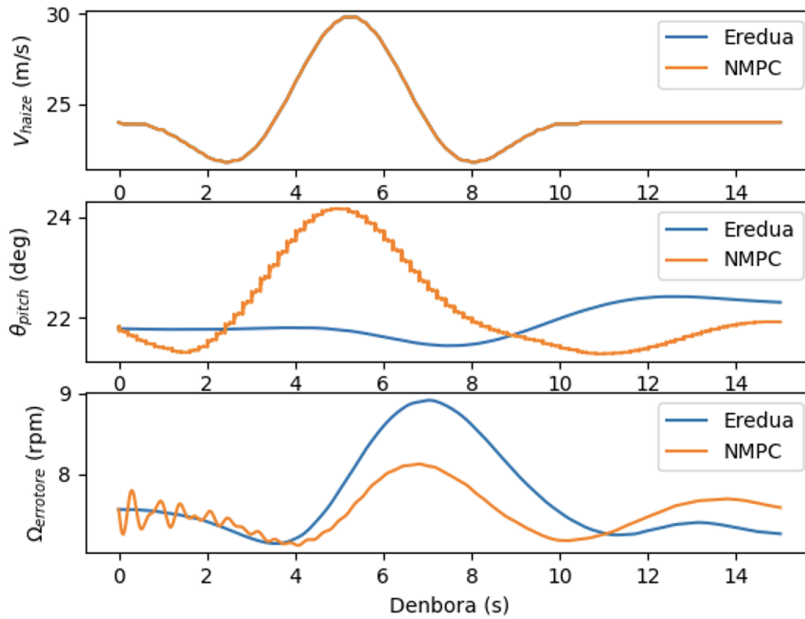
Hala eta guztiz ere, horrek ez du esan nahi begizta itxiko konfiguraziorik erabili ezin daitekeenik. *Pitch* angeluaren oszilazioak aztertzean, ikusi da aldaketa bortitzak kontrol-seinalearen balioa aldatzen den bakoitzean ematen direla. Beraz, aldaketa horiek leuntzeko, kontrol-seinalea lehen ordenako iragazki batetik pasako da. Seinale diskretuentzako iragazki baten adierazpena ondorengoa da:

$$y[n] = \alpha y[n - 1] + (1 - \alpha) u[n] \tag{1}$$

non  $y$  iragazitako seinalea den eta  $u$  iragazi nahi den seinalea. Azkeneko hori *pitch* angeluarentzat kalkulaturako kontrol-seinalea litzake. Simulaziorako,  $\alpha = 0,9$  balioko iragazki bat erabili da, kontrol prediktiboaren kostefuntzioa doitzarekin batera, eta lortutako erantzunak 5 irudian erakusten dira.

Simulazioaren erantzunei erreparatuz, ikus daiteke lehen ordenako filtro bat erabiltzeak nabarmen hobetzen

**5. Irudia: Begizta itxiko kontrola aplikatuz aerosorgailuaren simulazioaren erantzunak, kontrol seinalea iragaztean.**

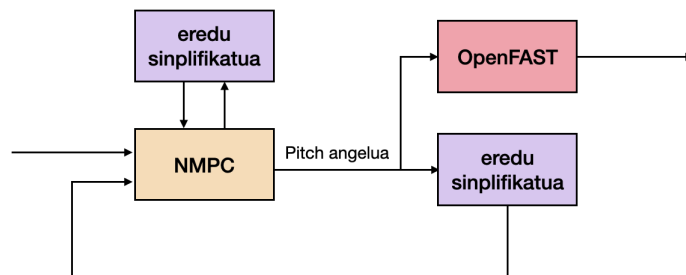


duela sistemaren erantzuna. Hain zuzen ere, 4 irudian ikus zitezkeen oszilazioa bortitzak guztiz desagertu dira. Aldi berean, errotoarearen abiadura hobeto mantentzen da balio optimoaren inguruan. Hala ere, ikus daiteke ROSCO-ren kontrolagailuarekin alderatuta ezin daitekeela esan erantzun hobea lortu denik, batez ere haize-perturbazioaren ostean sistema ez delako egonkortzen abiadura angeluarraren balioaren inguruan; ROSCO-ren kontrolarekin erantzun aproposago bat lortzen dela dirudi.

**4.2 Begizta irekiko kontrola**

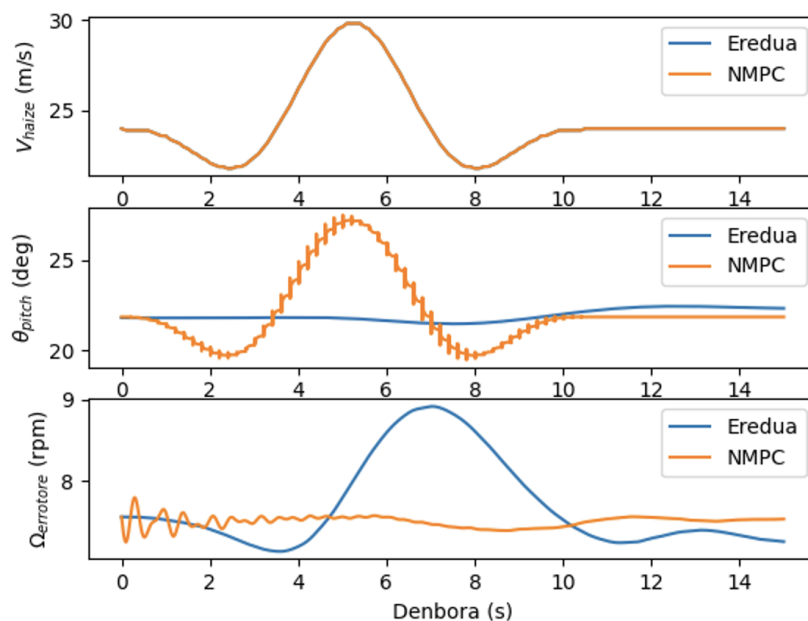
Atal honetan begizta irekiko eskema jarraituko da, 6 irudian azaltzen dena hain zuzen. Horrelako konfigurazioan, NMPC problema askatuko da uneoro *pitch* angeluarentzako kontrol-seinalea optimoa lortzeko, eta hori sistemaren plantara eramango da denbora-pausu hori simulatuz (planta OpenFAST izango da). Hurrengo denbora-pausurako problema ebazteko ez da erabiliko plantaren erantzuna, baizik eta eredia ere simulatuz lortutakoa. Hortaz, benetako sistemaren erantzuna ez denez kontuan hartzen, begizta irekiko edo ingelesez *feedforward* konfigurazioa deritzo planteamendu horri.

**6. Irudia: Aerosorgailuaren errotoarearen abiaduraren begizta irekiko kontrol-sistemaren eskema.**



Aurreko atalean bezala, saiakerarekin batera aerosorgailuaren eredurako aurre-konfiguraturako kontrolarekin lortzen den erantzuna grafikatu da, bi emaitzak konparatu ahal izateko. Gainera, NMPC-aren kontrol seinaleari  $\alpha = 0,9$  balioko lehenengo ordenako iragazki bat aplikatu zaio. Bi simulazioekin lortutako erantzuna 7 irudian erakusten da.

### 7. Irudia: Begizta irekiko kontrola aplikatuz aerosorgailuaren simulazioaren erantzunak.



Atalaren hasieran aipatu bezala, sistemaren erantzuna geroz eta hobea izango da errotorearen abiadura angeluarra kalkulaturakoaren inguruan egonkor mantentzen bada. Ondorioz, esan daiteke proposaturako kontrolarekin erabilitako eredurako lortutako erantzuna ROSCO-k ematen duena baino aproposagoa dela, errotorearen abiadura 7,56 rpm inguruan mantentzen baita. Hala eta guztiz ere, erabilitako kontrol-seinalea bortitzagoa da ere. Horrekin guztiarekin, ondoriozta daiteke ikerketaren lehen faseetan erabilitako kontrol-diseinuak erantzun onak emateko gai dela, eta eredu konplexuagoak aztertzeko bide egokia izan daitekeela.

## 5 Ondorioak

Aurreko ataletan lortutako erantzunetatik abiatuz, ikus daiteke erabilitako ereduan sistema errealearen jokaera kontuan izateak kontrol-seinalea lortzeko ez duela erantzun guztiz aproposik ematen. Efektu hori nahiko ez-intuitiboa da, simulatzen den sistema errealetik jasotako informazioa erabiltzeak kontrol-seinalea hobeto optimizatzea ekarriko duela pentsatzera eramaten duelako. Hala ere, kontuan izan behar da eredu oso sinplifikatuta dagoela, eta hortaz baliteke OpenFAST-ek kontenplazten dituen zenbait fenomeno edo efektuaren erantzunekin NMPC-a elikatzea eredu sinplifikatutik urrundu egingo duela sistema. Horretarako, eredu ez hain sinplifikatuak erabili behar dira, eta ikusi ea erantzun hobekoak lor daitezkeen.

Hala eta guztiz ere, eredu sinplearekin begizta irekiko konfigurazioarekin lortutako erantzuna egokia dela dirudi, beraz eredu konplexuagoak garatzea eta simulatzeak dakarren kostu-konputazionala kontuan hartu beharko da, lor daitezkeen erantzunaren hobekuntza baloratuz. Hori egitearen garrantzia areagotu egiten da ikerketan lortutako emaitzak KKD prozesu baten barne izango direla jakinik.

Nahiz eta aipaturako ondorioak orain arte ikusitakoaren materialetik atera diren, oraindik ezin da ikerketaren helburuekin erlazionaturako ondorioz atera. Gainera, lortutako erantzunak lehen pausak direnez, era sakonago batean aztertu behar dira edozein ondorio sendo atera ahal izan aurretik. Izan ere, proiektua lehen fasean aurkitzen denez, lan asko dago egiteke konklusio argiak atera baino lehen. Hala ere, egia da lehenengo fasea zentratuta egon dela eskuragarri zeuden softwareak eta kontrol-teknikak batzean saiakerak egiten hasi ahal izateko. Alde horretatik, orain arte burututako ikerketak ikusarazten du hautatutako bidea eta teknikak aproposak direla, eta interpretagarriak diren erantzunak lortzen direla. Gauzak horrela, hemendik aurrera planteatutakoa garatu eta hobetzeko aukera dago.



## 6 Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Lan honetan burutu diren saiakerak KONFLOT proiektuaren lehen etapak direnez, etorkizunerako planteatzen den norabide nagusia proiektuan zehaztutako helburu orokorrak lortzeko ikertzen jarraitzea da. Horretarako, kontrol-teknika desberdinak probatuz jarraitu behar da. Orain arte NMPC-ak erabili dira, baina interesgarria liteke ROSCO motako kontrolagailuen erantzunak alderatzea. Gainera, eredu sinplifikatu desberdinak garatu behar dira emaitzen baliotasuna aztertu ez ezik, benetako sistemaren portaerarekin alderatzeko eta dinamika orokorretik kontrol-diseinuan kontuan hartu beharreko aldagaiak identifikatzeko.

Behin pausu horiek burututa, lortutako emaitzak kontrol kodiseinu prozesuan barneratu behar dira beste faseetako erantzunekin batera aerosorgailuak diseinatzerakoan metodologia eraginkor bat lortzeko.

### Erreferentziak

- Bailey, H., Brookes, K., & Thompson, P. (2014). Assessing environmental impacts of offshore wind farms: Lessons learned and recommendations for the future. *Aquatic biosystems*, 10:8.
- Contreras, D., Cañedo, J., & Montoya Escobar, D. P. (2017). A modified power flow algorithm in power systems with renewable energy sources. 1–6.
- Gaertner, E., Rinker, J., Sethuraman, L., Zahle, F., Anderson, B., Barter, G., Abbas, N., Meng, F., Bortolotti, P., Skrzypinski, W., Scott, G., Feil, R., Bredmose, H., Dykes, K., Shields, M., Allen, C., & Viselli, A. (2020). Definition of the IEA 15-Megawatt Offshore Reference Wind. Technical report, National Renewable Energy Laboratory.
- Garcia-Sanz, M. (2019). Control co-design: An engineering game changer. *Advanced Control for Applications*.
- GWEC, G. W. E. C. (2017). Global wind report 2019. *Brussels: GWEC*, 637.
- Jonkman, J. M. (2007). Dynamics Modeling and Loads Analysis of an Offshore Floating Wind Turbine. Technical report, National Renewable Energy Laboratory.
- Konstantinidis, E. I. & Botsaris, P.Ñ. (2016). Wind turbines: current status, obstacles, trends and technologies. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 161(1):012079.
- López-Queija, J., Robles, E., Jugo, J., & Alonso-Quesada, S. (2022). Review of control technologies for floating offshore wind turbines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- National Renewable Energy Laboratory (2022). ROSCO Documentation. <https://rosco.readthedocs.io/en/latest/#>, 2023-02-15ean kontsultatua.
- National Renewable Energy Laboratory (2023). OpenFAST Documentation. <https://openfast.readthedocs.io/en/main/>, 2023-02-16ean kontsultatua.
- Systems Control and Optimization Laboratory (2023). Acados Documentation. <https://docs.acados.org/>, 2023-02-15ean kontsultatua.

## 7 Eskerrak eta oharrak

Eskerrak eman nahi zaizkio Javier López-Queija ikertzaileari, bere tesirako garatutako aerosorgailuen modelo sinplifikatuak eskuragarri uzteagatik, hala nola hark jada lortutako hainbat emaitza partekatzeagatik, geure ikerketarako hartu beharreko zenbait erabakirentzako baliagarriak izan direnak.