

GIPUZKOAKO INGENIARITZA ESKOLA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE GIPUZKOA

EIBAR

GRAL: FAST KODEAREN EGOKITZAPENA HAIZE-ERROTA
 FLOTATZAILEENTZAT

1. DOKUMENTUA: MEMORIA

Gradua: Energia Berriztagarrien Ingeniaritza
Ikasturtea: 2019 - 2020
Egilea: Reinicke Telleria, Fermin

Zuzendaria: Ulazia Manterola, Alain
Zuzendarikidea: Saenz Aguirre, Aitor

AURKIBIDEA

AURKIBIDEA	i
IRUDIEN AURKIBIDEA	iv
SIGLAK ETA AKRONIMOAK.....	vi
1. SARRERA	1
2. OINARRI TEORIKOAK	2
2.1. HAIZE-ENERGIA INDUSTRIA-ESKALAN	2
2.1.1. Haize-energia itsas eremuan	2
2.1.1.1. Aerosorgailu flotatzaileak	2
2.1.1.2. Olatuak	4
2.1.1.3. Haizea	7
2.1.1.4. Korrontea	8
2.1.2. Urteko energia-ekoizpena (AEP)	8
2.1.3. Kapazitate-faktorea (CF)	10
2.1.4. Aerosorgailuen diseinu-estandarrak	10
2.1.4.1. IEC 61400-1 estandarra: diseinu-baldintzak	10
2.1.4.2. IEC 61400-3-2 estandarra: FOWT turbinentzako diseinu-baldintzak	11
2.2. FAST	12
2.2.1. Orokortasunak	13
2.2.1.1. Koordenatu sistemak	14
2.2.1.2. Baliozkotzea	15
2.2.2. NREL 5-MW eredu-turbina	16
2.2.2.1. Kontrola	17
2.2.3. FAST_v8.16 bertsioa	19
2.2.3.1. Driverra	20
2.2.3.2. ElastoDyn	21
2.2.3.3. AeroDyn v15.....	22
2.2.3.4. InflowWind	23
2.2.3.5. ServoDyn	23
2.2.3.6. HydroDyn	23
2.2.3.7. MAP++	24
2.2.4. TurbSim	25
3. MATLAB / OCTAVE BIDEZ FAST KONFIGURATU, EXEKUTATU ETA EMAITZAK ANALIZATU	27
3.1. OC3HyWind.m (SCRIPT NAGUSIA).....	27
3.1.1. Simulazioaren konfigurazioa (9-167 lerroak)	28

3.1.2. Simulazioa (168-171 lerroak).....	28
3.1.3. Emaizten antolaketa eta tratamendua (172-237 lerroak)	29
3.1.4. Emaizten irudikapena (238-359 lerroak).....	32
3.2. TurbSim.m	34
3.2.1. TurbSim-en konfigurazioa (5-41 lerroak)	34
3.2.2. Exekutatzea (42-45 lerroak)	34
3.2.3. Irteera-fitxategien antolaketa (46-68 lerroak)	34
3.3. SARRERA-FITXATEGIAK ALDATZEKO PROGRAMAK	36
3.3.1. chFst.m	40
3.3.2. chHydroDyn.m	41
3.3.3. chAeroDyn.m	41
3.3.4. chElastoDyn.m	42
3.3.5. chInflowWind.m	42
3.3.6. chTurbSim.m	43
4. SIMULAZIO-BALDINTZAK	44
4.1. OROKORTASUNAK	44
4.2. HAIZE-FITXATEGIAK (BALDINTZAK ETA EMAITZAK).....	46
4.2.1. TurbSim-ekin sortutakoak	46
4.2.2. Haize uniformeak	48
4.3. SIMULAZIOAK	50
4.3.1. Lehenengo blokea - programatu aurretiko simulazioak	50
4.3.2. Bigarren blokea – Okerreko ezarpenak AeroDyn-en	51
4.3.3. Hirugarren blokea	51
4.3.4. Laugarren blokea.....	52
4.3.5. Bosgarren blokea.....	52
4.3.6. Seigarren blokea	53
4.3.7. Zazpigarren blokea	54
5. SIMULAZIOEN EMAITZAK	55
5.1. LEHENENGO BLOKEA	55
5.2. BIGARREN ETA HIRUGARREN BLOKEAK	56
5.3. LAUGARREN BLOKEA.....	60
5.4. BOSGARREN BLOKEA	62
5.5. SEIGARREN BLOKEA	66
5.6. ZAZPIGARREN BLOKEA	69
5.7. BLOKEEN ARTEKO KONPARAKETA	72
6. ETORKIZUNERA BEGIRA	75
7. ERREFERENTZIAK	76
I. ERANSKINA: SCRIPTETARA PASATUTAKO SARRERA-ALDAGAIK	78
I.1. SARRERA-FITXATEGI NAGUSIA	78

I.2. HYDRODYN.....	80
I.3. AERODYN15	81
I.4. ELASTODYN	81
I.5. INFLOWWIND	82
I.6. TURBSIM.....	83
II. ERANSINA: AKTIBATUTAKO IRTEERA-ALDAGAIK	85

IRUDIEN AURKIBIDEA

2-1 irudia	3
2-2 irudia	4
2-3 irudia	5
2-4 irudia	6
2-5 irudia	6
2-6 irudia	9
2-7 irudia	11
2-8 irudia	12
2-9 irudia	13
2-10 irudia	14
2-11 irudia	15
2-12 irudia	15
2-13 irudia	16
2-14 irudia	17
2-15 irudia	18
2-16 irudia	18
2-17 irudia	19
2-18 irudia	20
2-19 irudia	21
2-20 irudia	22
2-21 irudia	24
2-22 irudia	25
3-1 irudia	28
3-2 irudia	30
3-3 irudia	31
3-4 irudia	32
3-5 irudia	33
3-6 irudia	33
3-7 irudia	34
3-8 irudia	35
3-9 irudia	37
3-10 irudia	37
3-11 irudia	38
3-12 irudia	39
3-13 irudia	40
4-1 irudia	47
4-2 irudia	48
4-3 irudia	49
4-4 irudia	49
5-1 irudia	55

5-2 irudia	56
5-3 irudia	56
5-4 irudia	57
5-5 irudia	57
5-6 irudia	57
5-7 irudia	58
5-8 irudia	58
5-9 irudia	59
5-10 irudia	59
5-11 irudia	60
5-12 irudia	60
5-13 irudia	61
5-14 irudia	61
5-15 irudia	61
5-16 irudia	62
5-17 irudia	62
5-18 irudia	63
5-19 irudia	63
5-20 irudia	64
5-21 irudia	64
5-22 irudia	64
5-23 irudia	65
5-24 irudia	65
5-25 irudia	66
5-26 irudia	66
5-27 irudia	67
5-28 irudia	67
5-29 irudia	68
5-30 irudia	68
5-31 irudia	69
5-32 irudia	69
5-33 irudia	70
5-34 irudia	70
5-35 irudia	71
5-36 irudia	71
5-37 irudia	72
5-38 irudia	72
5-39 irudia	73
5-40 irudia	73
5-41 irudia	74

SIGLAK ETA AKRONIMOAK

ADAMS	Automatic Dynamic Analysis of Mechanical Systems
AEP	Annual Energy Production (urteko energia-ekoizpena)
CF	Kapazitate-faktorea
FAST	Fatigue, Aerodynamics, Structures and Turbulence
FFT	Fast Fourier Transform
FOWT	Floating Offshore Wind Turbine (itsasko haize-turbina flotatzailea)
GRAL	Gradu Amaierako Lana
HAWT	Horizontal Axis Wind Turbine (ardatz horizontaleko haize-turbina)
IEC	International Electrotechnical Commission
JONSWAP	Joint North Sea Wave Observation Project
NREL	National Renewable Energy Laboratory
NTM	Normal Turbulence Model
OC3	Offshore Code Comparison Collaborative
TI	Turbulenzia-intentsitatea
TLP	Tension Leg Platform (tetsiopean lotutako plataforma)
TSR	Tip Speed Ratio (punta-abiadura ratioa)

1. SARRERA

Egungo gizartearen energia-eskaria oso handia da, eta urtero gora egiten du. Eskari izugarri hori asetzeko, agerian geratzen ari da iturri fosiletatik energia-iturri berriztagarrietarako trantsizioaren beharra; ez bakarrik ingurumenari dagokion jasangarritasunagatik, baita lehengai fosilik ez duten lurralde edo herrialdeen ekonomia iraunkorra eta energia-burujabetza bermatzeko ere.

Bide horretan garatuen dagoen sektoreetako bat haize-energiarena da. Itsas eremuak, hain zuzen, energia eolikoa xurgatzeko baldintza aproposak eskaintzen ditu, besteak beste, haizea biziagoa eta egonkorragoa delako. Hala ere, gaurkoz ohikoena den itsas hondora finkatutako aerosorgailuen modalitatea sakonera txikia duten lekuetara mugatuta dago. Urrunera joan gabe, euskal kostaldean eta, orokorrean, iberiar penintsularen inguruko itsasoetan, aerosorgailuak jarriko badira, hauek flotatzaileak izan beharko dute.

Haize-turbinek leku jakin batean izango duten errendimendua aurreikustea ezinbestekoa da. Turbina flotatzaileen errendimenduan, ordea, haizeaz gain, olatuek ere eragin handia izan dezakete. *HydroDyn* moduluari esker, aerosorgailuen portaera simulatzen duen *FAST* programa gai da itsas eremuko kanpo-baldintza espezifikoak (olatuak eta korrontea) kontuan hartzeko. Horrekin batera, ainguratze-sistemaren dinamikaz arduratzen diren hainbat moduluk posible egiten dute aerosorgailu flotatzaileen simulazioa. Bada, *FAST* tresna egokia izan daiteke FOWT (Floating Offshore Wind Turbine, hots, itsasko haize-turbina flotatzailea) turbinez osaturiko parke hipotetikoaren errendimendua aurreikusi eta, horrela, haien bideragarritasuna aztertzeko.

Lan honen helburua *FAST*en simulazioak *Matlab* edo *Octave* aplikazioetatik konfiguratu, egikaritu eta analizatzeko oinarritzko kodea garatzea izan da. Kode horrek, zehatzago izateko, NREL 5-MW eredu-turbinaren masta motako aldaera flotatzailearekin (*OC3-Hywind Spar*) lan egiteko balio du. Idatzitako scripten eta programen nondik norakoak 3. kapitulan (*Matlab / Octave bidez FAST konfiguratu, exekutatu eta emaitzak analizatu*) xehetasunez azaltzen dira. Aurretik, 2. kapitulan (*Oinarri teorikoak*), landuko den gaiaren testuingurua ulertzeko baliagarriak diren eduki teoriko batzuk jorratzen dira sektore eolikoari eta *FAST*i buruzkoak. Programatu ondoren, simulazio batzuk burutu dira kode berria probatu eta hobetzeko; 4. kapitulan (*Simulazio-baldintzak*), simulazio horietako bakoitzaren konfigurazioa deskribatzen da; saiakuntzen emaitzak, bestalde, 5. kapitulan (*Simulazioen emaitzak*) erakusten dira. Bukatzeko, eta ondorio gisa, lan honek aurrerantzean izan ditzakeen garapenak proposatzen dira 6. kapitulan (*Etorkizunera begira*).

2. OINARRI TEORIKOAK

2.1. HAIZE-ENERGIA INDUSTRIA-ESKALAN

Atal honetan energia eolikoaren sektorean aintzat hartu behar diren aspektu batzuk azalduko dira, lan honekin zein lan honen etorkizuneko helburuekin zerikusia izan dezaketenak. "Offshore" deritzon eolikaren itsas eremuko aldaeratik abiatuta, haize-turbina flotatzaileen ezaugarriak eta haiengan eragina duten faktore nagusiak jorratuko dira. Ondoren, aerosorgailuen diseinuan zein parke eolikoaren planifikazioan kontuan izaten diren urteko energia ekoizpena (AEP, "Annual Energy Production"), kapazitate-faktorea (CF) eta IEC 61400 estandarren atal esanguratsuenak erakutsiko dira.

2.1.1. Haize-energia itsas eremuan

Itsasoko haize-turbinek eta instalazioek, lurrekoekin alderatuz, badute zenbait ezberdintasun. Dorrearen azpiko egiturak dago alderik handiena, baina ez da bakarra. Itsasoan, instalazio-, operazio- eta mantenu-lanak, energia elektrikoaren garraioa (itsaspeko kableak) eta, zer esanik ez, kokapenari, baimenei eta ingurumen-faktoreei dagozkien kontuak ere desberdinak [18]. Turbinaren errorea eta gondola, ordea, antzekoak dira itsasoan zein lurrean. Hori, betiere, kontuan izanda eskala handiak ohikoak diren hiru palako HAWT (Horizontal Axis Wind Turbine) makinei buruz ari garela eta itsasoko turbinak, orokorrean, lurrekoak baino handiagoak direla (potentzia izendatu eta, oro har, errore-diametro handiagoak).

Ingurumen-faktoreen artean, olatuak eta sakonera esanguratsuak dira itsas-turbinen egiturak diseinatzeko eta baita haien kokalekua deliberatzeko ere. Itsasoan, haize-baldintzak ere bestelakoak dira, energia xurgatzeko hobeak: abiadura handiagoa eta ebakidura eta turbulentzia-intentsitate txikiagoak (haizearen profil bertikala eta turbulentzia-intentsitatea 2.1.1.3. azpiatalean azaltzen dira) [18]. Haizeak itsasoan eskaintzen duen aukera hobe hori da, preseski, haize-energiaren sektorea itsasora zabaltzen hasi izanaren arrazoi nagusienetako bat.

2.1.1.1. Aerosorgailu flotatzaileak

Sakonera 50 m baino handiagoa den lekutan, itsas hondora finkatutako turbinak ez dira bideragarriak, ez zutabe bakarreko euskarridunak ("monopile turbine foundations") ezta hanka-anitzak ("multi-leg turbine foundations") ere [3]. Horrek esan nahi du, 50 m-ko sakoneratik aurrera energia eolika ustiatzeko aukera bakarra turbina flotatzaileak direla.

Ikerkuntza arloan puri-purian dagoen aerosorgailuen aldaera flotatzaile hau hasia da ere energia elektrikoa komertzialki sareratzen. 2017ko urrian hasi zen "Hywind Scotland" parke pilotua ofizialki operatzen [20], Eskoziako ipar-ekialdeko kostaldean. Parke pilotu honek, 6 MW-eko bost turbinadunak, 30 MW izendatu dauka [20], eta turbinen azpikaldeko egitura "spar" (masta) motakoa da (egitura motak aurrerago erakusten dira, azpiatal honetan bertan).



2-1 irudia. Hywind Scotland haize-parkea, operatzen hasi aurretik [21].

FOWT turbinen parte bereziena oinarri-egitura da; itsas hondora finkatutako turbinetatik bereizten ditu, baina baita flotatzaileak haien artean ere. Azken batean, azpiko egitura bera da FOWTen garapenerako erronka: itsas hondora finkatutako egiturek ere jasan beharreko olatuen akzioa jasateko beste izateaz gain, olatuen eszitazio periodikoaren eta turbinaren dinamikaren arteko elkarrekintzak minimizatzeko diseinatuta egon behar da [18].

Turbinen urpeko egitura kroskoak (plataforma) eta ainguratze-sistemak osatzen dute. Esan bezala, FOWT aerosorgailuak sailkatzeko balio du, besteak beste, honako taldeetan (2-2 irudian ere erakusten dira) [7]:

- **Masta**
Literaturan “spar” edo “spar-buoy” deritzon talde hau guztietan garatuena da, Hywind Scotland parke pilotuko turbinak mota honetakoak baitira. 2-2 irudiko laugarren eredua, ezkerretik hasita.
- **TLP**
Tension Leg Platform edo tentsiopean lotutako plataforma. 2-2 irudiko eskuinaldeko eredua.
- **Gabarra**
Literaturan “barge” deritzon egitura honi 2-2 irudiko ezker aldeko eredua dagokio.
- **Erdi-urperagarria**
Taldea honi 2-2 irudiko bigarren eredua dagokio, ezkerretik hasita.
- **Masta anitzeko artikulatua**
Eredu berritzaileenetakoa da, hibridoa: haize-turbina eta olatu-energia bihurtgailuak barneratzen dituen egitura [7]. 2-2 irudiko hirugarren eredua dagokio.



2-2 irudia. FOWT turbinen sailkapena oinarriaren arabera [7].

Bestalde, egitura horiek hiru printzipioren bidez lor dezakete egonkortasuna [5]:

- **Lasta**
Egituraren behealdean, flotagarritasun-ganberaren azpian, dagoen kontrapisuak egonkortzen du turbina [5]. Masta motako egituretan printzipio hau nagusitzen da.
- **Aingura-lerroen tentsioa**
Aingura-lerroak dira plataforma egonkortzen dutenak. Honetan oinarritzen dira TLP motako egiturak [5].
- **Flotagarritasuna (Arkimedesen printzipioa)**
Plataforma zabal batean zehar banaturiko flotagarritasunak eragiten du posizio bertikalera bueltatzeko zuzentze-momentua [5]. Hau bilatzen dute gabarra motako egiturek.

2.1.1.2. Olatuak

Olatuak dira FOWT aerosorgailuen plataforman zuzenean eragiten duen kanpo-baldintza esanguratsuenak. Haien eszitazio indar eta indar berreskuratzaile ezberdinen ondorio izan badaitezke ere, hemen aztertuko direnak haizeak ergindako grabitate-olatuak dira, hizkera arrunten ere olatu deritzenak, hain zuzen ere.

Olatu bat uhin-pultsu sinusoidal bat da, baina olatuak bata besteari atzetik ulertu behar dira, pultsuen segida baten moduan. Idealki, uhin sinusoidal perfektua osatzen dute, periodikoa edo erregularra, eta norabide bakarrean (x ardatza) hedatzen dena. 2-3 irudian olatu-uhin ideal baten sekzioaren eskema ikusten da, hari dagozkion luzera dimentsioko propietateekin. Propietate horietako batzuk jarraian definitzen dira.

- L : uhin luzera.
- $\eta(x,t)$: hedatze-puntu eta aldiune jakin bateko uraren altxatze-maila. Olatu-serie erregular batean Airy-ren adierazpenak definitzen du:

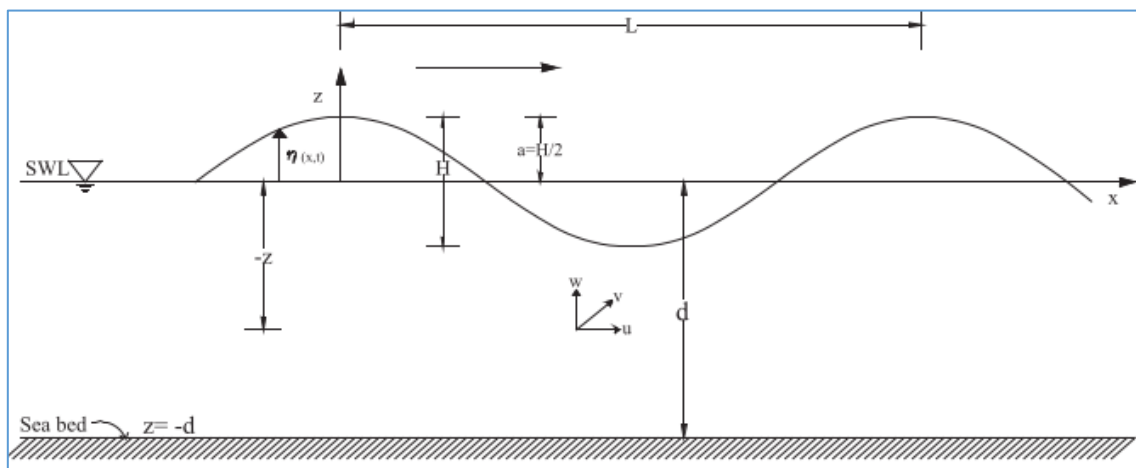
$$\eta(x,t) = a \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{L} \cdot x + \frac{2\pi}{T} \cdot t\right)$$

non T [s] periodoa den, olatua karakterizatzeko ezinbesteko propietatea. Puntu konkretu bateko altxatze-maila funtzio sinusoidal arruntarekin adierazten da:

$$\eta(t) = a \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t + \varphi\right)$$

non φ [rad] puntu konretu horren desfasea den.

- a: olatu-anplitudea, $a = \eta_{max}$
- H: olatu-altuera, $H = 2 \cdot a$
- d: itsas hondoaren sakonera

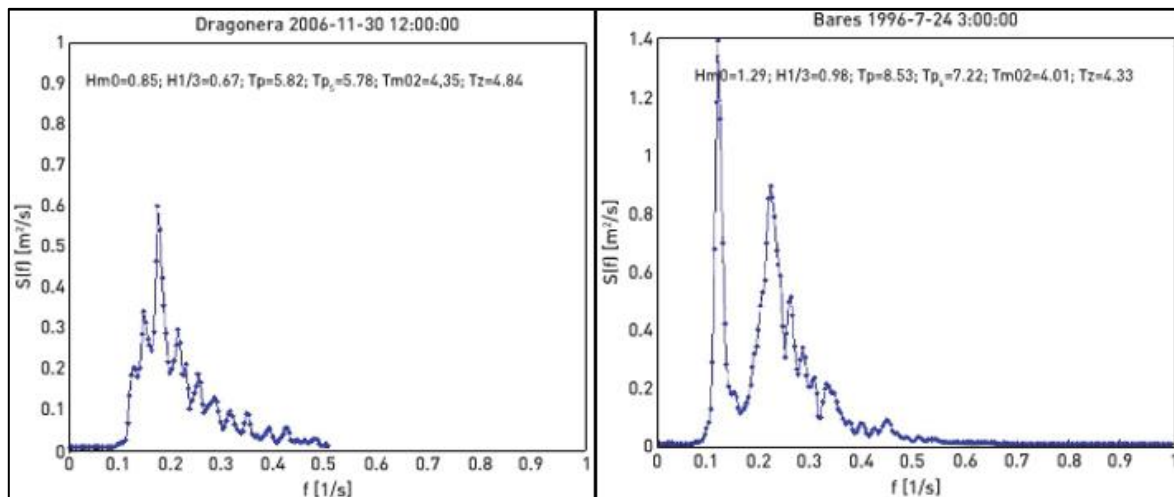


2-3 irudia. Olatu-uhin idealaren x-z planoko sekzioa.

Errealitatean, ordea, olatuak irregularrak dira, fenomeno estokastikoa, alegia. Horrek esan nahi du olatu edo pulsu bakoitzak bere altuera eta periodo konkretuak dituela. Hedapen-puntu bateko uraren altxatze-maila N uhin sinusoidalen gainezarpen gisa adieraz daiteke (Fourierren deskonposaketa):

$$\eta(t) = \sum_{i=1}^N a_i \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T_i} \cdot t\right)$$

Denbora-tarte batean puntu batetik pasatzen den olatu-serie irregularra bi hauek definitzen dute: **altuera significantea (Hs)** eta **periodo pikoa (Tp)** dira. Altuera significantea, serieko olatuen banan banako altueren balioak ordenatuta, hirugarren tertziako (handienak) balioen batezbestekoa da. Nolabait esanda, serieko olatu handien batz besteko altuera. Periodo pikoa, oster, olatu-seriearen dentsitate-espektriko frekuentzialaren balio maximoari dagokion periodoa da; hitz xumeekin, serieko periodorik "ohikoena".

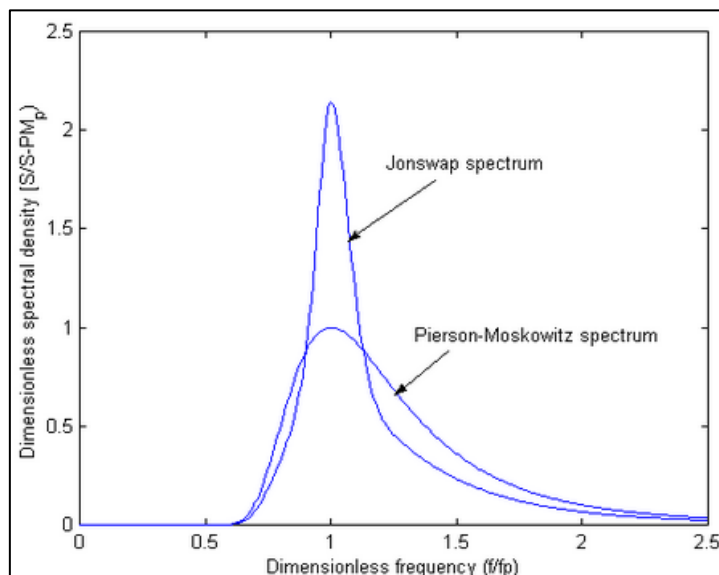


2-4 irudia. Bi olatu-serieren dentsitate-espekto frekuentzialak [6].

Kontuan izan behar da haizeak eragindako olatu-grabitazionalak bi motakoak izan daitezkeela: haize lokalak eragindako haize-olatuak edo urruneko haizeak sortu eta uneko lekura hedatu izan den bagak edo honodoko itsasoa ("swell"). Haize-olatuak periodo txikiagoa izan ohi dute.

Gainera, leku askotan ohikoa da mota bietako olatuen konbinaketa-serieak izatea. Ondorioz, dentsitate-espektoak bi balio maximo lokal izango ditu (2-4 irudiko eskuineko espektoak), haize-olatuena, $T = 5$ s inguruan eta, hondoko olatuena, $T = 10$ s inguruan.

Serie irregularren seinaleak sortzeko espekto-eredu teorikoak erabiltzen dira. Ipar Atlantikoko datuak analizatuz hainbat modelo teoriko sortu dira, JONSWAP (Joint North Sea Wave Observation Project) eta Pierson-Moskowitz, beste zenbaiten artean [16]. Hori bai, eredu hauek maximo bakarra daukate, 2-5 irudian erakusten den bezala.



2-5 irudia. Olatu-espektoen eredu teorikoak, JONSWAP vs. Pierson-Moskowitz [16].

Eredu bien arteko desberdintasuna forma-parametroan (γ) datza, kanpaiaren zabaleran, nolabait esanda. Pierson-Moskowitz-ek $\gamma = 1$ betetzen du [10].

2.1.1.3. Haizea

Haizeak zuzenean eragiten du dorrean eta errotorean. Ondorioz, aerosorgailuaren egitura osoari eta ekipamendu guztiei (transmisio-sistema, sorgailua, kontrola, etab.) ere eragiten die.

Haizearen turbulentzia turbinaren karga estokastikoen eragile nagusia da [18]; azken finean, turbulentziak kontrola zailtzen du, mekanismoetan nekea sortzen du (bibrazioak) eta irteerako seinale elektrikoan harmonikoak eragiten ditu. Hortaz, turbinen diseinurako garrantzitsua da helburuko lekuan ohikoa den turbulentzia-maila ezagutzea.

Turbulentzia koantifikatzeko ohiko magnitudea turbulentzia-intentsitatea (TI) da, haize-abiaduraren desbiderapen tipikoaren (σ_u) eta batz besteko haize-abiaduraren (U_{avg}) arteko zatidura:

$$TI = \frac{\sigma_u}{U_{avg}}$$

Aldagai horien balioak lortzeko, denbora-tarte bateko datuak erabiltzen dira. Halaber, denbora-tartearen luzera gora-behera turbulentoen eskalakoa baino handiagoa izan behar da, eta bestelako abiadura aldaketei dagozkien periodoak baino txikiagoa ere ($T < 1$ h) [18].

Turbulentziak, hein handi batean, lurrazaleko oztopoengatik gertatzen dira. Itsasoan oztopoa lurrean baino askoz ere txikiagoa da; horregatik, turbulentzia-indizea ere txikiagoa da itsas-eremuan.

Beste alde batetik, fluidoaren eta zoruaren (edo uraren) arteko marruskaduragatik, haizea ez da uniforme altueran. Profil edo ebakidura bertikala aerosorgailuen diseinurako parametro garrantzitsua da, bi arrazoi hauengatik [18]:

- Altuera jakin bateko dorrea duen turbinaren ekoizpena determinatzen du.
- Errotorearen bizi-iraupenean eragiten du. Palek karga ziklikoa jasaten dute biraketaren posizio ezberdinetan jasotzen duten haize-indarra aldatzearen ondorioz ($F(U) \propto U^2$).

Profil bertikala matematikoki adierazteko, eredu logaritmikoa eta eredu potentziala erabiltzen dira.

Profil bertikalaren eredu edo lege logaritmikoa [18]:

$$\frac{U(z)}{U(z_r)} = \frac{\ln(z/z_0)}{\ln(z_r/z_0)}$$

Adierazpen horretan erreferentzia-puntu baten altuera (z_r) eta bertako abiadura ($U(z_r)$) jakinda, beste altuera bati (z) dagokion abiadura ($U(z)$) kalkula daitake. Lurzorua zimurdura (z_0 [m]) ere ezagutu behar da; zoru-motaren arabera estima daiteke taula baten bidez (zorua zenbat eta irregularragoa, zimurdura orduan eta handiagoa). Itsasoan, honako balioen artekoa dela kontsideratzen da [18]:

$$2 \cdot 10^{-4} \text{ m} \leq z_0 \leq 5 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Profil bertikalaren eredu edo lege potentziala [18]:

$$\frac{U(z)}{U(z_r)} = \left(\frac{z}{z_r}\right)^\alpha$$

Lege potentzialaren adierazpen hori lege logaritmikoarena bezala erabili behar da. Hori bai, kasu honetan, zimurdurak beharrean, α berretzaileak determinatuko du profilaren forma. α , zoruaren irregulartasunen menpekora ez ezik, altueraren, eguneko orduaren, urtaroaren, haize-abiaduraren, tenperaturaren, eta abarren arabera ere bada [18].

Haizeak turbina eolikoei eragiten dien karga nagusia, errotorea birarazten duen pareaz gain, bulkada-indarra da. Honek palen eta dorrearen makurdura eta transmisio-ardatzaren karga normala sortzen ditu, batik bat; plataforma haize-atzerantz eskoratzea ere eragiten du aerosorgailu flotatzaileetan.

Zuzenean dorreak jasaten duena baztertuz, bulkada (T) errotoreak haizeari kentzen dion indarra da (ez potentzia). Honako balioa du [8]:

$$T = C_T \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot U^2$$

Adierazpen horretan, ρ airearen dentsitatea da, R errotorearen erradioa ($\pi \cdot R^2$ da errotoreak barreiatutako azalera) eta C_T bulkada-koefizientea. C_T -k, 0 eta 1 balioen artekoa, adierazten du haizeak dakarren indarraren zenbateko proportzioa bihurtzen den bulkada. Potentzia-xurgapena, idealki, maximoa denean, $C_T = 8/9$.

2.1.1.4. Korrontea

Korrontea plataformari eta ainguratze-sistemari zuzenean eragiten dion kanpo-baldintza bat da. Haizeak bezala, korrontek ere profil bertikala du, urak, substantzia biskosoa izaki, itsas hondoarekin duen marruskaduragatik.

Eredu sinpleenak ardatz bertikalean korrontea uniformetzat jotzen duen arren ($\frac{d\vec{v}}{dz} = 0$), badago profil bertikala adierazteko eredurik; beste zenbaiten artean, eredu potentziala eta eredu lineala.

Korronte-eredu potentziala [10]:

$$v(z) = v_{op} \cdot \left(\frac{z+d}{d}\right)^{1/7}$$

Korronte-eredu lineala [10]:

$$v(z) = v_{ol} \cdot \frac{z+d}{d}$$

Adierazpen horietan, v_{op} eta v_{ol} uraren gainazeleko abiadurak dira, eredu potentzialarena eta linealarena, hurrenez hurren; z aldagai askea da, profileko puntu bakoitzaren sakonera; eta d itsas hondoaren sakonera da.

Ikus daitekeenez, korrontearen norabidea uniformea dela kontsideratzen da.

2.1.2. Urteko energia-ekoizpena (AEP)

Haize-parke baten bideragarritasuna aztertzeko, urtero sortuko duen energia elektrikoa aurreikusi behar da. Aurreikuspen hori, aerosorgailuaren potentzia-kurban eta tokiko

haize-abiaduren probabilitatean oinarritutako estimazioa izaten da. Orduan, estimatu nahi den tokiko haize-probabilitatearen dentsitate-funtzioa, $p(U)$, eta jarriko diren turbinen potentzia-kurba, $P_E(U)$, ezagututa, bataz besteko potentzia honela kalkulatzen da [18]:

$$\overline{P_E} = \int_0^{\infty} P_E(U) \cdot p(U) \cdot dU$$

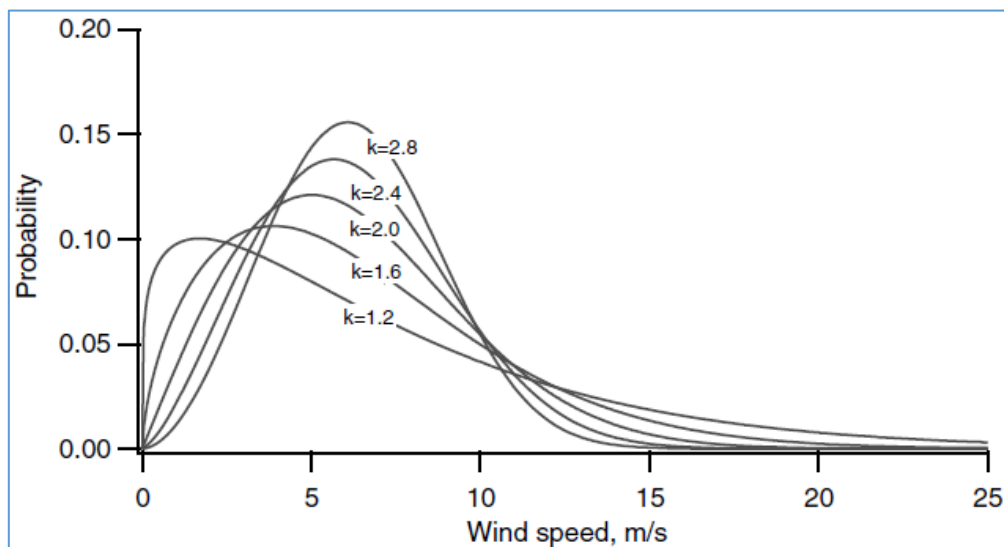
Bataz besteko potentzia ezagututa, urte batek duen ordu kopuruaz biderkatu behar da AEP lortzeko:

$$E_{E,urte}[kWh] = 365,25 \left[\frac{egun}{urte} \right] \cdot 24 \left[\frac{h}{egun} \right] \cdot \overline{P_E}[kW]$$

Haize-abiaduren probabilitateak estimatzeko Weibull-en banaketa erabiltzen da. Banaketa estatistiko hori bi parametrok definitzen dute:

- k : forma-faktorea
- c : eskala-faktorea

Aldi berean, k eta c tokiko U_{avg} eta σ_U -ren arabera dira, tokiaren arabera, alegia. Leku bateko haize-abiaduren Weibull banaketa estimatzeko, aurrez ere neurketak egin behar izan dira leku horretan.



2-6 irudia. $U_{avg} = 6 \text{ m/s}$ duen leku bateko haizearen probabilitate dentsitate funtzioa, k -ren arabera [18].

Hala ere, AEP estimazio honetan errorea eragiten duen faktore bat baztertzen da: airearen dentsitatearen aldakortasuna. Izan ere, haizeak dakarren potentzia zuzenki proportzionala da aire-dentsitatearekiko. Ondorioz, aerosorgailuen potentzia-kurbak ere dentsitatearen arabera dira (ekoizleek $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ kasurako ematen dute potentzia-kurba).

Turbina flotatzaileen kasuan, potentzia-kurba itxuraldatzen duen beste faktore bat dago: olatuak. Horregatik, garrantzitsua da olatuen H_s eta T_p propietaten eta sortutako potentzia elektrikoaren arteko erlazioa ezagutzea (lan honen helburua, hain zuzen, horretarako tresna bat garatzen hastea izan da).

2.1.3. Kapazitate-faktorea (CF)

Kapazitate-faktoreak turbina edo parke baten denbora-tarte bateko errendimendua adierazten du. Periodo horretan zehar sortu duen bataz besteko potentzia elektrikoaren eta potentzia izendatuaren (P_R) arteko zatidurak definitzen du (ehunekotan ere adieraz daiteke):

$$CF = \frac{\overline{P_E}}{P_R}$$

Beraz, CF zenbat eta handiagoa izan, parke eoliko bat orduan eta errentagarriagoa izango da. Parke berrien plangintzan ere, CF ahalik eta handiena izatea bilatzen da.

Normalean, urte osoko kapazitate-faktoreaz gain, urtarokako kapazitate-faktoreak ere esanguratsuak izan daitezke ($CF_{negua} > CF_{uda}$). Urte osoko faktoreak AEP zati $E_{teoriko\ max}$ balioko luke.

Itsasoko parkeen kapazitate-faktoreak 0,4 – 0,6 artekoak izan ohi dira, “onshore” parkeenak, berriz, 0,2 - 0,3. Muturreko adibide bat: Hywind Scotland parke flotatzaileak 0,65-eko kapazitate faktorea izan zuen lehen operazio-hiruhilekoan (2017ko azaroa eta Abendua, eta 2018ko urtarrila) [19].

2.1.4. Aerosorgailuen diseinu-estandarrek

Turbinak diseinatzeko nazioarteko estandar batzuk aintzat hartu behar dira. Horien artean garrantzitsuenak Nazioarteko Batzorde Elektroteknikoaren (IEC, International Electrotechnical Commission) IEC 61400 estandar-seriearen barruan daude. Lan honetan azaltzen den edukiarekin lotura dutelako, IEC 61400-1 eta IEC 61400-3-2 estandarrek zehazten dituzten edukietako batzuk azalduko dira.

2.1.4.1. IEC 61400-1 estandarra: diseinu-baldintzak

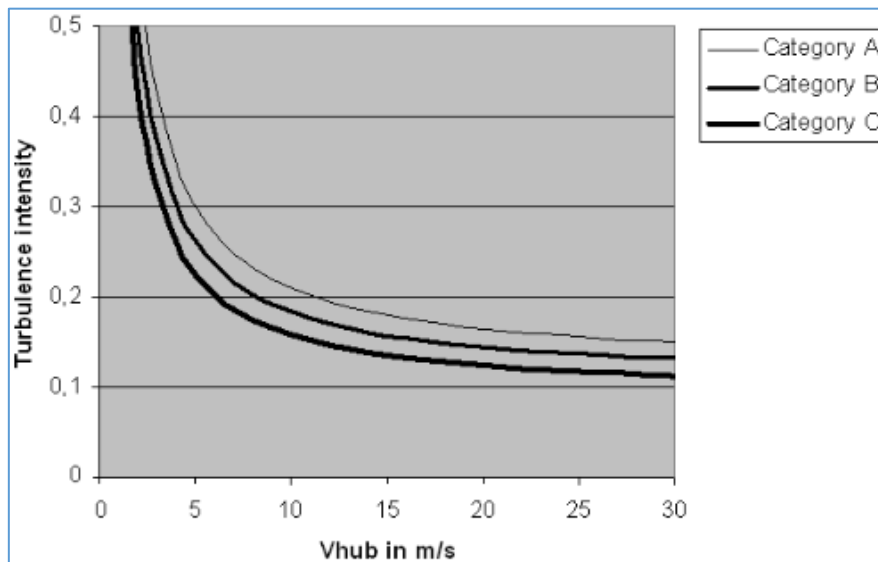
Estandar hau lurreko turbinetan zentratuta badago ere, itsasorako ere garrantzitsua da [18]. Kanpo-baldintzen atalean, haizearen ezaugarrien arabera aerosorgailu klaseak definitzen dira, 2-1 taulakoak. Bertan ikusten denez, ezaugarri determinantea V_{ref} da, turbina instalatuko den lekuan espero den gehieneko haize-abiadura, abatzaren altueran. 50 urteko muturreko gertaeraren estimazioa da eta, IEC 61400-1 estandarrek honela definitzen du [12]:

$$V_{ref} = 5 \cdot U_{avg}$$

Wind turbine class	I	II	III	S
V _{ref} (m/s)	50	42,5	37.5	Values specified by the designer
A I _{ref} (-)	0,16			
B I _{ref} (-)	0,14			
C I _{ref} (-)	0,12			

2-1 taula. Aerosorgailu klaseak, diseinuan aintzat hartutako haizearen ezaugarrien arabera [12].

Horrez gain, turbulentzia mota arrunta (NTM, Normal Turbulence Model) eta muturrekoa (ETM, Extreme Turbulence Model) definitzen dira. NTM kasuarako, 2-1 taulan ageri diren A, B eta C turbulentiaren karakteristikek hurrengo hau adierazten dute: 15 m/s-ko bataz besteko haizearekin turbulentzia-intentsitateak izango duen balioa. Izan ere, haize ahulagoekin TI handiagoa izaten da normalean. 2-1 taulak dioenez, A da haize turbulentoenei dagokien karakteristika, eta C turbulentzia-maila txikienei dagokiena 2-7 irudiko grafikoak turbulentzia-karakteristika bakoitza definitzen duten TI- U_{avg} kurbak erakusten ditu.



2-7 irudia. Turbulentiaren karakteristika (A, B eta C): TI vs. U_{avg} (NTM turbulentzia) [12].

Haizearen profil bertikala modelizatzeko lege potentziala lehenesten da, α -ren balio estandarra 0,2 izanik [12]. Bestalde, turbulentiaren "Kaimal" ereduak aipatzen da. Eredu horretan, haizearen osagai axialaren desbiderapen tipikoak honako balioa du [12]:

$$\sigma_1 = I_{ref} \cdot (0,75 \cdot U_{avg} + 5,6)$$

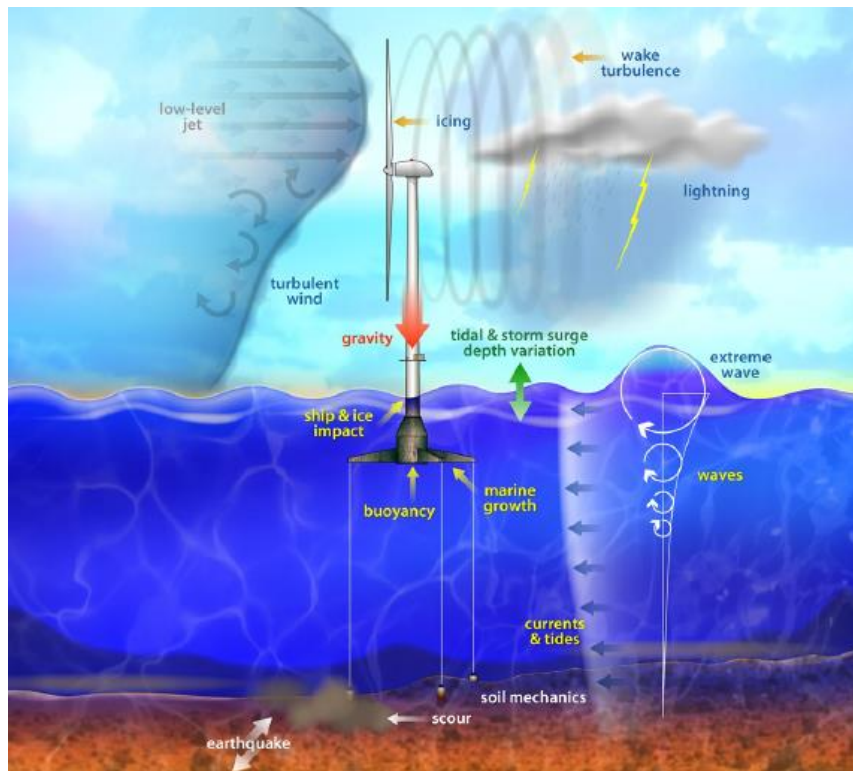
2.1.4.2. IEC 61400-3-2 estandarra: FOWT turbinentzako diseinu-baldintzak

Estandar hau honako baldintzak betetzen dituzten FOWT egiturentzako aplikagarria da [11]:

- HAWT motako turbina bakar bat
- Pertsonarik ez operatu bitartean
- Masta, TLP, erdi-urperagarria edo plataforma hibridoa

Bestelako kasuetan (ardatz bertikaleko turbinak, plataforma turbina-anitzak, aerosorgailu eta olatu-energia bihurtailuen konbinaketa, etab.) eskakizun gehigarriak bete beharko dira.

Kanpo-baldintzei dagokienez, olatuak, korrontea eta aktibitate sismikoa kontuan hartzen ditu, beste batzuen artean [11]. Haize boladak ere definitzen ditu: EOG, EDC eta ECD.



2-8 irudia. IEC 61400-3-2 arauak aurreikusten dituen kanpo-eragileak [11].

2.2. FAST

FAST (Fatigue, Aerodynamics, Structures and Turbulence) aerosorgailuen portaera denbora-eremuan simulatzeko gai den CAE (Computer Aided Engineering) tresna da. Bi edo hiru palako HAWT turbinentzako da baliagarria. FASTen garatzailea NREL (National Renewable Energy Laboratory) da, AEBko energia berri-erakundeak. 2017an *OpenFAST* atara zuen NRELe, FASTen kode-irekiko software-seriea. Alabaina, lan honetarako FAST_v8.16 bertsioa erabili da, serie zaharreko azkena.

FASTen lehen bertsioak kalkulu aero-elastikoak egiten zituen; beste hitz batzuetan, aerodinamika eta turbinaren egituraren propietate mekanikoak kontuan hartzen zituen, turbinaren erantzun dinamikoak, alegia, egiturak jasandako kargak eta deformazioak, kalkulatzeko. FAST_v8.16 bertsioak, aurreko kalkulu horietan oinarritzen bada ere, aukera zabalagoa eskaintzen du. Besteak beste, aerosorgailuaren kontrola, karga hidrodinamikoak ("offshore" turbinentzako), azpi-egituraren dinamikak ("onshore" edo itsas hondora finkatutako "offshore" modalitateentzako) eta ainguratze-sistemaren dinamikak ("offshore" flotatzaileentzako) inplementa daitezke.

FASTen ezaugarrietako bat simulaziorako baldintzak zehazteko ematen duen abagune izugarri zabala da: parametro aerodinamiko eta hidrodinamikoak, aerosorgailuaren egiturari dagozkion propietate geometriko eta mekanikoak, kontrol-sistema ere nahieran konfiguratzeko parada, etab. Simulazioaren emaitza-aldagaiak ere asko eta anitzak dira, nahiz eta gehienak egituraren mekanikari dagozkion. Gainera, simulatu aurretik, posible da irteera-aldagaiak zein izango diren zehaztea.

Aukera sorta horrek guztiak hainbat ezagutza arlo barneratzen badu ere, atal honek FASTen oinarritzko erabilerarako funtsezkoak diren kontzeptuak azaltzea du xede.

2.2.1. Orokortasunak

Hasteko, esan behar da *FAST* sistema eragilearen kontsolan, interfaze grafikorik gabe, exekutatzen den programa dela.

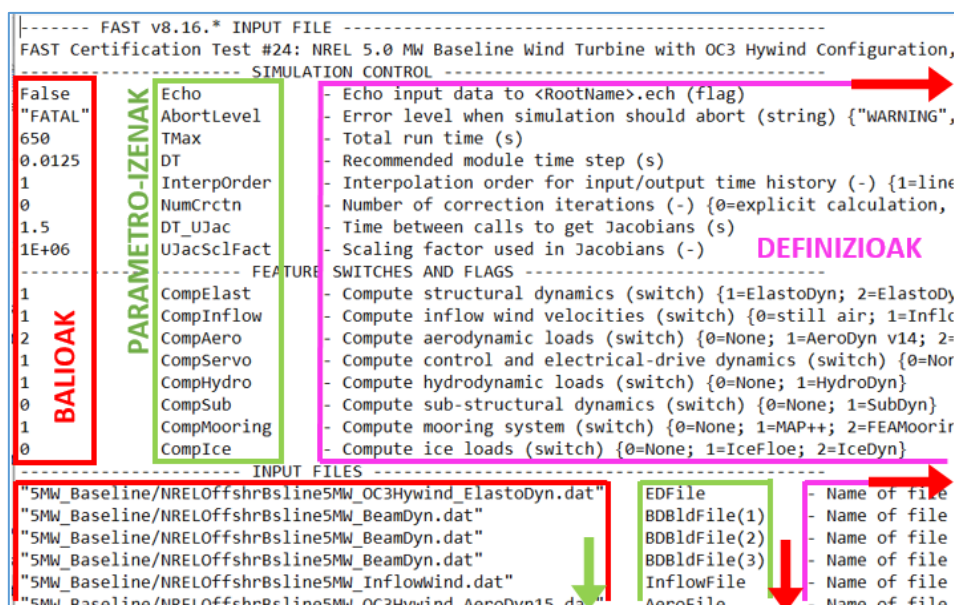
Oinarritzko erabileran, sarrera-parametroak testu motako fitxategi jakin batzuetan zehaztu behar dira eta, ondoren, kontsolatik *FAST* aplikazioari dei egin. Egikaritu bitartean, *FAST*ek mezu batzuk inprimatuko ditu kontsolan; baina ez dira emaitzak, exekuzioaren nondik norakoak baizik. Emaitzak irteera-fitxategi batean edo batzuetan deskargatzen ditu, testu motako fitxategi irakurgarriak edota eduki bitarra dutenak (sarrera-parametro batean zehaztu behar da emaitza-fitxategiaren formatua).

Emaitza horiek aztertzeko bestelako tresnak erabiltzen dira. Irteera-parametro bakoitza denbora eremuko serie bat izanik, ohikoa da *Matlab* edo *Octave* gisako aplikazioekin matrize numeriko handi bat sortzea: errenkada bakoitza aldiune bat izango da, eta zutabe bakoitzean irteera-aldagaietako bati dagozkion zenbakizko balioak egongo dira. *FAST*en irteera-fitxategietatik aldagai bakoitzari dagokion unitatea lor daiteke. 2-9 irudian ikus daiteke emaitzen matrizearen zati bat, aldagaien izenekin eta unitateekin batera. Emaitzen analisia denbora eremuko grafikoekin egiten da.

	1	2	3	4	5	6
1	Time	Wind1VelX	Wind1VelY	Wind1VelZ	BldPitch1	BldPitch2
	ALDAGAI-IZENAK					
	Units					
	1x105 cell					
	UNITATEAK					
	1	2	3	4	5	6
	(s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(deg)	(deg)
	Channels					
	14401x105 double					
	BALIOAK					
	1	2	3	4	5	6
1	0	27.1981	-0.0965	-1.4336	0	0
2	0.0125	27.3926	-5.2897e-05	-1.5281	0	0
3	0.0250	27.5906	-0.2229	-1.1346	0	0
4	0.0375	27.7886	-0.4458	-0.7412	0	0
5	0.0500	27.9862	-0.6687	-0.3477	0	0
6	0.0625	28.1677	-0.8873	0.0126	0	0
7	0.0750	28.1519	-1.0546	-0.0257	0	0
8	0.0875	28.1357	-1.2222	-0.0642	0	0
9	0.1000	28.1198	-1.3895	-0.1026	0	0
10	0.1125	28.1052	-1.5427	-0.1051	0	0

2-9 irudia. Irteera-aldagaien matrizearen adibidea *Matlab*-en.

Beste alde batetik, *FAST*en funtzionamendua moduluetan oinarritzen da. Modulu bakoitza arlo batez arduratzen da (haizea, aerodinamika, egitura, hidrodinamika, kontrola eta potentzia-sorkuntza, etab.), eta bere sarrera-fitxategia du. Gai honetan 2.2.3 azpiatalean gehiago sakonduko bada ere, azpimarratu behar da moduluen arteko elkarrekintza dagoela simulazioaren iterazio guztietan. Elkarrekintza hori ahalbidetzeko, driver-modulu bat dago, modulu nagusia (*FAST*en garuna dela esan daiteke). Honek ere sarrera-fitxategi propioa du (sarrera-fitxategi nagusia edo driver-fitxategia hemendik aurrera), eta haren zati bat 2-10 irudian erakusten da.



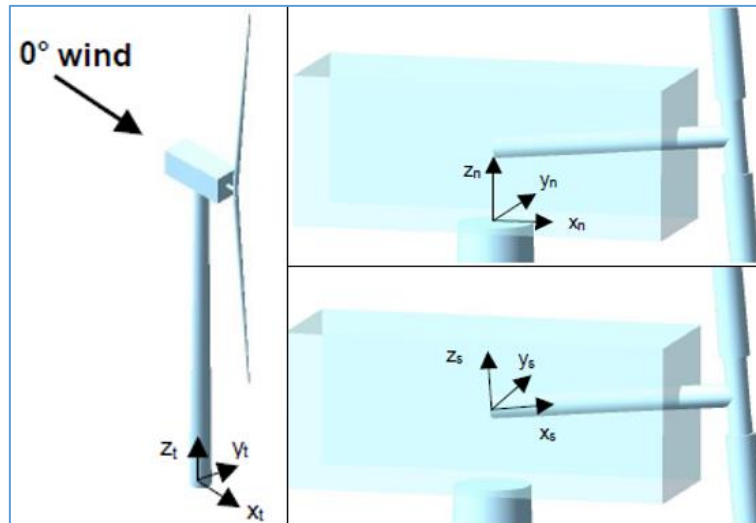
2-10 irudia. FAST driverraren sarrera-fitxategiaren hasiera.

2.2.1.1. Koordinatu sistemak

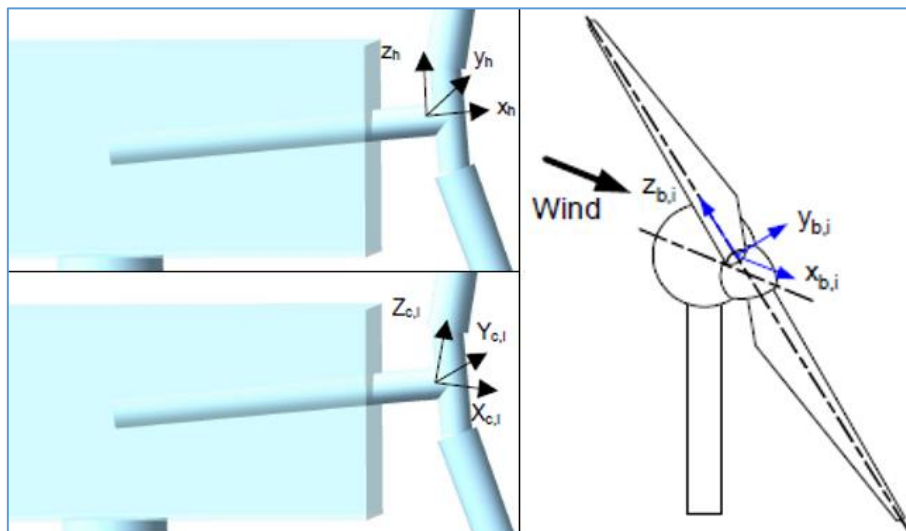
Funtsezko beste kontzeptu bat koordinatu sistemei dagokiona da. Irteera-aldagai asko bektorialak izan arren, parametroetan moduluak baino ez dira ageri. Horrek esan nahi du erabiltzaileak jakin behar duela aldagai bakoitzaren balioari zein norabide, noranzko eta, kasu batzuetan, zein jatorri dagokion.

Kontua da FASTek koordinatu sistema bat baino gehiago erabiltzen duela. Horietako bat inertziala da: turbinaren oinarri-plataformak hasieran duen posizioan du jatorria; x ardatza haize-atzerantz (haizearen norabidea 0° denean); y ardatza, haize-atzera begiratzuz, ezkerraldera; z ardatza guztiz bertikala; eta ez da inongo elementurekin batera higitzen. Harekiko ematen dira, esaterako, plataformaren desplazamenduak. Beste koordinatu sistemek egituraren puntu edo elementu jakinetan dute jatorria, eta horiekin batera higitzen dira (traslazioa zein biraketa). Haien artean bereizteko, sistema bakoitza letra batekin adierazten da; horrela, adibide bat ematearren, "xi" (edo "xi") norabidea erreferentzia-sistema inertzialaren x ardatza izango da.

Koordinatu sistema batzuk IEC 61400 estandarretan zehaztutakoekin bat datoz [9], dorrearen oinarrikoa (t), gondolaren yaw ardatzekoa (n), abatzekoa (h) eta paletakoak (b1, b2 eta b3). Gainerakoen artean daude dorrearen goi-muturreko koordinatu sistema (p), ardatzekoa (s), azimutala (a), konoetakoak (c1, c2 eta c3) eta aurrez definituriko koordinatu sistema inertziala (i). Horietako batzuk 2-11 eta 2-12 irudietan erakusten dira. Kontuan izan behar da irudiok haize-atzera orientatutako bi paladun turbina baten kasurako ematen direla.



2-11 irudia. Koordinatu sistemak (1) – Ezkerrean, dorrearen oinarrikoa (t); goian, gondolaren yaw ardatzekoa (n); behean, ardatzekoa (s) [9].



2-12 irudia. Koordinatu sistemak (2) – Goian, abatzekoa (h); behean, konoetako bat (c1); eskuinean, pala batekoa (b,i) [9].

Koordinatu sistemen inguruko informazio xehetuagoa [9] erreferentzian dago. Dokumentu horretan bertan, hainbat moduluren sarrera-parametroen deskribapenak, eta egituraren karga eta desplazamenduei dagozkien irteera-parametroen zehaztapenak ere kontsulta daitezke. Irteera-parametroen kasuan, dagokien erreferentzia-sistema eta ardatza zehaztuta daude hala behar denean. Lan honetarako egin diren simulazioetako irteera-aldagaien zehaztapenak II. eranskinean (*Aktibatutako irteera-aldagaiak*) daude.

2.2.1.2. Baliozkotzea

FAST aerosorgailuen portaera aurreikusteko erabiltzen da, baina aurreikuspen hori egokia izateko, FASTen kodea aurrez baliozkotu behar izan da. Horretarako, NRELe ADAMS® erabili izan du sarritan [1]. ADAMS (Automatic Dynamic Analysis of Mechanical Systems) haize-turbinak simulatzeko konfiguratu daitezkeen kode komertziala da. FASTen eta ADAMSen emaitzak hainbat turbinarekin alderatuz ateratako ondorioek FASTen kodea hobetzeko balio izan dute.

Gainera, NRELe eta aerosorgailuen zertifikatzaile nagusiak, Germanischer Lloyd WindEnergie GmbH-k, haien kodeak elkarren artean alderatu zituzten [1]. Zertifikazio-enpresak baieztatu zuen FAST onargarria dela lurreko aerosorgailuak zertifikatzeko.

Bestalde, FAST_v8.16 deskargatzean, deskarga-karpetan turbina txiki, ertain eta handiekin egindako zenbait probaren sarrera-fitxategiak daude. Test horiek baldintza oso desberdinekin burutu izan dira, balizko funtzionamendu akatsak simulatuz, adibidez. Izan ere, IEC 61400 serieko estandarrek zehazten dituzten eskakizun batzuk akats ezberdinen kasu hipotetikoaren eremuan sartzen dira.

Azkenik, balidazio-proba interesgarri bat: aerosorgailu flotatzaile baten olatu-andeleko esperimentuak eta FASTen metodo numerikoak aurrez aurre. Datu esperimentalak 2013koak dira, Herbehereetako itsas-ikerketarako institutuko (Maritim Research Institute Netherlands, MARIN) olatu-andelean hartutakoak. Proba horietan aerosorgailu flotatzaile erdi-urperagarri baten maketa erabili zen, 1:50 eskalakoa; NREL 5-MW eredu turbinaren (ikus 2.2.2 azpiatala) eskalatze geometrikoa izan ez arren, haren potentzia-, bulkada- eta pare-ezaugarriak nahiko ondo imitatzen ditu. Aurrerago, esperimentu horiek FASTen v8 bertsioarekin simulatu ziren, baldintza homologoekin, baina eskala osoan. Metodo bien arteko alderaketan, esperimentu fisikoaren eta eredu numerikoaren emaitzen arteko koherentzia "erlatiboki ona" izan zen [8].



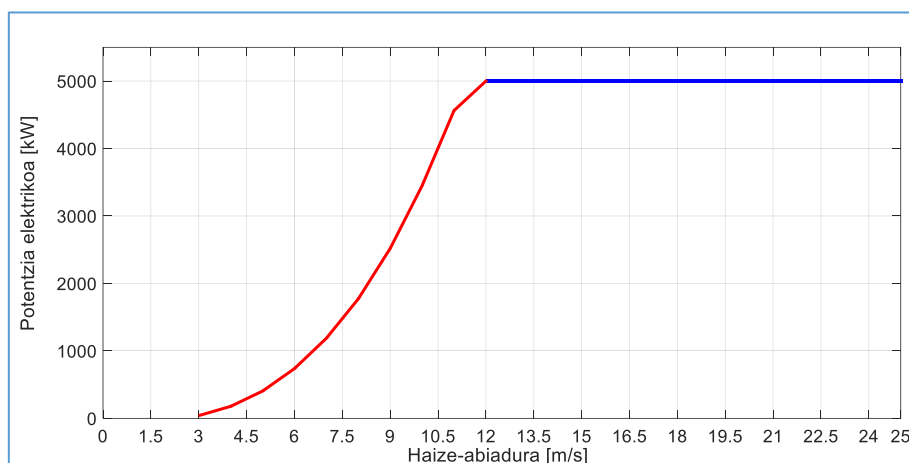
2-13 irudia. MARINeko olatu-andelean testatu zen haize-turbina erdi-urperagarriaren (DeepCwind semisubmersible) maketa [8].

2.2.2. NREL 5-MW eredu-turbina

Ikerketa errealista eta estandarizatuak egiteko helburuarekin, NRELe eta aerosorgailu handi baten zehaztapenak ezarri zituen. Turbina hau "eskala handiko lurreko zein itsasoko multi-megawatt turbinen adierazgarria eta ur sakonetan kokatzeko aproposa" da [4]. **Haize-aldera** orientatutako **hiru palako** makina honi "NREL offshore 5-MW baseline wind turbine" izena eman bazitzaion ere, NREL 5-MW gisa ezaguna da. Haren diseinua Repower 5M aerosorgailuan oinarritzen da [4], eta ezaugarri nagusiak 2-2 taulan ikusgai daude.

Aerosorgailuaren izena	NREL 5-MW
Potentzia izendatua	5 MW
Errotorearen diametroa	126 m
Abatzaren diametroa	3 m
Gondolaren altuera	90 m
Errotorearen masa	110.000 kg
Gondolaren masa	240.000 kg
Dorrearen masa	347.460 kg
Konexio haize-abiadura	3 m/s
Haize-abiadura izendatua	11.4 m/s
Deskonexio haize-abiadura	25 m/s
Errotorearen errotazio-abiadura minimoa	6.9 rpm
Errotorearen errotazio-abiadura izendatua	12.1 rpm

2-2 taula. NREL 5-MW eredu-turbinaren ezaugarri nagusiak [4].



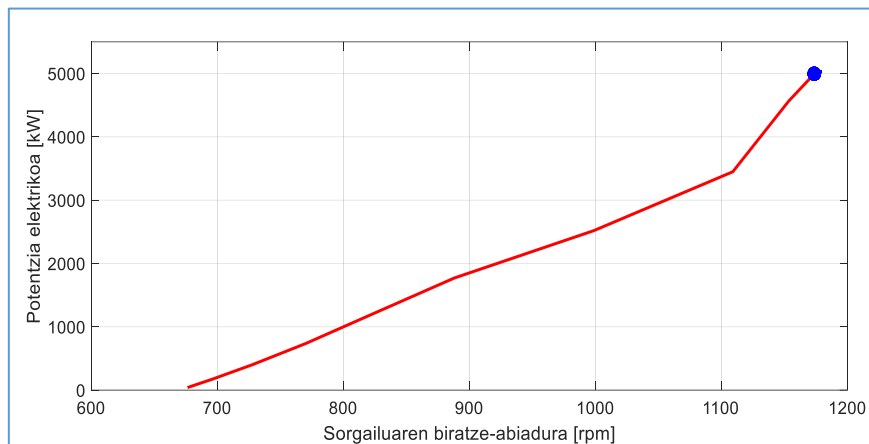
2-14 irudia. NREL 5-MW aerosorgailuaren potentzia-kurba.

FASTekin ohikoa da eredu-turbina hau simulatzea; izan ere, FAST deskargatzean, sarrera-fitxategiak haren zehaztapenekin prestatuta datoz. Gainera, sarrera-fitxategi horiek errepikatuta egoten dira, turbinaren aldaeraren arabeko konfigurazio ezberdinekin: *onshore*, *OC3 Monopile* (itsas hondoan finkatua), *OC3 Tripod* (itsas hondoan finkatua), *OC4 Jacket* (itsas hondoan finkatua), *OC4 DeepCwind Semisubmersible* (flotatzailea, erdi-urperagarria), *OC3-Hywind spar* (masta motako flotatzailea), etab. Lan honetako simulazioak ere NREL 5-MW makinarekin egin dira, hain zuzen, masta motako aldaerarekin.

2.2.2.1. Kontrola

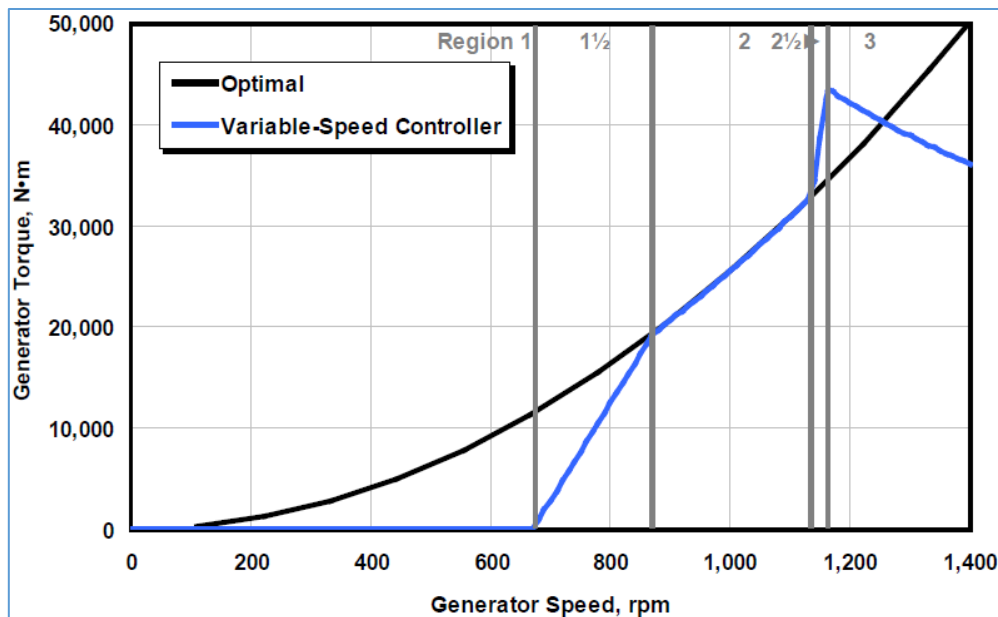
Turbina honentzako kontrol-algoritmoak ere garatu zituzten NRELen, abiadura aldakorra eta pitch-aren errgulazioa ahalbidetuz. Horrela, potentzia partzialeko operazio-eremuan, abiadura sorgailuaren pare elektromagnetikoaren kontrolak kudeatuko du; potentzia izendatuan, hiru paletan berdin eragiten duen pitch angeluaren kontroladoreak egingo du lan [4].

2-14 eta 2-15 irudietan, kontrol-algoritmo hauekin makinak dituen "potentzia vs. sorgailuaren abiadura" eta "pare elektromagnetikoa vs. sorgailuaren abiadura" ezaugarriak erakusten dira.



2-15 irudia. NREL 5-MW aerosorgailuaren P-N kurba – Gorriz, potentzia partzialeko eremua; urdinez, potentzia izendatuko eremua.

Parea eta abiadura erlazionatzen dituen grafikoan operazio-eremu xehetuak bereizten dira; 2 eremua, λ optimoko funtzionamenduari dagokiona da, zeinetan aerosorgailuaren eraginkortasuna ahalik eta handiena den; 3 eremua, berriz, potentzia izendatuko eremua da, non pitch angeluaren kontrolak irteerako potentzia elektrikoa 5 MW-etara mugatzen duen. 1 ½ eta 2 ½ eremuak trantsizio-tarteak dira.

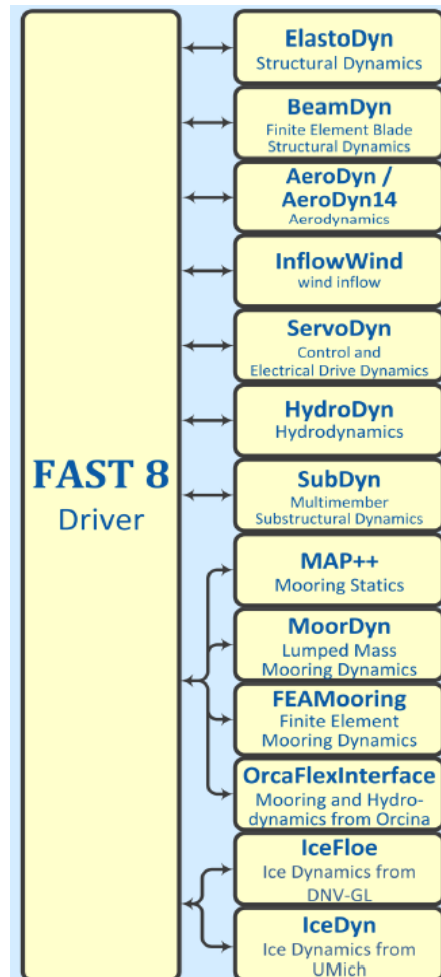


2-16 irudia. NREL 5-MW aerosorgailuaren T_E -N kurba [4].

Hala ere, kontrol-sistema hau oinarritzkoa da. Haren kodea FASTekin batera deskargatzen den ".dll" motako fitxategi batean dagoenez, simulazioetan inplementatzeko erraza da. Lan honetan burututako simulazioetan ere kode hori erabili da, masta motako OC3-Hywind spar aldaerarentzako egokitzapen batzuekin: "DISCON_OC3Hywind_x64.dll" fitxategia.

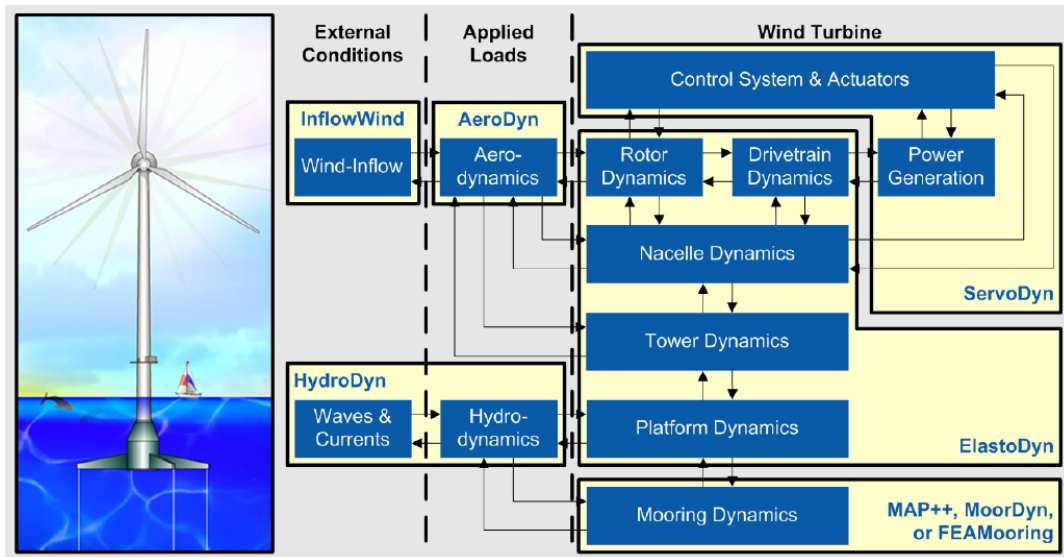
2.2.3. FAST_v8.16 bertsioa

Arestian aipatu denez, FASTen barruan hainbat modulu dago alor ezberdinetako baldintzak eta dinamika maneiatzeko. Alor horietako batzuetan, modulu bat baino gehiago dago aukeran (sarrera-fitxategi nagusian zehazten da zeintzuk erabiliko diren); ainguratze-ekipoa, adibidez, *MAP++*, *MoorDyn*, *FEAMooring* edo *OrcaFlex*-en esku utz daiteke. Bertsio honetan erabil daitezkeen moduluak 2-17 irudiko eskeman ageri dira.



2-17 irudia. FAST_v8.16-ren moduluak [15].

FAST aerosorgailu flotatzaileak simulatzeko konfiguratzeko denean, moduluen arteko harremana 2-18 irudikoa da, moduluen artean beti driverra sartzen dela ahaztu gabe. Gainera, modulu bakoitzak jorratzen dituen arloak ere erakusten dira. Irudiak agerian uzten du *ElastoDyn*-en garrantzia; azken batean, ainguratzea kanpo utzita, egitura osoaren dinamika arduratzen da. Irteera-aldagai gehienak ere *ElastoDyn* moduluarenak dira.



2-18 irudia. Moduluen arteko elkarrekintzaren eskema FOWT aerosorgailuak simulatzeko [15].

Bestalde, aurrez aipatu da sarrera-fitxategiak testu motakoak direla. Haatik, ".dat" luzapena daukate ohiko ".txt" beharrean. Salbuespen gisa, driver-fitxategiaren luzapena ".fst" da.

4. eta 5. kapituluetan jorratuko diren saiakuntzetan NREL 5-MW turbinaren OC3-Hywind Spar aldaera simulatu da, 2-3 taulako modulu-konfigurazioarekin:

Arloa	Modulua
Driverra	
Egitura-dinamikak	ElastoDyn
Aerodinamika	AeroDyn v15
Haizea	InflowWind
Kontrola eta transmisio elektrikoa	ServoDyn
Hidrodinamika	HydroDyn
Ainguratze-sistema	MAP++

2-3 taula. Lan honetako simulazioetan erabilitako modulu-konfigurazioa.

Ondorengo azpiataletan, 2-3 taulako moduluen azalpen xumea ematen da. Batez ere, beste moduluekin izan dezaketen harremana eta sarrera-fitxategiko parametro garrantzitsuenak aipatuko dira.

2.2.3.1. Driverra

Esan bezala, driverra FASTen garuna da, moduluen arteko elkarrekintza zuzentzen duena. Haren sarrera-fitxategia OC3-Hywind Spar turbina-aldaerarentzako prestatuta dagoen "OC3_Hywind.fst" da. Bertan, simulazioaren kontrolerako parametroak dira nagusi:

Alde batetik, simulazioaren iraupena eta iterazio batetik besterako denbora-tartea. Bestetik, eremu bakoitzerako erabiliko den modulua zehazten duten "switch" motako aldagaiak daude. "Switch" aldagaien aukerako balioak zenbaki arruntak izan ohi dira, baina zenbaki horiez haratago dagoen informazioa ematen dute. Moduluak zehazteko "switch"-

en kasu honetan, adibidez, *CompHydro* aldagaiak 0 edo 1 balioa hartu ahalko du; 0-k esan nahi du ez dela hidrodinamikarik aplikatuko, hots, lurreko aerosorgailua simulatuko dela; 1-ek esan nahi du hidrodinamika eta kanpo-baldintza hidrodinamikoak (olatuak eta korrontea) *HydroDyn* moduluak maneiatuko dituela.

Beste aldagai garrantzitsu batzuk moduluen sarrera-fitxategiak dira. Hauek komatxo arteko testua daukate barruan, bakoitzari dagokion moduluen sarrera-fitxategiaren helbide erlatiboa (driver-fitxategiaren kokapenetik abiatuta, ordenagailuan daukaten helbidea) eta izen osoa barneratzen duen karaktere-katea. 2-19 irudian fitxategiaren atal hau erakusten da; ikusten denez, erabiliko ez diren modulueta "unused" adieraz daiteke.

----- INPUT FILES -----		
"5MW_Baseline/NRELOffshrBsline5MW_OC3Hywind_ElastoDyn.dat"	EDFile	- Name of file containing ElastoDyn input parameters (q
"unused"	BDBldFile(1)	- Name of file containing BeamDyn input parameters for
"unused"	BDBldFile(2)	- Name of file containing BeamDyn input parameters for
"unused"	BDBldFile(3)	- Name of file containing BeamDyn input parameters for
"5MW_Baseline/NRELOffshrBsline5MW_InflowWind.dat"	InflowFile	- Name of file containing inflow wind input parameters
"5MW_Baseline/NRELOffshrBsline5MW_OC3Hywind_AeroDyn15.dat"	AeroFile	- Name of file containing aerodynamic input parameters
"5MW_Baseline/NRELOffshrBsline5MW_OC3Hywind_ServoDyn.dat"	ServoFile	- Name of file containing control and electrical-drive
"5MW_Baseline/NRELOffshrBsline5MW_OC3Hywind_HydroDyn.dat"	HydroFile	- Name of file containing hydrodynamic input parameters
"unused"	SubFile	- Name of file containing sub-structural input paramete
"5MW_Baseline/NRELOffshrBsline5MW_OC3Hywind_MAP.dat"	MooringFile	- Name of file containing mooring system input paramete
"unused"	IceFile	- Name of file containing ice input parameters (quoted

2-19 irudia. "OC3_Hywind.fst" driver-fitxategiko parametroak gainerako sarrera-fitxategiak zehazteko.

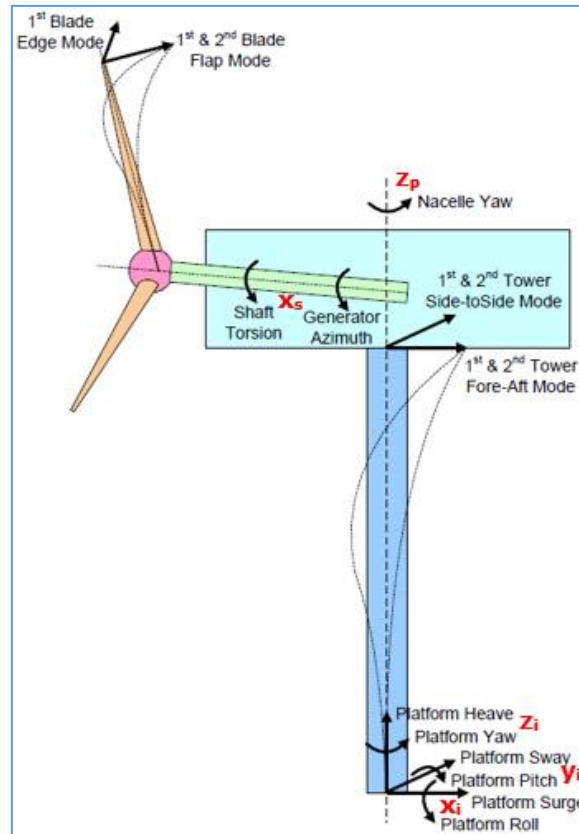
Irteera-fitxategiei buruzko aldagai batzuk ere badaude, besteak beste, emaitza-fitxategiaren formatua zehazteko "switch"-a (".out" formatu irakurgarria, ".outb" bitarra edo formatu bietako fitxategiak) eta ".sum" luzapeneko laburpen-fitxategia sortzeko "flag" aldagaia. "Flag"-ek "True" edo "False" aukerak baino ez dauzkate.

Azkenik, linealizazio bidezko analisia egiteko eta VTK bisualizaziorako aukerak daude. Lan honetan ez dira aukera horiek jorratuko. Driver-fitxategi honen sarrera-parametro guztiei buruzko informazio xehetua [15] erreferentzian kontsulta daiteke.

2.2.3.2. ElastoDyn

2-18 irudian erakutsi den bezala, *ElastoDyn* egituraren dinamikaz arduratzen da, plataformaz, dorreaz, gondolaz, errotoreaz eta transmisio-sistemaz. Horregatik, harreman estua du beste modulu gehienekin: aerodinamikak eta kontrol-sistemak errotorearen dinamikan eragiten dute, eta errotoreak ere horiengan eragina du; eragile hidrodinamikoan, ainguratze-egituraren dinamikaren eta plataformaren artean ere etengabeko elkarreragina dago.

Haren sarrera-fitxategia ere *OC3-Hywind* aldaerarentzako espezifikoa da ("NRELOffshrBsline5MW_OC3Hywind_ElastoDyn.dat"). Izan ere, parametro asko egituraren propietate geometriko eta mekanikoei dagozkie, eta hor sartzen dira, hain zuzen, plataformaren masa, masa-zentroaren posizioa eta inertzia-momentuak; horien balioak ez dira berdinak izango masta motako aldaerarentzat eta, esaterako, TLP motakoarentzat. Parametro geometriko eta mekaniko horiek guztiek edozein aerosorgailuren egitura simulatzea ahalbidetzen dute, erabiltzaileak parametroen balioak ezagutuz gero.



2-20 irudia. Askatasun graduak (plataformarenak, gondolarena eta ardatzenak) eta makurdura moduak (dorrea eta palak) [13].

Garrantzitsuak diren beste aldagai batzuk hasierako baldintzak (hainbat elementuren deformazioak, desplazamendu erlatiboak edo abiadurak simulazioa hasten den aldiunean) eta askatasun graduak dira. Azken hauek, egituraren zenbait elementuren deformazioa edo desplazamendua baimentzen edo ukatzen dute kasuan kasuko norabidean. 2-20 irudian erakusten dira grafikoki askatasun graduetako batzuk. Lan honetako simulazioetan, hiru palako turbinengan eragina duten askatasun gradu guztiak baimendu dira.

Fitxategiaren amaieran, *ElastoDyn*-i dagozkion irteera-parametroen zerrenda dago. Zerrenda hori alda daiteke, erabiltzaileak nahi dituen irteerak bakarrik aktibatzeko.

2.2.3.3. AeroDyn v15

AeroDyn-ek zehaztuko du haizeak (kanpo-baldintza) egituraren elementu batzuegan (errotorea, dorrea eta gondola) nola eragiten duen. Sarrera-fitxategiak (lan honetako simulazioetan "*NRELOffshrbaseline5MW_OC3Hywind_AeroDyn15.dat*" erabili da) aukera ematen du aerodinamika sinplifikatuak edo konplexuagoak erabiltzeko. Adibidez, errotorearen atzeko lorratz birakaria edota zuzenean dorrearengan eragiten duten karga aerodinamikoak arbuia daitezke.

Sarrera-fitxategiko beste parametro batzuek airearen propietateak zehazteko balio dute. Horien artean daude dentsitatea eta biskositate zinetikoa. Palen propietateak eta profil aerodinamikoak zehazteko, kanpo-fitxategien helbide eta izenak dituzten parametroak daude. Azken aldagaia irteera-parametroen zerrenda da.

Fitxategi honetako sarrera-parametro guztiei buruzko informazio xehetua [2] erreferentzian kontsulta daiteke.

2.2.3.4. InflowWind

Modulu honek aerosorgailuari eragiten dion haizearen abiadurak pasatzen dizkio *AeroDyn*-i, horrek kalkulu aerodinamikoak egin ditzan aerosorgailuaren egitura-elementuetan. Haizea errotore-planoko sare gisa ulertu behar da, sare-begi edo nodo bakoitzean haizeak duen abiadura baita iterazio bakoitzean prozesatzen den informazioa. Gero, *AeroDyn*-ek egin beharreko interpolaketak egingo ditu. Hitz gutxitan esanda, haize-abiadurek matrize bat osatzen dute, simulazioaren iterazio bakoitzean berrizten dena.

Haize mota da gakoa; horren arabera, matrize hori zuzenean *InflowWind*-ek sortuko du, edo beste fitxategi batetik inportatuko du. Erabili nahi den haize mota sarrera-fitxategian aukeratu behar da ("*NRELOffshrBslne5MW_InflowWind.dat*", ez da *OC3-Hywind* aldaerarentzako espezifikoa), "switch" aldagai batekin.

Aukera nagusiak haize konstantea, haize uniformea edo haize turbulentoa dira. Lehen kasuan, matrizea *InflowWind*-ek sortzen du, eta iterazio guztietan matrize berbera erabiliko da. Bigarrenean, abiadurak balio bera izango du sare-begi guztietan, eta datuak ".hh" formatuko haize-fitxategi batetik inportatuko dira. hirugarren kasua bikoitza da, datuak ".bts" edo ".wnd" formatuko fitxategi batetik inportatuko diren aukeratu behar baita. Haize-turbulentoek dagozkien fitxategiak *TurbSim* programarekin sortzen dira (ikus 2.2.4 azpiatala).

InflowWind sarrera-fitxategiaren parametro asko aukera horien araberrakoa dira (aukeratutako haize motaren arabera, parametro batzuek baino ez dute eraginik izango). Azken aldagaia, berriro ere, irteera-parametroen zerrenda zehazteko da.

2.2.3.5. ServoDyn

Modulu hau turbinaren sorgailuaz eta kontrol-sistemaz arduratzen da. Kontrolak harreman zuzena du errotorearekin (*ElastoDyn*), sorgailuarekin eta gondolarekin (*ElastoDyn*); sorgailuak, aldiz, kontrol-sistemarekin eta transmisio-sistemarekin (*ElastoDyn*).

Sarrera-fitxategian, kontrol motak zehazteko "switch" parametro batzuk daude. Palen pitch angleua, sorgailua, ardatz azkarraren galga eta gondolaren yaw angelua dira kontrolatu beharreko elementuak edo aldagaiak (posible da kontrolak desaktibatzea). 2.2.1 azpiatalean aipatu bezala, lan honetan ".dll" fitxategi bat erabiliko da kontrol-algoritmoentzako. Aukeretariko bat, hain zuzen, kontrol-sistema horrelako fitxategietatik inportatzea da. Hautu hori egitean, nahikoa da beste aldagai batean ".dll" fitxategiaren helbidea eta izena zehaztea. Lan honetarako erabili den sarrera-fitxategia *OC3-Hywind* aldaerarentzako espezifikoa da, eta "*NRELOffshrBslne5MW_OC3Hywind_ServoDyn.dat*" izena du.

Azken sarrera-aldagaia, aurreko kasuetan bezalaxe, irteera-parametroen zerrenda zehazteko da.

2.2.3.6. HydroDyn

HydroDyn-ek, alde batetik, itsasoko kanpo-baldintzak (olatuak eta korrontea) sortzen ditu; bestetik, urpeko egiturari (plataforma eta ainguratzeko-sistema) eragiten dioten karga hidrodinamikoak kalkulatzeko ditu. Hortaz, elementu horiekin harreman zuzena du.

Sarrera-fitxategian plataformaren propietate hidrodinamikoak zehazten direnez, lan hontako saiakuntzetan *OC3-Hywind Spar* plataformarentzat espezifikoa den fitxategia

erabili da, "NRELOffshrBslne5MW_OC3Hywind_HydroDyn.dat" izenekoa. Bertan, lehen parametroak uraren dentsitatea eta itsas hondoaren sakonera zehazteko dira.

Olatuei dagokienez, "switch" parametro batekin olatu-modua aukeratzen da (olaturik ez, erregularrak edo irregularrak). Olatuen altuera eta periodoa (olatu irregularren kasuan, altueraifikantea eta periodo pikoa) eta, olatu irregularrentzako, γ forma-faktorea zehaztu daitezke. Olatuen norabideari dagozkion parametro batzuk ere badaude. Horrez gain, posible da 2. ordenako olatuak gehitzea.

Bestalde, korronea gehitu daiteke, 2.1.2 azpiatalean azaldu diren eredueta bati jarraituz edo eredu horiek gainezarriz. Eredu bakoitzari dagokion norabidea eta gainazaleko abiadura zehaztuko dira (eredu bati, adibidez, linealari, dagokion gainazaleko abiadura "0" izateak, eredu lineal hori baztertzea dakar). Korronea gaitzeko edo desgaitzeko "switch" motako parametro bat dago.

Fitxategiaren amaieran, parametro hidrodinamiko guztien ondoren, irteera-parametroen zerrenda dago. Aipatu diren eta ez diren sarrera-parametroei buruzko xehetasunak [10] erreferentzian kontsulta daitezke.

2.2.3.7. MAP++

MAP++ ainguratze-ekipoaz arduratzen diren modulueta sinpleena da. Sistemaren estatika simulatzen du, eta zuzeneko hartu-emaña dauka *HydroDyn*-ekin (kargak) eta *ElastoDyn*-ekin (plataforma).

Aingura-lerroen dimentsio eta propietateak plataformaren aldaeraren arabera direnez, sarrera-fitxategi espezifikoak dago masta motako plataformarentzat: "NRELOffshrBslne5MW_OC3Hywind_MAP". Fitxategi laburra da: aingura-lerro baten propietateak zehaztean dira eta, bukaeran, 120° eta 240°-ko desfaseei dagozkien posizioetan datu berberak errepikatzeko agindua ematen da (2-21 irudia). Hartara, masta motako plataformak simetria erradiala betetzen duten hiru aingura-lerro dituela ulertzen da.

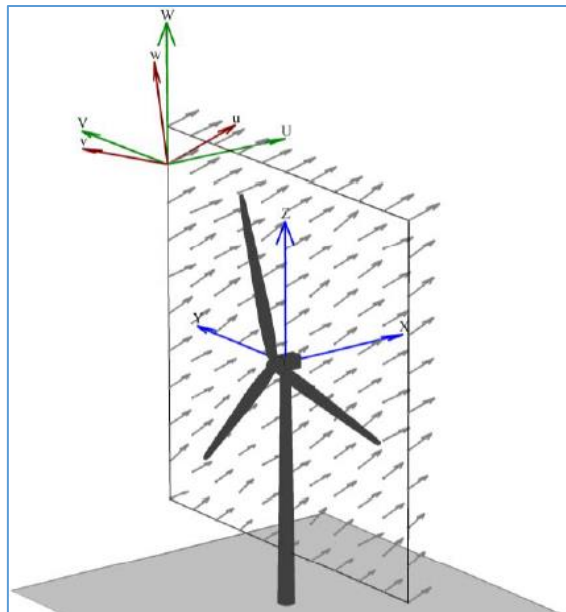
LINE DICTIONARY									
LineType	Diam	MassDenInAir	EA	CB	CIntDamp	Ca	Cdn	Cdt	
(-)	(m)	(kg/m)	(N)	(-)	(Pa-s)	(-)	(-)	(-)	
Material	0.09	77.7066	384.243E6	0.001	1.0E8	0.6	-1.0	0.05	
NODE PROPERTIES									
Node	Type	X	Y	Z	M	B	FX	FY	FZ
(-)	(-)	(m)	(m)	(m)	(kg)	(m^3)	(N)	(N)	(N)
1	fix	853.87	0	depth	0	0	#	#	#
2	Vessel	5.2	0	-70.0	0	0	#	#	#
LINE PROPERTIES									
Line	LineType	UnstrLen	NodeAnch	NodeFair	Flags				
(-)	(-)	(m)	(-)	(-)	(-)				
1	Material	902.2	1	2	tension_fair tension_anch				
SOLVER OPTIONS									
Option									
(-)									
repeat 240 120									

2-21 irudia. "NRELOffshrBslne5MW_OC3Hywind_MAP" sarrera-fitxategia.

2-21 irudian ikusten denez, linearen propietate fisiko, mekaniko eta hidrodinamikoak, eta finkapenei dagozkien posizioak zehazten dira sarrera-fitxategian.

2.2.4. TurbSim

TurbSim haize estokastikoa (tubulentoa) sortzeko programa da. *FAST*en simulatzeko, *InflowWind* moduluak karga ditzakeen haize-fitxategiak sortzen ditu. Modelo estatistikoki bat erabiliz, haize-abiaduraren hiru osagai bektorialen denbora-seriea numerikoki simulatzen du [17]. Osagai bektorial bakoitzarentzat bi dimentsioko sare bertikal eta laukizuzen bat osatzen da, eta sare-begi edo nodo bakoitzari abiadura-datu bat dagokio. Orduan, aldiune bakoitzerako hiru sare, matrizeak, sortzen ditu *TurbSim*-ek, eta sare horiek aldiune batetik bestera aldatzen dira. Aldiuneen arteko tarteak (denbora-pausoa) ez du zertan *FAST* simulazioak edukiko duena izan, *InflowWind*-ek interpolaketak egingo baititu hala behar denean.



2-22 irudia. TurbSim-en haize-sare posible bat. Batezbesteko desbiderapenak: 15° (horizontala) eta 8° (bertikala) [17].

TurbSim-ek zenbait formatutan sor ditzake haize-fitxategiak, horien artean, ".bts", ".wnd" eta ".hh". 2.2.3.4 azpiatalean (*InflowWind*) esan denez, ".hh" fitxategiek haize uniforme adierazten dute; beraz, nodo bakar bateko datuak baino ez dituzte, sarearen erdigunekoak.

Sarearen neurriak, dimentsio bakoitzeko nodo-kopurua, haize-abiaduren ezaugarri estatistikokiak, sortuko diren haize-fitxategi motak, etab. sarrera-fitxategi bateko parametroetan zehaztu behar dira. Fitxategi hori, "*TurbSim.inp*", *FAST*en gainerako sarrera-fitxategien tankerakoa da.

Beste sarrera-parametro batzuk simulazioaren iraupena eta denbora-pausoa dira. Sarearen erdigunearen altuera ere, abatzen altuera gisa interpretatzen dena, zehaztu behar da, eta baita batezbesteko haizearen angeluak (horizontala eta bertikala) ere.

Parametro estatistikoei dagokienez, oinarritzkoenak erreferentzia-altuera eta altuera horretako batezbesteko haize-abiadura dira. Normalki, erreferentzia-altuera eta sarearen erdigunearena berdinak izango dira, baina ez da derrigorrezkoa. Turbulentziaren espektro-eredua ere aukera daiteke. IEC 61400 estandar-serieak onartzen dituen "Kaimal" edo "von Karman" espektroak aukeratzen badira, 2.1.4.1 azpiatalean azaldutako turbulentziaren karakteristika (A, B edo C) eta turbulentzia mota (NTM, ETM edo beste batzuk) zehaztu ahalko dira. Bestelako espektroak aukeratuz gero, "Non-IEC Meteorological Boundary Conditions" ataleko parametroak zehaztu beharko dira.

Nolanahi ere, edozein espektro-eredu hartuta, profil bertikal mota aukeratu behar da, eta dagokion kasuan, lurzoruaren zimurdura edo berretzaile potetziala zehaztu. Parametro guztiei buruzko informazio xehetua [17] erreferentzian kontsulta daiteke.

3. MATLAB / OCTAVE BIDEZ FAST KONFIGURATU, EXEKUTATU ETA EMAITZAK ANALIZATU

Lan honen aurreneko zeregina zera izan da: simulazioak modu azkar eta dinamikoan prestatu eta analizatzea ahalbidetuko duen script eta programa multzoa idaztea. M lengoaiarekin programatu da, FASTekin *Matlab* zein *Octave* inguruneetan lan egin ahal izateko.

Guztien artean, script nagusi bat dago, "*OC3HyWind.m*" izenekoa, eta bertako komandoak egikaritzuz kontrolatuko dira simulazioak: lehenik, sarrera-fitxategiak konfiguratu; jarraian, FAST exekutatu, hots, simulazioa abiarazi; gero, simulazioaren emaitzak irakurri, ordenatu eta gorde; bukatzeko, oinarritzko grafikoak irudikatu eta gorde. Sortu diren programetarik bostek lehen ataleko ekintza konkretu batzuk burutzen dituzte. Zehatzago esanda, FASTen sarrera-fitxategiak aldatzen dituzte script nagusian zehaztu diren sarrera-aldagaien balioak dagokien lekuan idatziz. Programa horiek egikaritzeko aginduek lerro bakarra betetzen dutenez, komando-sekuentzia nagusia gehiegi ez luzatzea ahalbideratzen dute.

Horrez gain, haize turbulentoak sortzeko *TurbSim* programa maneiatuko duen script bat ere idatzi da, "*TurbSim.m*" izenekoa. Script nagusiaren antzeko funtzionamendua du: hasieran, sarrera-fitxategia konfiguratu; segituan, *TurbSim* egikaritu; azkenik, sortutako fitxategiak (haize- zein laburpen-fitxategiak) izenez aldatu eta dagokien karpetara eraman. Honek, *TurbSim*-en sarrera-fitxategia aldatzeko, sortu diren programetako azkena baliatzen du.

GRAL (Gradu Amaierako Lana) hau egiteko sortu diren script eta programa horiek guztiak KALKULUAK karpetan txertatu dira. Jatorritzko ".m" formatuan daudenez, *Matlab*-ekin edo *Octave*-rekin zuzenean zabal daitezke. Edonola ere, posible da testu-fitxategi arruntak irekitzeko programekin ikusi eta editatzea.

Jarraian, lan hau burutzeko espresuki sortu diren *Matlab* / *Octave* fitxategi horiek zer funtzionamendu duten eta nola erabili behar diren azalduko da. Ohar gisa, honako hau:

FASTen eta *TurbSim*-en input-fitxategiak aldatzen dituzten programen egitura homologoa da. Horregatik, eta gehiegi ez luzatzeko, egitura hori behin azalduko da programa guztientzako. Ondoren, programa bakoitzaren berezitasunak erakutsiko dira.

3.1. OC3HyWind.m (SCRIPT NAGUSIA)

Bere izenak dioen bezalaxe, komando-sekuentzia hau NREL 5-MW turbinaren OC3-Hywind Spar konfigurazioarekin lan egiteko prestatuta dago, lan honetan erabili den eredu flotatzailearekin, alegia. Hala ere, aldaketa txiki batzuk eginda, posible izango litzateke beste edozein konfigurazio erabiltzea. Konfigurazio horiek, besteak beste, *onshore*, OC3 *Monopile*, OC3 *Tripod*, OC4 *Jacket*, ITIBarge4 eta OC4 *DeepCwind Semisubmersible* izan daitezke.

Scriptaren egiturari dagokionez, arestian zerrendatutako lau atalek osatzen dute: konfigurazioa, simulazioa, emaitzen antolaketa eta tratamendua, eta emaitzen irudikapena.

3.1.1. Simulazioaren konfigurazioa (9-167 lerroak)

Atal honek FASTen sarrera-parametro esanguratsuenak zehaztea du xede (esanguratsutzat jo eta scriptera pasatu diren parametro horien inguruko azalpenak "Sarrera-aldagaiak" dokumentuan daude). Egitura homologoko bost zatik osatzen dute. Zati bakoitzean, komando oso sinpleekin, sarrera-fitxategi bat aldatuko da, hurrengo paragrafoetan azaltzen den gisara (adibidea 3-1 irudian).

Hasteko, uneko fitxategiari dagozkion parametroak aldagaietan kargatzen dira, esleipen-komandoen bidez. Simulazio batetik bestera input-parametroak aldatu nahi badira, esleipen-komando hauek izango dira scriptean aldatu beharrekoak. 2.2.3.1. azpiatalean aipatu denez, izaera ezberdineko parametroak daude; hala ere, esleipen-komando guztiek "char" motako aldagaiak sortuko dituzte, karaktereak edo karaktere-kateak, alegia. Azken batean, input-fitxategiak testu motakoak dira; horien gainean berridazteko, eduki osoa karaktere motakoa (testua) izan behar da. Beraz, zenbakizkoak diren parametroak ere apostrofo artean idatziko dira, *Matlab*-ek / *Octave*-k "char" gisa interpreta ditzan. Horrela, gainera, memoria gutxiago erabiliko da.

Ondoren, fitxategi hori aldatzeko espresuki idatzitako funtzioari dei egiten zaio. Kargatu berri diren aldagaiak funtzioaren input-ak izango dira. Hartara, komandoak, honelako egitura dauka:

```
funtzioa(aldagaia_1, aldagaia_2, ..., aldagaia_N)
```

HydroDyn-en eta *InflowWind*-en kasuan, fitxategia aldatzeko komandoaren ondoren, baldintza-egitura batzuk daude beste aldagai batzuk sortzeko. Baldintza-egituren barneko edukia ez da simulazioz simulazio aldatu behar, baldintza-komandoek beraiek hautatuko baitute kasu bakoitzean zer aldagai eta zer edukirekin sortu. Izan ere, aldagaiok gerora erabiltzeko dira, simulazio bakoitzari haren sarrera-parametro batzuen (olatu mota, olatuaren altuera, haize mota, etab.) arabera izena jartzeko. Logikoa denez, karaktere motako aldagaiak izango dira.

```

73  %% ---- Prepare HydroDyn -----
74
75  % Set the main parameters
76 - rho_W = '1025';           % [kg/m^3]
77 - Depth = '320';           % [m]
78 - WaveM = '2';             % 0: No waves
79                             % 1: Regular waves
80                             % 2: Irregular waves
81 - Hs = '1';                 % [m]
82 - Tp = '6';                 % [s]
83 - GAMMA = "DEFAULT";       % [-] used only when WaveM=2
84 - THETA = '0';              % [°] Incident wave propagation heading direction
85 - CurrM = '0';              % 0: No current
86                             % 1: Standard current
87                             % 2: User-defined from routine UserCurrent
88 - CurrSSV = '0';            % Sub-surface current velocity at still water level [m/s]. Used only when CurrMod=1
89
90  % Change the parameters in the HydroDyn.dat input file: 'chHydroDyn'
91 - chHydroDyn(rho_W, Depth, WaveM, Hs, Tp, GAMMA, THETA, CurrM, CurrSSV);

```

3-1 irudia. *HydroDyn* sarrera-fitxategiko parametroak konfiguratzeko zatia eta fitxategia aldatzeko agindua (azkena).

3.1.2. Simulazioa (168-171 lerroak)

Simulazio-atalak komando bakarra dauka, "system()" funtzioari dei egiten diona (169. lerroa). Funtzio horrek sistema eragilearen terminalean komando bat edo batzuk exekutatu dituzte eta *Matlab*-en / *Octave*-ren komando-lerroan erantzuna erakutsiko du. Aldi berean, terminalean exekutatu nahi diren komandoak "system"-en sarrera-

parametroak izango dira. Kasu honetan, *FAST* martxan jarriko duen agindua egikaritu nahi da, komando bakarra. Hala ere, *FASTi*, simulatzen hasteko, driver-fitxategia (".fst" sarrera-fitxategi nagusia) zein den adierazi behar zaio agindu bereko bigarren zatian. Gauzak horrela, *FAST* egikaritzeko agindua honakoa da:

```
system(['FASTinput\FAST_x64.exe ', 'FASTinput\'', InputFileName])
```

Ikus daitekeenez, terminalean idatziko den agindua karaktere-kate bat da, eta zuriune bat du barnean. Zuriune horrek bereizten ditu, hain zuzen ere, *FAST* abiaraziko duen exekutagarriaren helbidea eta driver fitxategiaren helbidea. Helbide horiek erlatiboak dira, jakina.

Horrez gain, *InputFileName* aldagaia dago aginduaren bukaeran. Scriptaren 13. lerroan definitu den karaktere-kate honek driver-fitxategiaren izen osoa barneratzen du, "OC3_Hywind.fst". Fitxategiaren izena aurrez definitutako aldagai batekin adieraztea lagungarria da, deskribatzen ari den gako-komandoa eta tankerakoak sekula aldatu behar ez izatea ahalbidetzen baitu. Gainera, driver-fitxategiaren izena aldatuko bada, aldaketa-bakarra egin beharko da scriptean, *InputFileName* aldagaiaren esleipen-komandoan soilik. Fitxategi aldaketa hori praktikoa litzateke *OC3-Hywind Spar* ez den beste turbina-konfigurazio bat erabili nahiko balitz.

3.1.3. Emaizten antolaketa eta tratamendua (172-237 lerroak)

Atal honek hiru zati dauka. Lehenengoan (172-207 lerroak), *FASTek* sortutako edukia berrantolatuko da laneko biltegiatze-unitatean ordena mantentze aldera. Zati honetako komandoak, 3-2 eta 3-3 irudietan, hurrengo paragrafoetan azalduko dira.

Hasteko, simulazioaren izena sortuko da, *SimName* aldagaian (3-2 irudia). Izenak simulazioa erraz sailkatzeko datuak erakutsiko ditu, hala nola, simulazio-zenbakia eta, aurrez, *HydroDyn*-en eta *InflowWind*-en parametro batzuen arabera sortu diren "char" aldagai horiek. Simulazio zenbakia, *simNumb* izeneko aldagain gordetzen dena, eskuz aldatu behar da simulazio bakoitzean.

Gero, "*FASToutput*" karpeta barruan, simulazioaren izen bereko karpeta sortuko da "*mkdir()*" funtzioarekin (3-2 irudia). Haren helbidea gainerako fitxategiak gordetzeko "path" (bide) gisa gordeko da. Karpeta sortzeko agindua baldintza-egitura baten barnean dago; hartara, agindua exekutatu da baldin eta soilik baldin izen bereko karpetarik ez badago aurretiaz.

```

OC3HyWind.m  chnInflowWind.m  chTurbSim.m  TurbSim.m  chFst.m  chAeroDyn.m  +
172  %% ---- Move the output files to the output directory -----
173
174  % Define the name of the simulation
175  simNumb = '11.01';
176  SimName = sprintf('%s_%sWaves-%s-%s_%sWind%s',simNumb,WaveM_str,H_str,T_str,WindT_str,U_str);
177
178  % Create a directory for the current simulation
179  if exist(['FASTOutput\',SimName],'dir')==0 % exist('objektua')==0 izango da objektu hori (fi
180  mkdir(['FASTOutput\',SimName]);          % 'mkdir(PARNTDIR,NEWDIR)' funtzioak 'NEWDIR' ka
181  end
182
183  % Define the new directory as the output path
184  OutputPath = ['FASTOutput\' SimName];
185
186  % Define the name for the output data file (full name with relative path)
187  OutputFileName=[OutputPath,filesep,SimName,'.outb'];
188  if exist(OutputFileName,'file')==2 % exist()==2 izateko, '.m','.mlx','mlapp' edo Matl
189  % ('.txt','.fig','.mat') eduki behar du 'OutputFi
190  % '.out' luzapena ere multzo honetan sartzen da
191  delete(OutputFileName);
192  end

```

3-2 irudia. Irteera-fitxategiak berrantolatzeko komandoak (1).

Fitxategiak karpeta berrira mugitzeko, "movefile()" funtzioa erabiliko da (3-3 irudian), honelaxe:

```
movefile(Jatorria, Helburua)
```

Jatorria eta *Helburua* karaktere-kateak izango dira. *Jatorria*, hitzak berak dioen bezala, fitxategiaren hasierako helbidea da; *Helburua*, berriz, lekualdatu ondoren izango duen helbidea. Biek ala biek honakoa barneratu behar dute: lehenik, fitxategiaren helbide erlatiboa eta, jarraian, fitxategiaren izen osoa, luzapena eta guzti.

Simulazioaren emaitzak dituen fitxategi bitarrari (".outb" formatuduna) dagokionez, *Helburua* aldagai baten (*OutputFileName*) barnean kargatuko da lekualdaketa burutu aurretik (3-2 irudia). Bertan, fitxategiaren izen gisa, aurrez *SimName* aldagaian zehaztu den simulazioaren izena egongo da, jakina.

Baldintza-egitura bat ere badago fitxategi bitarra mugitzeko aginduaren aurretik (3-2 irudia). Hari esker, helburuko kokalekuan izen bereko fitxategi bitar bat badago, hura ezabatuko da. Hortaz, egitura hau baliagarria da balizko akats bategatik (okerreko sarrera-parametro bat edo batzuk, adibidez) simulazio bat errepikatu denean. Halako kasuan, simulazio akastunaren karpeta berrerabili bai, baina emaitzen fitxategi akastuna baztertuko litzateke.

Ondoren bai, fitxategi bitarra lekualdatzeko komandoa dago (3-3 irudia). Emaitzak dituen irteera-fitxategi irakurgarria (".out" formatuko testu-fitxategia) lekualdatzeko komandoa ere badago, baina iruzkin gisa, alegia, desaktibatuta. Izan ere, sarrera-fitxategi nagusia ".out" formatuko fitxategirik ez sortzeko konfiguratuta dago. Konfigurazio hori aldatzeko, "OC3_Hywind.fst" sarrera-fitxategia zuzenean testu-editorearekin zabaltu behar da, scripta ez baitago dagokion parametroa aldatzeko prestatuta.

Gainerako irteera-fitxategiak *AeroDyn*-en, *ElastoDyn*-en eta abarren laburpenak dira, ".sum" formatukoak. Horiek izena aldatu gabe lekualdatuko dira. Aurrekoan bezala, "movefile()" erabili arren, ez da komando bat erabiliko fitxategi bakoitzarentzat. Aitzitik, "dir()" funtzioarekin ".sum" fitxategiak zerrendatu eta begizta errepikakor baten barruan txandaka lekualdatuko dira (3-3 irudia).

```

194 % Output fitxategiak 'output' karpetara mugitu: 'movefile(SOURCE,DESTINATION)' funtzioa
195 %movefile(['FASTinput\' MainConfig '.out'],[OutputPath,filesep,SimName,'.out']) % '.out'-a
196 - movefile(['FASTinput\' MainConfig '.outb'],OutputFileName) % '.outb'-a
197 - fileList=dir('FASTinput\*.sum'); % '.sum' guztiak
198 % 'dir' funtzioak karpeta baten barruko edukia zerrendatzen du.
199 % 'D=dir('N')' exekutatzean, karpeta barruko fitxategi bakoitzaren informazioa 6 objektutan :
200 % Objektuok ('name','folder','date','bytes','isdir','datenum'), 'structure' motako aldagai b
201 - for fli=1:length(fileList)
202     if exist([OutputPath fileList(fli,1).name],'file')==2
203         delete([OutputPath fileList(fli,1).name]);
204     end
205     movefile(['FASTinput\' fileList(fli,1).name], OutputPath)
206 - end

```

3-3 irudia. Irteera-fitxategiak berrantolatzeko komandoak (2).

Zehatzago esanda, "*dir()*" erabiliz, laburpen-fitxategien metadatuak "struct" motako aldagai batean (*fileList*) kargatzen dira. Mota horretako aldagaiek informazioa hainbat "slot" edo eremutan sailkatzen dute. Kasu honetan, eremuetako bakoitza fitxategien metadatuetak bati dagokio, eta fitxategiak beste gai dauka, hau da, fitxategi-kopuruaren adinakoa da eremuen zein *fileList* aldagaiaren luzera. Interesatzen den eremua fitxategien izenak dituen da, *fileList.name*. Hor, gaitako bakoitza fitxategi baten izena da eta "char" motakoa da. Bada, "*movefile()*" funtzioaren *Jatorria*-n, fitxategien izena horrelaxe adieraziko da:

```
fileList(gai_zkia,1).name
```

Orduan, *gai_zkia* begiztaren kontadorea izango da (scriptean, *fli*). Iterazio-kopurua *fileList*-en luzera bera izango da eta, iterazio bakoitzean, fitxategietako bat mugituko da simulazioaren karpetara. Izenak mantenduko direnez, "*movefile()*"-i *Helburua* adieraztean, nahikoa izango da helbide erlatiboa (*OutputPath*) jartzea. Horrez gain, aurretiaz dauden eta baztertu nahi diren laburpen-fitxategiak ezabatze baldintza egitura ere txertatu da begiztaren barruan.

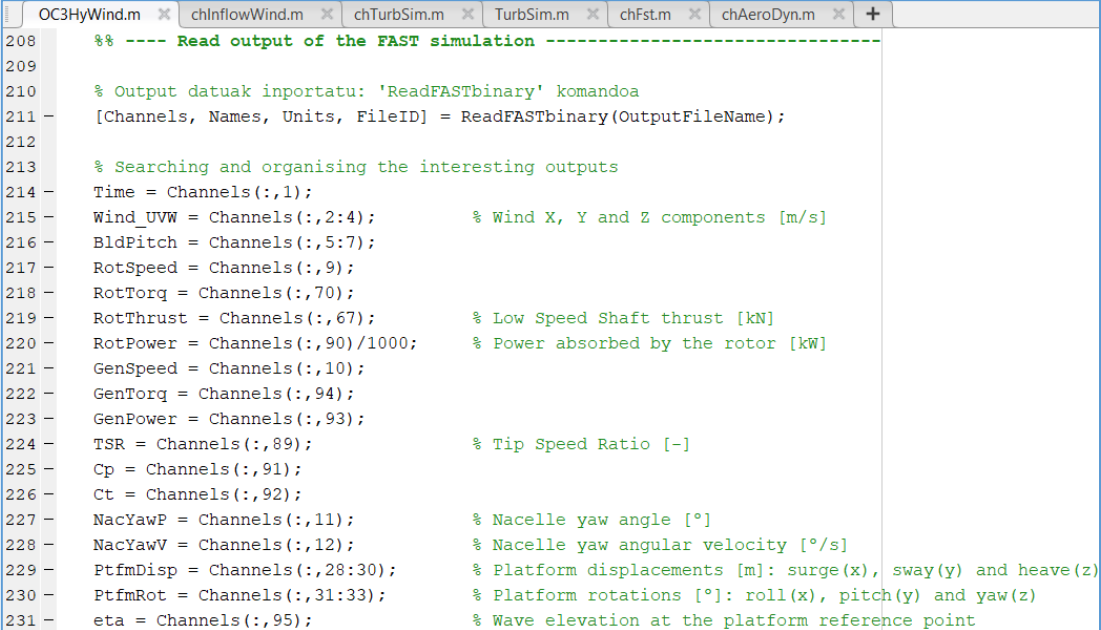
Atal honen bigarren zatia (208-232 lerroak) simulazioaren emaitzak, fitxategi bitarrean daudenak, desglosatu eta *Matlab*-eko edo *Octave*-ko lan-eremuan kargatzean datza. Horretarako, NRELe sortutako "*ReadFASTbinary.m*" programari dei egiten zaio esleipen komando batean (3-4 irudian ere ikusgai):

```
[Channels, Names, Units, FileID] = ReadFASTbinary(OutputFileName)
```

Komandoa egikaritzean, haren lehen zatian dauden aldagaiak sortuko dira. Horietatik lehen hirurak dira interesgarriak, aurrenekoa bereziki. *Channels* matrize handi bat da eta gelaxka guztiek zenbakizko balioak dituzte. Haren zutabeetako bakoitza simulazioaren irteera-aldagai bati dagokio; errenkada bakoitza, berriz, aldiune bati. Hortaz, irteera-aldagaien balioak errenkadaz errenkada denboran ordenatuta daude. Output-aldagaien zerrendari eman zaion konfigurazioarekin (hau ez dago scriptetik aldatzeko prestatuta), lehen zutabea aldagaia denbora izango da. *Names* eta *Units* zutabe-bektoreak dira. *Names*-en gelaxketan *Channels*-en zutabe bakoitzari dagozkion aldagaien edo magnitudeen izenak daude, ordena berea mantenduz. *Units*-ek, aldiz, magnitude bakoitzaren balioei dagozkien unitateak ditu gelaxketan.

Simulazioaren emaitzak desglosatzen bukatzeko, interes handieneko output-aldagaiak banan banako aldagaientz kargatuko dira, esleipen-aginduekin (3-4 irudian). Eginkizun hau ez da funtsezkoa. Datuen erabilera errazteko metodo sinple bat da, ondoren, grafikoak irudikatze komandoetan zer aldagai sartzen ari den argi ikusteko besterik ez. Horrela, erabiltzailearen esku dago zein aldagai atera *Channels*-etik, uneko beharren arabera. Hori

bai, kontuan izan behar da grafikoak egiteko komando gehienak ez daudela prestatuta zuzenean *Channels*-etik datuak hartzeko.



```

208 %% ---- Read output of the FAST simulation ----
209
210 % Output datuak inportatu: 'ReadFASTbinary' komandoa
211 [Channels, Names, Units, FileID] = ReadFASTbinary(OutputFileName);
212
213 % Searching and organising the interesting outputs
214 Time = Channels(:,1);
215 Wind_UVW = Channels(:,2:4); % Wind X, Y and Z components [m/s]
216 BldPitch = Channels(:,5:7);
217 RotSpeed = Channels(:,9);
218 RotTorq = Channels(:,70);
219 RotThrust = Channels(:,67); % Low Speed Shaft thrust [kN]
220 RotPower = Channels(:,90)/1000; % Power absorbed by the rotor [kW]
221 GenSpeed = Channels(:,10);
222 GenTorq = Channels(:,94);
223 GenPower = Channels(:,93);
224 TSR = Channels(:,89); % Tip Speed Ratio [-]
225 Cp = Channels(:,91);
226 Ct = Channels(:,92);
227 NacYawP = Channels(:,11); % Nacelle yaw angle [°]
228 NacYawV = Channels(:,12); % Nacelle yaw angular velocity [°/s]
229 PtfmDisp = Channels(:,28:30); % Platform displacements [m]: surge(x), sway(y) and heave(z)
230 PtfmRot = Channels(:,31:33); % Platform rotations [°]: roll(x), pitch(y) and yaw(z)
231 eta = Channels(:,95); % Wave elevation at the platform reference point

```

3-4 irudia. Emaizten tratamenduari dagozkion komandoak.

Atal honekin bukatzeko, hirugarren eta azken zatia (233-237 lerroak). Komando bakarra dauka, eta scripteko aurreko komandoekin sortutako aldagai guztiak gordeko ditu. *Matlab*-eko edo *Octave*-ko lan eremuko aldagaiok ".mat" formatuko fitxategi batean gordeko dira, dagozkion simulazioaren karpetan eta izen-erro berberarekin (simulazioaren izena).

Horretarako, "save()" funtzioa erabiliko da, ondorengo sarrera-parametroa adieraziz: gordeko den fitxategiaren helbide erlatiboa eta izen osoaren arteko kateaketa. Parametro bakar hau adierazita, "workspace"-n dagoen aldagai oro gordeko da. Aldi berean, karaktere-kate hori osatzeko, aurrez sortutako *OutputPath* eta *SimName* aldagaiak baliatuko dira. Gordetzeko agindua, beraz, honelaxe adieraziko da:

```
save([OutputPath, filesep, SimName, '.mat'])
```

3.1.4. Emaizten irudikapena (238-359 lerroak)

Azken atalean, oinarritzko grafikoak irudikatu eta txukun gordetzeko komandoak dira nagusi. Horiez gain, beste grafiko osagarri batzuk egiteko aukera ere eskaintzen da. Osagarriak lan honi dagokionean, baina turbina bat diseinatzeko garaian garrantzitsuak izan daitezkeenak.

Oinarritzko lau grafikoek oinarritzko lau aldagairen denboran zeharreko eboluzioa erakusten dute. Aldagaiok haize-abiadura axiala (x ardatzeko osagaia, U), paletako baten pitch angelua, sorgailuaren ardatzaren biraketa-abiadura (abiadura handiko ardatzaren abiadura ere esaten zaio) eta sortutako potentzia elektrikoa (irteerakoa) dira. Horiek irudikatzeko komando-sortaren adibidea 3-5 irudian dago.

Lehenik eta behin, irudi-leihoa sortuko da pantaila betean, "figure()" funtzioarekin. Gero, "plot()" funtzioaren "plot(x, y)" aldaera sinpleena erabiliko da bi dimentsioko grafiko arrunta irudikatzeko (x izango da denbora eta y aztertu nahi den aldagaia). Agindu horretan kolorerik zehazten ez denez, sortuko den kurbaren kolorea lehenetsitakoa izango

da, urdina. Jarraian, sareta bistaratu ("grid on" agindua) eta ardatzak doitu ("axis([x_min x_max y_min y_max])" egiturako agindua). Horren ostean, ardatzei etiketak erantsiko zaizkie ("xlabel()" eta "ylabel()" funtzioak), grafikoen izenburuarekin batera ("title()" funtzioa). Horrela, grafikoa gordetzeko prest egongo da. Bada, "print()" funtzioaren bidez irudiari formatua aldatu eta dagokion simulazioaren karpetan gordeko da. Png formatua aukeratu da, baina erabiltzailearen esku dago aldatzea. Aldi berean, "print()" funtzioaren input-ak izango dira inprimatu (gorde) nahi den irudia daukan leihoaren izena, irudia gordeko den lekua helbide erlatiboa (karaktere-katea, irudi-fitxategiari jarri nahi zaion izen osoarekin bukatuko da) eta irudiari eman nahi zaion formatua.

```
241 - haizea=figure('Name','U','Units','normalized','outerposition',[0 0 1 1]); % irudi-leihoa
242 - plot(Time, Wind_UVW(:,1))
243 - grid on
244 - axis([50 str2double(TMax) 0 30])
245 - xlabel('Time [s]', 'FontWeight', 'bold')
246 - ylabel('U [m/s]', 'FontWeight', 'bold')
247 - title('AXIAL WIND SPEED vs. TIME', 'FontSize', 13)
248 - print(haizea, [OutputPath,filesep,simNumb,'.plot_', 'U', '.png'], '-dpng', '-r200')
```

3-5 irudia. Haize-abiadura axiala vs. denbora irudikatzeko eta irudia gordetzeko komandoak.

Goian osagarritzat jo diren grafikoez ere denbora dute aldagai askea. Hauek dira grafiko horietan erakutsitako aldagaiak: punta-abiadura ratioa (λ edo TSR), potentzia-koefiziente aerodinamikoa (C_p), pare elektromagnetikoa, haize-abiadura (hiru ardatzetako osagaiak, hiru kurbako grafikoa), olatuaren altxatze-egoera (η) eta plataformaren desplazamenduak (linealak eta angeluarrak). Grafiko horiek egin eta gordetzeko komandoen sekuentzia aurrez azalduko da edo oso antzekoa da. Kurba bat baino gehiago duten grafikoen kasuan, "plot()" funtzioa deitzeko komandoa luzatzen da, x eta y aldagaiak kurba bakoitzarentzat adierazi behar direlako. 3-6 irudian grafiko hirukoitz bati dagozkion komandoak erakusten dira.

```
344 - PRot = figure('Name', 'Platform rotations', 'Units', 'normalized', 'outerposition', [0 0 0.98 1]);
345 - plot(Time, PtfmRot(:,1:3))
346 - grid on
347 - xlim([50 inf])
348 - xlabel('Time [s]', 'FontWeight', 'bold')
349 - ylabel('Rotation [°]', 'FontWeight', 'bold')
350 - title('PLATFORM ROTATIONS', 'FontSize', 13)
351 - legend('Roll','Pitch','Yaw')
352 - print(PRot, [OutputPath,filesep,simNumb,'.plot_', 'PtfmRotations', '.png'], '-dpng', '-r200')
```

3-6 irudia. Plataformaren desplazamendu angeluarrak (roll, pitch eta yaw) vs. denbora irudikatzeko eta irudia gordetzeko komandoak.

Atal hau eta scripta amaitzeko, edozein irteera-aldagai maiztasun eremuan analizatzeko agindu batzuk daude. Maiztasun eremuko analisia, FFT (Fast Fourier Transform) analisia gisa ere ezaguna. Kontu honen harira scriptean dauden komandoak 3-7 irudian ageri dira; horien azalpena, aldiz, ondorengo lerroetan.

Aurreneko aginduan, "fft_EHU.m" programari dei egiten zaio. Funtzioari lau sarrera-parametro hauek adierazi behar zaizkio: menpeko aldagaia (y, maiztasun eremuan aztertu nahi den aldagaia), aldagai askea (x, denbora izango da) eta aldagai askearen analisirako eremu-tartearen mugak (hurrenez hurren, aztertu nahi den tartearen lehen aldiunea eta azkena). Bigarren komandoa aurrekoak sortutako grafikoen ardatz-mugak doitzeko da. Hirugarren aginduak karaktere-kate gisa adierazi behar den testu bat txertatuko du grafikoa. Testuaren xedea aztergai den aldagaiaren berri ematea da. Scripteko aginduak haize-abiadura axiala analizatzeko prestatuta dauden arren, beste edozein aldagairen FFT analisia egin daiteke "fft_EHU()" funtzioaren lehen sarrera-parametroa aldatuz.


```

355      %% ---- Wind FFT analysis ----
356
357      fft_EHU(Wind_UVW(:,1), Time, 50, 650)
358      axis([0 0.4 0 1.5])
359      text(0.13, 1.35, 'WIND FILE: SaltLake_Haizea2.hh')

```

3-7 irudia. Haize-abiadura axialaren FFT analisia egin eta grafikoa txukuntzeko komando-sorta.

3.2. TurbSim.m

Script hau *TurbSim* programaren bidez haize turbulentoen fitxategiak sortzeko da. Gerora, fitxategi horiek FAST simulazioen haize-sarrera izateko hauta daitezke *InflowWind* behar bezala konfiguratuz.

3. kapitulu honen hasieran aipatu bezala, "*OC3_Hywind.m*" script nagusiaren logikari jarraitzen dio (konfiguratu, exekutatu, emaitzak antolatu). Alta, komando-sekuentzia hau laburragoa da nabarmenki. Azken batean, sarrera-fitxategi bakarra aldatu behar du; halaber, *TurbSim*-en irteera-fitxategiak antolatu ondoren, ez da grafikorik egiteko komandorik ageri.

3.2.1. TurbSim-en konfigurazioa (5-41 lerroak)

Hasteko, "*TurbSim.inp*" sarrera-fitxategian aldatzeko parametroak lan eremuko aldagaietan kargatuko dira. Script nagusian bezala, esleipen-komandoek "char" motako aldagaiak sortuko dituzte.

Gero, 40. lerroan, "*chTurbSim.m*" programari dei egiten zaio, aurrez definituriko aldagaietako edukia sarrera-fitxategian eta dagokion posizioan berridatz dezan. Aldagaiak ordena zehatzean input gisa adierazi behar zaizkio, noski; hurrengo lerroan adierazi bezala:

```
chTurbSim(aldagaia_1, aldagaia_2, ..., aldagaia_N)
```

3.2.2. Exekutatzea (42-45 lerroak)

Izatez, "*TurbSim.exe*" exekutaraziko duen komandoa 44. Lerrokoa baino ez da. Script nagusian FAST exekutarazten duen komandoak bezala, honek ere "*system()*" funtzioa erabiltzen du. Beraz, *TurbSim* sistema eragilearen terminalean egikaritzeko da, erantzuna *Matlab*-en / *Octave*-ren komando-lerroan erakutsiz. Aldi berean, terminalean agindu bakarra exekutatu nahi denez, "*system*"-ek sarrera-parametro bakarra izango du. Hori bai, zurienez bereizitako parte bi izango dira. Bata, "*TurbSim.exe*" exekutagarriaren kokalekua eta izena; bestea, sarrera-fitxategiaren kokalekua eta izan. Gauzak horrela, *TurbSim* egikaritzeko agindua honakoa da:

```
system(['FASTinput\TURBSIM\TurbSim.exe ', 'FASTinput\TURBSIM\TurbSim.inp'])
```

3.2.3. Irteera-fitxategien antolaketa (46-68 lerroak)

Scriptaren azken zatian, sortu berri diren haize-fitxategiak egokiro antolatuko dira. Berez, "*TurbSim.inp*" sarrera-fitxategia dagoen kokalekuan eta haren izen-erroarekin sortzen dira fitxategi berriak, esaterako, "*TurbSim.bts*".

Argibide gisa, sarrera-fitxategia bi haize-fitxategi sortzeko aurre-konfiguratu da, ".bts" eta ".hh" formatudunak. Horiez gain, ".sum" formatuko laburpen-fitxategia ere sortuko da. Formatu-aukera horiek ez dira scriptera pasatu; beraz, haize-fitxategia bestelako

formatuarekin sortu nahiko balitz (".wnd" esate baterako), sarrera-fitxategia eskuz aldatu beharko litzateke. Alabaina, scriptetik, ".u", ".v" eta ".w" fitxategiak sortzeko zehaztapena eman daiteke.

Helburua, beraz, sortu berri diren fitxategiok izenez eta lekuz aldatzea da. Bide horretatik, FAST simulazioetan erabili nahi direnean, fitxategi horiek hautatzea errazagoa izango da *InflowWind* konfiguratzeko garaian.

```

46  %% ---- Move the TurbSim output files to 'wind' directory -----
47 - oldPath = 'FASTinput\TURBSIM\';
48 - newPath = 'FASTinput\5MW_Baseline\Wind\';
49 - TT = [TurbM(2:(length(TurbM)-1)) '_IEC61400-' IECstandard IECturb(2)];
50 - WindName = [num2str(HubHt), 'm_', num2str(URef), 'mps_', num2str(UsableT), 's_', TT, '_', WindPT, '_01'];
51
52 - if exist([oldPath, 'TurbSim.bts'], 'file')==2
53 -     movefile([oldPath 'TurbSim.bts'], [newPath WindName '.bts']);           % 'TurbSim.bts' haize-
54 - end
55 - mkdir([newPath, WindName]);           % Gainerako haize-outputak txukun gordetzeko karpeta sortu,
56 - copyfile([oldPath 'TurbSim.inp'], [newPath WindName '\' WindName '.inp']); % 'TurbSim.inp' input
57 - movefile([oldPath 'TurbSim.sum'], [newPath WindName '\' WindName '.sum']); % 'TurbSim.sum' haize-
58 - if exist([oldPath 'TurbSim.wnd'], 'file')==2
59 -     movefile([oldPath 'TurbSim.wnd'], [newPath WindName '\' WindName '.wnd']); % 'TurbSim.wnd' haize-
60 - end
61 - if exist([oldPath, 'TurbSim.hh'], 'file')==2
62 -     movefile([oldPath 'TurbSim.hh'], [newPath WindName '\' WindName '.hh']); % 'TurbSim.hh' haize-
63 - end
64 - if exist([oldPath, 'TurbSim.u'], 'file')==2
65 -     movefile([oldPath 'TurbSim.u'], [newPath WindName '\' WindName '.u']); % 'TurbSim.u' haize-
66 -     movefile([oldPath 'TurbSim.v'], [newPath WindName '\' WindName '.v']); % 'TurbSim.v' haize-
67 -     movefile([oldPath 'TurbSim.w'], [newPath WindName '\' WindName '.w']); % 'TurbSim.w' haize-
68 - end

```

3-8 irudia. TurbSim egikaritu ondoren, haize-fitxategiak antolatzeko komandoak.

Aipaturiko aldaketak aplikatzeko, honako urratsak emango dira (komandoak 3-8 irudian ikusgai):

- *TurbSim*-ek sortutako haize-fitxategi berrien jatorrizko helbidea aldagai batean zehaztu.

Esleipen-komando batekin, "*TURBSIM*" karpetaaren helbide erlatiboa "char" motako aldagai batean (*oldPath*) kargatuko da.

- Haize-fitxategi berrientzako helburuko helbidea zehaztu.

Urrats honi aurrekoaren pareko esleipen-komandoa dagokio. Kasu honetan, haize-fitxategi guztiak barneratzen dituen "*Wind*" karpetaaren helbide erlatiboa *newPath* aldagaian kargatuko da. "*Wind*" karpeta, era berean, NREL 5-MW eredu-turbinari dagozkion FAST sarrera-fitxategiak dauden karpetaaren barruan dago.

- Haize-fitxategi berriei jarriko zaien izena zehaztu.

Sortutako haize guztien fitxategiak karpeta berean gordetzen direnez, haize bakoitzari izen bereizgarria jarri behar zaio. Horretarako, *TurbSim*-en sarrera aldagai esanguratsuenen balioak hartu eta, haiekin, karaktere-kate karakteristikoak sortuko dira.

Hartara, haize bakoitzaren izenak ondoko ezaugarriak adieraziko ditu: erreferentzia-altuera, batezbesteko haize-abiadura erreferentzia-altueran, haizearen iraupena, turbulentziaren modeloa, IEC estandarra, turbulentziaren IEC karakteristika eta profil bertikalaren modeloa.

- Fitxategiak helbide berrira mugitu, izen berriarekin.

Irteera-fitxategiak mugitzeaz gain, sarrera-fitxategia ere kopiatuko da helburuko karpetara. Bestalde, ".bts" formatuko fitxategia bakarrik eramango da zuzenean "Wind" karpetara. Gainerakoak karpeta horretan dagoen beste karpeta espezifiko baten barruan sartuko dira. Karpeta hori aurrez sortuko da "mkdir()" funtzioa erabiliz, haize-fitxategi berriei dagokien izen berberarekin. Hartara, "Wind" karpeta txukunago egongo da.

Fitxategi bakoitza mugitu eta, aldi berean, izenez aldatzeko, "movefile()" funtzioari dei egingo zaio; "TurbSim.inp" kopiatzeko, ordea, "copyfile()" erabiliko da. Funtzio horiei sarrera-parametro bi adierazi behar zaie, jatorria eta helburua, script nagusiaren azalpenetan aipatu bezala. Adibide gisa, "TurbSim.bts" fitxategia lekualdatzeko komandoa:

```
movefile([oldPath 'TurbSim.bts'], [newPath WindName '.bts'])
```

Komando horretan, "movefile()" funtzioari adierazi behar zaion karaktere-kate bakoitza kortxete artean ematen da. Ikus daitekeenez, *oldPath* aldagaiak jatorriko fitxategiaren helbidea barneratzen du; *newPath*-ek, aldiz, helburu-helbidea. Modu berean, fitxategiari kopiatzean jarriko zaion izena *WindName* aldagaian dago, luzapenik gabe.

Bestalde, ".bts", ".hh", ".wnd", ".u", ".v" eta ".w" formatuetako fitxategiak mugitzeko aginduak baldintza egituren barnean daude. Horrela, scripta aldatzeko beharrik gabe eta kasuan kasuko fitxategia egon zein ez egon, agindu guztiak bata bestearen atzetik eta klik bakarrarekin exekutatu ahalko dira, errorerik gabe.

3.3. SARRERA-FITXATEGIAK ALDATZEKO PROGRAMAK

Programa hauek FASTen sarrera-fitxategien (*AeroDyn*, *InflowWind*, *HydroDyn*, etab.) edukia aldatzeko balio dute. Horretarako, horietako bakoitzak fitxategian berridatziko dituen parametroen zerrenda ordenatu bat jaso behar du input gisa, script nagusitik dei egiten zaionean. Ildo horretatik, aipatzekoa da parametro hauek "char" motako aldagaiak izan beharko direla. Hala ez bada, programak errore mezua itzuliko du, sarrera-argumentuak aldatzeko eskatuz.

Bestalde, programaren barneko komandoen aurretik, programaren erabilera-argibideak ageri dira iruzkin forman. Komando-lerroan "help funtzioarenIzena" egikaritzuz ikus daitezke argibideok (3-10 irudia), programari dei egiteko sintaxia nolakoa den argitzeko eta adierazi behar zaizkion parametroen deskribapen laburra ezagutzeko.

```

1 function chInflowWind(WindType,HWindSpeed,RefHt,PLexp,Filename,RefLength,FilenameRoot)
2 %chInflowWind - Change the main parameters in the InflowWind.dat input file for FAST_v8.16.00a-bjj wind turbine simulator
3 %
4 %       chInflowWind(WindType,HWindSpeed,RefHt,PLexp,Filename,RefLength,FilenameRoot)
5 %
6 %Input parameters (must be of class 'char') :
7 %
8 %WindType      -   Switch for wind file type
9 %               1: steady
10 %              2: uniform
11 %              3: binary TurbSim FF
12 %              4: binary Bladed-style FF
13 %              5: HAWC format
14 %              6: User defined
15 %HWindSpeed    -   Horizontal windspeed [m/s] (used only when WindType=1)
16 %RefHt         -   Reference height for horizontal wind speed [m] (used only when WindType=1 or 2)
17 %PLexp         -   Power law exponent (used only when WindType=1)
18 %Filename      -   Name of the wind file (used only when WindType=2 or 3)
19 %               if WindType=2: Filename of time series data for uniform wind field
20 %               if WindType=3: Name of the Full field wind file to use (.bts)
21 %RefLength     -   Reference length for linear horizontal and vertical shear [-]
22 %               (used only when WindType=2)
23 %FilenameRoot  -   Rootname of the full-field wind file to use (.wnd, .sum)
24 %               (used only when WindType=4)

```

3-9 irudia. "chInflowWind.m" programaren hasiera: funtzio gisa definitzen duen lehen lerroa eta argibide-iruzkinak.

```

Command Window
>> help chInflowWind
chInflowWind - Change the main parameters in the InflowWind.dat input file for FAST_v8.16.00a-bjj wind turbine simulator

chInflowWind(WindType,HWindSpeed,RefHt,PLexp,Filename,RefLength,FilenameRoot)

Input parameters (must be of class 'char') :

WindType      -   Switch for wind file type
                1: steady
                2: uniform
                3: binary TurbSim FF
                4: binary Bladed-style FF
                5: HAWC format
                6: User defined
HWindSpeed    -   Horizontal windspeed [m/s] (used only when WindType=1)
RefHt         -   Reference height for horizontal wind speed [m] (used only when WindType=1 or 2)
PLexp         -   Power law exponent (used only when WindType=1)
Filename      -   Name of the wind file (used only when WindType=2 or 3)
                if WindType=2: Filename of time series data for uniform wind field
                if WindType=3: Name of the Full field wind file to use (.bts)
RefLength     -   Reference length for linear horizontal and vertical shear [-]
                (used only when WindType=2)
FilenameRoot  -   Rootname of the full-field wind file to use (.wnd, .sum)
                (used only when WindType=4)

```

3-10 irudia. "help chInflowWind" komandoaren erantzuna.

Programaren funtzionamendua baldintza-egitura baten baitan dago. Baldintza da sarrera-parametroetako bat "char" ez izatea. Baldintza hori betetzekotan, egitekoa errore mezua bota eta programaren exekuzioa bukatzea izango da. Baldintza betetzen ez bada, "e/se" ondoren, kasuan kasuko fitxategia aldatzeko agindu multzoa egikaritzen hasiko da. Hiru atalek osatzen dute aginduen multzoa.

Lehengo atala fitxategian dagoena irakurri eta barne-aldagai batera (C izena ematen zaio) pasatzeko da. Barne-aldagaia "cell" motakoa (gelaxka) da, eta eduki osoa haren lehen gelaxkan ($C\{1,1\}$) gordetzen da. Alabaina, gelaxka hori ere "cell" motako azpi-aldagaia da. Edukia haren lehen zutabeko gelaxketan ($C\{1,1\}\{:,1\}$) dago. Gelaxka bakoitzean, sarrera-fitxategiko lerro bakar bat gordetzen da, "char" karaktere-kate gisa. Ondorioz, fitxategiaren lerro-kopuruaren adinako errenkada-kopurua izango du C aldagaiaren lehen gelaxkak.

Ireki, irakurri, erauzi eta itxi. Ekintza horiek burutzeko hiru komando behar dira (3-11 irudian ikusgai). Aurrenekoan, "*fopen()*" funtzioa erabiliko da fitxategiaren edukia irakurtzeko. Zehazki, irakurtzeko moduan irekiko da fitxategia, "*fopen()*"-i adierazitako "*r*" input-aren bidez. Bigarrenean, "*textscan()*" funtzioarekin, irakurritako edukikoa erauziko da, C aldagaian. Hirugarren komandoa fitxategia ixteko da, "*fclose()*" funtzioari esker.

```

71 %% ---- OC3_Hywind.fst-ko EDUKIA ERAUZI ----
72
73 - fid=fopen('FASTinput\OC3_Hywind.fst','r'); % 'r' --> permission to read
74 - C=textscan(fid,'%s','delimiter','\n'); % C modu "txukun" batean sortuko da; OC3_Hywind.fs
75 % eta haren deskribapena errenkada bakarrean kopia
76 - fclose(fid);

```

3-11 irudia. "chFst.m" programaren komandoak "OC3_Hywind.fst" input-fitxategia ireki-irakurtzeko, edukia erauzteko eta ixteko.

Bigarren atalean, C aldagaiaren edukia aldatuko da. Sarrera-fitxategian aldatu beharreko parametroak lerroen hasieran daudelako, erraza eta mekanikoa da aldaketa horiek C-n egitea. Programa bakoitza idazteko garaian, horrek aldatu beharko dituen parametroak kasuan kasuko fitxategiaren zein lerrotan dauden identifikatu behar izan dira. Hartara, soilik lerro horietako edukia ($C\{1,1\}\{lerro-zkia.,1\}$ gelaxka konkretuetakoa) aldatu beharko da. Komandoen egitura adibide praktiko birekin deskribatuko da. Beherago, 3-12 irudian, "*chHydroDyn.m*" programaren atal honetako komando batzuk ikus daitezke.

1. Karaktere anitzeko parametroa

Demagun programak dagokion fitxategiko bederatzigarren lerroan dagoen parametroa aldatu nahi duela. Gogoratu parametroa bera (aldagaiaren balioa) lerroaren hasieran dagoela FASTen sarrera-fitxategietan; balioaren ostean, zuriune batzuk eta, jarraian, aldagaiaren izena; lerroaren bukaeran, aldagaiaren definizioa ageri da.

Kasu honetan, aldagaia "flag" motakoa da, hots, "True" edo "False" balioak hartu ahalko ditu. Gainera, aldagaiaren izenari dagokion lehen karakterea lerroaren 15. posizioan dago. Beste era batera esanda, lehen 14 posizioak parametroaren karaktereek eta zuriuneek osatzen dituzte. Orduan, lehen aginduarekin lehen 14 posizio horiek zuritu behar dira "*blanks()*" funtzioarekin:

```
C{1,1}{9,1}(1:14) = blanks(14)
```

Horrela, $C\{1,1\}$ gelaxka barneko bederatzigarren errenkadako eta lehen zutabeko gelaxkako karaktere-katearen lehen 14 posizioak zuri bilakatuko dira. Ikus daitekeenez, komandoak honako egitura logikoari jarraitzen dio:

```
C{1,1}{lerro-zkia.,1}(1:aldagai-izenaren_aurretiko_posizio-kopurua)
=... blanks(aldagai-izenaren_aurretiko_posizio-kopurua)
```

Ondoren parametroa idatziko da lehen zuriuneetako batzuk betez. "True" eta "False" aukerek karaktere-kopuru desberdina dutenez, komandoa ulertu dadin, beharrezkoa da aukera bakoitzaren karaktere-kopuruaren araberrako adierazpena egitea. Hau da, "*length()*" funtzioa erabiliko da:

```
C{1,1}{9,1}(1:length(Adibidea_1)) = Adibidea_1
```

Adibidea_1 programaren barne-aldagaiaren izena da. Bertan kargatu da "True" edo "False" karaktere-katea programari script nagusitik exekutatzeko agindua eman zaionean.

Orduan, parametroa "True" bada, $C\{1,1\}$ gelaxka barneko bederatzigarren errenkadako eta lehen zutabeko gelaxkako karaktere-katearen lehen lau posizioetan "True" geratuko da idatzita, sortu berri diren lau zuriuneak ordezkatzuz. Parametroa "False" bada, "False" geratuko da idatzita lehen bost posizioetan.

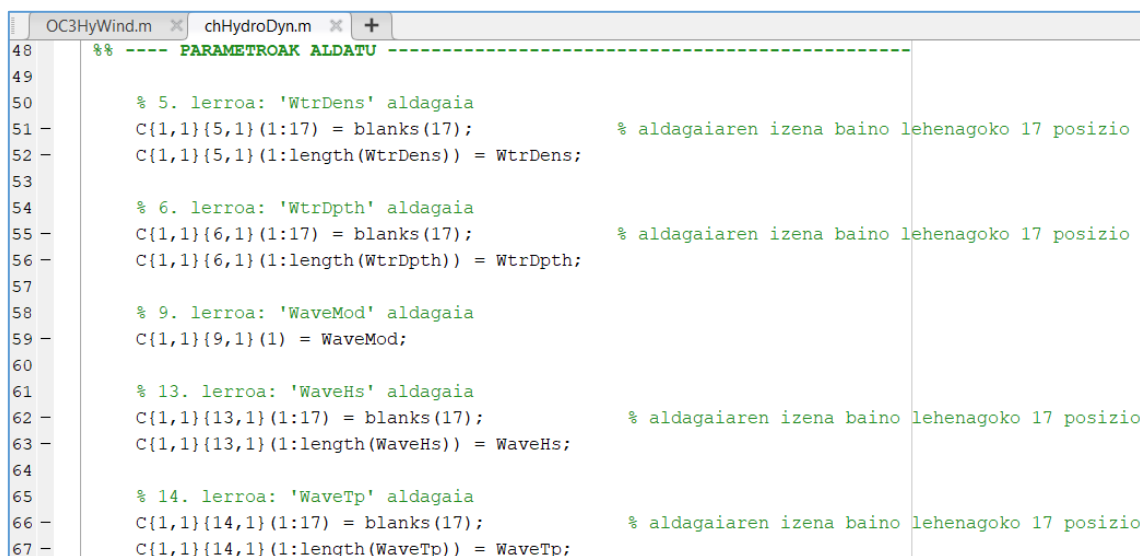
2. Karaktere bakarreko parametroa

Demagun programak dagokion fitxategiko 16. lerroan dagoen parametroa aldatu nahi duela. Parametroa *Adibidea_2* izeneko programaren barne-aldagaian kargatu da script nagusitik egikaritzean. Kasu honetan, aldagaia "switch" motakoa da. "0", "1" edo "2" balioak har ditzake.

Orduan, 16. lerro horretako lehen zuriuneen aurretik karaktere bakarra dago, eta hori da aldatu beharrekoa. Suposatzen da, betiere, fitxategian ez dagoela okerreko edukirik eta, hortaz, $C\{1,1\}\{16,1\}$ gelaxkako karaktere-kateak deskribatu berri den baldintza betetzen duela. Horiek horrela, nahikoa izango da lehen karakterea aldatuko duen agindu bakarra:

```
C{1,1}{16,1}(1) = Adibidea_2
```

Orduan, parametroa "0" bada, $C\{1,1\}$ gelaxka barneko 16. errenkadako eta lehen zutabeko gelaxkako karaktere-katearen lehen posizioko karakterea "0" izatera pasako da, aurretik zegoena ordezkatzuz. Parametroa "1" bada, "1" geratuko da idatzita posizio berean eta, parametroa "2" bada, "2" geratuko da.



```

48 %% ---- PARAMETROAK ALDATU ----
49
50 % 5. lerroa: 'WtrDens' aldagaia
51 C{1,1}{5,1}(1:17) = blanks(17); % aldagaiaren izena baino lehenagoko 17 posizio
52 C{1,1}{5,1}(1:length(WtrDens)) = WtrDens;
53
54 % 6. lerroa: 'WtrDpth' aldagaia
55 C{1,1}{6,1}(1:17) = blanks(17); % aldagaiaren izena baino lehenagoko 17 posizio
56 C{1,1}{6,1}(1:length(WtrDpth)) = WtrDpth;
57
58 % 9. lerroa: 'WaveMod' aldagaia
59 C{1,1}{9,1}(1) = WaveMod;
60
61 % 13. lerroa: 'WaveHs' aldagaia
62 C{1,1}{13,1}(1:17) = blanks(17); % aldagaiaren izena baino lehenagoko 17 posizio
63 C{1,1}{13,1}(1:length(WaveHs)) = WaveHs;
64
65 % 14. lerroa: 'WaveTp' aldagaia
66 C{1,1}{14,1}(1:17) = blanks(17); % aldagaiaren izena baino lehenagoko 17 posizio
67 C{1,1}{14,1}(1:length(WaveTp)) = WaveTp;

```

3-12 irudia. "chHydroDyn.m" programaren komandoak C aldagaiaren barruko edukia aldatzeko.

Hirugarren atalak lehenengoaren alderantzizko funtzioa du: programa bakoitzari dagokion input-fitxategia ireki, $C\{1,1\}$ barneko gelaxketan dagoena lerroz lerro idatzi (fitxategia osorik berridatziko da) eta, bukatzeko, fitxategia itxi.

Fitxategia idazteko baimenarekin irekiko da, "fopen()" funtzioari "w" parametroa adieraziz. Gero, C aldagaiko eduki zuzendua fitxategira pasatzeko for begizta bat erabiliko da. Begiztaren iterazio bakoitzean lerro bat inprimatuko da fitxategian, "fprintf()" funtzioa baliatuz. Fitxategia ixteko komandoa lehen atalekoa bezalakoa da ("fclose()" funtzioaren baitan).

"fprintf()" barnean, helburuko fitxategia zein den adierazteaz gain (adierazi ezean, komando lerroan idatziko du), "%s\n" terminoa idatziko da. "%s"-rekin karaktere-katea inprimatu behar duela adierazten da. Karaktere-kate hori ($C\{1,1\}$ -en dagoen gelaxka bat izango da) hurrengo input-terminoa izango da. "\n"-k inprimatzen bukatzean hurrengo lerroa pasatzeko agintzen du. Hobeto ulertzeko, 3-13 irudian daude azken atal honetako komandoak.

```

38  %% ---- AeroDyn.dat berridatzi ----
39
40  % AeroDyn-eko parametroentzako nahi ditugun balioak C-n daudenez, orain C-ko edukia AeroDyn-en b
41  fid=fopen('FASTinput\5MW_Baseline\NRELOffshrBslne5MW_OC3Hywind_AeroDyn15.dat','w'); % 'w' -
42  for lii=1:length(C{1,1})
43      fprintf(fid,'%s\n',C{1,1}{lii,1}); % C-ko edukia string moduan idatzi eta
44                                     % matrizearen gelaxka bakoitza idatzen bukatzean hurreng
45  end
46  fclose(fid);

```

3-13 irudia. "chAeroDyn.m" programaren komandoak
 "NRELOffshrBslne5MW_OC3Hywind_AeroDyn15.dat" input-fitxategia ireki, berridatzi eta ixteko.

3.3.1. chFst.m

Programa honek FASTen sarrera-fitxategi nagusiaren, "OC3_Hywind.fst"-ren, edukia aldatzeko balio du.

Haren argibideak Matlab-en edo Octave-n bertan, editorean ireki gabe, kontsulta daitezke. Horretarako, komando-lerroan "help chFst" egikaritu behar da, betiere "chFst.m" laneko karpeteraren barruan ("current path") egonik. Bestela ere, alda ditzakeen parametro guztien xehetasunak I. eranskinean (Scripteteara pasatutako sarrera-aldagaiak) daude eskuragarri.

Programaren ezaugarri nagusiak hauek dira:

- 15 input-aldagai jaso behar du exekutatzeko.
- Ez du outputik. Errorea bueltatu ezean, ez du inolako erantzunik ematen egikaritzen bukatzean.
- Sarrera-fitxategi nagusiko 25 parametro alda dezake. Horietatik bederatzi "switch" motako aldagaien balioak dira, 11 beste fitxategi batzuen izenak (testua), eta "flag" motako bat ("True"/"False") ere badago. Gainerako laurak zenbakizko aldagaiei dagozkie, hots, magnitude konkretu batzuen neurri-zenbakia adierazten dute.

Simulazioa OC3-Hywind Spar ez den turbina-konfigurazio batekin burutu nahiko balitz, programaren 73. eta 175. lerroetako komandoak aldatu beharko lirateke. Egin beharreko aldaketak erakusteko, komando biak oso antzekoak direnez, 73. lerrokoa hartuko da eredu.

73. lerroan, orain:

```
fid=fopen('FASTinput\OC3_Hywind.fst','r');
```

73. lerroan, aldatzekotan:

```
fid=fopen('Helbide_Erlatiboa\Izena.fst','r');
```


3.3.2. *chHydroDyn.m*

Programa honek *HydroDyn* sarrera-fitxategiaren edukia aldatzeko balio du. *OC3-Hywind Spar* turbina-konfigurazio lehenetsiarekin, aldatuko duen fitxategiaren izena "NRELOffshrBslne5MW_OC3Hywind_HydroDyn.dat" da.

Haren argibideak *Matlab*-en edo *Octave*-n bertan, editorean ireki gabe, kontsulta daitezke. Horretarako, komando-lerroan "help *chHydroDyn*" egikaritu behar da, betiere "*chHydroDyn.m*" laneko karpetaren barruan ("current path") badago. Bestela ere, alda ditzakeen parametro guztiei buruzko xehetasunak I. eranskinean (*Scripteteara pasatutako sarrera-aldagaia*) daude eskuragarri.

Ezaugarrietako batzuk aipatzekotan, honakoak:

- Bederatzi input-aldagai jaso behar du exekutatzeko.
- Ez du outputik. Errorea bueltatu ezean, ez du inolako erantzunik ematen egikaritzen bukatzean.
- *HydroDyn* sarrera-fitxategiko bederatzi parametro alda dezake. Horietatik bi "switch" motako aldagaien balioak dira. Gainerako zazpiak zenbakizko aldagaiei dagozkie.

OC3-Hywind Spar turbina-konfigurazioari printzipioz ez dagokion *HydroDyn* fitxategi bat aldatu nahiko balitz, programaren 38. eta 89. lerroetako komandoak aldatu beharko lirateke. Egin beharreko aldaketak erakusteko, komando biak oso antzekoak direnez, 89. lerrokoa hartuko da eredu. Edozelan ere, 3.3.1 azpiatalean "*chFst.m*" programarentzako azaldutakoaren parekoa da.

89. lerroan, orain:

```
fid=fopen('FASTinput\5MW_Baseline\NRELOffshrBslne5MW_OC3Hywind_HydroDyn.dat','w');
```

89. lerroan, aldatzekotan:

```
fid=fopen('Helbide_Erlatiboa\Izena.dat','w');
```

3.3.3. *chAeroDyn.m*

Programa honek *AeroDyn15* sarrera-fitxategiaren edukia aldatzeko balio du. *OC3-Hywind Spar* turbina-konfigurazio lehenetsiarekin, aldatuko duen fitxategiaren izena "NRELOffshrBslne5MW_OC3Hywind_AeroDyn15.dat" da.

Haren argibideak *Matlab*-en edo *Octave*-n bertan, editorean ireki gabe, kontsulta daitezke. Horretarako, komando-lerroan "help *chAeroDyn*" egikaritu behar da, betiere "*chAeroDyn.m*" laneko karpetaren barruan ("current path") badago. Bestela ere, alda ditzakeen parametroen inguruko xehetasunak I. eranskinean (*Scripteteara pasatutako sarrera-aldagaia*) daude eskuragarri.

Ezaugarrietako batzuk aipatzekotan, honakoak:

- Input-aldagai bi jaso behar du exekutatzeko.

- Ez du outputik. Errorea bueltatu ezean, ez du inolako erantzunik ematen egikaritzen bukatzean.
- *AeroDyn15* sarrera-fitxategiko parametro bi alda dezake, biak ere magnitude konkretuan neurri-zenbakiak.

OC3-Hywind Spar turbina-konfigurazioari printzipioz ez dagokion *AeroDyn15* fitxategi bat aldatu nahiko balitz, programaren 19. eta 41. lerroetako komandoak aldatu beharko lirateke. Aldaketa horiek 3.3.2 azpiatalean "*chHydroDyn.m*" programarentzako emandako adibidearen modu homologoan egingo dira.

3.3.4. *chElastoDyn.m*

Programa honek *ElastoDyn* sarrera-fitxategiaren edukia aldatzeko balio du. *OC3-Hywind Spar* turbina-konfigurazio lehenetsiarekin, aldatuko duen fitxategiaren izena "*NRELOffshrBslne5MW_OC3Hywind_ElastoDyn.dat*" da.

Haren argibideak *Matlab*-en edo *Octave*-n bertan, editorean ireki gabe, kontsulta daitezke. Horretarako, komando-lerroan "*help chElastoDyn*" egikaritu behar da, betiere "*chElastoDyn.m*" laneko karpetaren barruan ("current path") badago. Bestela ere, alda ditzakeen parametroen inguruko xehetasunak I. eranskinean (*Scripteteara pasatutako sarrera-aldaagaiak*) daude eskuragarri.

Ezaugarrietako batzuk aipatzekotan, honakoak:

- Hiru input-aldaagai jaso behar du exekutatzeko.
- Ez du outputik. Errorea bueltatu ezean, ez du inolako erantzunik ematen egikaritzen bukatzean.
- *ElastoDyn* sarrera-fitxategiko bost parametro alda dezake, bostak ere magnitude konkretuan neurri-zenbakiak.

OC3-Hywind Spar turbina-konfigurazioari printzipioz ez dagokion *ElastoDyn* fitxategi bat aldatu nahiko balitz, programaren 20. eta 50. lerroetako komandoak aldatu beharko lirateke. Aldaketa horiek 3.3.2 azpiatalean "*chHydroDyn.m*" programarentzako emandako adibidearen modu homologoan egingo dira.

3.3.5. *chInflowWind.m*

Programa honek *InflowWind* sarrera-fitxategiaren edukia aldatzeko balio du. "*NRELOffshrBslne5MW_InflowWind.dat*" da aldatuko duen fitxategiaren izena.

Haren argibideak *Matlab*-en edo *Octave*-n bertan, editorean ireki gabe, kontsulta daitezke. Horretarako, komando-lerroan "*help chInflowWind*" egikaritu behar da, betiere "*chInflowWind.m*" laneko karpetaren barruan ("current path") badago. Bestela ere, alda ditzakeen parametro guztiei buruzko xehetasunak I. eranskinean (*Scripteteara pasatutako sarrera-aldaagaiak*) daude eskuragarri.

Ezaugarrietako batzuk aipatzekotan, honakoak:

- Zazpi input-aldaagai jaso behar du exekutatzeko.

- Ez du outputik. Errorea bueltatu ezean, ez du inolako erantzunik ematen egikaritzen bukatzean.
- *InflowWind* sarrera-fitxategiko bederatzi parametro alda dezake. Horietako bat "switch" motakoa da, hiru beste fitxategi batzuen izenak (testua), eta gainerako bostak zenbakizko aldagaien balioak.

3.3.6. *chTurbSim.m*

Programa honek *TurbSim*-en sarrera-fitxategiaren edukia aldatzeko balio du, "*TurbSim.inp*" izeneko.

Haren argibideak *Matlab*-en edo *Octave*-n bertan, editorean ireki gabe, kontsulta daitezke. Horretarako, komando-lerroan "*help chTurbSim*" egikaritu behar da, betiere "*chTurbSim.m*" laneko karpetaaren barruan ("current path") badago. Bestela ere, alda ditzakeen parametro guztiei buruzko xehetasunak I. eranskinean (*Scripteteara pasatutako sarrera-aldagaiak*) daude eskuragarri.

Programaren ezaugarri nagusiak hauek dira:

- 13 input-aldagai jaso behar du exekutatzeko.
- Ez du outputik. Errorea bueltatu ezean, ez du inolako erantzunik ematen egikaritzen bukatzean.
- Sarrera-fitxategi nagusiko 17 parametro alda dezake. Horietatik bi "switch" motako aldagaien balioak dira eta beste bat "flag" motakoa ("True"/"False").

4. SIMULAZIO-BALDINTZAK

Simulatzea izan da GRAL honetako bigarren zeregina; helburua, probak eta zuzenketak egin eta FASTekin trebatzea, nagusiki. Zehatzago azalduz, honatx simulazioak egin izanaren arrazoiak:

- **FAST ondo dabilela frogatu.** Alde batetik, simulazioetan ez da errorerik gertatu behar. Bestetik, simulazioen emaitzak zentzuzkoak direla frogatu behar da. Edozein erroregatik simulazioak bertan behera gelditzen badira edo, simulatuta ere, logikaz kanpoko emaitzak lortzen badira, arazoaren zergatia edo zergatiak ulertu beharko dira. Horrela, aldatu beharreko parametroak aldatuz, konfigurazio orokor zuzena ezarriko da.
- **Idatzitako script eta programen baliagarritasuna aztertu eta hobetu.** Programatu bitartean proba txikiak egin dira komandoak zuzenak direla ziurtatzeko. Hala ere, ohikoa da teknika egokiaz baina okerreko taktikaz programatu izatea. Sarri gertatu legez, scriptak eta programak praktikan jartzean, zenbait eginkizun burutzeko modu sinpleagoak daudela ikusi da. Horrela, software berria hobetzea lortu da.
- **FAST erreminta gisa erabiltzeko trebetasuna garatu.** Benetako lana emaitzen analisia eta horrekin loturiko gogoeta izan behar da. Beraz, analisirako denbora utzi ahal izateko, funtsezkoa da simulazio bakoitzean erabiltzaileak egin behar duen lanaren mekanika barneratzea. Horretarako biderik onena honakoa da: simulazioak bata bestearen atzetik egitea. Halaber, emandako lehen arrazoiarekin lotura eginez, ohiko erroreak nolakoak diren ezagutzea baliagarria da FAST zein TurbSim menperatzeko.

FOWT aerosorgailu baten baldintza errealek gerturatzeko ahaleginetan simulazio ugari egin dira. Aurrerago ikusiko denez, olatu irregularrak eta leku errealeko haizea, besteak beste, erabili dira simulazio horietako batzuetan.

Kontuak kontu, simulazioak multzo edo blokeetan banatu dira. Simulazio-bloke bakoitzak bereizgarri bat du, hau da, hari dagozkion simulazioek elkarrekiko erlazio jakin bat daukate, gainerako simulazioekiko aldea ezarriko duena. Adibide garbiena olaturik gabeko eta haize konstantedun baldintzekin egindako simulazioen multzoa da.

4.1. OROKORTASUNAK

FASTek askotariko baldintzak aldatzeko parada ematen du, aukera gehiegi guztiekin probak egin ahal izateko. Ondorioz, sarrera-parametro gehienak bere horretan, konstante mantendu dira probako simulazio guztietan. Aldaketak, jakina, script nagusira pasatutako parametroetan aplikatu dira. Konstante mantendu diren baldintza esanguratsuenak 4-1 taulan kontsulta daitezke.

4-1 taulako baldintza komun horien artean, simulazioen iraupenaren ingurukoak azpimarratu behar dira. Era honetako saiakuntzetan ohikoa denez, simulazio bakoitzaren iraupen-praktikoa 10 minutu (600 s) izatea erabaki da. Aitzitik, guztizko iraupena 650 s izan da kasu guztietan, sarrera-fitxategi nagusia lehen 50 segundoak baztertuak izan daitezzen konfiguratu baita (4-1 taulako "hasieran baztertutako denbora" kontzeptua). Azken batean, simulazioaren lehen zatia tarte iragankorra da eta, sarrera gisa ezarritako

hasierako baldintzen arabera, zenbait irteera-aldagairen balioak zentzugabeak eta nahasgarriak izan daitezke.

KONTZEPTUA	BALIOA
Turbina	NREL 5-MW
Turbina-konfigurazioa	OC3-Hywind Spar
Aerodinamikaren kalkulu-plataforma	<i>AeroDyn15</i>
Egitura-dinamiken kalkulu-plataforma	<i>ElastoDyn</i>
Ainguratze-sistemaren kalkulu-plataforma	<i>MAP++</i>
Simulazioaren iraupena	650 s
Hasieran baztertutako denbora	50 s
Simulazioaren denbora-pausoa	0,0125 s
Grabitatearen azelerazioa	9,80665 m/s ²
Turbinaren askatasun graduak	3 palako turbinentzako guztiak aktibatuta
Palen hasierako pitch angelua	0°
Gondolaren hasierako yaw angelua	0°
Kaxa-biderkatzailearen eraginkortasuna	%100
Airearen dentsitatea*	1,225 kg/m ³
Airearen biskositate zinematikoa	1,464·10 ⁻⁵ m ² /s
Soinu-abiadura	340 m/s
Uraren dentsitatea	1025 kg/m ³
Sakonera	320 m
Olatuen norabidea	0° (x _i ardatzean hedatzen dira)
2. ordenako olatuak	EZ
Korrontea	EZ
Ainguratze-linea kopurua	3
Ainguratze-lineen luzera	902,2 m
Pitch kontrola	"Bladed interface" bidez (".dll" fitxategiak)
Sorgailuaren kontrola	"Bladed interface" bidez (".dll" fitxategiak)

* Kontrakorik aipatu ezean; izan ere, simulazio gutxi batzuetan aire-dentsitatea aldatu da.

4-1 taula. Simulazio guztietan konstante mantendu diren baldintzak/konfigurazioak.

Hasieran, 2. blokean egindako simulazioetan okerreko emaitzak ikusi izan direnez, egia da scriptera pasa ez diren *AeroDyn* parametro batzuk aldatu behar izan direla hurrengo saiakuntzetarako. Aldatutako parametroak, guztiak ere scriptera bideratu gabekoak, 4-2 taulan erakusten dira. Hala ere, konfigurazio-akats hori zuzendu ondoren, parametro horiek ez dira berriro ukitu. Emaitzak aztertzean topatutako akats baten ondorio direlako, aldaketa horiek aplikatu izanaren arrazoia simulazioen emaitzen analisiarekin batera azalduko da, 5. kapituluaren (5.2. atala).

ALDAGAIA	OKERREKO BALIOA*	BALIO ZUZENA
WakeMod	0	1
AFAeroMod	1	2
TwrPotent	0	1

*Konfigurazio honekin arazorik gabe simula daiteke, baina emaitzetako batzuk ez dira errealistak.

4-2 taula. AeroDyn15-en konfigurazioan egindako akatsa eta haren zuzenketa.

4.2. HAIZE-FITXATEGIAK (BALDINTZAK ETA EMAITZAK)

Saiakuntzetako batzuk haize konstantearekin egin dira, zuzenean *InflowWind* sarrera-fitxategian zehazten den haize motarekin, hain zuzen. Dena den, gainontzekoetan haize-fitxategi konkretu batzuk erabili behar izan dira. Horietako batzuk, ".bts" formatuko haize turbulentoak, proba hauetarako espresuki sortu dira *TurbSim*-ekin. Besteak, ".hh" formatuko fitxategiak dira; horiekin, haizea uniformea dela kontsideratzen du FASTek.

4.2.1. *TurbSim*-ekin sortutakoak

Parametro birekin jokatu, lau haize-fitxategi sortu dira *TurbSim* erabiliz, gerora haize baldintza ezberdinekin turbinak izango lukeen portaera aztertu eta alderatu ahal izateko. Jokoan jarritako parametroak haize-abiadura eta turbulentziaren karakteristika dira. Lehenik, ordea, haize guztiek amankomunean izandako sarrera-parametro garrantzitsuenak erakutsiko dira.

Planoa

- Altuera: 165 m
- Zabalera: 165 m
- Erdigunearen kota: 90 m (abatzaren altuera)
- Altueran zeharreko nodo-kopurua: 20
- Zabalera zeharreko nodo-kopurua: 20

Iraupena - 650 s (iraupen erabilgarria)

IEC ezaugarriak

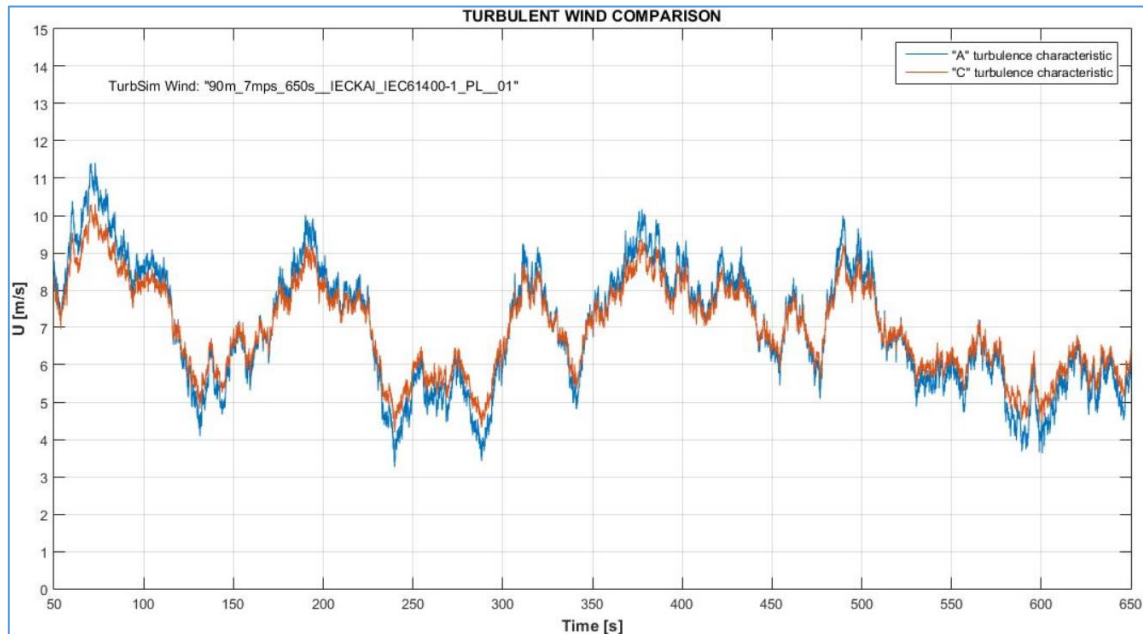
- Turbulentzia-eredua: Kaimal
- IEC estandarra: 61400-1, 3. edizioa
- IEC turbulentzia mota: NTM
- Profil bertikalaren eredua: potentziala
- $PL_{exp} = 0,2$ (aukera lehenetsia)
- $H_{ref} = 90$ m (abatzarekin bat)

Hortaz, turbinaren abatzean zentratutako haize-planoak sortu dira, 165 x 165 m eta, aldi berean, 20 x 20 nodo duten sareak. Guztiek turbulentzia arruntari (ez muturrekoa) eta Kaimal ereduari jarraitzen diote, lege potentzialeko profil bertikalarekin.

Jarraian, haize-fitxategi bakoitzaren parametro bereizgarriak erakutsiko dira, 4-3 taulan. Gogoratu haize-abiadura biren (7 eta 15 m/s) eta IEC turbulentzia-karakteristikaren muturreko aukeren ("A" eta "C") konbinazio posibleak direla. Turbulentzia-karakteristikaren eragina ikusteko, batz best 7 m/s-ko abiadura duten haize biak alderatu dira, 4-1 irudian.

	Fitxategiaren izena	U_{avg} H_{ref} -en	Turbulentziaren karakteristika
1.	90m_7mps_650s__IECKAI_IEC61400-1A_PL__01	7	"A"
2.	90m_7mps_650s__IECKAI_IEC61400-1C_PL__01	7	"C"
3.	90m_15mps_650s__IECKAI_IEC61400-1A_PL__01	15	"A"
4.	90m_15mps_650s__IECKAI_IEC61400-1C_PL__01	15	"C"

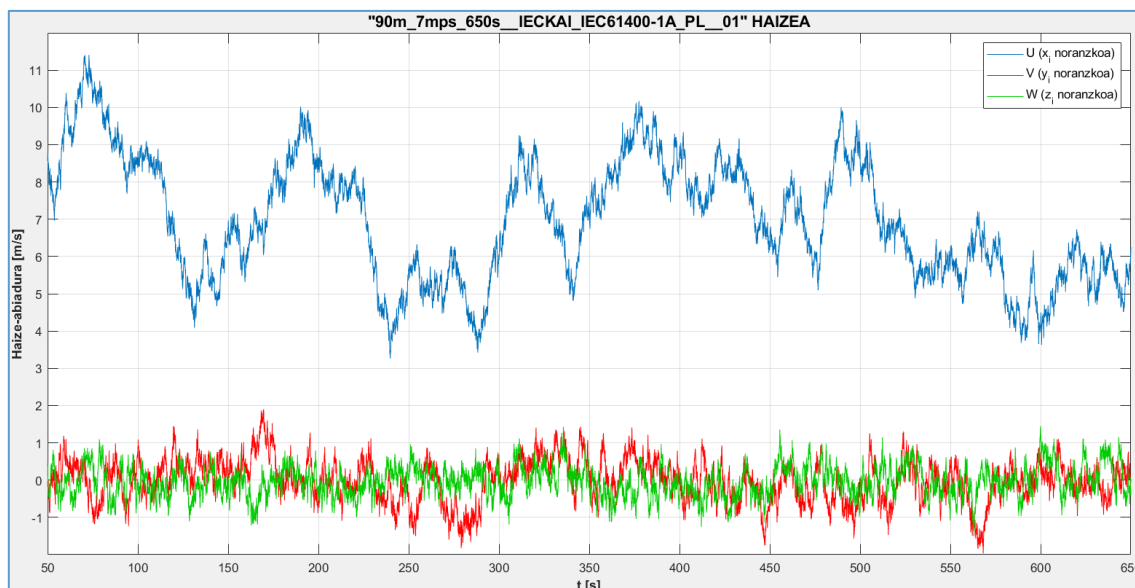
4-3 taula. TurbSim bidez sortutako haize-fitxategien parametro bereizgarriak.



4-1 irudia. 1. eta 2. haizeen arteko konparaketa: haize-abiadura axiala vs. denbora.

4-1 irudian ikusten denez, haize biek joera berdintsua dute denboran. Ezberdintasuna zera da, "A" karakteristika duen haizeak batezbestekoarekiko desbiderapen handiagoak dituela, hots, turbulentoagoa dela.

Bestalde, kontuan izan behar da 4-1 irudiko abiadurak saretarekiko elkartzuta den osagai axialari (U) dagozkiola. Beste bi osagaiak, bertikala (W) eta y_i ardatzekoa (V), nahiz eta haien batezbestekoak zero izan, ez dira nuluak. Ezaugarri hori 4-2 irudian aztertu daiteke 1. haizearen kasurako.



4-2 irudia. 1. haizearen hiru osagaiak.

4.2.2. Haize uniformeak

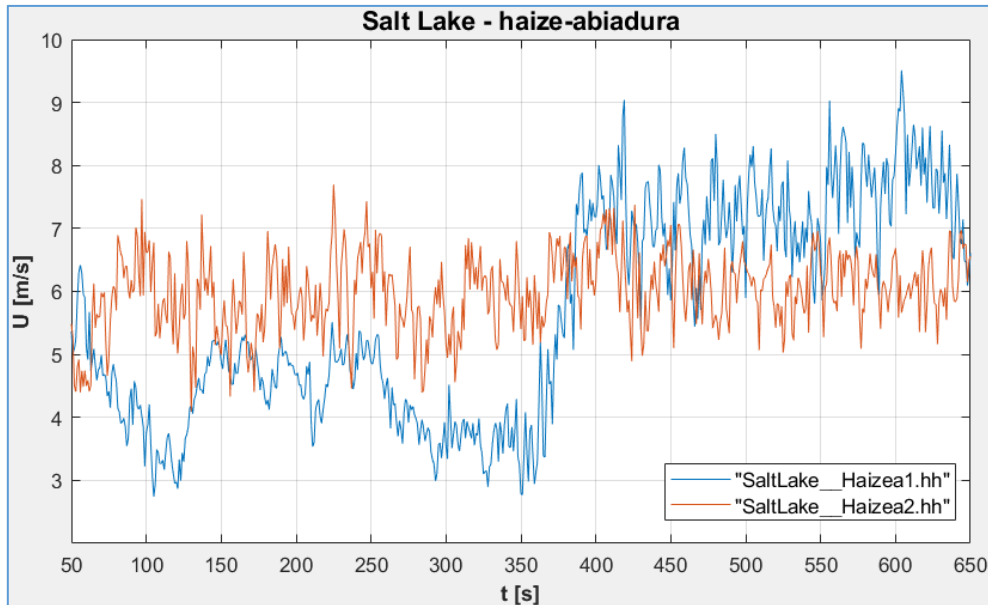
Saiakuntza batzuetan “.hh” (“Hub Height”-en laburdura) formatuko haize-fitxategiak erabili dira, zehazki, hiru fitxategi. Horietako bi leku erreal batean (Salt Lake, AEB) neurketa bidez lortutako denbora-serie errealetan oinarritzen dira. Beste fitxategia guztiz alegiazko denbora-serie bati dagokio, arrapala itxurako kurba osatzen duena. Azken hau egokia da simulazio bidez potentzia-kurbaren estimazioak egiteko.

Esan bezala, haize erreal horiek Salt Lake-ko meteorologia-estazio batean egindako neurketekin baliozkotuak izan dira. Hori bai, abiadurak osagai axiala baino ez dauka fitxategian. Neurketak ultrasoinu bidezko anemometroekin egin ziren; hauek maiztasun handiarekin hartzen dituzte laginak (1 Hz baino gehiago), baina fitxategietako denbora-serieak segondoka osatu izan dira. Horrez gain, neurketa-datuak abatzaren altuerara doitu behar izan dira. Deskribapen honi dagokion informazio osagarria 4-4 taulan dago (gehiago sakondu nahi izatekotan, jo [14] erreferentziara).

Neurketen kokalekua	40,5938° I , 112,0621° M
Datu-bilketaren epea	2010/11/10 – 2011/02/02
Neurgailuen altuera	10 m
Fitxategiko datuen altuera	90 m
Profil bertikalaren eredua (doiketa egiteko)	Logaritmikoa
Fitxategiko datuen denbora-pausoa	1 s

4-4 taula. Salt Lake-ko haize-fitxategiak: datuen jatorria [14].

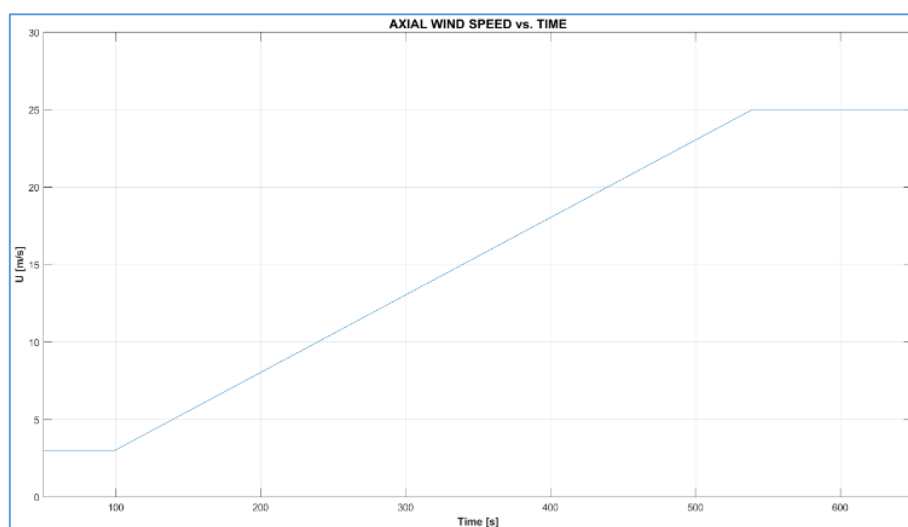
Ondorengo irudian (4-3), Salt Lake-ko haize biak U-t grafiko bateratuan erakusten dira, 50 eta 650 segundoen artean (fitxategiek 2.000 s-ko serieak dauzkate). Gogoratu “.hh” fitxategiekin haizea uniformea dela kotsideratzen duela FASTek, hortaz, 4-3 irudiko abiadurak errotore-planoko puntu guztietakoak izango dira.



4-3 irudia. Salt Lake-n (AEB) egindako neurketekin baliozkotutako haize-abiaduren denbora-serieak, 50-650 s arteko eremuan.

Ikus daitekeenagatik, eta *NREL 5-MW* turbinaren lan-tartea kontuan izanda, haize ahul samarrak dira biak ere: batezbesteko abiadura 6 m/s ingurukoa dute eta une batean ere ez dute 10 m/s gainditzen. 1. haizean tarte bi nabarmentzen dira denbora-eremuan. Hasieran (370. segundora arte gutxi gorabehera), 3 - 5,5 m/s artean mantentzen da abiadura; bigarren tartean (380. segundotik aurrera), ostera, 6 - 9 m/s artean oszilatzen du. 2. haizea, aitzitik, egonkorragoa da; ia uneoro mantentzen da 5-7 m/s tartearen barnean.

Alegiazko haize-fitxategiari dagokionean, saiakuntza hauetako batzuetan erabiltzeko asmoarekin sortua izan da. Haren U-t grafikoa 4-4 irudian dago. Haize turbulentoak ez bezala, fitxategi hau NRELe idatzitako "*writeUniformWindFile.m*" programarekin sortu da, *Matlab*-en. Programa hori *FAST_v8*-ren deskarga-paketean dago, beste askoren artean, "*ReadFASTbinary.m*"-rekin batera.



4-4 irudia. "rampa_ona.hh" haize-fitxategiaren denbora-seriea, 50-650 s arteko eremuan.

Denbora-seriea 1.000 segundo luze da eta, Salt Lake-ko haizeek bezala, honek ere osagai axiala baino ez dauka aldiune guztietan. Aurrez aipatu da fitxategi honetako haize-abiadurek arrapala itxurako kurba osatzen dutela denboran. Datu-serieak hiru tarte ditu eta, horietatik, erdikoari bakarrik dagokio arrapala-seinalea. Tarte horretan, segundoko 0,05 m/s-ko irabaziarekin, 3 m/s-tik ("cut-in") 25 m/s-ra ("cut-out") pasatzen da. Lehen eta azken tarteetan haize-abiadura konstantea da, 3 eta 25 m/s, hurrenez hurren.

4.3. SIMULAZIOAK

Burututako saiakuntzak zazpi bloketan bereizi dira. Lehenengoari, programatzen hasi aurretik egindako simulazio bi dagozkio. Hauek, hortaz, eskuz prestatu ziren, parametroak aldatzeko sarrera-fitxategiak zabalduz. Bigarren blokeko saiakuntzek 4-2 taulan erakutsitako *AeroDyn*-en konfigurazio akastuna daukate; hori dela eta, hirugarren blokean errepikatu dira, okerreko ezarpenak zuzenduta. Hortik aurrerako saiakuntza guztietan ere *AeroDyn* ondo konfiguratuta egon da.

4.3.1. Lehenengo blokea - programatu aurretiko simulazioak

Lan honen guztiaren hastapenetan, simulazio bi egin dira, FAST_v8.16 bertsioarekin lehen hartu-emana izateko. Lehen proba hauek simulazioen funtzionamenduaren ideia orokor bat barneratzeko balio izan dute. Gerora, probetxuzkoak izan dira scriptak eta programak idazteko.

Baldintza bereizgarriak zerrendatu aurretik, ohartu lehen simulazio hauen iraupen-konfigurazioa ez datorrela bat orokortasun gisa azpimarratutakoarekin. Hauek laburragoak dira. Bestalde, *AeroDyn*-en konfigurazioa zuzena da kasu bietan (*WakeMod* = 1, *AFAeroMod* = 2, *TwrPotent* = 1). Izan ere, parametro horiek geroago deskonfiguratu dira, "chAeroDyn.m" programaren behin behineko aldaera bat probatzerakoan.

Saiakuntza biek haizea, olatuen modelo mota eta olatuen altuerak dituzte amankomunean:

Haizea	<ul style="list-style-type: none"> - TurbSim-ekin sortutakoa - $U_{avg} = 26 \text{ m/s}$ $H_{ref} = 90 \text{ m}$ (erreferentzia-altuera) - Turbulentzia eredua: Kaimal - Turbulentziaren karakteristika: "B" - IEC Turbulentzia mota: NTM - Profil bertikalaren eredua: potentziala $PL_{exp} = 0,2$ (eredu potentzialaren berretzailea, aukera lehenetsia)
Olatuak	<ul style="list-style-type: none"> - Erregularrak - $H = 2 \text{ m}$

Simulazio bien arteko desberdintasuna iraupenean eta olatuaren periodoan datza. Bigarren kasuan oso periodo handia ezarri da, alegiazkoa; haatik, emaitza interesgarria lortu da (ikus 5.1. atala). Kontuak kontu, hauek dira simulazio bakoitzaren parametro bereizgarriak:

- **1. aurre-saiakuntza** - Iraupena: 180 s, hasiera baztertu gabe
Olatua: $T = 14 \text{ s}$
- **2. aurre-saiakuntza** - Iraupena: 252 s, hasiera baztertu gabe
Olatua: $T = 30 \text{ s}$

4.3.2. Bigarren blokea – Okerreko ezarpenak AeroDyn-en

Script nagusia idatzi bezain laster, simulaziorik oinarritzkoenak egin dira: **olaturik ez** eta **haize konstantea**. Haizearen profil bertikalaren eredu potentzialerako berretzailea 0,2 izan da. Haize-abiadurak aldatuz, 12 saiakuntza egin da, baldintza egonkorretan FASTek ondo erantzuten duela ziurtatzeko.

Halaber, azpimarratu behar da bloke honetako simulazioak izan direla AeroDyn-en okerreko ezarpenak ($WakeMod = 0$, $AFAeroMod = 1$ eta $TwrPotent = 0$) pairatu dituztenak.

Lehen saiakuntza 3 m/s-ko haizearekin burutu da, azkena, berriz, 25 m/s-rekin; saiakuntza batetik bestera 2 m/s-ko jauzia egon da. Hona hemen proba bakoitzaren baldintza bereizgarriak:

- **1. saiakuntza** - $U = 3 \text{ m/s}$
- **2. saiakuntza** - $U = 5 \text{ m/s}$
- **3. saiakuntza** - $U = 7 \text{ m/s}$
- **4. saiakuntza** - $U = 9 \text{ m/s}$
- **5. saiakuntza** - $U = 11 \text{ m/s}$
- **6. saiakuntza** - $U = 13 \text{ m/s}$
- **7. saiakuntza** - $U = 15 \text{ m/s}$
- **8. saiakuntza** - $U = 17 \text{ m/s}$
- **9. saiakuntza** - $U = 19 \text{ m/s}$
- **10. saiakuntza** - $U = 21 \text{ m/s}$
- **11. saiakuntza** - $U = 23 \text{ m/s}$
- **12. saiakuntza** - $U = 25 \text{ m/s}$

4.3.3. Hirugarren blokea

AeroDyn-en parametroak berrezarri bezain pronto, 2. blokeko saiakuntzak errepikatu dira; gogoratu: **olaturik ez** eta **haize konstantea**. Haizearen profil bertikalaren eredu potentzialerako berretzailea (PLexp) 0,2 izan da. Haize-abiadurak aldatuz, bada, beste 12 saiakuntza, baldintza egonkorretan FASTek ondo erantzuten duela ziurtatzeko.

Lehen saiakuntza 3 m/s-ko haizearekin burutu da, azkena, berriz, 25 m/s-rekin; batetik bestera 2 m/s-ko jauzia egon da. Hona hemen proba bakoitzaren baldintza bereizgarriak:

- **1. saiakuntza** - $U = 3 \text{ m/s}$
- **2. saiakuntza** - $U = 5 \text{ m/s}$
- **3. saiakuntza** - $U = 7 \text{ m/s}$

- **4. saiakuntza** - $U = 9 \text{ m/s}$
- **5. saiakuntza** - $U = 11 \text{ m/s}$
- **6. saiakuntza** - $U = 13 \text{ m/s}$
- **7. saiakuntza** - $U = 15 \text{ m/s}$
- **8. saiakuntza** - $U = 17 \text{ m/s}$
- **9. saiakuntza** - $U = 19 \text{ m/s}$
- **10. saiakuntza** - $U = 21 \text{ m/s}$
- **11. saiakuntza** - $U = 23 \text{ m/s}$
- **12. saiakuntza** - $U = 25 \text{ m/s}$

4.3.4. Laugarren blokea

Multzo honetan, lau simulazio egin dira, **olaturik gabe** eta **haize turbulentoarekin**. Saiakuntza batetik bestera, sarrerako haize-fitxategia baino ez da aldatu, hots, 4.2.1. azpiatalean (*TurbSim-ekin sortutuakoak*) deskribatutako haize guztiak erabili dira.

Proba hauen helburu konkretua turbulentzia-maila aldatzearen eragina aztertzea da. Saiakuntzak egin dira bai haize-abiadura izendatuaren azpitik ($U_{\text{avg}} = 7 \text{ m/s}$ duten haizeak) eta baita haren gainetik ($U_{\text{avg}} = 15 \text{ m/s}$ duten haizeak) ere.

- **1. saiakuntza** - 1. haize-fitxategia
 $U_{\text{avg}} = 7 \text{ m/s}$
T. karakteristika: "A"
- **2. saiakuntza** - 2. haize-fitxategia
 $U_{\text{avg}} = 7 \text{ m/s}$
T. karakteristika: "C"
- **3. saiakuntza** - 3. haize-fitxategia
 $U_{\text{avg}} = 15 \text{ m/s}$
T. karakteristika: "A"
- **4. saiakuntza** - 4. haize-fitxategia
 $U_{\text{avg}} = 15 \text{ m/s}$
T. karakteristika: "C"

4.3.5. Bosgarren blokea

Oraingoan **olatu irregularrak** jokoan jarri dira. Horrekin batera, 4.2.1. azpiatalean (*TurbSim-ekin sortutuakoak*) deskribatutako **haize turbulentoak** ezarri dira haize-sarreratzat. Orotara, zortzi simulazio egin da, eta guztiek amankomunean duten baldintza olatuen periodo pikoa da, serie irregularrean nagusitzen dena. Bizkaiko golkoan ohikoa den balioa ezarri zaio:

- $T_p = 10 \text{ s}$

Bestalde, probetako bakoitza baldintza hauen konbinazioak definituko du: olatuen altuera significantea (2 m edo 5 m), abatzaren altuerako batezbesteko haize-abiadura (7 m/s edo 15 m/s) eta haize-turbulentziaren karakteristika ("A" edo "C").

Honatx zortzi simulazioen bereizgarriak:

- **1. saiakuntza** - $H_s = 2 \text{ m}$
1. haize-fitxategia
 $U_{avg} = 7 \text{ m/s}$
T. karakteristika: "A"
- **2. saiakuntza** - $H_s = 2 \text{ m}$
2. haize-fitxategia
 $U_{avg} = 7 \text{ m/s}$
T. karakteristika: "C"
- **3. saiakuntza** - $H_s = 2 \text{ m}$
3. haize-fitxategia
 $U_{avg} = 15 \text{ m/s}$
T. karakteristika: "A"
- **4. saiakuntza** - $H_s = 2 \text{ m}$
4. haize-fitxategia
 $U_{avg} = 15 \text{ m/s}$
T. karakteristika: "C"
- **5. saiakuntza** - $H_s = 5 \text{ m}$
1. haize-fitxategia
 $U_{avg} = 7 \text{ m/s}$
T. karakteristika: "A"
- **6. saiakuntza** - $H_s = 5 \text{ m}$
2. haize-fitxategia
 $U_{avg} = 7 \text{ m/s}$
T. karakteristika: "C"
- **7. saiakuntza** - $H_s = 5 \text{ m}$
3. haize-fitxategia
 $U_{avg} = 15 \text{ m/s}$
T. karakteristika: "A"
- **8. saiakuntza** - $H_s = 5 \text{ m}$
4. haize-fitxategia
 $U_{avg} = 15 \text{ m/s}$
T. karakteristika: "C"

4.3.6. Seigarren blokea

Bloke honetan, TurbSim-ekin sortutako haizeak alde batera utzi eta ".hh" formatuko haizeak erabili dira, **Salt Lake**-ko biak, hain zuzen ere. Haize horiekin bina proba homologo burutu da, denera lau simulazio, alegia.

Simulazio hauen xedea haize errealak probatzea izan da. Olaturik gabe eta bi metroko olatu irregularrekin konbinatu da haize bakoitza:

- **1. saiakuntza** - Haize-fitxategia: "SaltLake_Haizea1.hh"
Olatu irregularrak
 $H_s = 2 \text{ m}$
 $T_p = 8 \text{ s}$
- **2. saiakuntza** - Haize-fitxategia: "SaltLake_Haizea1.hh"
Olaturik ez
- **3. saiakuntza** - Haize-fitxategia: "SaltLake_Haizea2.hh"
Olatu irregularrak
 $H_s = 2 \text{ m}$
 $T_p = 8 \text{ s}$
- **4. saiakuntza** - Haize-fitxategia: "SaltLake_Haizea2.hh"
Olaturik ez

4.3.7. Zazpigarren blokea

Bukatzeko, saiakuntza berezia egin da. Hiru simulazio, hirurak 4.2.2. azpiatalean (*Haize uniformeak*) deskribatu eta erakutsi den **arrapala formako haize**-seinalearekin (*"rampa_ona.hh"* fitxategia). Haize horrekin posible da potentzia-kurbaren moduko grafikoak irudikatzea, abzisa-ardatzean haize-abiadura eta, ordenatu-ardatzean irteerako potentzia jarrita.

Potentzia-kurbaren ideia kontuan harturik, simulazio batetik bestera airearen dentsitatea aldatu da. Asmoa: dentsitatearen hiru balioentzako potentzia-kurbak batera erakutsiz, airearen propietate honek duen eragina azpimarratzen saiatu. Horretarako, itsas mailan muturrekoak dentsitate-balioak hautatu dira.

Bestalde, azken saiakuntza hau **olaturik gabeko** baldintzapekoa da. Olatuekin potentzia-kurba itxurosoak lortzeko, haize-abiaduraren eremu erabilgarria (3 - 25 m/s) tarte txikiagoetan banatu eta tarte bakoitzeko batezbestekoarekin simulazio bat egin beharko litzateke.

Bloke honetako simulazio bakoitzaren bereizgarriak hurrengoak dira:

- **1. simulazioa** - $\rho_{\text{aire}} = 1,225 \text{ kg/m}^3$
Adibidez:
 $T = 15 \text{ }^\circ\text{C}$
 $P = 1.013,25 \text{ mbar (1 atm)}$
- **2. simulazioa** - $\rho_{\text{aire}} = 1,05 \text{ kg/m}^3$
Adibidez:
 $T = 32 \text{ }^\circ\text{C}$
 $P = 920 \text{ mbar}$
- **3. simulazioa** - $\rho_{\text{aire}} = 1,35 \text{ kg/m}^3$
Adibidez:
 $T = -2,5 \text{ }^\circ\text{C}$
 $P = 1.048 \text{ mbar}$

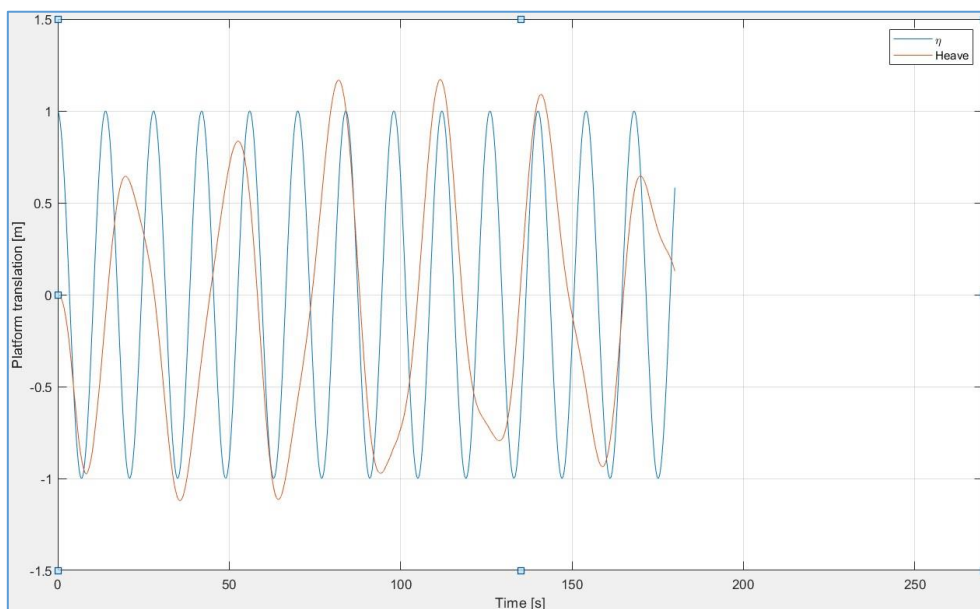
5. SIMULAZIOEN EMAITZAK

Guztira 300 grafiko baino gehiago irudikatu dira, eta horiek guztiak *IRUDIAK* izeneko karpetan daude, simulazioz simulazio ordenatuta. Horien artean, oinarrizko grafikoak, osagarriak eta maiztasun eremuko FFT batzuk daude eta, zerrendaren bukaeran, saiakuntza batzuen arteko konparaketak ere bai.

Edonola ere, kapitulu honetan grafiko esanguratsuenak erakutsiko dira. Saiakuntzen baldintzekin egin bezala, erdietsitako emaitzak blokeka banatu dira. Hori bai, bigarren eta hirugarren blokeak, haien ezaugarriengatik, atal berean aztertuko dira. Laugarren eta bosgarren blokeetako simulazio batzuen arteko alderaketa ere erakutsiko da.

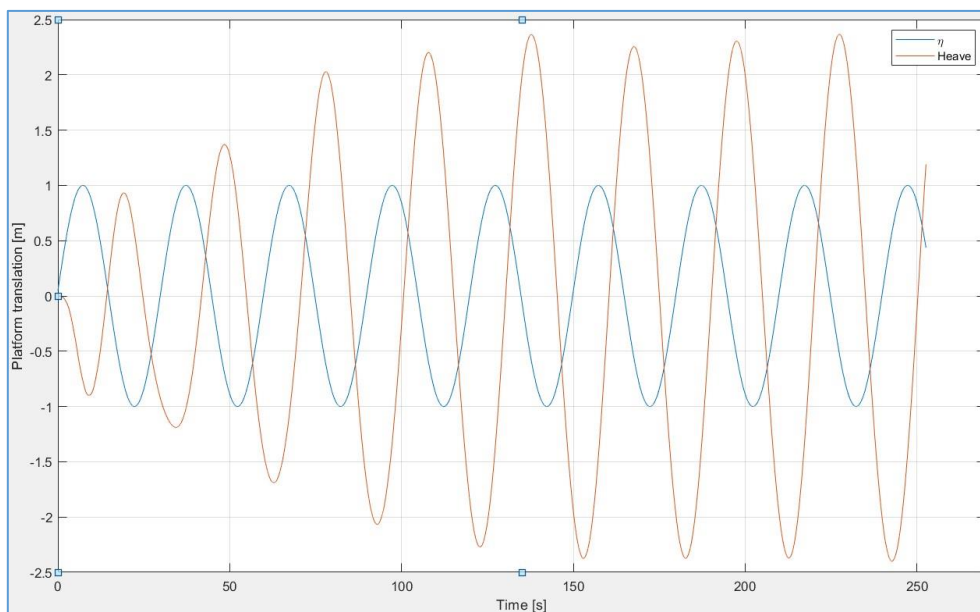
5.1. LEHENENGO BLOKEA

Jarraian, 1.1 eta 1.2 aurre-saiakuntzen grafiko bana ageri da. Bina kurba dute: uraren altxatze-maila ($x_i=y_i=0$ zuzenean) eta plataformaren gora-beherako desplazamendua.



5-1 irudia. 1.1 simulazioaren η -t (urdinez) eta plataformaren heave-t (laranjaz) grafikoak.

5-1 irudian, plataformaren joan-etorri bertikalak 30 s inguruko periodoa duela soma daiteke, nahiz eta olatuaren periodoa 14 s izan. Bada, hori da bigarren simulazioan 30 s-ko olatu-periodoa ezarri izanaren arrazoia; 5-2 irudiak argi erakusten du plataformaren gora-beheranzko higiduraren amplitudea ia bikoiztu dela olatuen alegiazko maiztasun horrekin, alegia, plataforma erresonantzia edo erresonantziatik oso gertu dabilela.



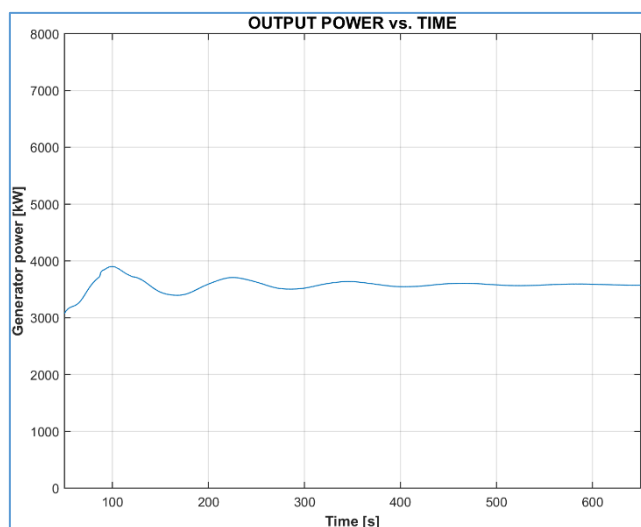
5-2 irudia. 1.2 simulazioaren η -t (urdinez) eta plataformaren heave-t (laranjaz) grafikoak.

Bloke honi dagozkion grafikoak, *IRUDIAK* karpetan, 001-003 zenbakidunak dira.

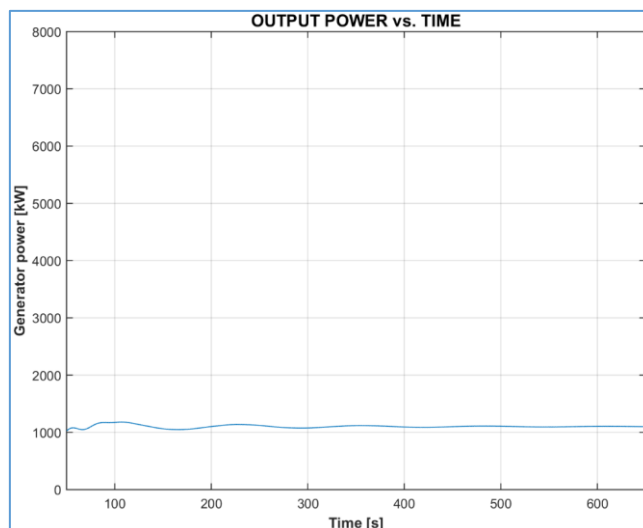
5.2. BIGARREN ETA HIRUGARREN BLOKEAK

Atal honetan, AeroDyn-en okerreko konfigurazioak (4-2 taula) duen eragina azpimarratu nahi da. Horretarako, 2.3 eta 3.3 simulazioen grafiko esanguratsu batzuk erakusten dira 5-3 iruditik 5-8 irudira. Saiakuntza horietan, 7 m/s-ko haize konstantearekin, turbinak potentzia partzialeko eremuan funtzionatu beharko luke, ahalik eta eraginkortasun aerodinamiko handienarekin (2-15 irudiko 2 eremua).

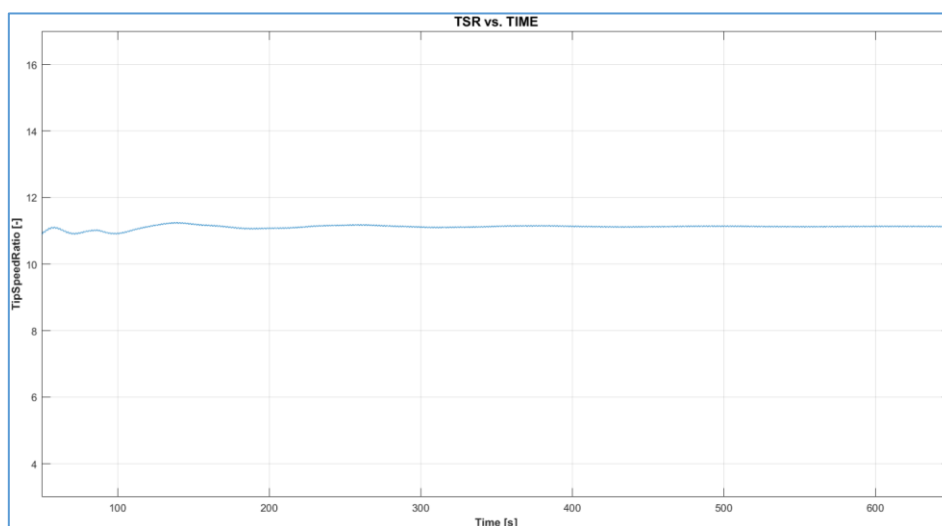
Eraginkortasun aerodinamikoaren kurbetan argi ikusten da 2.3 simulazioko balioak ezinezkoak direla; 3.3 simulaziokoak, ordea, zentzuzkoak dira. Potentziaren eta punta-abiadura ratioaren (TSR) grafikoetan ere, 2.3 simulazioko balioek ez dute zentzu handirik. Gehiegizko balio horien atzean lortatz birakaria kontuan hartu ez izana dago.



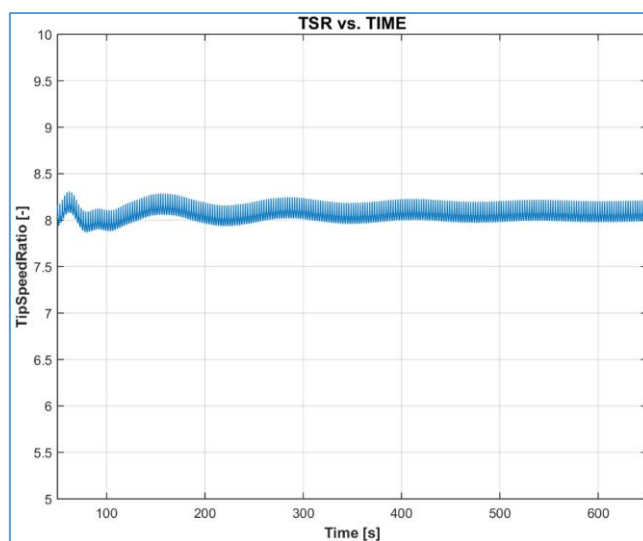
5-3 irudia. 2.3 simulazioaren P_{out} -t grafikoa.



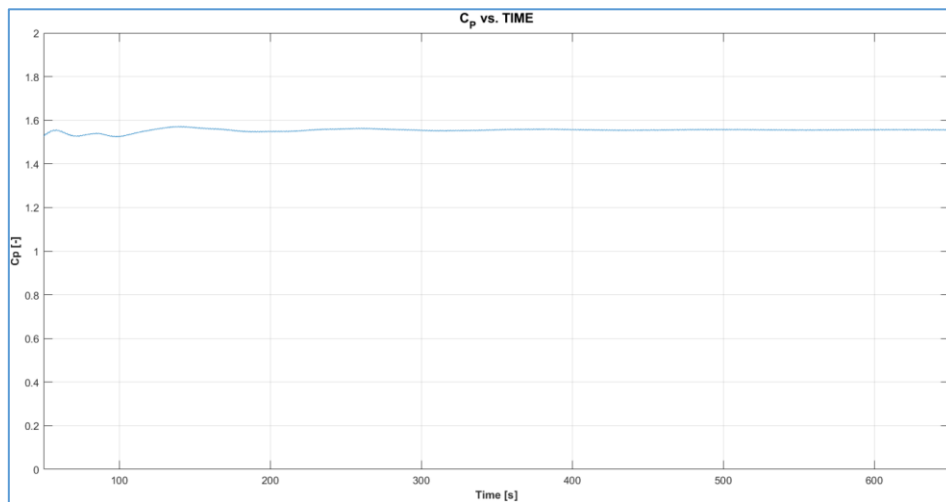
5-4 irudia. 3.3 simulazioaren P_{OUT} -t grafikoa.



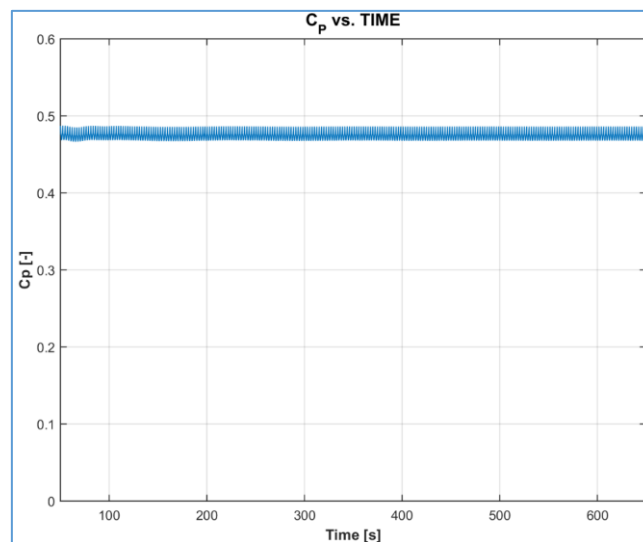
5-5 irudia. 2.3 simulazioaren TSR-t grafikoa.



5-6 irudia. 3.3 simulazioaren TSR-t grafikoa.

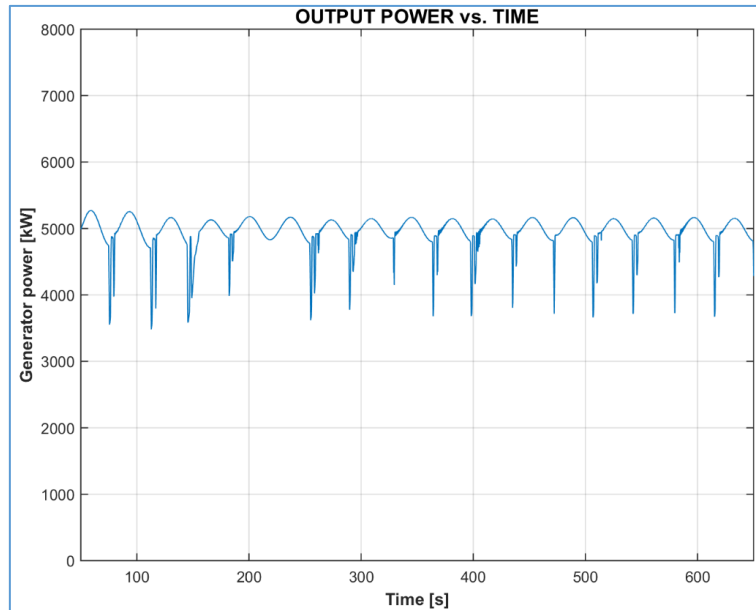


5-7 irudia. 2.3 simulazioaren Cp-t grafikoa.

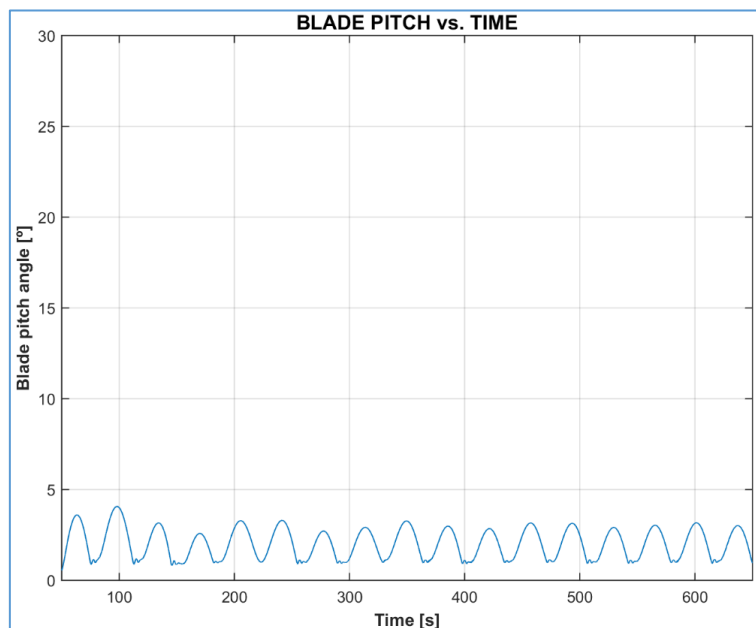


5-8 irudia. 3.3 simulazioaren Cp-t grafikoa.

5-9 eta 5-10 irudietan 2.4 simulazioari dagozkion potentziaren eta palen pitch angeluaren denbora eremuko grafikoak erakusten dira. Nahiz eta, okerreko ezarpen aerodinamikoagatik, emaitza horien eskala errealista ez izan, erantzunaren izaera interesgarria da. 5-9 irudian ikusten diren potentziaren oszilazioek eta bat-bateko beherakadek kontrol-sistemaren algoritmoekin (NREL 5-MW aerosorgailuaren oinarritzko kontrola, “.dll” fitxategikoa) zerikusia dute. Izan ere, pitch angeluaren balio txikiek (5-10 irudia) potentzia izendatuko eremuaren hasieran funtzionatzen ari dela ziurtatzen dute, hau da, pitch-kontrolaren eta abiadura-kontrolaren arteko mugan. Ondorioz, tarte labur batzuetan, 2 ½ funtzionamendu-eremuan sartzen da eta, biraketa-abiadura gutxi murriztu arren, pare elektromagnetikoa nabarmen txikitzen da, potentziaren erori puntual horiek eraginez.

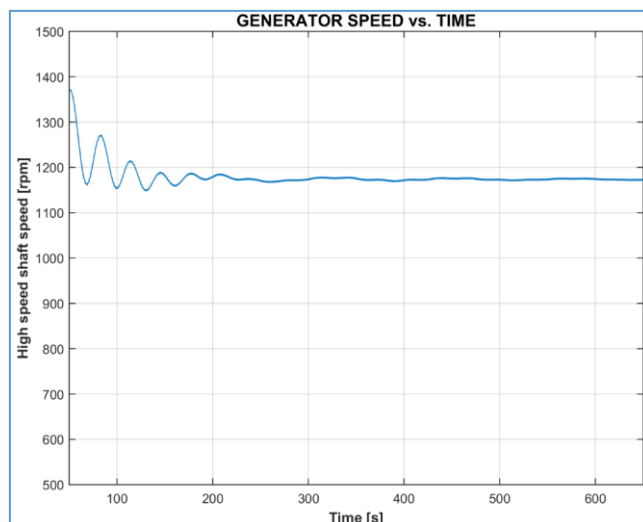


5-9 irudia. 2.4 simulazioaren P_{out} -t grafikoa.



5-10 irudia. 2.4 simulazioaren pitch-t grafikoa.

Haize-abiadura izendatua garbi gaitzen denean, ez dago halako erantzun bortitzik. 5-11 irudian 3.12 simulazioko sorgailuaren abiaduraren grafikoa erakusten da. Kasu horretan ($U = 25 \text{ m/s}$ da), simulazioaren hasierako erantzun iragankorraren ondoren, balio ia konstantean egonkortzen da abiadura, balio izendatuan, hain zuzen ere. Potentziaren kurbak ere joera berbera izango du.



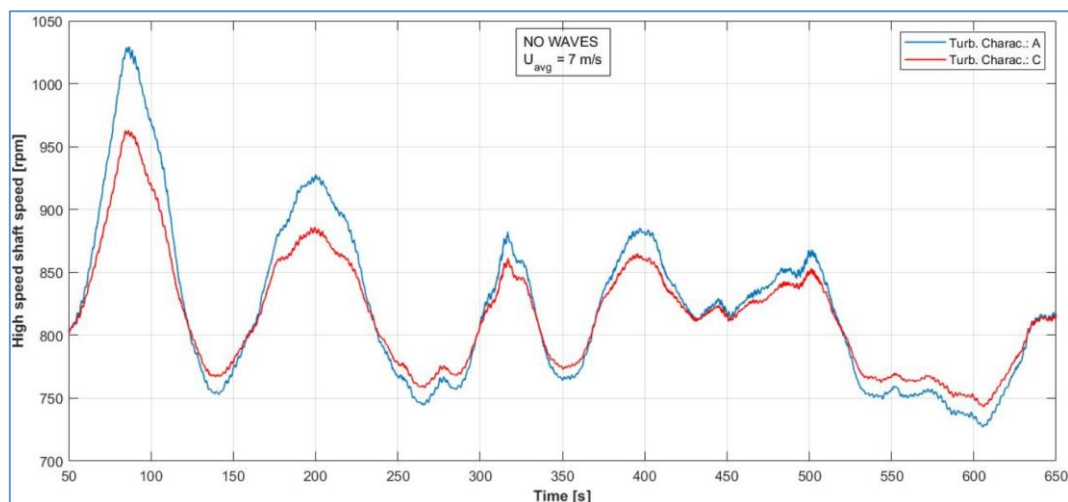
5-11 irudia. 3.12 simulazioaren N_{GEN} -t grafikoa.

Bloke hauen emaitzekin irudikatutako grafiko guztiak **IRUDIAK** karpetako 004-054 (bigarren blokea) eta 055-126 (hirugarren blokea) zenbakidun irudietan daude.

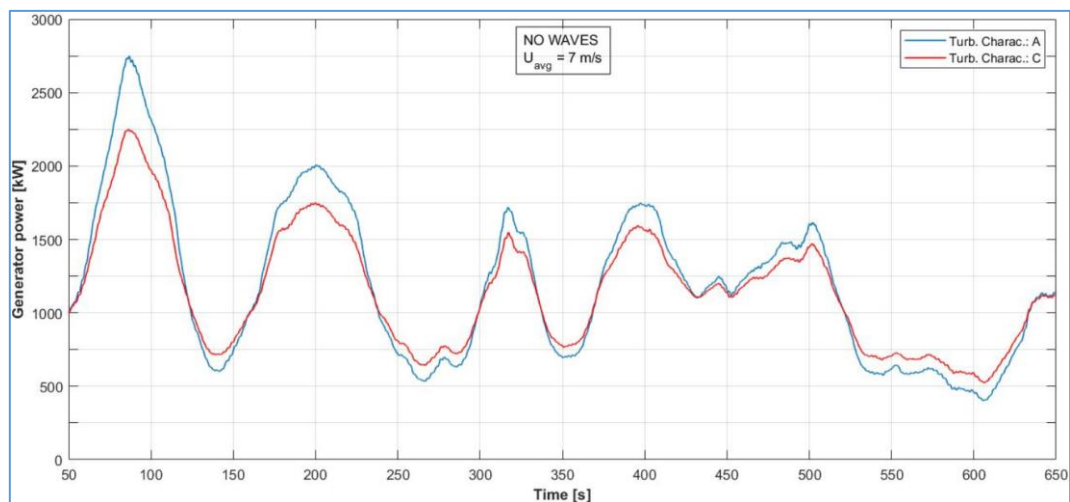
5.3. LAUGARREN BLOKEA

Laugarren bloketik, 4.1 eta 4.2 saiakuntzen emaitzen arteko konparazio batzuk azpimarratu behar dira, IEC 61400-1 estandarraren arabeko haizearen turbulentzia-karakteristikak duen eragina erakusten dutenak. Beste era batera esanda, turbulentzia-mailak duen eragina aztertu nahi izan da.

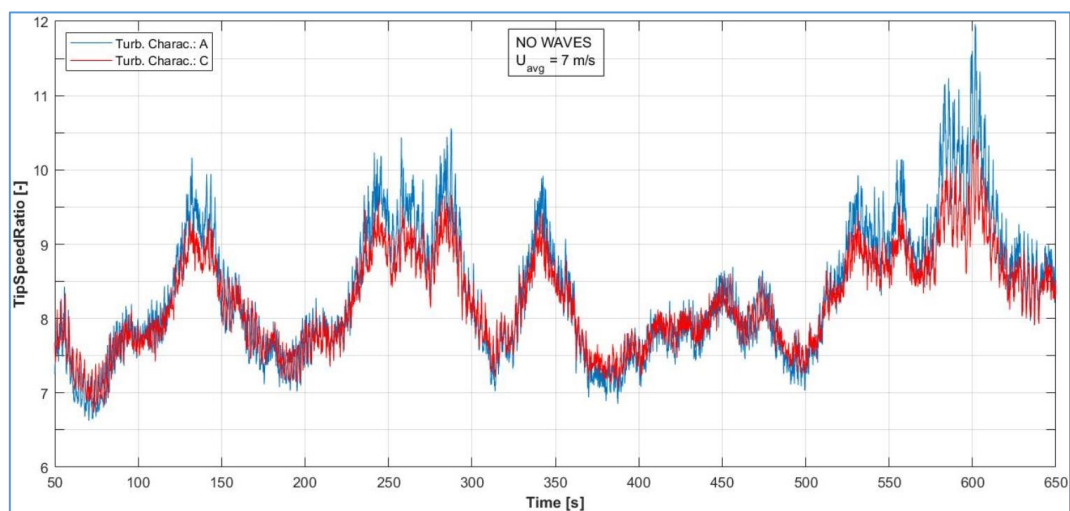
5-12 iruditik 5-15 irudira, sorgailuaren abiadura, potentzia, punta-abiadura ratioa eta eraginkortasun aerodinamikoa alderatzen dira A (urdinez) eta C (gorriz) turbulentzia-karakteristikekin. Grafiko guztiek erakusten dutenez, joerak aldatzen ez badira ere, A karakteristikadun haizeak, turbulentoenak, desbiderapen handiagoak eragiten ditu, erantzun bortitzagoak, alegia.



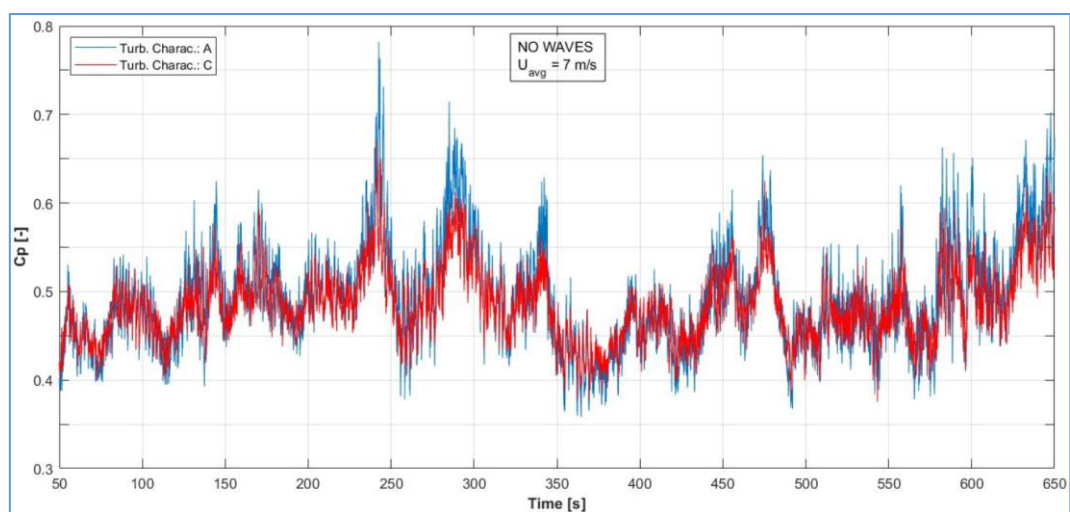
5-12 irudia. 4.1 eta 4.2 simulazioen N_{GEN} -t kurben alderaketa.



5-13 irudia. 4.1 eta 4.2 simulazioen P_{OUT} -t kurben alderaketa.



5-14 irudia. 4.1 eta 4.2 simulazioen TSR-t kurben alderaketa.



5-15 irudia. 4.1 eta 4.2 simulazioen C_p -t kurben alderaketa.

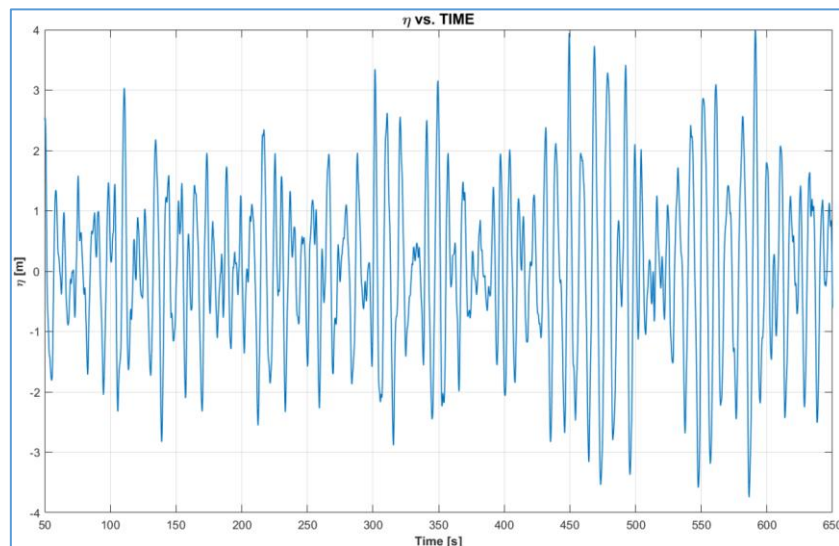
Eraginkortasun aerodinamikoari dagokionez, 5-15 irudian Betz-en mugatik (0,59) gorako balioak ikus daitezke, eta hori ezinezkoa da. Azalpenik badago, hala ere: errotoreak inertzia handia dauka, eta C_p aldagaia kalkulatzeko FASTek ez du kontuan izaten.

Laugarren bloke honetako saiakuntzei dagozkien grafiko guztiak *IRUDIAK* karpetako 127-150 zenbakidun irudietakoak dira. 4.1 eta 4.2 simulazioen arteko alderaketak 291-295 irudetan daude.

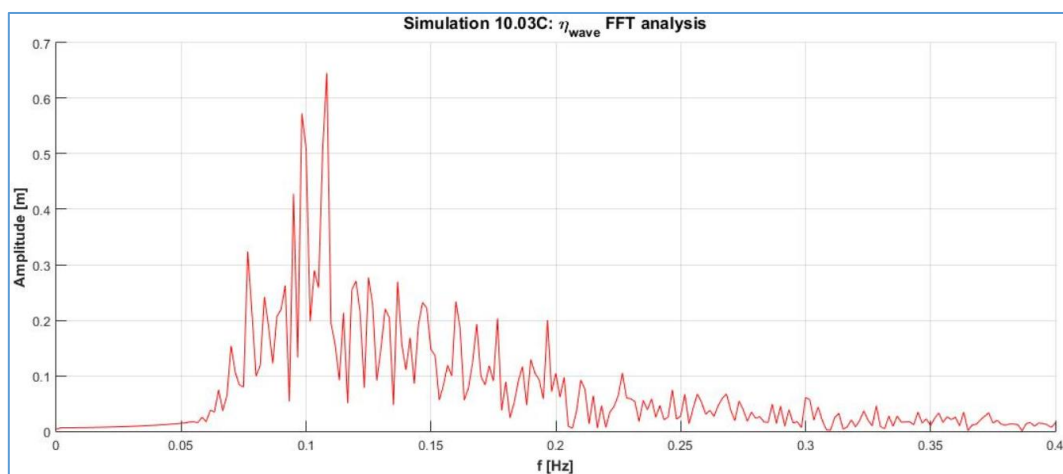
5.4. BOSGARREN BLOKEA

Atal honetan 5.6 simulazioa aztertuko da; izan ere, blokeko gainerako saiakuntzak baino sakonago analizatu da. Hainbat grafiko osagarritz gain, maiztasun eremuko FFT kurbak ere irudikatu dira.

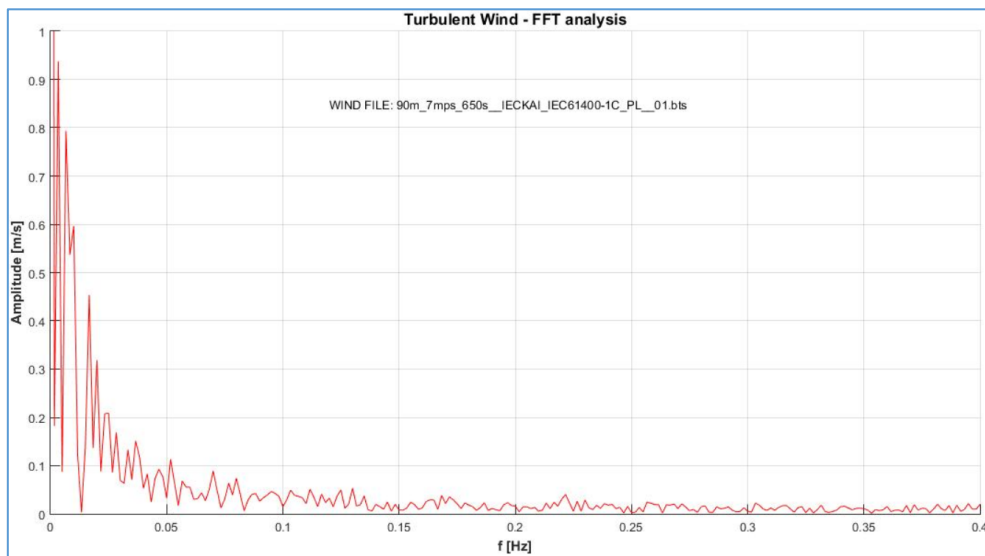
5-16 irudian uraren altxatze mailaren denbora-seriea dago, olatuen irregulartasuna agerian utziz. Aldagai beraren maiztasun-eremuko analisiak, 5-17 irudian, periodo pikoa 10 s-ren bueltan dabilela berresten du. Are gehiago, 2-5 irudian erakutsitako Pierson-Moskowitz-en espektroaren antzeko joera soma daiteke. Ondoren, 5-18 irudian, haizearen maiztasuna olatuena baino txikiagoa dela ikusten da.



5-16 irudia. 5.6 simulazioko olatu-seriea: η -t grafikoa.

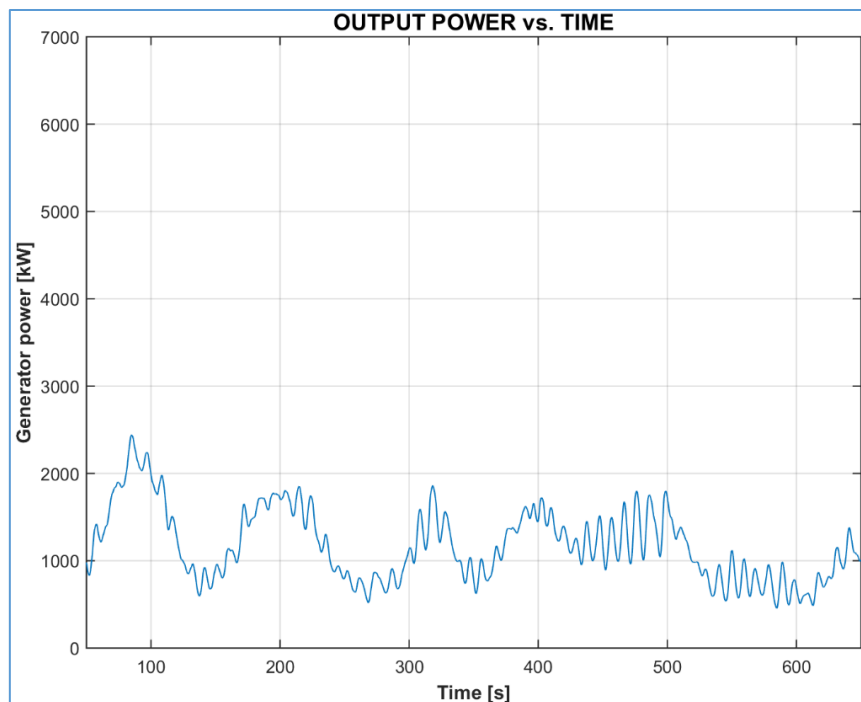


5-17 irudia. 5.6 simulazioko olatu-seriearen FFT analisia.

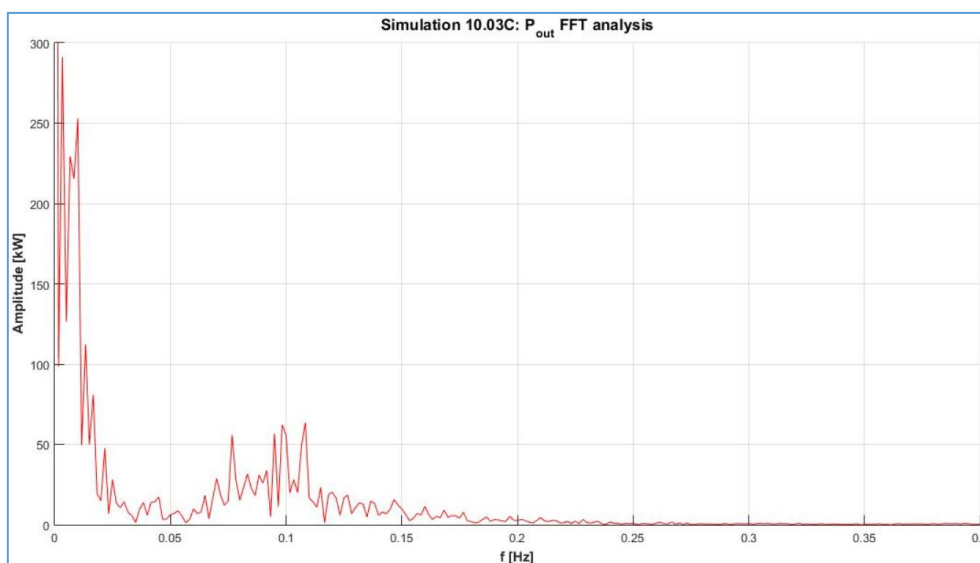


5-18 irudia. 5.6 simulazioko haizearen (U) FFT analisia.

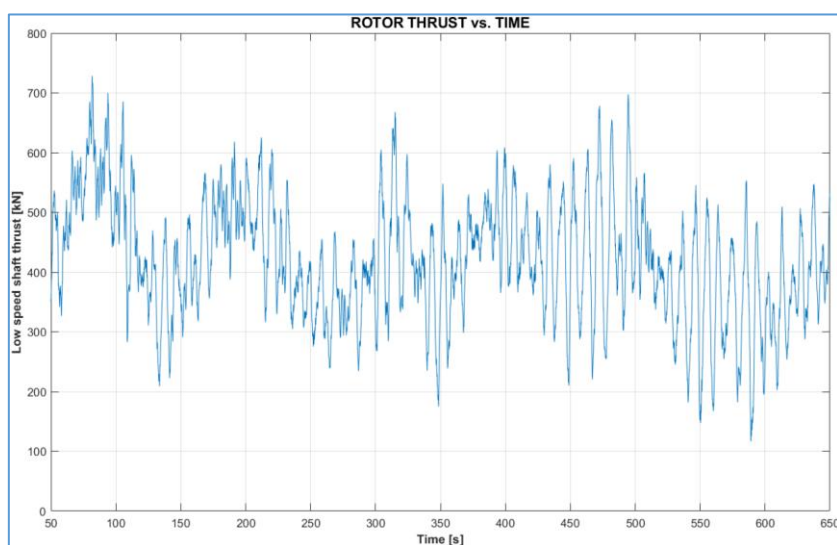
5-19 iruditik 5-22 irudira, potentzia eta errotoreak jasandako bulkada-indarra erakusten dira, lehenik denboran, gero maiztasun-eremuan. Potentziari, olatuengatiko kizkurdura badauka ere, batik bat haizeak eragiten dio. Bulkadarengan, aldiz, olatuak ere erabakigarriak dira oso.



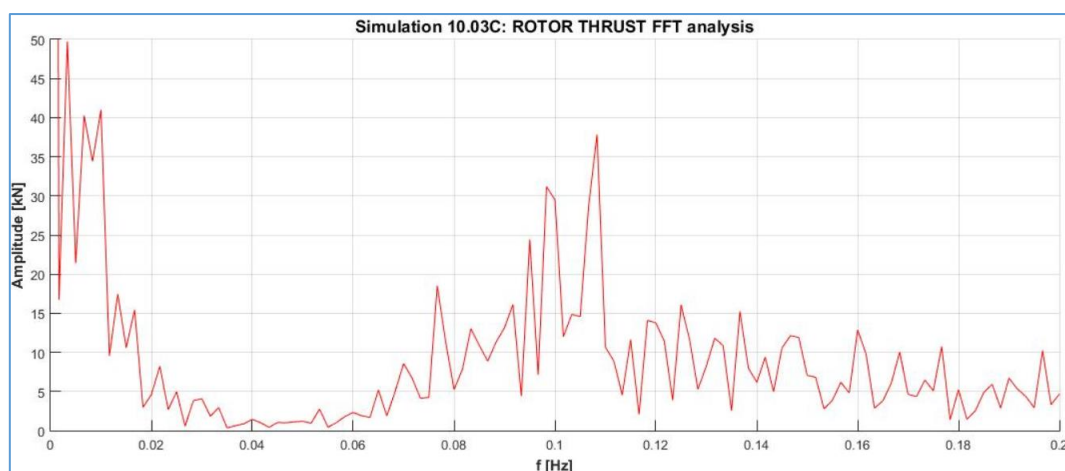
5-19 irudia. 5.6 simulazioaren P_{OUT} -t grafikoa.



5-20 irudia. 5.6 simulazioko P_{OUT} -en FFT analisia.



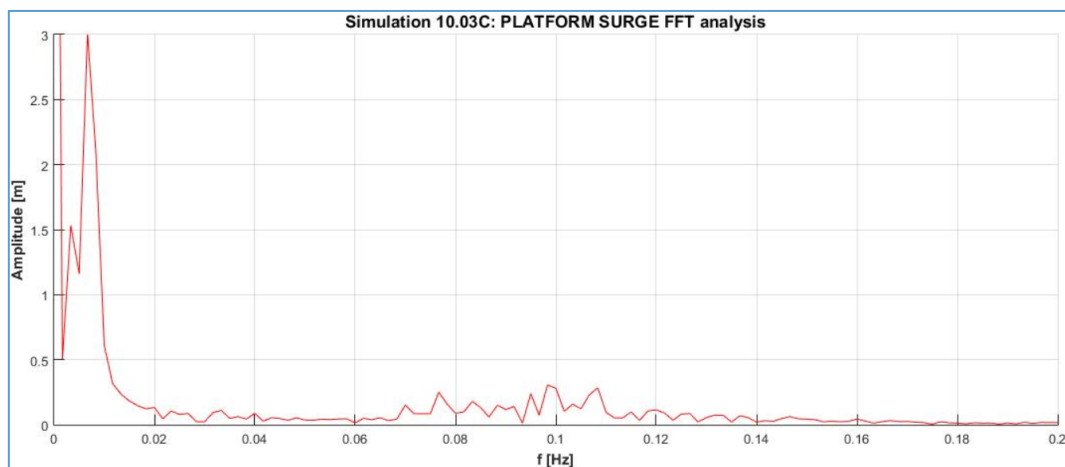
5-21 irudia. 5.6 simulazioaren T-t grafikoa.



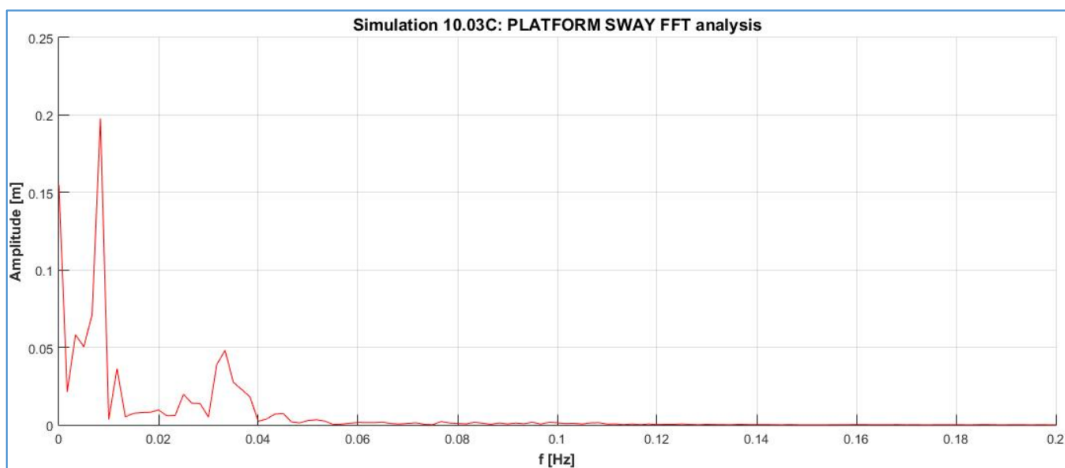
5-22 irudia. 5.6 simulazioko bulkadaren (T) FFT analisia.

5-23 iruditik 5-25-era, plataformaren traslazioen maiztasun-analisiak erakusten dira. Bulkadak eragiten duen aurrera-atzerako higiduran (x_i norabidea), haizeak eragiten ditu desplazamendu handienak, baina olatuak ere badu eraginik. Ezker-eskuin higiduran (y_i norabidea), ordea, haizeak baino ez du eragiten; ez da harritzekoa, olatuaren hedapena x_i ardatzarekiko paraleloa baita simulazio guzti hauetan.

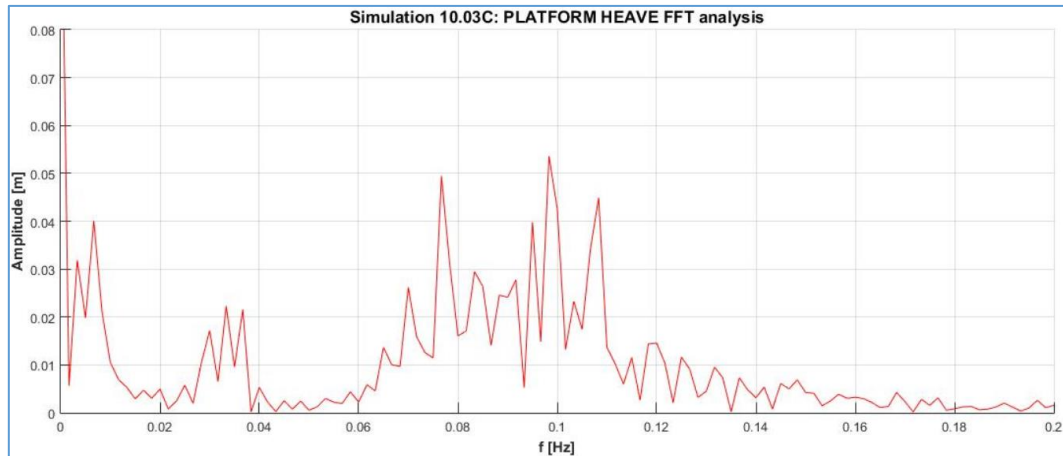
Gora-beherako higidurari (z_i norabidea) dagokionez, olatuen maiztasunak nagusitzen dira. Lehenengo blokeko simulazioetan (5.1. atala) agerian geratu den 30 s inguruko periodoari dagokion maiztasun naturala ere soma daiteke, 0,03 Hz inguruan, baina haren eragina askoz txikiagoa da. Gerta daiteke maiztasun natural hori uhin sinusoidal puruaren eraginpean bakarrik izatea esanguratsua.



5-23 irudia. 5.6 simulazioko plataformaren x_i desplazamenduaren FFT analisia.



5-24 irudia. 5.6 simulazioko plataformaren y_i desplazamenduaren FFT analisia.



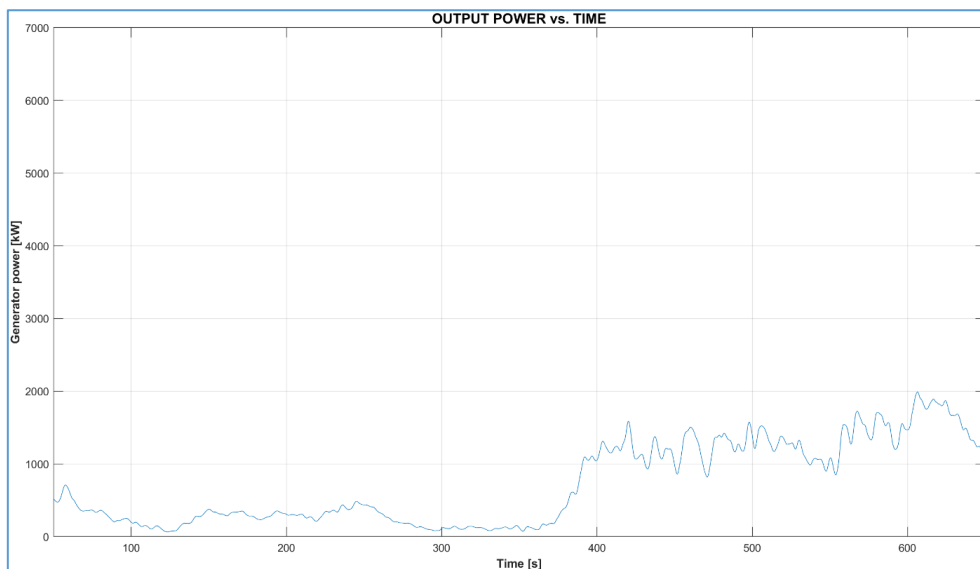
5-25 irudia. 5.6 simulazioko plataformaren zi desplazamenduaren FFT analisia.

Bosgarren bloke honetako saiakuntzei dagozkien grafikoak *IRUDIAK* karpetako 151-217 zenbakien artean daude.

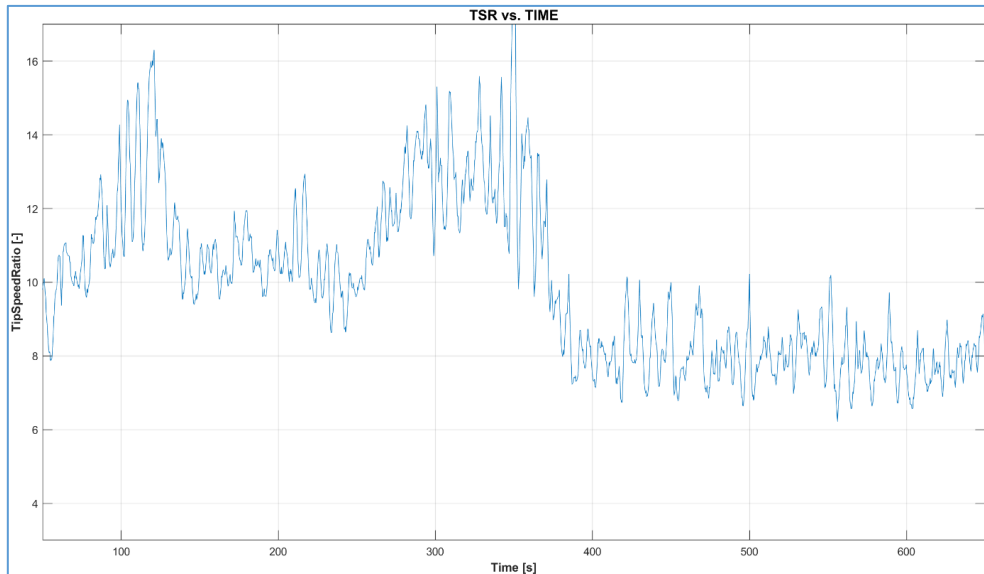
5.5. SEIGARREN BLOKEA

Salt Lake-ko 1. haizearekin burututako saiakuntzen emaitzak interesgarriak dira, aurreneko erditik bigarrenera batz besteko haize-abiadurak duen aldakuntza nabarmenagatik.

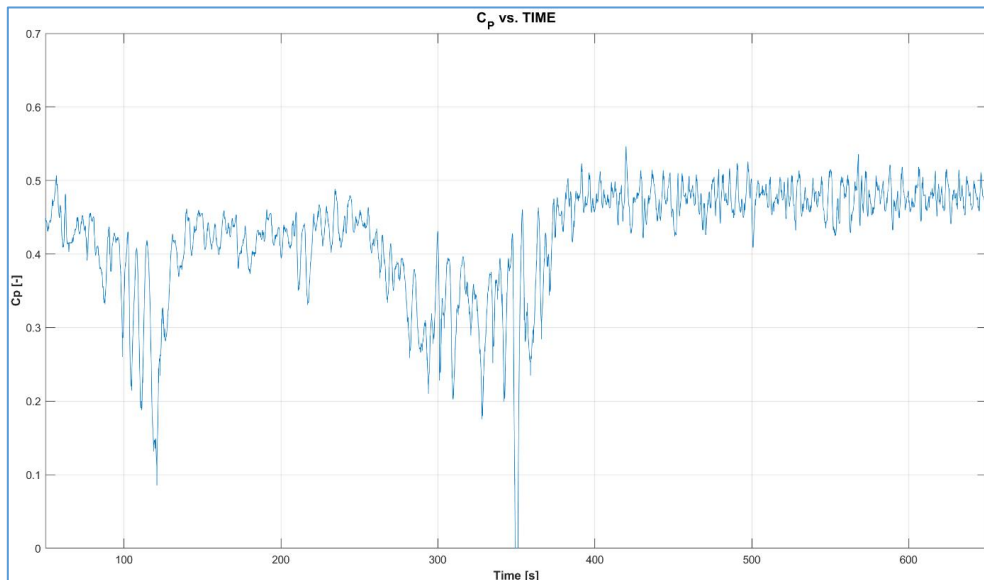
5-26 iruditik 5-28 irudira 6.1 simulazioko potentzia, punta-abiadura ratioa eta eraginkortasun aerodinamikoa ikus daitezke. Lehen erdian, haizea oso ahula da, potentzia, ondorioz, txikia (500 kW baino txikiagoa). Tarte horretan, aerosorgailua 1 ½ eremuan funtzionatzen ari denez (2-15 irudia), TSR palen diseinuko baliotik gorakoa da, eta eraginkortasun aerodinamikoa ez da optimoa. Kontua bestelakoa simulazioaren bigarren tarteetan, aerosorgailua TSR optimoa bilatzen duen 2 eremuan funtzionatzen ari baita.



5-26 irudia. 6.1 simulazioaren P_{OUT} -t grafikoa.

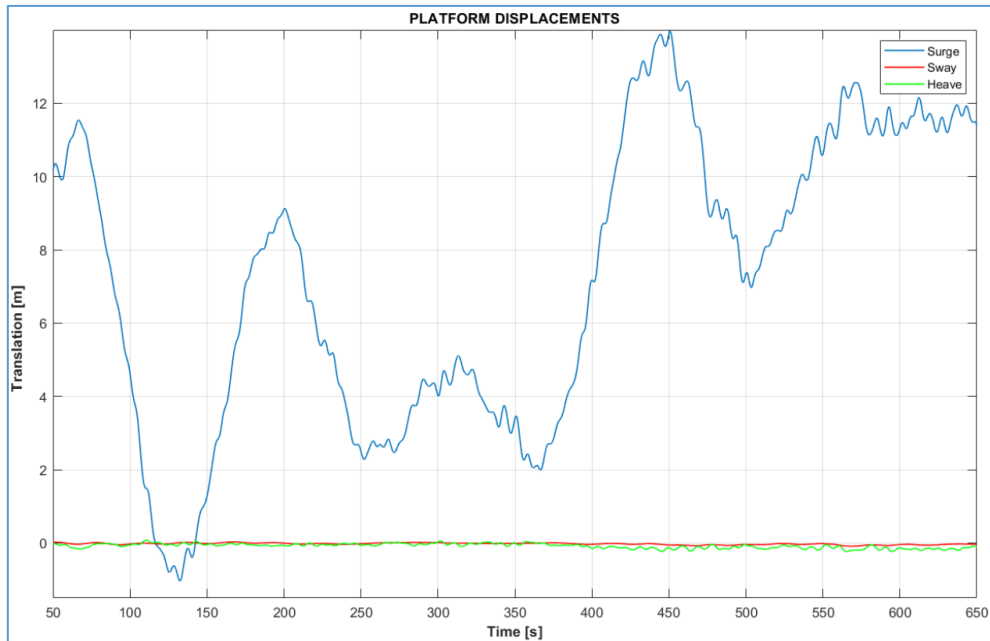


5-27 irudia. 6.1 simulazioaren TSR-t grafikoa.

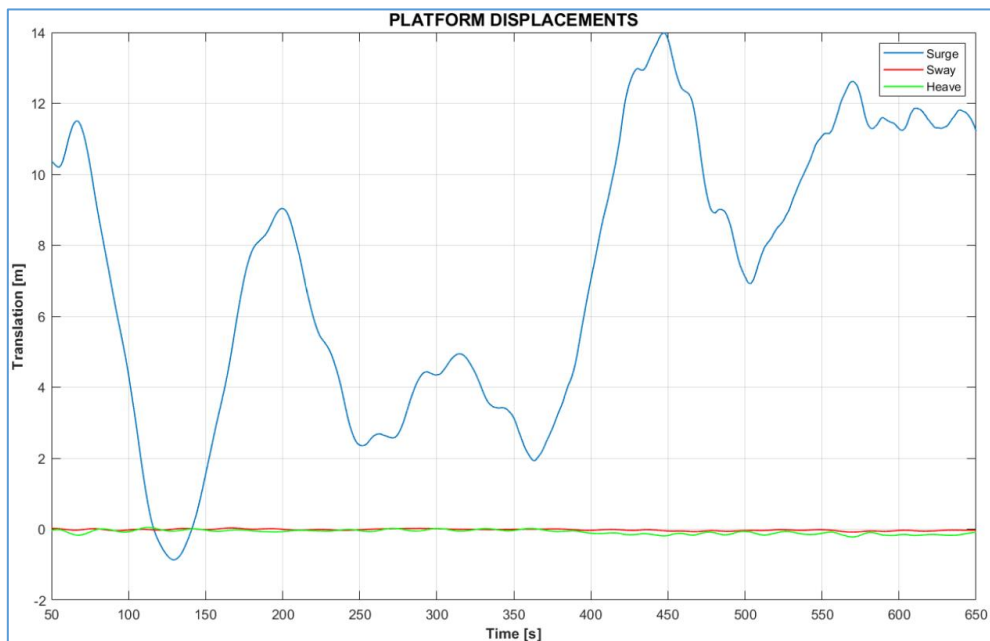


5-28 irudia. 6.1 simulazioaren Cp-t grafikoa.

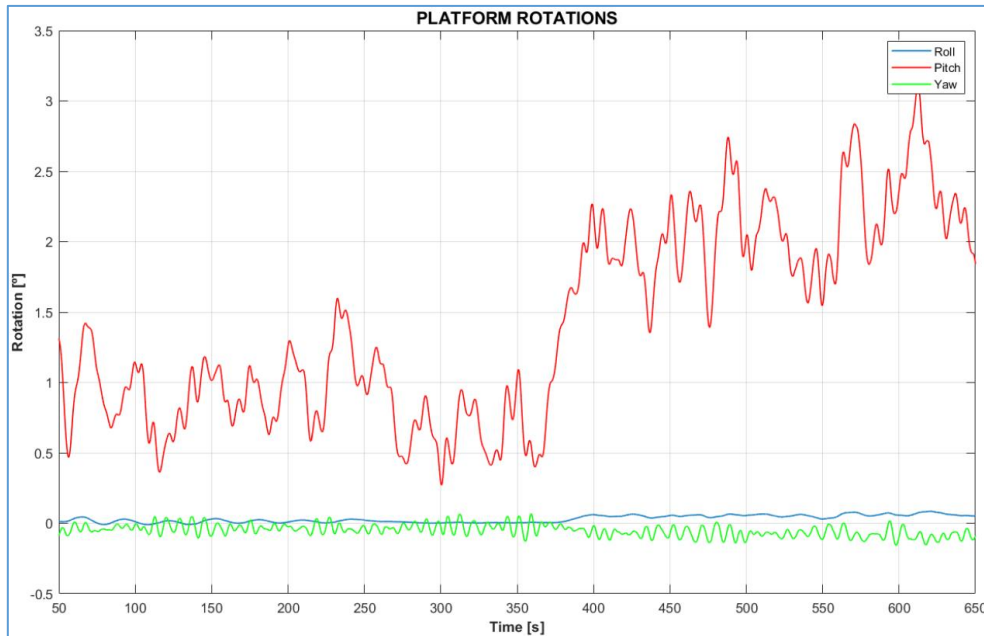
Jarraian, 6.1 eta 6.2 simulazioetako plataformaren desplazamenduak (traslazioak eta biraketak) erakusten dira. Hainbat ondorio atera daiteke. Lehenik, haizea handitzean, desplazamenduen balio absolutuak ere handitzen dira. Bigarrenik, desplazamendu handienak bulkadak eragindakoak dira, x_i norabideko translazioa (atzera) eta y_i norabideko biraketa (atzerako eskora). Hirugarrenik, olatuen eragina ere nabaria da x_i eta z_i translazioetan eta y_i eta z_i errotazioetan: 6.2 simulazioan ez dago olaturik, eta hari dagozkion grafikoetan ez da kizkurdurarik nabaritzen; 6.1 simulazioaren grafikoek, ostera, olatuengatko kizkurdura erakusten dute.



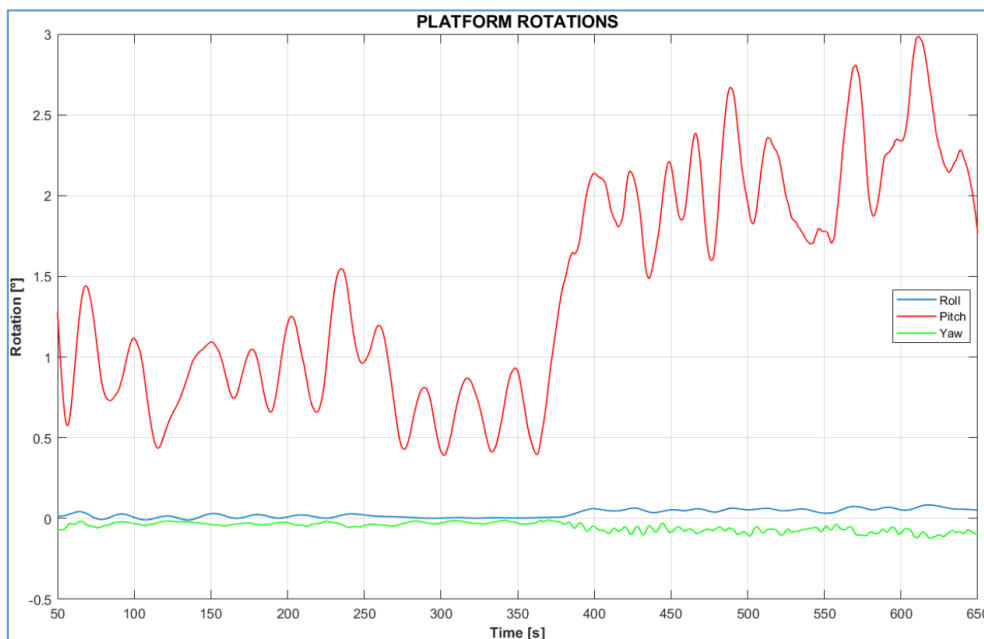
5-29 irudia. 6.1 simulazioko plataformaren traslazio-desplazamenduak: urdinez, xi norabidean (aurrera-atzera); gorriz, yi norabidean (alboetara); berdez, zi norabidean (gora-behera).



5-30 irudia. 6.2 simulazioko plataformaren traslazio-desplazamenduak: urdinez, xi norabidean (aurrera-atzera); gorriz, yi norabidean (alboetara); berdez, zi norabidean (gora-behera).



5-31 irudia. 6.1 simulazioko plataformaren errotazio-desplazamenduak: urdinez, xi norabidean; gorritz, yi norabidean; berdez, zi norabidean.



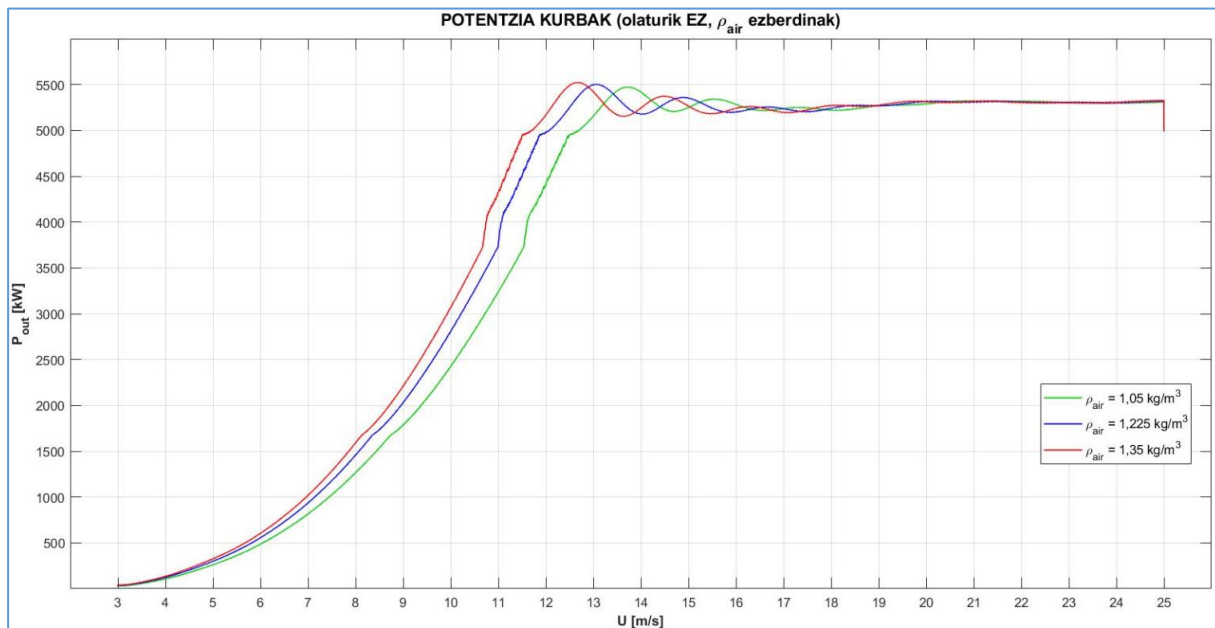
5-32 irudia. 6.2 simulazioko plataformaren errotazio-desplazamenduak: urdinez, xi norabidean; gorritz, yi norabidean; berdez, zi norabidean.

Seigarren bloke honetako saiakuntzei dagozkien grafikoak *IRUDIAK* karpetako 218-257 zenbakien artean daude.

5.6. ZAZPIGARREN BLOKEA

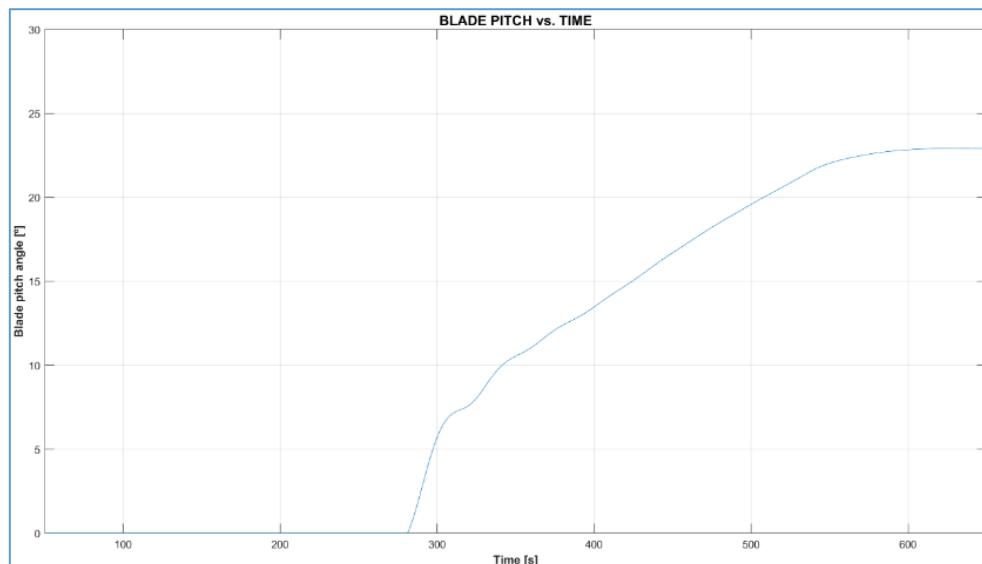
Aurrez azpimarratu bezala, azken bloke honen xedea airearen dentsitateak potentzia-kurban duen eragina berrestea izan da. Hasteko, beraz, konparazio hori erakusten da (5-33 irudia). Eraitza esperotakoa dela esan daitekeen arren, potentzia-kurbek aerosorgailuaren funtzionamendu-eremuei (2-15 irudia) buruzko informazioa ere ematen

dute; idealki, kurba potentzial perfektuak beharko luketen hasierako tarteetan, 3 m/s-tik 11-12 m/s-ra bitartean, inperfekzioak daude, joera aldaketak. Joera aldaketa horiek, aldi berean, bat datoz 5-36 irudiko pare elektromagnetikoaren kurbak dituenekin.

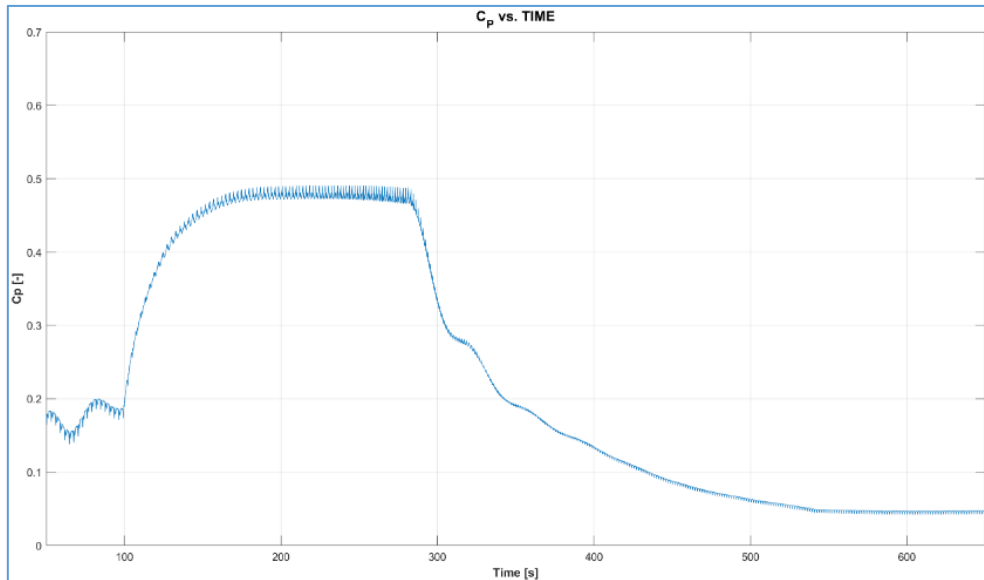


5-33 irudia. NREL 5-MW aerosorgailuaren potentzia-kurbak aire-dentsitate ezberdinekin: $\rho = 1,35 \text{ kg/m}^3$ (gorria), $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ (urdina), $\rho = 1,05 \text{ kg/m}^3$ (berdea).

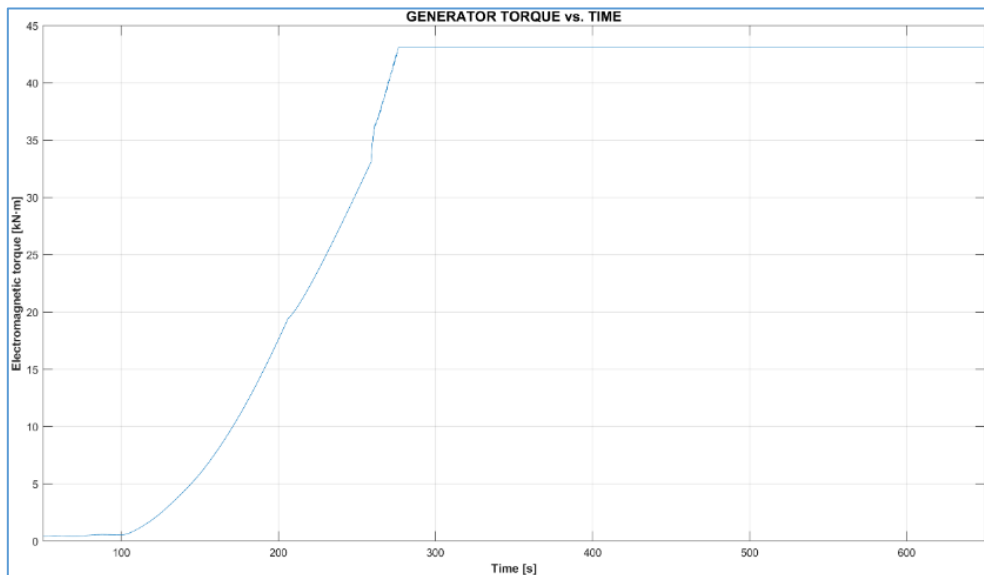
5-34 iruditik 5-37-ra, 7.1 simulazioko palen pitch angeluaren, eraginkortasun aerodinamikoaren eta pare elektromagnetikoaren grafikoak erakusten dira. Oso ondo erakusten dute pitch angelua handitzeak haizeak dakarren potentziaren frakzio txikiagoa xurgatzea dakarrela eta, potentzia izendatuan, pare elektromagnetikoa konstantea dela.



5-34 irudia. 7.1 simulazioaren pitch-t grafikoa.

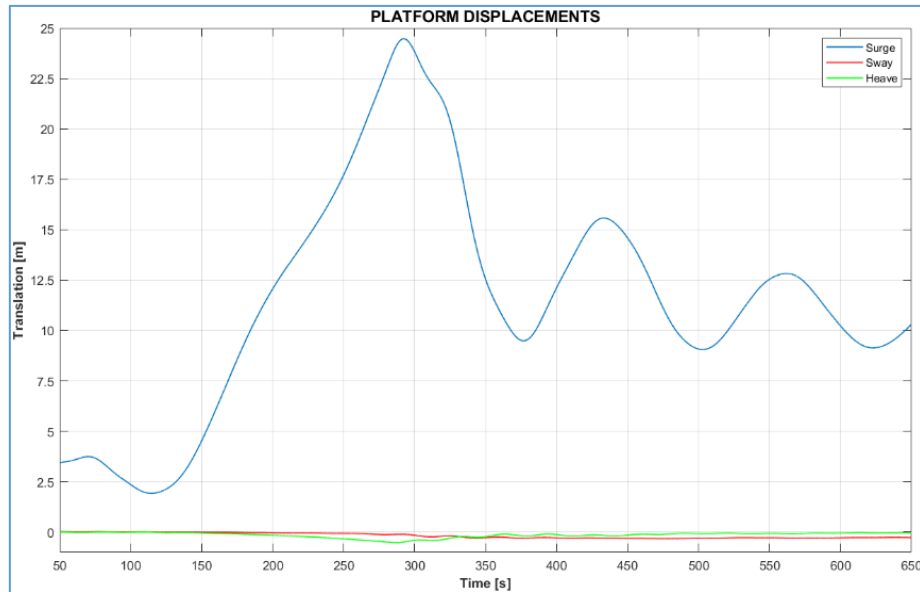


5-35 irudia. 7.1 simulazioaren C_p -t grafikoa.

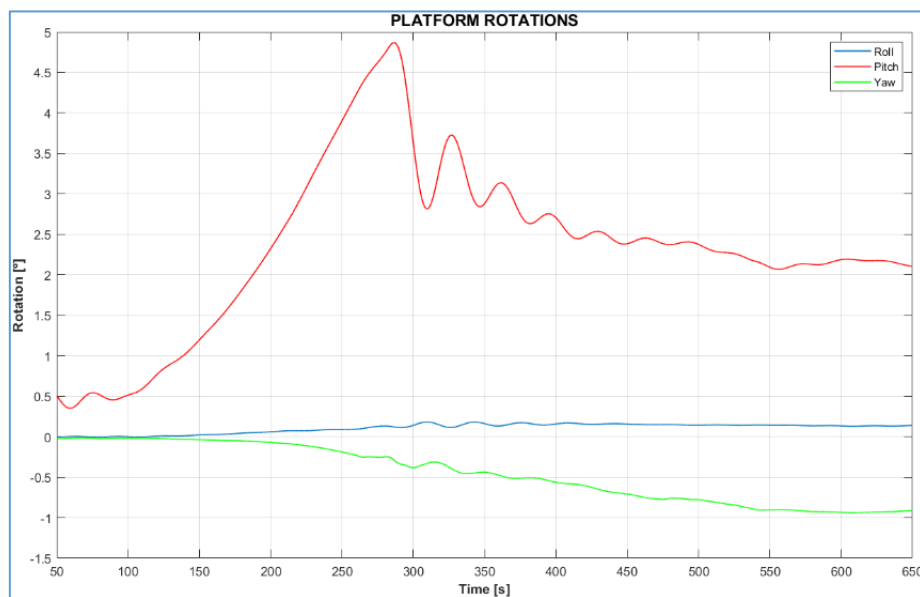


5-36 irudia. 7.1 simulazioaren T_E -t grafikoa.

Jarraian, 7.1 saiakuntzako plataformaren desplazamenduak ageri dira, translazioak 5-37 irudian eta errotazioak 5-38 irudian. Ikusten denagatik, ondoriozta daiteke pitch angelua handitzean, nahiz eta xurgatutako potentzia ez murriztu, bulkada indarra txikiago egiten da (horregatik murrizten dira atzeranzko translazioa eta eskora). Beheranzko translazioa ere murriztu egiten da potentzia izendatura iristean (5-37 irudia); horrek esan nahi du, bulkadak, neurri txikian bada ere, egitura hondoratzen duela.



5-37 irudia. 7.1 simulazioko plataformaren traslazio-desplazamenduak: urdinez, xi norabidean (aurrera-atzera); gorriz, yi norabidean (alboetara); berdez, zi norabidean (gora-behera).

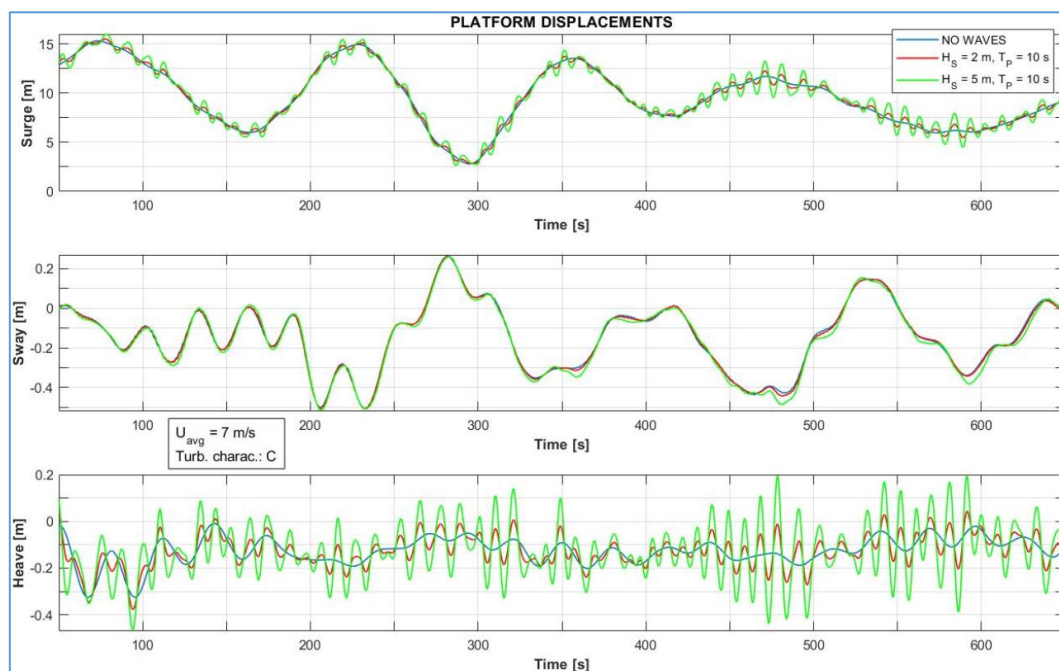


5-38 irudia. 7.1 simulazioko plataformaren errotazio-desplazamenduak: urdinez, xi norabidean; gorriz, yi norabidean; berdez, zi norabidean.

Zazpigarren bloke honetako saiakuntzei dagozkien grafikoak **IRUDIAK** karpetako 258-290 zenbakien artean daude.

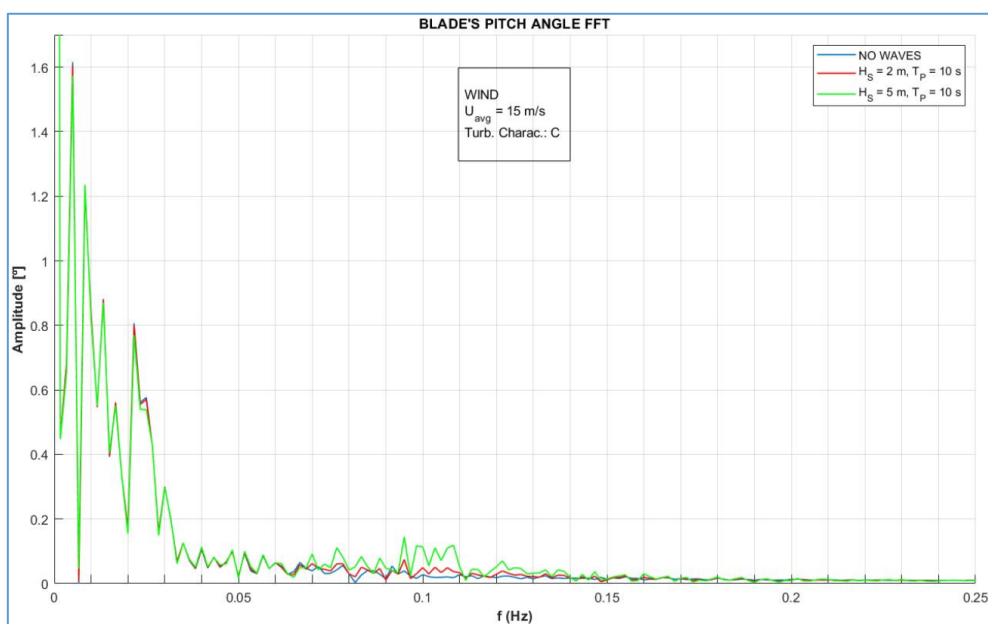
5.7. BLOKEEN ARTEKO KONPARAKETA

Bukatzeko, laugarren eta bosgarren blokeetako simulazio batzuk aurrez aurre. 5-39 irudian, 4.2, 5.2 eta 5.6 simulazioetako plataformaren desplazamendu linealak alderatu dira. Gogoratu simulazio horiek guztiek haize-fitxategi bera eduki dutela sarrera gisa. Aldatzen den baldintza bakarra olatuen altuera da. Bada, alderaketa honek 5-23, 5-24 eta 5-25 irudietako FFT grafikoen harira aipaturikoa (5.4. atala) berresten dute: xi norabideko traslazioak olatuen eragin ez oso handia dauka, yi norabideko traslazioa ez dago olatuen menpe, eta zi norabideko traslazioa da olatuen eragin handiena daukana.

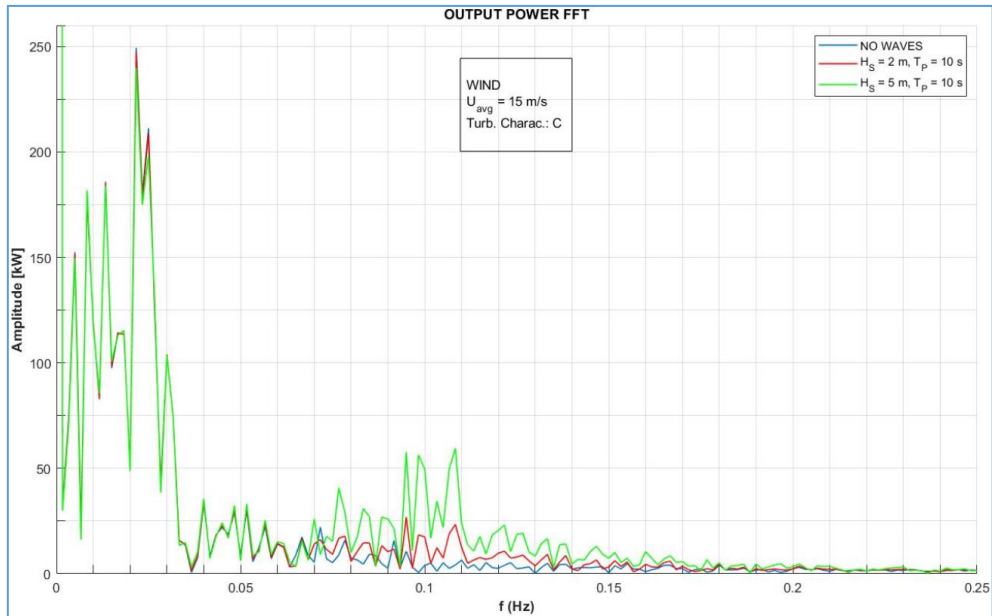


5-39 irudia. Plataformaren traslazio-desplazamenduen alderaketa. Goian, xi norabidekoa; erdian, yi norabidekoa; behean, zi norabidekoa. Urdinez, 4.2 simulazioa (olaturik ez); gorriz, 5.2 simulazioa ($H_s = 2$ m); berdez, 5.6 simulazioa ($H_s = 5$ m).

Jarraian, 4.4, 5.4 eta 5.8 simulazioetako palen pitch angeluaren eta potentziaren maiztasun-eremuko konparazioak erakusten dira. Ikusten denez, olatuen eragina ez da oso handia, ez pitch angeluan, ezta potentzian ere. Dena den, eragina badago, eta handiagoa da potentziaren kasuan. Horrek esan nahi du pitch-kontrola motelegia dela olatuen distortsioari erantzuteko. Haizearen aldaketa motelenen aurrean, ordea, oso ondo erantzuten du. Bestalde, olatu handiagoek eragin handiagoa dute, esperokoa den bezala.



5-40 irudia. Palen pitch angeluaren FFT alderaketa. Urdinez, 4.4 simulazioa (olaturik ez); gorriz, 5.4 simulazioa ($H_s = 2$ m); berdez, 5.8 simulazioa ($H_s = 5$ m).



5-41 irudia. P_{out} -en FFT alderaketa. Urdinez, 4.4 simulazioa (olaturik ez); gorriz, 5.4 simulazioa ($H_s = 2$ m); berdez, 5.8 simulazioa ($H_s = 5$ m).

Laugarren eta bosgarren blokeetako simulazioen arteko konparaketa guztiak **IRUDIAK** karpeta 296-301 irudietan daude.

6. ETORKIZUNERA BEGIRA

Amaitzeko, ezin daiteke esan lan hau hemen bukatzen denik. Garatutako baliabidea erabiliko ez bada, orain arteko lanak ez du zentzurik izango. Gainera, programatu den kodea erabilera anitza izan dezakeen tresna funtzionalago baten oinarria besterik ez da. Etorkizunera begira, honako bideetatik jarrai dezake lanak:

- **Beste turbina-aldaera batzuentzako kodea zabaldu.**
Oraingoz, sarrera-fitxategiak aldatzeko programek NREL 5-MW aerosorgailuaren masta motako *OC3-Hywind Spar* aldaerari dagozkion fitxategiekin funtzionatzen dute soilik. Hala ere, kodea gehiago garatuz, posible izan daiteke plataforma erdi-urperagarriaren, TLP edo gabarra motako haize-turbinak aukeratu ahal izatea.
- **MoorDyn erabili MAP++ ordeztu.**
Ainguratze-sistemari ez zaio arretarik jarri lan honetan. Horregatik, arlo honetan, *FAST_v8.16* bertsioak *OC3-Hywind* aldaerarekin jatorriz daukan konfigurazio lehentsia erabili da: *MAP++* modulua, inongo aldaketarik gabe. *MAP++*-ainguratzearen estatikaz arduratzen da; alta, *MoorDyn*-ek dinamikak ere aintzat hartzen ditu. Hori bai, *MoorDyn* erabiltzeaz gain, ainguratze-sistemari dagozkion parametro garrantzitsuenak scriptetik aldatu ahal izatea ere interesgarria izango litzateke.
- **Bestelako kontrol sistema**
NREL 5-MW aerosorgailuaren oinarritzko kontrolaren ordeztu, kontrol-algoritmo sofistikatuagoak erabili daitezke, *Simulink*-ekin sortutakoak, esate baterako.
- **OpenFAST-era moldaketa.**
Behin baino gehiagotan azpimarratu da *FAST_v8.16* bertsioa erabili dela, nahiz eta kode irekiko *OpenFAST* serie berria ere badagoen. Are gehiago, garatzaileek *OpenFAST* baino ez dute berrizten gaur egun. Beraz, argi dago kodea serie berrira moldatzea komeni dela.
- **Linux sistema eragileetarako moldaketa.**
Oraingoz, kodeak Windows sistema eragilearekin lan egiteko balio du. Dena den, aldaketa txiki batzuekin Linux nukleoa duten sistema eragileetan erabili liteke, adibidez, Debianen, Ubuntun zein Ubunturen aldaeretan.
- **Meteorologia-erreanalisiarekin egin daitekeen bateraketa**
Erreanalisi datuetatik abiatuz, itsas eremu handietako hainbat puntutan izango diren baldintza meteorologikoak estima daitezke. Gero, aukera egongo litzateke datu horiekin FAST simulazioak egiteko eta, lortzen diren emaitzekin, leku horietako potentzial eolikoa hobeto aurreikusteko, aerosorgailu flotatzaileekin baliatzeko moduko potentziala.
- **Kodea R lengoia**
Ohikoa da erreanalisi-datuak eta datu estatistikoak R-rekin tratatzea. Ondorioz, erreanalisi eta simulazioak bateratzeko, interesgarria izan daiteke R ingurunetik FAST maneiatu ahal izatea.

7. ERREFERENTZIAK

- [1] Buhl, M., & Manjock, A. (2006, January). A comparison of wind turbine aeroelastic codes used for certification. In *44th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit* (p. 786).
- [2] Jonkman, J., Hayman, G., Jonkman, B., & Damian, R. (2016). *AeroDyn v15 User's Guide and Theory Manual (Draft Version)*. Technical Report.
- [3] Dvorak, M. J., Archer, C. L., & Jacobson, M. Z. (2010). California offshore wind energy potential. *Renewable energy*, 35(6), 1244-1254.
- [4] Jonkman, J., Butterfield, S., Musial, W., & Scott, G. (2009). *Definition of a 5-MW reference wind turbine for offshore system development* (No. NREL/TP-500-38060). National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States).
- [5] Butterfield, S., Musial, W., Jonkman, J., & Sclavounos, P. (2007). *Engineering challenges for floating offshore wind turbines* (No. NREL/CP-500-38776). National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States).
- [6] IDAE. *Evaluación del potencial de la energía de las olas*. 2011
- [7] Froese, Michelle (2019-02-06). "Excipio Energy unveils new hybrid floating offshore wind platform". Windpower engineering & development.
- [8] Wendt, F. F., Robertson, A. N., & Jonkman, J. (2017). *Fast model calibration and validation of the oc5-deepcwind floating offshore wind system against wave tank test data* (No. NREL/CP-5000-68080). National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States).
- [9] Jonkman, J. M., & Buhl Jr, M. L. (2005). FAST user's guide. *Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory*, 365, 366.
- [10] Jonkman, J. M., Robertson, A., & Hayman, G. J. (2014). HydroDyn user's guide and theory manual. *National Renewable Energy Laboratory*.
- [11] Jonkman, J. (2014). *IEC 61400-3-2: Technical Specification for Floating Offshore Wind Turbines (FOWTs)*. National Renewable Energy Laboratory (NREL).
- [12] Madsen, P. H., & Risø, D. T. U. (2008). Introduction to the IEC 61400-1 standard. *Risø National Laboratory, Technical University of Denmark*.
- [13] Jonkman, J. (2013). Overview of the ElastoDyn Structural-Dynamics Module. *Natl Renewable Energy Lab*.
- [14] Salt Lake haizea
UCAR/NCAR - earth observing laboratory. 2013. PCAPS ISFS 1 second data. version 1.0. Eskuragarri hemen: <https://Doi.org/10.5065/D6QV3JRP>
- [15] B. Jonkman & J. Jonkman, «ReadMe File for FAST v8.16.00a-bjj» 2016.

- [16] Abankwa, N. O., Johnston, S. J., Scott, M., & Cox, S. J. (2015, December). Ship motion measurement using an inertial measurement unit. In *2015 IEEE 2nd World Forum on Internet of Things (WF-IoT)* (pp. 375-380). IEEE.
- [17] Jonkman, B. J., & Buhl Jr, M. L. (2006). *TurbSim user's guide* (No. NREL/TP-500-39797). National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States).
- [18] Manwell, J. F., McGowan, J. G., & Rogers, A. L. (2010). *Wind energy explained: theory, design and application*. John Wiley & Sons.
- [19] Equinor ASA (2018-02-15). "World class performance by world's first floating wind farm". Eskuragarri hemen: <https://www.equinor.com/en/news/15feb2018-world-class-performance.html>
- [20] Hill, Joshua S. (2017-10-18). "World's First Floating Wind Farm Finally Starts Production In Scotland". *CleanTechnica*. Sustainable Enterprises Media, Inc.
- [21] Wernham, Patrick (2017-07-24). "World's first full-scale floating wind farm is being built just off the coast of north-east Scotland". The Independent.

I. ERANSKINA: SCRIPTETARA PASATUTAKO SARRERA-ALDAGAIAK

Simulazioak bata bestearen atzetik azkar egin ahal izateko, sarrera-aldagai batzuk erraz aldatzeko aukera egon behar da. Horretarako, aldagai garrantzitsuenak simulazioa exekutatu duen scriptaren hasieran txertatu dira (aldagai guztiak txertatzeak gehiegi luzatuko luke scripta, eta funtzionaltasuna galduko luke). Hartara, simulatu aurretik zehaztu beharreko aldagaiak bestelako fitxategirik ireki eta horietan bilatu beharrik gabe zehaztu ahalko dira.

Eranskin honetako tauletan, esanguratsu kontsideratu eta script nagusiari zein "*TurbSim.m*"-ri erantsi zaizkien aldagaiak zerrendatuko dira. Taula bakoitzari sarrera-fitxategietako bati dagokio. Aldagaien berezko izenez gain, scriptean haien balioekin kargatzen diren aldagaien izenak ere erakusten dira. Gainera, izenen alboko gelaxkan, aldagaiok laburki deskribatu dira.

Bestalde, aldagaien berezko izenak eta scriptean ematen zaizkien izenak tauletan alderatuz gero, honakoa somatuko da batzuetan: sarrera-aldagai bik edo hiruk izen berbera dute scriptean. Hori ez da akatsa; izan ere, sarrera-fitxategietan berezko bi edo hiru aldagairen balioak direnak *Matlab*-eko/*Octave*-ko aldagai bakarrean kargatuko dira kasu jakin horietan, scriptak erraztu eta memoria aurrezte aldera. Sinplifikazio horietako bakoitza egitea ahalbidetzen duen arrazoia kasuan kasuko taularen azpian azalduko da.

I.1. SARRERA-FITXATEGI NAGUSIA

"*OC3_Hywind.fst*" fitxategiak sei atal dauka eta, horietatik, lau ukitu ahalko dira scriptetik, batzuk osorik eta beste batzuk partzialki:

Aldagaia	Aldagaiaren izena scriptean	Definizioa
"SIMULATION CONTROL" atala		
<i>TMax</i>	<i>Tmax</i>	Simulatuko den denbora [s]
<i>DT</i>	<i>DT</i>	"Denbora-pausua" edo simulazioaren denbora-bereizmena [s]
"FEATURE SWITCHES AND FLAGS" atala		
<i>CompElast</i>	<i>CompElas</i>	Egitura-dinamikak kalkulatzeko metodoa (switch)
<i>CompInflow</i>	<i>CompInfl</i>	Sarrerako haize-abiadurak kalkulatzeko metodoa (switch)
<i>CompAero</i>	<i>CompAero</i>	Karga aerodinamikoak kalkulatzeko metodoa (switch)
<i>CompServo</i>	<i>CompServ</i>	Kontrola eta transmisio elektrikoaren dinamikak kalkulatzeko metodoa (switch)
<i>CompHydro</i>	<i>CompHydr</i>	Karga hidrodinamikoak kalkulatzeko metodoa (switch)
<i>CompSub</i>	<i>CompSub</i>	Zorupeko dinamikak kalkulatzeko metodoa (switch)

<i>CompMooring</i>	<i>CompMoor</i>	Ainguratze sistemari dagozkion kalkuluak egiteko metodoa (switch)
"INPUT FILES" atala		
<i>EDFile</i>	<i>EDF</i>	<i>ElastoDyn</i> moduluaren sarrera-fitxategiaren helbide erlatiboa eta izena
<i>BDBldFile(1)*</i>	<i>BDBldF</i>	1. palarentzako <i>BeamDyn</i> -en sarrera-fitxategiaren helbide erlatiboa eta izena
<i>BDBldFile(2)*</i>	<i>BDBldF</i>	2. palarentzako <i>BeamDyn</i> -en sarrera-fitxategiaren helbide erlatiboa eta izena
<i>BDBldFile(3)*</i>	<i>BDBldF</i>	3. palarentzako <i>BeamDyn</i> -en sarrera-fitxategiaren helbide erlatiboa eta izena
<i>InflowFile</i>	<i>InflowF</i>	<i>InflowWind</i> moduluaren sarrera-fitxategiaren helbide erlatiboa eta izena
<i>AeroFile</i>	<i>AeroF</i>	<i>AeroDyn</i> moduluaren sarrera-fitxategiaren helbide erlatiboa eta izena
<i>ServoFile</i>	<i>ServoF</i>	<i>ServoDyn</i> moduluaren sarrera-fitxategiaren helbide erlatiboa eta izena
<i>HydroFile</i>	<i>HydroF</i>	<i>HydroDyn</i> moduluaren sarrera-fitxategiaren helbide erlatiboa eta izena
<i>SubFile</i>	<i>SubF</i>	<i>SubDyn</i> moduluaren sarrera-fitxategiaren helbide erlatiboa eta izena
<i>MooringFile</i>	<i>MooringF</i>	Ainguratze-sistemaz arduratuko den moduluaren sarrera-fitxategiaren helbide erlatiboa eta izena
<i>IceFile</i>	<i>IceF</i>	Izotzaz arduratuko den moduluaren sarrera-fitxategiaren helbide erlatiboa eta izena
-	<i>InputF</i>	Gelaxka bakoitzean atal honetako aldagai bat duen "cell" motako aldagaia. Sarrera-fitxategia (.fst) aldatuko duen programari ("chFst.m") deitzeko komandoa laburtzeko asmoz sortu da.
"LINEARIZATION" atala		
<i>Linearize</i>	<i>Linearize</i>	Linealizazio analisia egin ala ez egin (flag: T/F)
<i>NLinTimes</i>	<i>NLinTimes</i>	Linealizazioa burutzeko aldiune-kopurua
<i>LinTimes</i>	<i>LinTimes</i>	Linealizazioa burutzeko aldiuneeen zerrenda [s]
<i>LinInputs</i>	<i>LinInps</i>	Linealizaziorako sarrera-aldagaiak (switch)
<i>LinOutputs</i>	<i>LinOuts</i>	Linealizazioaren irteera-aldagaiak (switch)

*Hiru aldagaiok aldagai bakarra izango dira *Matlab*-en/*Octave*-n, pala guztiak berdinak izango baitira.

I-1 taula. Scriptetik maneiatu ahalko diren sarrera nagusiko aldagaiak.

"OUTPUT" eta "VISUALIZATION" atalak bere horretan utziko dira. Hala ere, "OUTPUT" atalean garrantzizko bi aldaketa egin dira:

Alde batetik, *TStart* parametroari 50 balioa esleitu zaio, simulazioaren lehen 50 segundoak baztertzeko. Zehaztasun hau simulazioak analizatzeko ohiko estrategiaren barne dago;

izan ere, lehen segundoetako irteera-balioak ezegonkorrak eta gorabeheratsuak izaten dira eta hasierako baldintzen menpe daude.

Bestetik, *OutFileFmt* aldagaiari (switch motakoa) 2 balioa eman zaio. Ondorioz, simulazioaren emaitzak ".outb" formatuko fitxategi bitar batean grabatuko dira. Fitxategi hori ez da gizakiontzat irakurgarria baina, NRELe garatutako "ReadFASTbinary.m" programaren bidez, oso erraz inporta daitezke emaitzak *Matlab*-en zein *Octave*-n.

I.2. HYDRODYN

"NRELOffshrBslne5MW_OC3Hywind_HydroDyn.dat" fitxategiak 21 atal dauka; 19 sarrera-aldagaiak zehazteko, eta azken biak irteera-aldagaiak kontrolatu eta zerrendatzeko. Atal horietatik hiru ukitu ahalko dira scriptetik:

Aldagaia	Aldagaiaren izena scriptean	Definizioa
"Environmental Conditions" atala		
<i>WtrDens</i>	<i>rho_W</i>	Uraren dentsitatea [kg/m^3]
<i>WtrDpth</i>	<i>Depth</i>	Itsas hondoaren sakonera [m]
"Waves" atala		
<i>WaveMod</i>	<i>WaveM</i>	Olatuen zinematikaren modelo mota (switch)
<i>WaveHs</i>	<i>Hs</i>	Olatuen altueraifikantea [m]
<i>WaveTp</i>	<i>Tp</i>	Olatuen periodo pikoa [s]
<i>WavePkShp</i>	<i>GAMMA</i>	Olatu-espektroaren forma-faktorea [-]
<i>WaveDir</i>	<i>THETA</i>	Olatuen norabidea [$^\circ$]
"Current" atala		
<i>CurrMod</i>	<i>CurrM</i>	Korrontearen modelo (switch)
<i>CurrSSV0</i>	<i>CurrSSV</i>	Korrontearen abiadura uraren gainazalean [m/s] Abiadura hau korronte-abiaduraren profilaren modelo potentziala erabiltzeko da

I-2 taula. Scriptetik maneiatu ahalko diren HydroDyn aldagaiak.

Gainerakoak bere horretan uztea erabaki da. Gehienak, azken batean, plataformaren propietateak, koefiziente hidrodinamiko aurreratuak, etab. zehazteko dira, eta ez du merezi uneoro aldatzen ibiltzea. Aldagai horiek testu-fitxategian behin eta behin betiko zehaztea nahikoa da.

Outputak kontrolatzeko aldagaiak ere, behin zehaztu ostean ez dira berriro aldatu behar. Are gehiago, "Output Channels" ataleko parametroak *HydroDyn*-i dagozkion simulazioaren irteera-aldagaien izenak dira; zerrenda hori aldatuz gero, irteerako aldagaien ordena aldatuko da. Ondorioz, irteerako datuak antolatzeko *Matlab*-en edo *Octave*-n sortuko diren matrizeak ere ez dira aurreko simulazioarekin sortutakoen homologoak izango, datu horien erabilera konplikatu.

I.3. AERODYN15

"NRELOffshrBslne5MW_OC3Hywind_AeroDyn15.dat" fitxategiak zortzi atal dauka; zazpi sarrera-aldagaiak zehazteko eta, azkenekoa, irteera-aldagaiak kontrolatzeko. Horietatik, atal bakarra ukitu ahalko da scriptetik:

Aldagaia	Aldagaiaren izena scriptean	Definizioa
"Environmental Conditions" atala		
<i>AirDens</i>	<i>rho_A</i>	Airearen dentsitatea [kg/m^3]
<i>KinVisc</i>	<i>nu_A</i>	Airearen biskositate zinematikoa [m^2/s]

I-3 taula. Scriptetik maneiatu ahalko diren AeroDyn aldagaiak.

Gainerakoak bere horretan uztea erabaki da. Gehienak koefiziente aerodinamiko aurreratuei edo profil aerodinamikoan, palen eta dorrearen diskretizazioari zein ezaugarriei dagozkienez, ez da espero simulazio serie batean aldagaiok aldatu behar izatea.

Output-aldagaien zerrenda ere, behin zehaztu ostean ez da berriro aldatu behar. Zerrenda hori aldatuz gero, irteerako aldagaien ordena aldatuko da. Ondorioz, irteerako datuak antolatzeke *Matlab*-en edo *Octave*-n sortuko diren matrizeak ere ez dira aurreko simulazioarekin sortutakoen homologoak izango, datu horien erabilera konplikatuz.

I.4. ELASTODYN

"NRELOffshrBslne5MW_OC3Hywind_ElastoDyn.dat" fitxategiak 12 atal dauka; 11 sarrera-aldagaiak zehazteko eta, azkenekoa, irteera-aldagaiak kontrolatu eta zerrendatzeko. Horietatik atal bakarra ukitu ahalko da scriptetik:

Aldagaia	Aldagaiaren izena scriptean	Definizioa
"INITIAL CONDITIONS" atala		
<i>BIPitch(1)*</i>	<i>InBIPitch</i>	1. palaren pitch angelua hasieran [$^\circ$]
<i>BIPitch(2)*</i>	<i>InBIPitch</i>	2. palaren pitch angelua hasieran [$^\circ$]
<i>BIPitch(3)*</i>	<i>InBIPitch</i>	3. palaren pitch angelua hasieran [$^\circ$]
<i>RotSpeed</i>	<i>InRotSpeed</i>	Errotorearen abiadura hasieran [bira/min]
<i>NacYaw</i>	<i>InNacYaw</i>	Gondolaaren yaw angelua hasieran [$^\circ$]

* Hiru aldagaiok aldagai bakarra izango dira *Matlab*-en/*Octave*-n, palen arteko erregularitasuna hobetsiz.

I-4 taula. Scriptetik maneiatu ahalko diren ElastoDyn aldagaiak.

Gainerakoak bere horretan uztea erabaki da. Horien artean daude simulazioaren integrazioarako denbora-tartea (*default* moduan utzi da), deformazioentzako askatasun graduak baimentzeko aukerak (hiru palako turbinei eragiten dieten guztiak baimenduta utzi dira), hasierako baldintza gehienak (0 balioa esleiturik), turbinari dagozkion

propietate-parametroak, "FURLING" atala eta dorrearen eta palen propietateei zein diskretizazioari dagozkien "BLADE" eta "TOWER" atalak.

Output-aldagaien zerrenda ere, behin zehaztu ostean ez da berriro aldatu behar. Zerrenda hori aldatuz gero, irteerako aldagaien ordena aldatuko da. Ondorioz, irteerako datuak antolatzeko *Matlab*-en edo *Octave*-n sortuko diren matrizeak ere ez dira aurreko simulazioarekin sortutakoen homologoak izango, datu horien erabilera konplikatu.

I.5. INFLOWWIND

"NRELOffshrBslne5MW_InflowWind.dat" fitxategiak zazpi atal dauka; sei sarrera-aldagaiak zehazteko eta, azkenekoa, irteera-aldagaiak zerrendatzeko. Atal horietatik, lehen bostak ukitu ahalko dira scriptetik:

Aldagaia	Aldagaiaren izena scriptean	Definizioa
Sarrerako atala		
<i>WindType</i>	<i>WindType</i>	Haize mota (konstantea, uniformea, <i>TurbSim</i> -ekin sortutakoa...) zehazteko switch-a
"Parameters for Steady Wind Conditions" atala (<i>WindType</i> = 1 denean erabiltzen da)		
<i>HWindSpeed</i>	<i>HWindSpeed_1</i>	Haize-abiadura horizontala [m/s]
<i>RefHt*</i>	<i>RefHt_12</i>	Zehaztutako haize-abiadura horizontalaren altuera [m]
<i>PLexp</i>	<i>PLexp_1</i>	Altuera eta haize-abiaduraren arteko erlazio potentzialaren berretzailea [-]
"Parameters for Uniform wind file" atala (<i>WindType</i> = 2 denean erabiltzen da)		
<i>Filename**</i>	<i>Filename_23</i>	Haize uniformedun sareta osatzeko datu-seriea duen fitxategiaren helbide erlatiboa eta izena
<i>RefHt*</i>	<i>RefHt_12</i>	Haize-abiadura horizontalarentzako erreferentzia-altuera [m]
<i>RefLength</i>	<i>RefLength_2</i>	Erreferentzia-luzera, ebakidura horizontal eta bertikalarentzat [-]
"Parameters for Binary TurbSim Full-Field files" atala (<i>WindType</i> = 3 denean erabiltzen da)		
<i>Filename**</i>	<i>Filename_23</i>	<i>TurbSim</i> -ek sortutako haize-fitxategiaren (.bts) helbide erlatiboa eta izena
"Parameters for Binary Bladed-style Full-Field files" atala (<i>WindType</i> = 4 denean erabiltzen da)		
<i>FilenameRoot</i>	<i>FileRoot_4</i>	Haize-fitxategiaren (.wnd, .sum) helbide erlatiboa eta izenaren erroa

* Bi aldagaiok aldagai bakarra izango dira Matlab-en/Octave-n, scripta laburtzeko.

** Bi aldagaiok aldagai bakarra izango dira Matlab-en/Octave-n, scripta laburtzeko.

I-5 taula. Scriptetik maneiatu ahalko diren InflowWind aldagaiak.

Fitxategiaren seigarren atala bere horretan utziko da, ez baita espero HAWC formatuko haize-fitxategi bitarrak erabiltzerik.

Output-aldagaien zerrenda ere, behin zehaztu ostean ez da berriro aldatu behar. Zerrenda hori aldatuz gero, irteerako aldagaien ordena aldatuko da. Ondorioz, irteerako datuak antolatzeko *Matlab*-en edo *Octave*-n sortuko diren matrizeak ere ez dira aurreko simulazioarekin sortutakoen homologoak izango, datu horien erabilera konplikatu.

I.6. TURBSIM

"*TurbSim.inp*" fitxategiak dauzkan bost ataletatik, lehen hiruretako aldagai batzuk pasatu dira scriptera:

Aldagaia	Aldagaiaren izena scriptean	Definizioa
"Runtime Options" atala		
<i>WrFMTFF</i>	<i>WrFMTFF</i>	Nodo guztietako haize-datuen denboran zeharreko seriea modu irakurgarrian (".u", ".v" eta ".w" fitxategiak) sortu ala ez sortu (flag: T/F)
"Turbine/Model Specifications" atala		
<i>NumGrid_Z*</i>	<i>NumGrid</i>	Errotore-planoko haize-sarea edo matrizearen zutabe bakoitzeko nodo-kopurua
<i>NumGrid_Y*</i>	<i>NumGrid</i>	Errotore-planoko haize-sarea edo matrizearen errenkada bakoitzeko nodo-kopurua
<i>TimeStep</i>	<i>TSTStep</i>	Haizearen datu-seriearentzako "denbora-pausua" edo denbora-bereizmena [s]
<i>AnalysisTime**</i>	<i>UsableT</i>	Analisiaren iraupena [s]
<i>UsableTime**</i>	<i>UsableT</i>	Irteerako denbora-seriearen iraupen erabilgarria [s]
<i>HubHt***</i>	<i>HubHt</i>	Abatzaren altuera [m] Haize-sarearen zentroa altuera honetan kokatuko du TurbSim-ek
<i>GridHeight****</i>	<i>GridS</i>	Sarearen altuera, hots, beheko nodoetatik goikoetara arteko distantzia [m]
<i>GridWidth****</i>	<i>GridS</i>	Sarearen zabalera
"Meteorological Boundary Conditions" atala		
<i>TurbModel</i>	<i>TurbM</i>	Turbulentziaren modelo (Kaimal, von Karman, "SMOOTH"...) zehazteko switch-a
<i>IECstandard</i>	<i>IECstandard</i>	IEC 61400-x estandarretako "x" zenbakia
<i>IECturbc</i>	<i>IECturbc</i>	IEC turbulentziaren karakteristika, turbulentzia-indizeari loturikoa
<i>WindProfileType</i>	<i>WindPT</i>	Haizearen profil bertikalaren eredua
<i>RefHt***</i>	<i>HubHt</i>	Zehaztuko den batz besteko abiadurarentzako erreferentzia-altuera [m]

<i>URef</i>	<i>URef</i>	Zehaztutako erreferentzia-altuerak izango duen batz besteko haize-abiadura (totala) [m/s]
<i>PLExp</i>	<i>PLExp</i>	Profil bertikalaren eredu potentzialarentzako berretzailea [-]
<i>Z0</i>	<i>Z0</i>	Zoruaren zimurdura [m] (profil bertikal logaritmikoarentzako)

* Bi aldagaiok aldagai bakarra izango dira *Matlab*-en/*Octave*-n, hots, nodo-kopuru berbera ardatz bietan.

** Bi aldagaiok aldagai bakarra izango dira *Matlab*-en/*Octave*-n. "Analysis time" luzeagoa izan beharko balitz, *TurbSim*-ek automatikoki zuzenduko du balioa.

*** Bi aldagaiok aldagai bakarra izango dira *Matlab*-en/*Octave*-n, zehaztutako batz besteko abiadura sarearen erdiko altueran gertatu dadin.

**** Bi aldagaiok aldagai bakarra izango dira *Matlab*-en/*Octave*-n, hots, sarea karratua izango da.

I-6 taula. Scriptetik maneiatu ahalko diren *TurbSim*-entzako sarrera-aldagaiak.

Scriptera pasa ez diren aldagaien artean daude, besteak beste, "Runtime Options" ataleko "flag" motako aldagai gehienak eta IEC estandarretik kanpoko turbulentzia-ereduei dagozkien aldagai meteorologikoak. Aipaturiko lehenak formatu konkretuko haize-fitxategiak sortu ala ez sortu erabakitzeke dira. Bada, ".hh" eta ".bts" formatudun fitxategiak sortzeko moduan utzi dira. Horiez gain, *WrFMtff* aldagaia scrip-etik maneiatuz, ".u", ".v" eta ".w" fitxategiak lortzeko aukera ere badago. Aipaturiko beste aldagai meteorologikoak balio lehenetsietan (*default*) utzi dira.

II. ERANSINA: AKTIBATUTAKO IRTEERA-ALDAGAIK

Kanala	Aldagaia	Unitatea	Definizioa
FASTek sortutakoak			
1	Time	s	Aldiunea, simulazioa hasi denetik pasatako denbora
InflowWind -ek sortutakoak			
2	Wind1VelX	m/s	x ardatzeko haize-abiadura (axiala), abatzaren altueran
3	Wind1VelY	m/s	y ardatzeko haize-abiadura (albotikoa), abatzaren altueran
4	Wind1VelZ	m/s	z ardatzeko haize-abiadura (bertikala), abatzaren altueran
ElastoDyn -ek sortutakoak			
5	BldPitch1	°	1. palaren pitch angelua
6	BldPitch2	°	2. palaren pitch angelua
7	BldPitch3	°	3. palaren pitch angelua
8	Azimuth	°	Errotorearen eta abiadura txikiko ardatzaren posizio angeluarra, azimut angelua ere deitua
9	RotSpeed	bira/min	Errotorearen eta abiadura txikiko ardatzaren biraketa-abiadura
10	GenSpeed	bira/min	Sorgailuaren eta abiadura handiko ardatzaren biraketa-abiadura
11	NacYawP	°	Gondolaren yaw angelua (posizioa)
12	NacYawV	°/s	Gondolaren yaw abiadura angeluarra
13	OoPDefl1	m	1. palaren puntaren "out-of-plane" deformazioa ($x_{c,1}$ ardatzean) x_c ardatza kono-angelua erabiliz kalkulatzen da, eta biraketa-planoarekiko perpendikularra da
14	IPDefl1	m	1. palaren puntaren "In-plane" deformazioa ($y_{c,1}$ ardatzean) y_c ardatza kono-angelua erabiliz kalkulatzen da, eta biraketa-planoan dago
15	TipDzc1	m	1. palaren puntaren deformazio axiala edo normala (trakzioa / konpresioa) Norabidea: palaren pitch ardatza, hots, $z_{b,1}$ zein $z_{c,1}$
16	OoPDefl2	m	2. palaren puntaren "out-of-plane" deformazioa ($x_{c,2}$ ardatzean) x_c ardatza kono-angelua erabiliz kalkulatzen da, eta biraketa-planoarekiko perpendikularra da

17	IPDefl2	m	2. palaren puntaren "In-plane" deformazioa ($y_{c,2}$ ardatzean) y_c ardatza kono-angelua erabiliz kalkulatzen da, eta biraketa-planoan dago
18	TipDzc2	m	2. palaren puntaren deformazio axiala edo normala (trakzioa / konpresioa) Norabidea: palaren pitch ardatza, hots, $z_{b,2}$ zein $z_{c,2}$
19	OoPDefl3	m	3. palaren puntaren "out-of-plane" deformazioa ($x_{c,3}$ ardatzean) x_c ardatza kono-angelua erabiliz kalkulatzen da, eta biraketa-planoarekiko perpendikularra da
20	IPDefl3	m	3. palaren puntaren "In-plane" deformazioa ($y_{c,3}$ ardatzean) y_c ardatza kono-angelua erabiliz kalkulatzen da, eta biraketa-planoan dago
21	TipDzc3	m	3. palaren puntaren deformazio axiala edo normala (trakzioa / konpresioa) Norabidea: palaren pitch ardatza, hots, $z_{b,3}$ zein $z_{c,3}$
22	TwrClrnc1	m	1. palaren puntaren eta dorrearen ardatz bertikalaren (yaw axis) arteko distantzia. Palaren eta dorrearen arteko talkarik egon ez dadin, distantzia hau dorrearen erradioa baino handiagoa izan behar da beti.
23	TwrClrnc2	m	2. palaren puntaren eta dorrearen ardatz bertikalaren (yaw axis) arteko distantzia. Palaren eta dorrearen arteko talkarik egon ez dadin, distantzia hau dorrearen erradioa baino handiagoa izan behar da beti.
24	TwrClrnc3	m	3. palaren puntaren eta dorrearen ardatz bertikalaren (yaw axis) arteko distantzia. Palaren eta dorrearen arteko talkarik egon ez dadin, distantzia hau dorrearen erradioa baino handiagoa izan behar da beti.
25	NcIMUTAx _s	m/s ²	Gondolako IMUaren azelerazio lineala (absolutua) x_s ardatzean Erreferentzia: transmisio-ardatzaren koordenatu-sistema
26	NcIMUTAy _s	m/s ²	Gondolako IMUaren azelerazio lineala (absolutua) y_s ardatzean Erreferentzia: transmisio-ardatzaren koordenatu-sistema
27	NcIMUTAz _s	m/s ²	Gondolako IMUaren azelerazio lineala (absolutua) z_s ardatzean Erreferentzia: transmisio-ardatzaren koordenatu-sistema
28	PtfmSurge	m	Plataformaren desplazamendu lineala x_i ardatzean (aurrera-atzera) Erreferentzia: koordenatu-sistema inertziala, plataformaren hasierako posizioan
29	PtfmSway	m	Plataformaren desplazamendu lineala y_i ardatzean (alboetara) Erreferentzia: koordenatu-sistema inertziala, plataformaren hasierako posizioan

30	PtfmHeave	m	Plataformaren desplazamendu lineala z_i ardatzean (gora-behera) Erreferentzia: koordinatu-sistema inertziala, plataformaren hasierako posizioan
31	PtfmRoll	o	Plataformaren desplazamendu angeluarra x_i ardatzarekiko (roll) Erreferentzia: koordinatu-sistema inertziala, plataformaren hasierako posizioan
32	PtfmPitch	o	Plataformaren desplazamendu angeluarra y_i ardatzarekiko (pitch) Erreferentzia: koordinatu-sistema inertziala, plataformaren hasierako posizioan
33	PtfmYaw	o	Plataformaren desplazamendu angeluarra z_i ardatzarekiko (yaw) Erreferentzia: koordinatu-sistema inertziala, plataformaren hasierako posizioan
34	PtfmTAXi	m/s ²	Plataformaren azelerazio lineala x_i ardatzean (aurrera-atzera) Erreferentzia: koordinatu-sistema inertziala, plataformaren hasierako posizioan
35	PtfmTAYi	m/s ²	Plataformaren azelerazio lineala y_i ardatzean (alboetara) Erreferentzia: koordinatu-sistema inertziala, plataformaren hasierako posizioan
36	PtfmTAzi	m/s ²	Plataformaren azelerazio lineala z_i ardatzean (gora-behera) Erreferentzia: koordinatu-sistema inertziala, plataformaren hasierako posizioan
37	YawBrTDxp	m	Dorrearen goiko muturraren deformazioa (desplazamendu erlatiboa) x_p ardatzean (aurrera-atzera) x_p ardatza dorrearen goiko muturreko koordinatu sistemaren x ardatza da
38	YawBrTDyp	m	Dorrearen goiko muturraren deformazioa (desplazamendu erlatiboa) y_p ardatzean (alboetara) y_p ardatza dorrearen goiko muturreko koordinatu sistemaren y ardatza da
39	YawBrTDzp	m	Dorrearen goiko muturraren deformazioa (desplazamendu erlatiboa) z_p ardatzean (gora-behera) z_p ardatza dorrearen goiko muturreko koordinatu sistemaren z ardatza da
40	RootFxc1	kN	Indar ebakitzailea 1. palaren erroan: "out-of-plane" osagaia Norabidea: $x_{c,1}$, hau da, kono-angelua erabiliz kalkulatzen den koordinatu-sistemaren x ardatza, biraketa-planoarekiko perpendikularra
41	RootFyc1	kN	Indar ebakitzailea 1. palaren erroan: "in-plane" osagaia Norabidea: $y_{c,1}$, hau da, kono-angelua erabiliz kalkulatzen den koordinatu-sistemaren y ardatza, biraketa-planoan dagoena
42	RootFzc1	kN	Indar axiala (normala) 1. palaren erroan Norabidea: $z_{c,1}$, hau da, kono-angelua erabiliz kalkulatzen den koordinatu-sistemaren z ardatza

43	RootMxc1	kN·m	Makurdura-momentua 1. palaren erroan: "in-plane" osagaia (indar ebakitzailaren "in-plane" osagaiak eraginda) Norabidea: $x_{c,1}$, hau da, kono-angelua erabiliz kalkulatzen den koordinatu-sistemaren x ardatza
44	RootMyc1	kN·m	Makurdura-momentua 1. palaren erroan: "in-plane" osagaia (indar ebakitzailaren "in-plane" osagaiak eraginda) Norabidea: $y_{c,1}$, hau da, kono-angelua erabiliz kalkulatzen den koordinatu-sistemaren y ardatza
45	RootMzc1	kN·m	Bihurdura- edo "pitching" momentua 1. palaren erroan Norabidea: $z_{c,1}$, hau da, kono-angelua erabiliz kalkulatzen den koordinatu-sistemaren z ardatza
46	RootFxc2	kN	Indar ebakitzaila 2. palaren erroan: "out-of-plane" osagaia Norabidea: $x_{c,2}$, hau da, kono-angelua erabiliz kalkulatzen den koordinatu-sistemaren x ardatza, biraketa-planoarekiko perpendikularra
47	RootFyc2	kN	Indar ebakitzaila 2. palaren erroan: "in-plane" osagaia Norabidea: $y_{c,2}$, hau da, kono-angelua erabiliz kalkulatzen den koordinatu-sistemaren y ardatza, biraketa-planoan dagoena
48	RootFzc2	kN	Indar axiala (normala) 2. palaren erroan Norabidea: $z_{c,2}$, hau da, kono-angelua erabiliz kalkulatzen den koordinatu-sistemaren z ardatza
49	RootMxc2	kN·m	Makurdura-momentua 2. palaren erroan: "in-plane" osagaia (indar ebakitzailaren "in-plane" osagaiak eraginda) Norabidea: $x_{c,2}$, hau da, kono-angelua erabiliz kalkulatzen den koordinatu-sistemaren x ardatza
50	RootMyc2	kN·m	Makurdura-momentua 2. palaren erroan: "in-plane" osagaia (indar ebakitzailaren "in-plane" osagaiak eraginda) Norabidea: $y_{c,2}$, hau da, kono-angelua erabiliz kalkulatzen den koordinatu-sistemaren y ardatza
51	RootMzc2	kN·m	Bihurdura- edo "pitching" momentua 2. palaren erroan Norabidea: $z_{c,2}$, hau da, kono-angelua erabiliz kalkulatzen den koordinatu-sistemaren z ardatza
52	RootFxc3	kN	Indar ebakitzaila 3. palaren erroan: "out-of-plane" osagaia Norabidea: $x_{c,3}$, hau da, kono-angelua erabiliz kalkulatzen den koordinatu-sistemaren x ardatza, biraketa-planoarekiko perpendikularra
53	RootFyc3	kN	Indar ebakitzaila 3. palaren erroan: "in-plane" osagaia Norabidea: $y_{c,3}$, hau da, kono-angelua erabiliz kalkulatzen den koordinatu-sistemaren y ardatza, biraketa-planoan dagoena
54	RootFzc3	kN	Indar axiala (normala) 3. palaren erroan Norabidea: $z_{c,3}$, hau da, kono-angelua erabiliz kalkulatzen den koordinatu-sistemaren z ardatza
55	RootMxc3	kN·m	Makurdura-momentua 3. palaren erroan: "in-plane" osagaia (indar ebakitzailaren "in-plane" osagaiak eraginda) Norabidea: $x_{c,3}$, hau da, kono-angelua erabiliz kalkulatzen den koordinatu-sistemaren x ardatza

56	RootMyc3	kN·m	Makurdura-momentua 3. palaren erroan: "in-plane" osagaia (indar ebakitzailaren "in-plane" osagaiak eraginda) Norabidea: $y_{c,3}$, hau da, kono-angelua erabiliz kalkulatzen den koordinatu-sistemaren y ardatza
57	RootMzc3	kN·m	Bihurdura- edo "pitching" momentua 3. palaren erroan Norabidea: $z_{c,3}$, hau da, kono-angelua erabiliz kalkulatzen den koordinatu-sistemaren z ardatza
58	Spn1MLxb1	kN·m	Makurdura-momentua 1. palaren 1. galgan: "edgewise" osagaia Norabidea: $x_{b,1}$, hau da, palarekin batera higitzen den koordinatu-sistemaren x ardatza
59	Spn1MLyb1	kN·m	Makurdura-momentua 1. palaren 1. galgan: "flapwise" osagaia Norabidea: $y_{b,1}$, hau da, palarekin batera higitzen den koordinatu-sistemaren y ardatza
60	Spn1MLzb1	kN·m	Bihurdura- edo "pitching" momentua 1. palaren 1. galgan Norabidea: $z_{c,1}$ zein $z_{b,1}$
61	Spn1MLxb2	kN·m	Makurdura-momentua 2. palaren 1. galgan: "edgewise" osagaia Norabidea: $x_{b,2}$, hau da, palarekin batera higitzen den koordinatu-sistemaren x ardatza
62	Spn1MLyb2	kN·m	Makurdura-momentua 2. palaren 1. galgan: "flapwise" osagaia Norabidea: $y_{b,2}$, hau da, palarekin batera higitzen den koordinatu-sistemaren y ardatza
63	Spn1MLzb2	kN·m	Bihurdura- edo "pitching" momentua 2. palaren 1. galgan Norabidea: $z_{c,2}$ zein $z_{b,2}$
64	Spn1MLxb3	kN·m	Makurdura-momentua 3. palaren 1. galgan: "edgewise" osagaia Norabidea: $x_{b,3}$, hau da, palarekin batera higitzen den koordinatu-sistemaren x ardatza
65	Spn1MLyb3	kN·m	Makurdura-momentua 3. palaren 1. galgan: "flapwise" osagaia Norabidea: $y_{b,3}$, hau da, palarekin batera higitzen den koordinatu-sistemaren y ardatza
66	Spn1MLzb3	kN·m	Bihurdura- edo "pitching" momentua 3. palaren 1. galgan Norabidea: $z_{c,3}$ zein $z_{b,3}$
67	RotThrust	kN	Indar axiala (bulkada-indarra) errotorean eta abiadura txikiko ardatzean Norabidea: x_a (koordinatu-sistema azimutalaren x ardatza) zein x_s (ardatzeko koordinatu-sistemaren x ardatza)
68	LSShftFya	kN	Indar ebakitzaille birakaria abiadura txikiko ardatzean: y osagaia Norabidea: y_a , koordinatu sistema azimutalaren (birakaria) y ardatza

69	LSShftFza	kN	Indar ebakitzaille birakaria abiadura txikiko ardatzean: z osagaia Norabidea: z_a , koordenatu sistema azimutalaren (birakaria) z ardatza
70	RotTorq	kN·m	Abiadura txikiko ardatzaren pareia (bihurdura-momentua) Norabidea: x_a (koordenatu-sistema azimutalaren x ardatza) zein x_s (ardatzeko koordenatu-sistemaren x ardatza)
71	LSSTipMya	kN·m	Makurdura-momentu birakaria, abiadura txikiko ardatzaren abatzeko muturrean: y osagaia Norabidea: y_a , koordenatu sistema azimutalaren (birakaria) y ardatza
72	LSSTipMza	kN·m	Makurdura-momentu birakaria, abiadura txikiko ardatzaren abatzeko muturrean: z osagaia Norabidea: z_a , koordenatu sistema azimutalaren (birakaria) z ardatza
73	YawBrFxp	kN	Indar ebakitzaillea dorrearen goiko muturrean: x osagaia (aurrera-atzera) Norabidea: x_p , dorrearen goiko muturreko koordenatu-sistemaren x ardatza
74	YawBrFyp	kN	Indar ebakitzaillea dorrearen goiko muturrean: y osagaia (alboetara) Norabidea: y_p , dorrearen goiko muturreko koordenatu-sistemaren y ardatza
75	YawBrFzp	kN	Indar axiala (normala) dorrearen goiko muturrean Norabidea: z_p , dorrearen goiko muturreko koordenatu-sistemaren z ardatza
76	YawBrMxp	kN·m	Makurdura-momentua dorrearen goiko muturrean: x osagaia ("roll" edo alboetara) Norabidea: x_p , dorrearen goiko muturreko koordenatu-sistemaren x ardatza
77	YawBrMyp	kN·m	Makurdura-momentua dorrearen goiko muturrean: y osagaia ("pitch" edo aurrera-atzera) Norabidea: y_p , dorrearen goiko muturreko koordenatu-sistemaren y ardatza
78	YawBrMzp	kN·m	Bihurdura-momentua dorrearen goiko muturrean ("yaw moment") Norabidea: z_p , dorrearen goiko muturreko koordenatu-sistemaren z ardatza
79	TwrBsFxt	kN	Indar ebakitzaillea dorrearen beheko muturrean: x osagaia (aurrera-atzera) Norabidea: x_t , dorrearen beheko muturreko koordenatu-sistemaren x ardatza
80	TwrBsFyt	kN	Indar ebakitzaillea dorrearen beheko muturrean: y osagaia (alboetara) Norabidea: y_t , dorrearen beheko muturreko koordenatu-sistemaren y ardatza
81	TwrBsFzt	kN	Indar axiala (normala) dorrearen beheko muturrean Norabidea: z_t , dorrearen beheko muturreko koordenatu-sistemaren z ardatza

82	TwrBsMxt	kN·m	Makurdura-momentua dorrearen beheko muturrean: x osagaia ("roll" edo alboetara) Norabidea: x_t , dorrearen beheko muturreko koordinatu-sistemaren x ardatza
83	TwrBsMyt	kN·m	Makurdura-momentua dorrearen beheko muturrean: y osagaia ("pitch" edo aurrera-atzera) Norabidea: y_t , dorrearen beheko muturreko koordinatu-sistemaren y ardatza
84	TwrBsMzt	kN·m	Bihurdura-momentua dorrearen beheko muturrean ("yaw moment") Norabidea: z_t , dorrearen beheko muturreko koordinatu-sistemaren z ardatza
85	TwHt1MLxt	kN·m	Makurdura-momentu lokala dorrearen 1. galgan: x osagaia ("roll" edo alboetara) Norabidea: x_t , dorrearen beheko muturreko koordinatu-sistemaren x ardatza
86	TwHt1MLyt	kN·m	Makurdura-momentu lokala dorrearen 1. galgan: y osagaia ("pitch" edo aurrera-atzera) Norabidea: y_t , dorrearen beheko muturreko koordinatu-sistemaren y ardatza
87	TwHt1MLzt	kN·m	Bihurdura-momentu lokala dorrearen 1. galgan ("yaw moment") Norabidea: z_t , dorrearen beheko muturreko koordinatu-sistemaren z ardatza
AeroDyn -ek sortutakoak			
88	RtArea	m ²	Errotoreak barreiatutako azalera
89	RtTSR	-	Punta-abiadura ratioa (TSR edo λ)
90	RtAeroPwr	W	Errotoreak xurgatutako potentzia aerodinamikoa
91	RtAeroCp	-	Potentzia koefiziente aerodinamikoa
92	RtAeroCt	-	Bulkada koefiziente aerodinamikoa
ServoDyn -ek sortutakoak			
93	GenPwr	kW	Sortutako potentzia elektrikoa
94	GenTq	kN·m	Sorgailuaren momentu elektromagnetikoa
HydroDyn -ek sortutakoak			
95	Wave1Elev	m	η , hots, olatu totalaren (lehen eta bigarren ordenakoen batura) altxatze-egoera
96	HydroFxi	N	Indar hidrodinamikoa WRPan (plataforma): x osagaia (aurrera-atzera) Fluxu potentziala eta <i>strip</i> teoria (elementuz elementuko diskretizazioa) kontuan hartuz kalkulatuta Norabidea: x_i , koordinatu-sistema inertzialaren x ardatza

97	HydroFyi	N	Indar hidrodinamikoa WRPan (plataforma): y osagaia (alboetara) Fluxu potentziala eta <i>strip</i> teoria (elementuz elementuko diskretizazioa) kontuan hartuz kalkulatuta Norabidea: y_i , koordinatu-sistema inertzialaren y ardatza
98	HydroFzi	N	Indar hidrodinamikoa WRPan (plataforma): z osagaia (gora-behera) Fluxu potentziala eta <i>strip</i> teoria (elementuz elementuko diskretizazioa) kontuan hartuz kalkulatuta Norabidea: z_i , koordinatu-sistema inertzialaren z ardatza
99	HydroMxi	N·m	Momentu hidrodinamikoa WRPan (plataforma): x osagaia ("roll" edo alboetara) Fluxu potentziala eta <i>strip</i> teoria (elementuz elementuko diskretizazioa) kontuan hartuz kalkulatuta Norabidea: x_i , koordinatu-sistema inertzialaren x ardatza
100	HydroMyi	N·m	Momentu hidrodinamikoa WRPan (plataforma): y osagaia ("pitch" edo aurrera-atzera) Fluxu potentziala eta <i>strip</i> teoria (elementuz elementuko diskretizazioa) kontuan hartuz kalkulatuta Norabidea: y_i , koordinatu-sistema inertzialaren y ardatza
101	HydroMzi	N·m	Momentu hidrodinamikoa WRPan (plataforma): z osagaia ("yaw moment") Fluxu potentziala eta <i>strip</i> teoria (elementuz elementuko diskretizazioa) kontuan hartuz kalkulatuta Norabidea: z_i , koordinatu-sistema inertzialaren z ardatza

II-1 taula. Aktibatuta utzi diren FASTen irteera-aldagaiak.