

Telekomunikazio, Informatika eta Industria
Ingeniarien Goi Mailako Eskola Teknikoa

Offshore Aerosorgailuentzako Plataforma Flotatzaileen Eredu Dinamiko Sinplifikatua



Grada Ingeniaritza Mekanikoan

Grado Bukaerako Lana

Iraitz Erneta Yeregui

Jokin Aginaga García

Iruñea, 2015eko Ekainaren 26a

***Egunetik egunera aurrera jarraitzeko indarrak
ematen dizkidaten guzti horientzat***

*Bizi dadin eskuara
Orain eta gero,
Berma gaiten hortara
Eskualdunak oro.*

J. Elissalde

LABURPENA

Lan honetan, offshore aerosorgailuentzako eredu dinamiko sinplifikatuak programatu dira Matlab bidez, horretarako lehendabizi beste mekanismo batzuen modelo dinamikoak diseinatu, proiektuaren helburua den plataformaren eredu programatzeko beharrezko ezagutzak eskuratzeko.

Simulatu nahi den plataforma mota, "Tension Leg Platform" deituriko itsasoko lurzoruari kable edo sirga batzuen bidez lotzen den plataforma flotatzailea da, zeinak kableen luzeraren kontrolarekin plataformaren egonkortasuna kontrolatzeko aukera ematen duen. Honek unibertsitateko Kontrol eta Automatika sailekoekin elkarlanean aritzen saiatzera bultzatu du, hasierako helburuetako bat kable hauen bidezko simulatutako plataformaren kontrola izanik.

Laneko modelo dinamiko guztiak bi dimentsiotan burutu dira. Pendulu sinplea, pendulu bikoitza eta lauki artikulatuaren modeloak lantzen dira hasieran, hauen funtzionamendua simulazio batzuen bidez bermatuz. Jarraian, aerosorgailuaren plataformaren ereduaren lehenengo bertsioa sortzen da, hau plataforma eta bi kableek osatzen dutelarik, non flotazioaren plataformarenganako eragina aztertzeko aukera garbia ematen den. Honen portaera egokia ziurtatzean, plataformaren azkeneko modelo aurreko bertsioan oinarritzen diseinatu da, honi masa puntualen bidez bi boia eta dorrea eta gondolaz osaturiko aerosorgailu bat gehituz. Azkeneko eredu ez da bere kabuz egonkor mantentzeko gai, aerosorgailuaren pisuak eta boien bultzadak sorturiko momentuen eraginez, beraz, kable bidezko kontrolerako aukera asko ematen ditu.

Nahiz eta hasierako helburu guztiak bete ez izan, proiektu honetako eredu dinamikoak lanean jarraitzeko bideak irekita uzten ditu, hala nola, hiru dimentsioetara pasatzeko, itsasoaren simulazio errealistago bat burutzeko edota kableen kontrolarekin sartzeko aukera emanez.

GAIK EDO HITZ GAKOAK

Simulazio Dinamiko
Plataforma Flotatzailea
Offshore Aerosorgailua
Estatuen Espazioa
Matlab

ABSTRACT

In this project, a simplified dynamic model of offshore wind turbines has been programmed using the Matlab mathematic's software. For this purpose I have started by designing different kinds of mechanism models, with the aim of acquiring the necessary knowledge for the right design of the platforms.

The type of floating platform required is known as "Tension Leg Platform" and it is tied to the seabed by cables that allow the platforms stability by controlling its length. This would be possible through collaboration with the university's Control and Automatics Department, being the main goal to control the platforms dynamic models.

All the dynamic models of this project have two dimensions. First, a simple-pendulum, a double pendulum and an articulated quadrilateral model were designed, verifying their correct behaviour through simulations. After that, the first version of the platforms model was created, composed by a platform and two cables, which allows assessing the platforms floating qualities. After verification of the model's expected behaviour, the final model of the platform was designed based on its first version, adding two buoys and a wind turbine as point masses. This model has proven not to be stable by itself, because of the wind turbines weight and the buoy's floating pushing, providing a case for controlling.

Although the initial targets have not been completely fulfilled, the project opens up different ways to continue working, like programming in 3D or creating a better simulation of the sea for example.

KEY ISSUES AND KEYWORDS

Dynamic simulation

Flouting platform

Offshore wind turbine

State space

Matlab

AURKIBIDEA

FIGUREN AURKIBIDEA	4
SARRERA.....	4
PENDULU SINPLEA.....	4
PENDULU BIKOITZA	4
LAUKI ARTIKULATUA	5
PLATAFORMAREN LEHENENGO BERTSIOA	5
PLATAFORMAREN BIGARREN BERTSIOA.....	6
ANEXO.....	7
EKUAZIOEN AURKIBIDEA	8
TEORIA.....	8
PENDULU SINPLEA.....	8
PENDULU BIKOITZA	9
LAUKI ARTIKULATUA	9
PLATAFORMAREN LEHENENGO BERTSIOA	10
PLATAFORMAREN BIGARREN BERTSIOA.....	13
ANEXO.....	14
1. SARRERA.....	16
1.1. HELBURUEN JUSTIFIKAZIOA	17
1.2. TESTUINGURU TEKNOLOGIKOA ETA EGUNGO EGOERA	17
1.2.1. Offshore aerosorgailuak.....	17
1.3. PROIEKTUAREN GARAPENEAN JARRAITUTAKO METODOLOGIA	19
2. ERABILITAKO OINARRI TEORIKOAK	20
2.1. DINAMIKA ETA ZINEMATIKA	20
2.1.1. Aljebra bektoriala	20
2.1.2. Zinematika	21
2.1.3. Dinamika.....	21
2.2. FLOTAZIOAREN PRINTZIPIOA	23
2.3. ESTATUEN ESPAZIOAREN TEORIA	24
3. MODELO DINAMIKO BAT OSATZEN IKASTEKO PROGRAMATURIKO MEKANISMOAK	26
3.1. SARRERA.....	26
3.2. PENDULU SINPLEA.....	26
3.2.1. Azalpen orokorra.....	26

3.2.2.	Simulazioa	28
3.3.	PENDULU BIKOITZA	30
3.3.1.	Azalpen orokorra	30
3.3.2.	Ekuazioak	30
3.3.3.	Simulazioa	33
3.4.	LAUKI ARTIKULATUA	37
3.4.1.	Azalpen orokorra	37
3.4.2.	Ekuazioak	38
3.4.3.	Simulazioa	43
4.	AEROSORGAILUAREN PLATAFORMAREN MODELO DINAMIKOA	47
4.1.	SARRERA	47
4.1.1.	Azalpen orokorra eta arazoari aurre egiteko planteamendua	47
4.2.	EKUAZIOAK ETA ESKUZKO KALKULUAK	48
4.2.1.	Ezkerreko kablea	50
4.2.2.	Eskuineko kablea	52
4.2.3.	Plataforma	53
4.2.4.	Lotura ekuazio geometrikoak	58
4.2.5.	Lotura ekuazio zinematikoak	59
4.3.	PROGRAMAZIOA	61
4.3.1.	Programazioaren azalpen orokorra	61
4.3.2.	Funtzioen eskema hierarkikoa	62
4.3.3.	Datuen sarrera	63
4.3.4.	Hasierako egoeren kalkulua (Dinamika eta Zinematika)	63
4.3.5.	Datuen kalkulua denboran (Estatuen Espazioaren Teoria)	69
4.3.6.	Simulazioa grafikoa	69
4.3.7.	Grafikoak	70
4.4.	FUNTZIONAMENDUAREN ADIBIDEA	70
4.4.1.	Simulazioa	70
4.4.2.	Emaitzen analisiak	74
4.5.	ONDORIOAK	75
5.	AEROSORGAILUAREN SISTEMA OSOAREN MODELO DINAMIKOA	76
5.1.	SARRERA	76
5.1.1.	Azalpen orokorra eta arazoari aurre egiteko planteamendua	76
5.2.	EKUAZIOAK ETA ESKUZKO KALKULUAK	77
5.2.1.	Grabitate zentrua	80

5.2.2.	Inertzia.....	81
5.2.3.	Indarrak.....	83
5.2.4.	Momentuak.....	85
5.3.	PROGRAMAZIOA.....	87
5.3.1.	Plataformaren modelo dinamikoarekiko aldaketak.....	87
5.3.2.	Funtzioen eskema hierarkikoa.....	88
5.3.3.	Plataformaren modeloari gehitu beharreko funtzioak.....	88
5.4.	FUNTZIONAMENDUAREN ADIBIDEA.....	89
5.4.1.	Simulazioa.....	89
5.4.2.	Emaitzen analisiak.....	94
5.5.	ONDORIOAK.....	94
6.	ONDORIOAK ETA JARRAIPENERAKO LAN LERRO POSIBLEAK.....	95
7.	ERREFERENTZIAK ETA BIBLIOGRAFIA.....	96
7.1.	OFFSHORE AEROSORGAILUAK.....	96
7.2.	DINAMIKA ETA ZINEMATIKA.....	97
7.3.	FLOTAZIOAREN LEGEA.....	97
7.4.	ESTATUEN ESPAZIOAREN TEORIA.....	97
ANEXO: PROGRAMAZIO KODIGOA.....		98
1.1.	AEROSORGAILUAREN PLATAFORMAREN MODELO DINAMIKOA.....	98
1.1.1.	Datuen sarrera.....	98
1.1.2.	Hasierako egoeren kalkulua (Dinamika eta Zinematika).....	100
1.1.3.	Datuen kalkulua denboran (Estatuen Espazioaren Teoria).....	114
1.1.4.	Simulazioa grafikoa.....	116
1.1.5.	Grafikoak.....	119
1.2.	AEROSORGAILUAREN SISTEMA OSOAREN MODELO DINAMIKOA.....	123
1.2.1.	Datuen sarrera.....	123
1.2.2.	Hasierako egoeren kalkulua (Dinamika eta Zinematika).....	126
1.2.3.	Datuen kalkulua denboran (Estatuen Espazioaren Teoria).....	139
1.2.4.	Simulazioa grafikoa.....	141
1.2.5.	Grafikoak.....	145

FIGUREN AURKIBIDEA

SARRERA

1.1. Fig. Tension Leg Platform motako plataformak

1.2. Fig. Offshore aerosorgailu baten instalazioa

1.3. Fig. Offshore aerosorgailuen zimentazio motak

PENDULU SINPLEA

3.1. Fig. - Inertziarik gabeko pendulu sinplearen akotazioa

3.2. Fig. - Inertziadun pendulu sinplearen akotazioa

3.3. Fig. - Inertziadun pendulu sinplearen simulazioa

3.4. Fig. - Pendulu sinplearen simulazioa: Angelua denboraren aurrean

3.5. Fig. - Pendulu sinplearen simulazioa: Abiadura angeluarra denboraren aurrean

3.6. Fig. - Pendulu sinplearen simulazioa: Azelerazio angeluarra denboraren aurrean

PENDULU BIKOITZA

3.7. Fig. - Pendulu bikoitzaren akotazioa

3.8. Fig. - Pendulu bikoitzaren simulazioa

3.9. Fig. - Pendulu bikoitzaren simulazioa: θ angelua denboraren aurrean

3.10. Fig. - Pendulu bikoitzaren simulazioa: φ angelua denboraren aurrean

3.11. Fig. - Pendulu bikoitzaren simulazioa: $\dot{\theta}$ abiadura angeluarra denboraren aurrean

3.12. Fig. - Pendulu bikoitzaren simulazioa: $\dot{\varphi}$ abiadura angeluarra denboraren aurrean

3.13. Fig. - Pendulu bikoitzaren simulazioa: $\ddot{\theta}$ azelerazio angeluarra denboraren aurrean

3.14. Fig. - Pendulu bikoitzaren simulazioa: $\ddot{\varphi}$ azelerazio angeluarra denboraren aurrean

LAUKI ARTIKULATUA

- 3.15. Fig. - Lauki artikulatua: Grashof-en legea
- 3.16. Fig. - Lauki artikulatua: Muntatzeko modua
- 3.17. Fig. - Lauki artikulatuaren akotazioa
- 3.18. Fig. - Lauki artikulatuaren simulazioa
- 3.19. Fig. - Lauki artikulatuaren simulazioa: ΘA angelua denboraren aurrean
- 3.20. Fig. - Lauki artikulatuaren simulazioa: ΘD angelua denboraren aurrean
- 3.21. Fig. - Lauki artikulatuaren simulazioa: $d\Theta A$ abiadura angeluarra denboraren aurrean
- 3.22. Fig. - Lauki artikulatuaren simulazioa: $d\Theta D$ abiadura angeluarra denboraren aurrean
- 3.23. Fig. - Lauki artikulatuaren simulazioa: $dd\Theta A$ azelerazio angeluarra denboraren aurrean
- 3.24. Fig. - Lauki artikulatuaren simulazioa: $dd\Theta D$ azelerazio angeluarra denboraren aurrean

PLATAFORMAREN LEHENENGO BERTSIOA

- 4.1. Fig. - Aerosorgailuaren plataforma
- 4.2. Fig. - Aerosorgailuaren plataformaren orientazio diagrama
- 4.3. Fig. - Aerosorgailuaren plataformaren akotazioa
- 4.4. Fig. - Aerosorgailuaren plataformaren ezkerreko kablea
- 4.5. Fig. - Aerosorgailuaren plataformaren 2. kablea
- 4.6. Fig. - Aerosorgailuaren plataformari eragiten dioten indar eta momentuak
- 4.7. Fig. - Aerosorgailuaren plataforma akotatua
- 4.8. Fig. - Plataformaren modelo dinamikoa programatzeko erabilitako funtzioen eskema
- 4.9. Fig. - Plataformaren urperatutako bolumenaren kalkuluko adibidea
- 4.10. Fig. - Plataformaren urperatutako bolumenaren kalkuluko adibidearen zatiketaren akotazioa
- 4.11. Fig. - Plataformaren urperatutako bolumenaren kalkuluko adibidearen flotazio zentroaren akotazioa
- 4.12. Fig. - Plataformaren simulazioa: 1. Irudia.
- 4.13. Fig. - Plataformaren simulazioa: 2. Irudia

-
- 4.14. Fig. - Plataformaren simulazioa: 3. Irudia
- 4.15. Fig. - Plataformaren simulazioa: 4. irudia
- 4.16. Fig. - Plataformaren simulazioa: Plataformaren angelua, abiadura angeluarra eta azelerazio angeluarra denboraren aurrean.
- 4.17. Fig. - Plataformaren simulazioa: Plataformaren grabitate zentruaren altuera, abiadura eta azelerazio Y ardatzean denboraren aurrean
- 4.18. Fig. - Plataformaren simulazioa: Plataformaren grabitate zentruaren posizioa, abiadura eta azelerazio X ardatzean denboraren aurrean
- 4.19. Fig. - Plataformaren simulazioa: Plataformari eragiten dioten kanpoko momentuen batura eta grabitate zentruaren altuera denboraren aurrean

PLATAFORMAREN BIGARREN BERTSIOA

- 5.1. Fig. - Aerosorgailuaren plataformaren sistema osoa
- 5.2. Fig. - Aerosorgailuaren plataformaren sistema osoaren akotazioa
- 5.3. Fig. - Aerosorgailuaren sistema osoaren orientazio diagrama
- 5.4. Fig. - Aerosorgailuaren plataformaren sistema osoaren grabitate zentruaren akotazioa
- 5.5. Fig. - Aerosorgailuaren plataformaren sistema osoari eragiten dioten indar eta momentuak
- 5.6. Fig. - Offshore aerosorgailuaren sistema osoaren modelo dinamikoa programatzeko erabilitako funtzioen eskema
- 5.7. Fig. - Offshore aerosorgailuaren sistema osoaren simulazioa: 1. irudia
- 5.8. Fig. - Offshore aerosorgailuaren sistema osoaren simulazioa: 2. Irudia
- 5.9. Fig. - Offshore aerosorgailuaren sistema osoaren simulazioa: 3. irudia
- 5.10. Fig. - Offshore aerosorgailuaren sistema osoaren simulazioa: 4. irudia
- 5.11. Fig. - Offshore aerosorgailuaren sistema osoaren simulazioa: Plataformaren angelua, abiadura angeluarra eta azelerazio angeluarra denboraren aurrean.
- 5.12. Fig. - Offshore aerosorgailuaren sistema osoaren simulazioa: P puntuaren altuera, abiadura eta azelerazio Y ardatzean denboraren aurrean.

5.13. Fig. - *Offshore aerosorgailuaren sistema osoaren simulazioa: P puntuaren posizioa, abiadura eta azelerazio X ardatzean denboraren aurrean.*

5.14. Fig. - *Offshore aerosorgailuaren sistema osoaren simulazioa: Sistemari eragiten dioten kanpoko momentuen batura eta P puntuaren altuera denboraren aurrean*

ANEXO A

A.1.1. Fig. - *Plataformaren urperatutako bolumenaren kalkuluko adibidea*

A.1.2. Fig. - *Plataformaren urperatutako bolumenaren kalkuluko adibidearen zatiketaren akotazioa*

A.1.3. Fig. - *Plataformaren urperatutako bolumenaren kalkuluko adibidearen flotazio zentroaren akotazioa*

EKUAZIOEN AURKIBIDEA

TEORIA

- [2.1. Ek.] - Base aldaketa matrizea 1
- [2.2. Ek.] - Base aldaketa matrizea 2
- [2.3. Ek.] - Bektoreen biderketa
- [2.4. Ek.] - Bektoreen deribazioa
- [2.5. Ek.] - Abiadura
- [2.6. Ek.] - Azelerazioa
- [2.7. Ek.] - Partikularen dinamika
- [2.8. Ek.] - Inertzia tentsorea
- [2.9. Ek.] - Momentu zinetikoa
- [2.10. Ek.] - Steinerren inertzia matrizea
- [2.11. Ek.] - D'Alamberten inertzia tentsorea
- [2.12. Ek.] - 1. Teorema bektoriala
- [2.13. Ek.] - 2. Teorema bektoriala
- [2.14. Ek.] - Flotazioaren printzipioa: Bultzada indarra
- [2.15. Ek.] - Estatuen espazioaren teoria: 1
- [2.16. Ek.] - Estatuen espazioaren teoria: 2
- [2.16. Ek.] - Estatuen espazioaren teoria: 3
- [2.17. Ek.] - Estatuen espazioaren teoria: 4
- [2.18. Ek.] - Estatuen espazioaren teoria: 5
- [2.19. Ek.] - Estatuen espazioaren teoria: 6
- [2.20. Ek.] - Estatuen espazioaren teoria: 7
- [2.21. Ek.] - Estatuen espazioaren teoria: 8

PENDULU SINPLEA

- [3.1. Ek.] - Inertziarik gabeko pendulu sinplearen Momentu Zinetikoaren teorema
- [3.2. Ek.] - Inertziarik gabeko pendulu sinplearen azelerazio angeluarra
- [3.3. Ek.] - Inertziadun pendulu sinplearen inertzia tentsorea

[3.4. Ek.] - Inertziadun pendulu sinplearen Momentu Zinetikoaren teorema

[3.5. Ek.] - Inertziadun pendulu sinplearen azelerazio angeluarra

PENDULU BIKOITZA

[3.6. Ek.] - Pendulu bikoitzaren AB barraren A puntuarekiko inertzia tentsorearen 3. zutabea

[3.7. Ek.] - Pendulu bikoitzaren AB barraren Mugimendu Kantitatearen teoremako ardatz horizontalaren ekuazioa

[3.8. Ek.] - Pendulu bikoitzaren AB barraren Mugimendu Kantitatearen teoremako ardatz bertikalaren ekuazioa

[3.9. Ek.] - Pendulu bikoitzaren AB barraren Momentu Zinetikoaren teoremako ekuazioa

[3.10. Ek.] - Pendulu bikoitzaren BC barraren, bere grabitate zentroarekiko inertzia tentsorearen 3. zutabea

[3.11. Ek.] - Pendulu bikoitzaren BC barraren Mugimendu Kantitatearen teoremako ardatz horizontalaren ekuazioa

[3.12. Ek.] - Pendulu bikoitzaren BC barraren Mugimendu Kantitatearen teoremako ardatz bertikalaren ekuazioa

[3.13. Ek.] - Pendulu bikoitzaren AB barraren Momentu Zinetikoaren teoremako ekuazioa

LAUKI ARTIKULATUA

[3.14. Ek.] - Grashof-en legea

[3.15. Ek.] - Lauki artikulatuaren 1. barraren, A puntuarekiko inertzia tentsorearen 3. zutabea

[3.16. Ek.] - Lauki artikulatuaren 1. barraren Mugimendu Kantitatearen teoremako 1 ardatzeko ekuazioa

[3.17. Ek.] - Lauki artikulatuaren 1. barraren Mugimendu Kantitatearen teoremako 2 ardatzeko ekuazioa

[3.18. Ek.] - Lauki artikulatuaren 1. barraren Momentu Zinetikoaren teoremako ekuazioa

[3.19. Ek.] - Lauki artikulatuaren 2. barraren, bere grabitate zentruarekiko inertzia tentsorearen 3. zutabea

[3.20. Ek.] - Lauki artikulatuaren 2. barraren Mugimendu Kantitatearen teoremako 1' ardatzeko ekuazioa

[3.21. Ek.] - Lauki artikulatuaren 2. barraren Mugimendu Kantitatearen teoremako 2' ardatzeko ekuazioa

[3.22. Ek.] - Lauki artikulatuaren 2. barraren Momentu Zinetikoaren teoremako ekuazioa

[3.23. Ek.] - Lauki artikulatuaren 3. barraren, D puntuarekiko inertzia tentsorearen 3. zutabea

-
- [3.24. Ek.] - Lauki artikulatuaren 3. barraren Mugimendu Kantitatearen teoremako 1^o ardatzeko ekuazioa
- [3.25. Ek.] - Lauki artikulatuaren 3. barraren Mugimendu Kantitatearen teoremako 2^o ardatzeko ekuazioa
- [3.26. Ek.] - Lauki artikulatuaren 3. barraren Momentu Zinetikoaren teoremako ekuazioa
- [3.27. Ek.] - Lauki artikulatuaren Lotura Ekuazio Geometrikoetako 1. ekuazioa
- [3.28. Ek.] - Lauki artikulatuaren Lotura Ekuazio Geometrikoetako 2. ekuazioa
- [3.29. Ek.] - Lauki artikulatuaren Lotura Ekuazio Geometrikoetako 3. ekuazioa
- [3.30. Ek.] - Lauki artikulatuaren Lotura ekuazio geometrikoen denborarekiko lehenengo deribatuen 1. ekuazioa
- [3.31. Ek.] - Lauki artikulatuaren Lotura ekuazio geometrikoen denborarekiko lehenengo deribatuen 2. ekuazioa
- [3.32. Ek.] - Lauki artikulatuaren Lotura ekuazio geometrikoen denborarekiko lehenengo deribatuen 3. ekuazioa
- [3.33. Ek.] - Lauki artikulatuaren Lotura ekuazio geometrikoen denborarekiko bigarren deribatuen 1. ekuazioa
- [3.34. Ek.] - Lauki artikulatuaren Lotura ekuazio geometrikoen denborarekiko bigarren deribatuen 2. ekuazioa
- [3.35. Ek.] - Lauki artikulatuaren Lotura ekuazio geometrikoen denborarekiko bigarren deribatuen 3. ekuazioa

PLATAFORMAREN LEHENENGO BERTSIOA

- [4.1. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Ezkerreko Kablearen Mugimendu Kantitatearen Teorema
- [4.2. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Ezkerreko Kablearen Mugimendu Kantitatearen Teoremako 1 ardatzeko ekuazioa
- [4.3. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Ezkerreko Kablearen Mugimendu Kantitatearen Teoremako 2 ardatzeko ekuazioa
- [4.4. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Ezkerreko Kablearen Momentu Zinetikoaren Teorema
- [4.5. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Ezkerreko Kablearen Momentu Zinetikoaren Teoremako ekuazioa
- [4.6. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Eskuineko Kablearen Mugimendu Kantitatearen Teorema
- [4.7. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Eskuineko Kablearen Mugimendu Kantitatearen Teoremako 1^o ardatzeko ekuazioa
- [4.7. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Eskuineko Kablearen Mugimendu Kantitatearen Teoremako 2^o ardatzeko ekuazioa
- [4.8. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Eskuineko Kablearen Momentu Zinetikoaren Teorema

- [4.9. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Eskuineko Kablearen Momentu Zinetikoaren Teoremako ekuazioa
- [4.10. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Grabitate Zentruaren posizioa
- [4.11. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Grabitate Zentruaren posizioaren abiadura
- [4.12. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Grabitate Zentruaren posizioaren azelerazioa
- [4.13. Ek.] – D'Alamberten indarraren ekuazioa
- [4.14. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren D'Alamberten indarra
- [4.15. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren pisua
- [4.16. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren marruskadura indarra X ardatzean
- [4.17. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren marruskadura indarra Y ardatzean
- [4.18. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren marruskadura momentua Z ardatzean
- [4.19. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren X ardatzeko indarren batura
- [4.20. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Y ardatzeko indarren batura
- [4.21. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Z ardatzeko momentuen batura
- [4.22. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Mugimendu Kantitatearen Teorema
- [4.23. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Mugimendu Kantitatearen Teoremako 1' ardatzeko ekuazioa
- [4.10. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Grabitate Zentruaren posizioa
- [4.11. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Grabitate Zentruaren posizioaren abiadura
- [4.12. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Grabitate Zentruaren posizioaren azelerazioa
- [4.13. Ek.] – D'Alamberten indarraren ekuazioa
- [4.14. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren D'Alamberten indarra
- [4.15. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren pisua
- [4.16. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren marruskadura indarra X ardatzean
- [4.17. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren marruskadura indarra Y ardatzean
- [4.18. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren marruskadura momentua Z ardatzean
- [4.19. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren X ardatzeko indarren batura
- [4.20. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Y ardatzeko indarren batura
- [4.21. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Z ardatzeko momentuen batura
- [4.22. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Mugimendu Kantitatearen Teorema
- [4.23. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Mugimendu Kantitatearen Teoremako 1' ardatzeko ekuazioa

- [4.24. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Mugimendu Kantitatearen Teoremako 2' ardatzeko ekuazioa
- [4.25. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Inertzia Tentsorea bere grabitate zentruan
- [4.26. Ek.] – D'Alamberten Momentuaren ekuazioa
- [4.27. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren momentu zinetikoa bere grabitate zentruarekiko
- [4.28. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren D'Alamberten Momentua bere grabitate zentruarekiko
- [4.29. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Momentu Zinetikoaren teorema
- [4.30. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Momentu Zinetikoaren teoremako ekuazioa
- [4.31. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Lotura Ekuazio Geometrikoetako 1. ekuazioa
- [4.32. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Lotura Ekuazio Geometrikoetako 2. ekuazioa
- [4.33. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Lotura Ekuazio Geometrikoetako 3. ekuazioa
- [4.34. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Lotura Ekuazio Geometrikoetako 4. ekuazioa
- [4.35. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Lotura Ekuazio Geometrikoetako 5. ekuazioa
- [4.35. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Lotura ekuazio geometrikoen denborarekiko lehenengo deribatuen 1. ekuazioa
- [4.36. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Lotura ekuazio geometrikoen denborarekiko lehenengo deribatuen 2. ekuazioa
- [4.37. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Lotura ekuazio geometrikoen denborarekiko lehenengo deribatuen 3. ekuazioa
- [4.38. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Lotura ekuazio geometrikoen denborarekiko lehenengo deribatuen 4. ekuazioa
- [4.39. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Lotura ekuazio geometrikoen denborarekiko lehenengo deribatuen 5. ekuazioa
- [4.40. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Lotura ekuazio geometrikoen denborarekiko bigarren deribatuen 1. ekuazioa
- [4.41. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Lotura ekuazio geometrikoen denborarekiko bigarren deribatuen 2. ekuazioa
- [4.42. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Lotura ekuazio geometrikoen denborarekiko bigarren deribatuen 3. ekuazioa
- [4.43. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Lotura ekuazio geometrikoen denborarekiko bigarren deribatuen 4. ekuazioa
- [4.44. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Lotura ekuazio geometrikoen denborarekiko bigarren deribatuen 5. ekuazioa
- [4.45. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Urperatutako Bolumenaren kalkuluko 1. zatiaren bolumena
- [4.46. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Urperatutako Bolumenaren kalkuluko 2. zatiaren bolumena

-
- [4.47. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Urperatutako Bolumenaren kalkuluko 3. zatiaren bolumena
- [4.45. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Urperatutako Bolumenaren kalkuluko zati guztien bolumenaren batura
- [4.46. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Urperatutako Bolumenaren 1. zatiaren flotazio zentruaren 1' ardateko koordinatua
- [4.47. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Urperatutako Bolumenaren 1. zatiaren flotazio zentruaren 2' ardateko koordinatua
- [4.48. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Urperatutako Bolumenaren 2. zatiaren flotazio zentruaren 1' ardateko koordinatua
- [4.49. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Urperatutako Bolumenaren 2. zatiaren flotazio zentruaren 2' ardateko koordinatua
- [4.50. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Urperatutako Bolumenaren 3. zatiaren flotazio zentruaren 1' ardateko koordinatua
- [4.51. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Urperatutako Bolumenaren 3. zatiaren flotazio zentruaren 2' ardateko koordinatua
- [4.52. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Flotazio Zentruaren 1' ardateko koordinatua
- [4.53. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Flotazio Zentruaren 2' ardateko koordinatua
-

PLATAFORMAREN BIGARREN BERTSIOA

- [5.1. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Sistema osoaren masa totala
- [5.2. Ek.] – Sistemaren grabitate zentruaren A1-ekiko 1' ardatzeko koordinatua
- [5.3. Ek.] – Sistemaren grabitate zentruaren A1-ekiko 2' ardatzeko koordinatua
- [5.4. Ek.] – Sistemaren grabitate zentruan kalkulaturiko plataformaren inertzia tentsorea
- [5.5. Ek.] – Sistemaren grabitate zentruan kalkulaturiko dorrearen inertzia tentsorea
- [5.6. Ek.] – Sistemaren grabitate zentruan kalkulaturiko gondolaren inertzia tentsorea
- [5.7. Ek.] – Sistemaren grabitate zentruan kalkulaturiko 1. boiaren inertzia tentsorea
- [5.8. Ek.] – Sistemaren grabitate zentruan kalkulaturiko 2. boiaren inertzia tentsorea
- [5.9. Ek.] – Sistemaren grabitate zentruan kalkulaturiko inertzia tentsore totala
- [5.10. Ek.] – Plataformaren pisua
- [5.12. Ek.] – Gondolaren pisua
- [5.13. Ek.] – Dorrearen pisua
- [5.14. Ek.] – 1. Boiaren pisua
- [5.15. Ek.] – 2. Boiaren pisua

-
- [5.16. Ek.] – Plataformaren X ardatzeko marruskadura indarra
- [5.17. Ek.] – 1. Boiaren X ardatzeko marruskadura indarra
- [5.18. Ek.] – 2. Boiaren X ardatzeko marruskadura indarra
- [5.19. Ek.] – Plataformaren Y ardatzeko marruskadura indarra
- [5.20. Ek.] – 1. Boiaren Y ardatzeko marruskadura indarra
- [5.21. Ek.] – 2. Boiaren Y ardatzeko marruskadura indarra
- [5.22. Ek.] – Sistema osoaren X ardatzeko kanpoko indarren batura
- [5.23. Ek.] – Sistema osoaren Y ardatzeko kanpoko indarren batura
- [5.24. Ek.] – Plataformaren pisuak sistemaren grabitate zentruan sorturiko momentua
- [5.25. Ek.] – Dorrearen pisuak sistemaren grabitate zentruan sorturiko momentua
- [5.26. Ek.] – Gondolaren pisuak sistemaren grabitate zentruan sorturiko momentua
- [5.27. Ek.] – 1. Boiaren pisuak sistemaren grabitate zentruan sorturiko momentua
- [5.28. Ek.] – 2. Boiaren pisuak sistemaren grabitate zentruan sorturiko momentua
- [5.29. Ek.] – Plataformaren urperatutako bolumenaren bultzadak sistemaren grabitate zentruan sorturiko momentua
- [5.30. Ek.] – 1. Boiaren bultzadak sistemaren grabitate zentruan sorturiko momentua
- [5.31. Ek.] – 2. Boiaren bultzadak sistemaren grabitate zentruan sorturiko momentua
- [5.32. Ek.] – Dorreko haizearen indarrak sistemaren grabitate zentruan sorturiko momentua
- [5.33. Ek.] – Gondolako haizearen indarrak sistemaren grabitate zentruan sorturiko momentua
- [5.34. Ek.] – Plataformaren biraketaren marruskadurak sistemaren grabitate zentruan sorturiko momentua
- [5.35. Ek.] – Plataformaren desplazamenduen marruskadurak sistemaren grabitate zentruan sorturiko momentua
- [5.36. Ek.] – 1. Boiaren desplazamenduen marruskadurak sistemaren grabitate zentruan sorturiko momentua
- [5.37. Ek.] – 2. Boiaren desplazamenduen marruskadurak sistemaren grabitate zentruan sorturiko momentua

ANEXO A

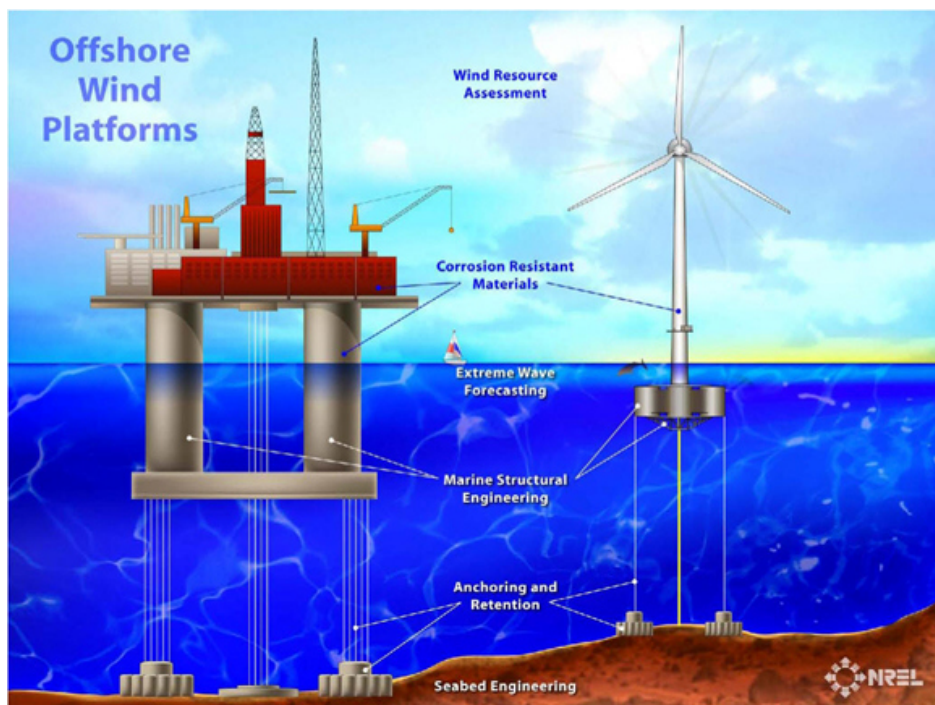
- [A.1. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Urperatutako Bolumenaren kalkuluko 1. zatiaren bolumena
- [A.2. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Urperatutako Bolumenaren kalkuluko 2. zatiaren bolumena

-
- [A.3. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Urperatutako Bolumenaren kalkuluko 3. zatiaren bolumena**
- [A.4. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Urperatutako Bolumenaren kalkuluko zati guztien bolumenaren batura**
- [A.5. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Urperatutako Bolumenaren 1. zatiaren flotazio zentruaren 1'ardateko koordinatua**
- [A.6. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Urperatutako Bolumenaren 1. zatiaren flotazio zentruaren 1'ardateko koordinatua**
- [A.7. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Urperatutako Bolumenaren 2. zatiaren flotazio zentruaren 1'ardateko koordinatua**
- [A.8. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Urperatutako Bolumenaren 2. zatiaren flotazio zentruaren 2'ardateko koordinatua**
- [A.9. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Urperatutako Bolumenaren 3. zatiaren flotazio zentruaren 1'ardateko koordinatua**
- [A.10. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Urperatutako Bolumenaren 3. zatiaren flotazio zentruaren 2'ardateko koordinatua**
- [A.11. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Flotazio Zentruaren 1'ardateko koordinatua**
- [A.12 Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Flotazio Zentruaren 2'ardateko koordinatua**

1. SARRERA

Modelo dinamiko batek, denboran zehar aldatzen doan sistema baten ezaugarriak deskribatzen ditu, software informatiko bidez sistema simulatuz. Ingeniaritzaren alorrean maiz erabiltzen den lan tresna da sistema edo mekanismo bat aztertzerako orduan edota honen kontrola ezartzerakoan esate baterako. Proiektu honetan, offshore aerosorgailu baten plataforma flotatzailea simulatzen duen *Matlab* software matematikoaren bidez programaturiko modelo dinamiko bat diseinatuko da, hau lortzeko, zenbait mekanismo ezberdinen modeloak diseinatu lehendabizi. Hau, proiektuaren helburua den plataformaren programa diseinatu ahal izateko, modelizazio dinamikoari eta *Matlab* bidezko programazioari buruz eskuratu beharreko ezagutzak lortzeko eginen da, mekanismoen programazioa eta kalkulua konplikatuz proiektuan aurrera egin ahal.

Diseinatu nahi den plataforma, itsasoan kokatzen diren aerosorgailuak ur-azalean mantentzeko erabiltzen den plataforma bat da, kasu honetan, Tension-leg platform (TLP) deituriko plataforma mota bat hain zuzen ere. Mota honetako plataformak, zeinak petrolio edota gasa ateratzeko erabiltzen diren, plataforma flotatzaile batek eta hau itsasoko lurzorura lotzen duten kable edo sirga multzo batek osatzen dute. Kable hauek, askatu edo beraietatik tiratzea ahalbidetzen dute plataformari eragiten dioten mareen, olatuen edota haizearen arabera hau egonkortzeko. Kable hauen kontrola, automatikoki egiten da algoritmo berezi batzuen bidez, eta lan honek diseinatzea helburu duen modelo dinamikoa, algoritmo horiekin frogak egiteko proposituarekin diseinatuko da.



1.1. Fig. Tension Leg Platform motako plataformak

1.1. HELBURUEN JUSTIFIKAZIOA

Proiektu honek, plataforma flotatzaileen modelo dinamikoak eskalan diseinatzea du helburu nagusitzat. Bi kablez loturiko hiru askatasun maila dituzten bi dimentsiotako modelo errazekin hasiko da zeinetan aipaturiko kableak eta bultzadaren indarra eragileak izanen diren. Posible den heinean, hiru dimentsiotako modelo batera iristen saiatuko da zeinak 6 askatasun maila eta kable ugari izango dituen.

Lan honen helburua nagusia, plataforma flotatzaile baten modelo dinamikoaren ezarpena izanen da, aurreragoko fase batetan eragile bezala aritzen diren kableetan kontrol algoritmoak aplikatu eta probatzeko.

1.2. TESTUINGURU TEKNOLOGIKOA ETA EGUNGO EGOERA

1.2.1. Offshore aerosorgailuak

Energia eolikoak etorkizun oparoa du, nahiz eta hau jorratzeko lurralderik onenak dagoeneko okupatuak edota baimentzeko bidean diren eta gero eta zailagoa den haize abiadura handiak dituen eta erabili gabe den lurralderik aurkitzea. Arazo honi aurre egiteko, aukera berri bat agertu zen, offshore energia eolikoa. *Onshore*ek, kostaldean esanahia duen modu berean, *offshore* hitzak kostaldetik kanpo esan nahi du, modu honetan itsasoan lantzen den energia lortzeko metodoa dela adieraziz.

Itsasoan, lurrean ez bezala haizearentzat oztoporik ez izatean eta urak marruskadura txikiagoa eragitean, abiadurak handiagoak izan oi dira eta lurreko zonaldeetan baino konstanteagoak, modu honetan abiadura optimoa beste lekuetan baino handiagoa eta egonkorragoa izatea posible eginez. Honez gain, dentsitate demografiko handia dagoen lurraldeetarako energia lortzeko metodo interesgarria izan daiteke, ez baitu lurreko eremurik kentzen eta kontsumorik handiena bertan ematen baita, galerak murriztuz eta bide batez energia berriztagarriak erabiliz.

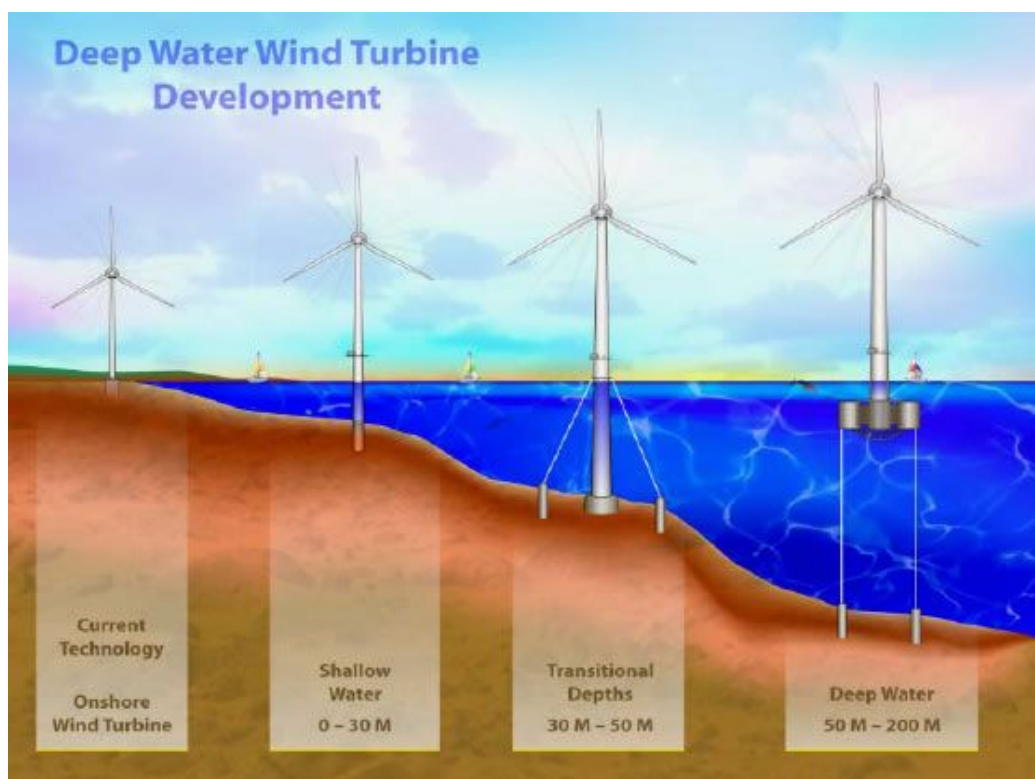
Hala ere, energia eolikoak baditu bere eragozpenak, hauetako garrantzitsuenak egin beharreko inbertsioa izanik. Itsasoan offshore aerosorgailuak instalatzeko erabili beharreko itsasoko garabi handiek, urpeko zimentazioek, etab. lurrean instalatzea baino garestiagoa eta konplikatuagoa bilakatzen dute lan hau. Honez gain, mantentze lanak burutzea garestiagoa da eta baldintza klimatikoengatik konponketak egitea ezinezkoa izan daiteke, urtean zehar akats gutxi bermatzera derrigortuz.



1.2. Fig. Offshore aerosorgailu baten instalazioa

Gaur egungo teknologiaren aurrerakuntzak direla eta, aerosorgailuak zimentazio ezberdinak diseinatzen joan dira, hauen erabilera kokatu beharreko lekuaren kondizioen arabera erabakitzen delarik. Itsasoko zimentazioen alorrean XX. mendean petrolioaren industriak eginiko aurrerakuntzez baliatu ahal izatearen abantaila dago gaur egun, baina hala ere, sektorearen eolikoarentzat aurrerapen espezifikoak egitea ezinbestekoak da proiektuak ekonomikoki bideragarriak izan daitezen.

Hasieran, offshore teknologia aerosorgailuetan erabiltzen hasi baino lehen, uretik kanpo kokatzen direnak aurkitzen dira, zeinak orokorrean ohiko zimentazioa erabiltzen dute lur azpian sartuta. Lehenengo offshore aerosorgailuek *Monopod* eta *Grabitatezkoak* deituriko plataforma motak erabiltzen zituzten. Aurrerago, *Tripode* bezala deiturikoek hauek ordezkatu zituzten.



1.3. Fig. Offshore aerosorgailuen zimentazio motak

Ur sakonagoetara barneratu ahala, zimentazio finkeok egoera hauetan duten errentagarritasun eza dela eta plataforma flotatzaileen erabilpena ezinbestekoa izan da, sistema ekonomikoki bideragarriagoak erabiliz. Plataforma flotatzaileei dagokionez, aerosorgailuak ur-azalean flotazioaren bidez mantentzeko metodo eta modelo ezberdinak erabiltzen dira eta proiektu honetan *Tension Leg Platform* bezala ezaguturiko itsasoko lurzorura kable edo sirga bidez lotzen den plataforma flotatzaile mota aztertuko da.

Sistema honen abantailak, flotatzailea denez honek dakarren zimentazio kostuen murriztea, ur sakonetarako erabilgarria eta bideragarria izatea eta kableen bidezko kontrolak dakarren egonkortasunaren kontrola dira.

1.3. PROIEKTUAREN GARAPENEAN JARRAITUTAKO METODOLOGIA

Proiektu hau burutzeko orduan, lanak aurrera egiten zuen heinean, ikasketa prozesu jarrai bat eman da, zeinean hondoko pausu hauek ezberdindu daitezkeen:

- 1) *Matlab* software matematikoaren oinarritzko ezagutzen barneratzea Ingeniaritza Mekanikoa graduko "Makina eta mekanismoen teoria" (NUP, Kod. 245504) ikasgaieko praktikak eginez.
- 2) Ikaskuntzara bideratutako mekanismo ezberdinen dinamika eta zinematikako ekuazioen eskuzko kalkuluak.
- 3) *Matlab* erabiliz, mekanismo ezberdinen modelo dinamikoak programatzea, bakoitzari dagozkion simulazioekin.
- 4) Aerosorgailuaren plataformaren dinamika eta zinematikako ekuazioen eskuzko kalkulua.
- 5) *Matlab* erabiliz, aerosorgailuaren plataformaren modelo dinamikoa programatzea, honi dagozkion simulazioekin.
- 6) Plataformaren modelo dinamikoa aerosorgailuaren sistema osoaren modelora egokitze ekuazioen eskuzko kalkulua.
- 7) *Matlab* erabiliz, eta aerosorgailuaren plataformaren modelo dinamikoa aldatuz, aerosorgailuaren plataforma osoaren modelo dinamikoa programatzea, honi dagozkion simulazioekin.
- 8) Azkeneko modelo dinamikoaren funtzionamendu egokia egiaztatze egoera garrantzitsuen simulazioa.
- 9) Modelo dinamikotik ateratako emaitzen eta honen portaeraren analisisa.
- 10) Ondorioak
- 11) Modelo dinamikoaren programazioa *Simulink*-en, modu honetan, gradu bukaerako lan hau Nafarroako Unibertsitate Publikoko Kontrol eta Automatika sailera pasatuz.

2. ERABILITAKO OINARRI TEORIKOAK

Atal honetan, programaturiko modelo dinamikoak oinarritzat hartzen dituen zenbait printzipio teoriko azalduko dira, bere baitan kalkulu dinamiko eta zinematikoetatik hasi eta estatuen espazioen teoria bere baitan hartu arte.

2.1. DINAMIKA ETA ZINEMATIKA

2.1.1. Aljebra bektoriala

2.1.1.1. Base aldaketa matrizeak

Base aldaketa matrizeak bektoreak base batetik bestera aldatzeko erabiltzen diren matrizeak dira. $[\bar{T}]_{XYZ}^{123}$ matrizea adibidez, XYZ basean dagoen bektore batekin biderkatuz gero, hau aurreko basearekiko ortonormala den 123 basera aldatuko luke eta $[\bar{T}]_{123}^{XYZ}$ base aldaketa matrizeak, berriz, alderantziz.

Bi matrize hauek jarraian ageri diren propietateak betetzen dituzte, bigarrena ortonormaltasunaren ondorioz:

[2.1. Ek.] - Base aldaketa matrizea 1

$$[\bar{T}]_{XYZ}^{123} = ([\bar{T}]_{123}^{XYZ})^{-1}$$

[2.2. Ek.] - Base aldaketa matrizea 2

$$([\bar{T}]_{123}^{XYZ})^{-1} = ([\bar{T}]_{123}^{XYZ})^T$$

2.1.1.2. Bektoreen arteko oinarritzko eragiketak

- Batuketak egiteko, osagai bakoitza bere leku berean dagoen beste bektoreko osagaiarekin gehituko da.
- Biderketa eskalarrak egiteko, bektore osoa eskalarrarekin biderkatuko da.
- Biderketa bektorialak honela egingo dira:

[2.3. Ek.] - Bektoreen biderketa

$$\{\vec{a} \wedge \vec{b}\}_B = \begin{Bmatrix} a1 \\ a2 \\ a3 \end{Bmatrix}_B \wedge \begin{Bmatrix} b1 \\ b2 \\ b3 \end{Bmatrix}_B = \begin{Bmatrix} a2 \cdot b3 - a3 \cdot b2 \\ a3 \cdot b1 - a1 \cdot b3 \\ a1 \cdot b2 - a2 \cdot b1 \end{Bmatrix}_B$$

- Bektoreen deribatuak honela:

[2.4. Ek.] – Bektoreen deribazioa

$$\left\{ \frac{d\vec{u}}{dt} \right\}_{B'} = \frac{d}{dt} \{\vec{u}\}_{B'} + \{\Omega_B(B')\} \wedge \{\vec{u}\}_{B'}$$

2.1.1.3. Orientatzen diagrama

Orientatze diagramak base batetik bestera pasatzeko ematen diren birak azaltzen dira, elkarren artean akotaturiko baseak adieraziz.

2.1.2. Zinematika

2.1.2.1. Abiadura eta azelerazio bektoreak

Abiadura eta azelerazioaren bektoreak, ordenean esanda posizioa eta abiadurak deribatuz lortzen dira.

[2.5. Ek.] – Abiadura

$$\overrightarrow{V_{Ref}(C)} = \left. \frac{d\overrightarrow{OC}}{dt} \right|_{Ref}$$

[2.6. Ek.] – Azelerazioa

$$\overrightarrow{A_{Ref}(C)} = \left. \frac{d\overrightarrow{V_{Ref}(C)}}{dt} \right|_{Ref}$$

Konposaketa bidez lortzeko metodoa ez da azalduko, proiektu honen garapenean ez baita erabiliko.

2.1.3. Dinamika

2.1.3.1. Partikularen dinamika

F(P) partikulari eragiten dioten indar erresultantea da ondorengo ekuazioan ageri den bezala:

[2.7. Ek.] – Partikularen dinamika

$$F(P) = F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n$$

Hau honela izanda, Newton-en bigarren legeak honakoa dio: $F(P) + \mathcal{F}(P) = 0$

Hemen D'Alamberten indarra agertuz: $\mathcal{F}(P) = -m_P \cdot A_{RI}(P)$

2.1.3.2. Inertzia tentsorea (solido zurruntzat)

[2.8. Ek.] – Inertzia tentsorea

$$[I_B(Sol)]_{XYZ} = \int_{Sol} \begin{bmatrix} x_2^2 + x_3^2 & -x_1x_2 & -x_1x_3 \\ -x_1x_2 & x_1^2 + x_3^2 & -x_2x_3 \\ -x_1x_3 & -x_2x_3 & x_2^2 + x_1^2 \end{bmatrix}_{XYZ} \cdot dm$$

Matrizea P puntu bakoitzerako $\{\overline{BP}\}_{XYZ}$ bektorearen koordinatuekin betetzen da eta orokorrean, ez da beharrezkoa integralak egitea, taulak erabiltzen dira.

2.1.3.3. Momentu zinetikoa (solido zurruntzat)

Solido zurrunen momentu zinetikoa jarraian ageri den bezala kalkulatu da, B edozein puntu izanik eta RI-k erreferentzia inertziala esan nahiez.

[2.9. Ek.] – Momentu zinetikoa

$$H_B(Sol) = I_B(Sol) \cdot \Omega_{RI}(Sol)$$

2.1.3.4. Steinerren teorema

Teorema honek, inertzia tentsorea puntu batetik bestera eramateko balio du, aldaketa hau, beti grabitate zentruaren bitartez egiten delarik.

$$I_B(Sol) = I_G(Sol) + I_B^*(Sol)$$

[2.10. Ek.] – Steinerren inertzia matrizea

$$I_B^*(Sol) = \begin{bmatrix} a_2^2 + a_3^2 & -a_1a_2 & -a_1a_3 \\ -a_1a_2 & a_1^2 + a_3^2 & -a_2a_3 \\ -a_1a_3 & -a_2a_3 & a_2^2 + a_1^2 \end{bmatrix}_{BSol}$$

BG bektorearen koordinatuen bidez betetzen da Steinerren matrizea.

2.1.3.5. D'Alambreten inertzia tortsorea

Inertzia tortsore hau D'Alamberten indarrak eta momentuak osatzen dute, hauek izanik:

[2.11. Ek.] – D’Alamberten inertzia tentsorea

$$F(Sol) = -m_{Sol} \cdot A_{RI}(G)$$

$$M_B(Sol) = - \left. \frac{dH_B(Sol)}{dt} \right|_{RI} - m_{Sol} \cdot BG \wedge A_{RI}(B)$$

2.1.3.6. Teorema bektorialak (solido zurruntzat)

1. Teorema Bektoriala edo Mugimendu Kantitatearen Teorema dio $F(Sol)$ solidoari eragiten dioten indar guztien ondorengoa dela.

[2.12. Ek.] – 1. Teorema bektoriala

$$F(P) + F(Sol) = 0$$

2. Teorema Bektoriala edo Momentu Zinetikoaren Teorema, aldiz, $M_B(Sol)$ solidoari eragiten dioten momentu guztien B puntuarekiko ondoriozkoa dela.

[2.13. Ek.] – 2. Teorema bektoriala

$$M_B(Sol) + M_B(sol) = 0$$

2.2. FLOTAZIOAREN PRINTZIPIOA

Arquimedesek flotazioaren legeak ezarri zituen zeintzuk honakoa dioten:

1. Fluido batetan murgildutako gorputz batek, desplazatutako ur bolumenaren pisuaren adinako bultzada indar bertikala jasaten du.
2. Flotatzen duen gorputz batek, flotarazten dion fluidoaren bere pisua adinako masa desplazatuko du.

Gorputz batek jasandako bultzada indarra kalkulatzeko, bere gainean dagoen fluidoaren eta bere azpian dagoenaren arteko kenketa besterik ez da egin behar, hau da, desplazatu duen fluido bolumenaren pisua kalkulatzea.

[2.14. Ek.] – Flotazioaren printzipioa: Bultzada indarra

$$F_{Bultz} = F_{Bert_gainekoa} - F_{Bertikal_azpikoa} = V_{Gorp} \cdot \rho_{fluido} \cdot g$$

Gorputzak guztiz hondoratu gabe flotarazten badu, jasandako bultzada indarra desplazatutako bolumenaren adinakoa izango da.

2.3. ESTATUEN ESPAZIOAREN TEORIA

Estatuen espazioaren metodoa, n ekuazio diferentzialen bidezko sistemaren deskripzioan oinarrituta dago, zeinak ekuazio diferentzial bektorial matrizar batetan biltzen diren.

Estatuaren kontzeptua: Sistema dinamikoa baten estatua, aldagaien talderik txikiena da, zeina t_0 une batean ezagutzeak, sarrerako seinalearen $t \geq t_0$ unetarako balioen ezagutzarekin batera, sistemaren portaera eta eboluzioa denboraren edozein $t \geq t_0$ unetarako ezagutzea ahalbidetzen duen.

Estatuko aldagaiak, *estatuko bektorea* deiturikoan biltzen dira eta aldagai hauen balio posibleek ezartzen duten n -tamainadun espazioa, *estatuen espazioa* deitzen da.

Sistema baten dinamika, estuen bektorearen balioen eta sarrerako seinalearen arabera deskribatu daiteke, ekuazio batzuen bidez sistema ez *autonoma* dela onartuz.

[2.15. Ek.] – Estatuen espazioaren teoria: 1

$$\dot{y} = f(y)$$

[2.16. Ek.] – Estatuen espazioaren teoria: 2

$$y = (q, \dot{q})$$

[2.16. Ek.] – Estatuen espazioaren teoria: 3

$$\dot{y} = (\dot{q}, \ddot{q})$$

Metodo hau hobeto ulertzeko, pendulu sinple bateri aplikatu bagenio, hasierako estatu edo egoeran honen θ_0 angelua eta $\dot{\theta}_0$ hasierako abiadura angeluarrak ezagunak ditugu, eta dinamikako ekuazioaren bidez $\ddot{\theta}_0$ azelerazio angeluarra lor dezakegu. Metodo honek, dio hiru aldagai hauek y eta \dot{y} bektoreetan sartu behar ditugula ondorengo moduan:

[2.17. Ek.] – Estatuen espazioaren teoria: 4

$$y = (\theta, \dot{\theta})^T$$

[2.18. Ek.] – Estatuen espazioaren teoria: 5

$$\dot{y} = (\dot{\theta}, \ddot{\theta})^T$$

[2.19. Ek.] – Estatuen espazioaren teoria: 6

$$q = (\theta) \quad \dot{q} = (\dot{\theta}) \quad \ddot{q} = (\ddot{\theta})$$

[2.20. Ek.] – Estatuen espazioaren teoria: 7

$$y = \begin{pmatrix} q \\ \dot{q} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \theta \\ \dot{\theta} \end{pmatrix}$$

[2.21. Ek.] – Estatuen espazioaren teoria: 8

$$\dot{y} = \begin{pmatrix} \dot{q} \\ \ddot{q} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dot{\theta} \\ \ddot{\theta} \end{pmatrix}$$



Datu hauek denboran integratuz, hurrengo uneko $y = \begin{pmatrix} q \\ \dot{q} \end{pmatrix}$ eskuratzen dugu, hurrengo uneko datuak ezagutuz.

3. MODELO DINAMIKO BAT OSATZEN IKASTEKO PROGRAMATURIKO MEKANISMOAK

3.1. SARRERA

Matlab-en bidez modelo dinamikoak egiten ikasteko eta plataforma programatzeko gai izateko beharrezko ezagutzak barneratzeko, mekanismo ezberdinen modelo dinamikoak diseinatu ziren, programatzeko faktore konplexuagoak sartuz proiektuan aurrera egin ahala.

Mekanismo erraz batekin hasi zen, masa puntual bakarra zuen inertziaz gabeko pendulu sinplearekin hain zuzen ere. Ondoren, penduluaren barrak masa zeukala kontsideratu zen, honi dagokion inertzia momentuarekin. Behin barretan inertzia sartuta, sistema konplexuagoak edota barra gehiago zituztenak programatzen jarraitu zen, hala nola, pendulu bikoitza edota lauki artikulatuaren modelo dinamikoa diseinatuz.

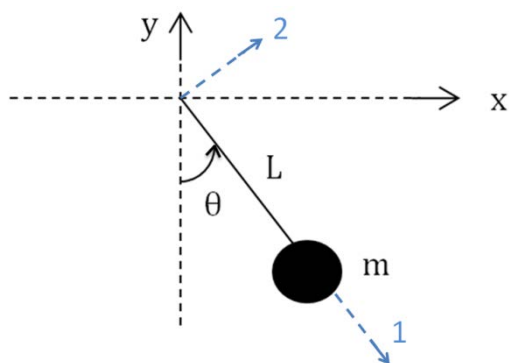
Atal honetan, nahiz eta proiektuaren gai nagusia ez izan, aipaturiko zenbait mekanismo aztertuko dira, plataformaren eta aerosorgailuaren sistema osoa programatzeari begira, modelo dinamikoaren programazioa hobeto ulertzearen helburuarekin.

Aipatu beharrekoa da bestalde, mekanismo guztietan erabilitako barrak zilindrikoak direla eta eginiko azterketa guztiak bi dimentsiotan aztertu direla, honek dakartzkien sinplifikazioekin.

3.2. PENDULU SINPLEA

3.2.1. Azalpen orokorra

Inertziaz gabeko pendulua, programaturiko lehendabiziko modeloa izan zen, baita aldi berean errazena ere. Mutur batean, finko dagoen artikulazio bat duen, eta beste muturrean masa puntual bat duen inertziaz gabeko barra batek osatzen dute. Masa puntualak, grabitateak eragindako beheranzko indar bertikala jasaten du, modu honetan, pendulua mugiaraziz. Aldi berean, artikulazioaren marruskadura indarren eraginez, pendulua geldituz doa oreka egoera batera iritsi arte.



Pendulu honen modelo dinamikoa diseinatzeko, ekuazio bakarrarekin nahikoa da, azelerazio angeluarrarena hain zuzen [3.2.Ek.], zeina sistemari bigarren teorema bektoriala edo Momentu Zinetikoaren Teorema aplikatuz datorren [3.1.Ek.].

3.1. Fig. Inertziaz gabeko pendulu sinplearen akotazioa

L hizkiarekin barraren luzera azaltzen da, m masa puntuala, θ penduluak bertikalarekin osatzen duen angelua, g grabitatea eta c marruskadura koefizientea izanik. $\dot{\theta}$ eta $\ddot{\theta}$ aldiz, θ -ren denborarekiko lehendabiziko eta bigarren deribatuak dira, hau da, abiadura eta azelerazio angeluarra.

[3.1. Ek.] - Inertziarik gabeko pendulu sinplearen Momentu Zinetikoaren teorema

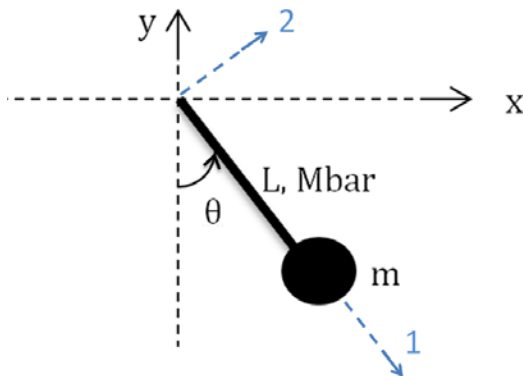
$$-\ddot{\theta} \cdot m \cdot L^2 - g \cdot m \cdot L \cdot \sin \theta - c \cdot \dot{\theta} = 0$$

[3.2. Ek.] - Inertziarik gabeko pendulu sinplearen azelerazio angeluarra

$$\ddot{\theta} = -\frac{g \cdot m \cdot L \cdot \sin \theta + c \cdot \dot{\theta}}{m \cdot L^2}$$

Inertziadun penduluaren modelo dinamikoa lantzeko, inertziarik gabekoan zenbait aldaketa egitearekin nahikoa da. Horretarako, barraren inertzia tentsorearen kalkulua programatu behar da, baita honi dagokion D'Alamberten momentua ere. Modu honetan, modeloak barraren inertzia kontutan hartuko du simulazioaren emaitzak ematerako orduan. Inertziadun sistema aurrekoaren oso antzekoa denez, ekuazio bakarra behar da ebazteko [5.Ek.], eta hau, inertziari dagokion momentuan soilik aldatuko da aurreko kasuko ekuaziotik.

Aurreko egoeran bezala, honetan ere masa puntuala bere horretan mantendu da. Kontutan hartu nahi ez izanez gero, masa honi balio nulua edota ekuaziotik honi dagokion atala ezabatzearekin nahikoa izanen zen.



Aipatuz bezala, ekuazio bakarrarekin nahikoa da penduluaren modelo dinamikoa programatzeko. Aurreko kasuan bezala, bigarren teorema bektoriala aplikatuz lortzen den ekuaziotik [3.4.Ek.] abiatzen da, honek, aurretik kalkulatoriko barraren inertzia [3.3.Ek.] kontutan hartuz, eta ekuaziotik azelerazio angeluarra askatzen da [3.5.Ek.].

3.2. Fig. Inertziadun pendulu sinplearen akotazioa

Inertziarik gabeko egoeran bezala, L hizkiarekin barraren luzera azaltzen da, m masa puntuala, M_{Bar} barraren masa, I^0 barraren inertzia tentsorea O puntuarekiko, θ penduluak bertikalarekin osatzen duen angelua eta c marruskadura koefizientea izanik. $\dot{\theta}$ eta $\ddot{\theta}$ aldiz, θ -ren denborarekiko lehendabiziko eta bigarren deribatuak dira, hau da, abiadura eta azelerazio angeluarra.

[3.3. Ek.] - Inertziadun pendulu sinplearen inertzia tentsorea

$$[I_O(\text{Bar})]_{123} = \begin{bmatrix} \frac{M_{\text{Bar}} \cdot (3 \cdot r^2 + L^2)}{12} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{M_{\text{Bar}} \cdot r^2}{2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{M_{\text{Bar}} \cdot (3 \cdot r^2 + L^2)}{12} \end{bmatrix}_{123}$$

[3.4. Ek.] - Inertziadun pendulu sinplearen Momentu Zinetikoaren teorema

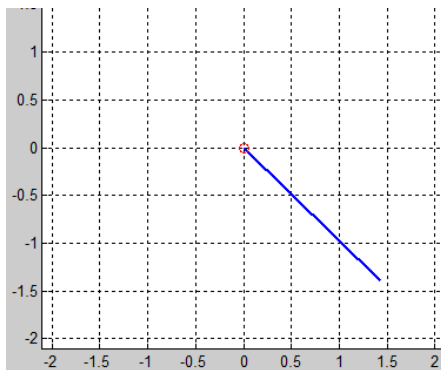
$$-\ddot{\theta} \cdot \left(m \cdot L^2 + \frac{M_{\text{Bar}} \cdot (3 \cdot r^2 + L^2)}{12} \right) - m \cdot g \cdot L \cdot \sin \theta - M_{\text{Bar}} \cdot g \cdot \frac{L}{2} \cdot \sin \theta - c \cdot \dot{\theta} = 0$$

[3.5. Ek.] - Inertziadun pendulu sinplearen azelerazio angeluarra

$$\ddot{\theta} = \frac{-m \cdot g \cdot L \cdot \sin \theta - M_{\text{Bar}} \cdot g \cdot \frac{L}{2} \cdot \sin \theta - c \cdot \dot{\theta}}{m \cdot L^2 + \frac{M_{\text{Bar}} \cdot (3 \cdot r^2 + L^2)}{12}}$$

3.2.2. Simulazioa

Simulazioa deituriko zati honetan, azaldu berri den mekanismoaren funtzionamenduaren simulazio bat egitera pasako da, non lan guztian zehar honela deituriko ataletan eginen den bezala, simulazioaren erakusle diren grafikoak azalduko dira, hauetatik ateratako ondorio eta analisisekin batera.

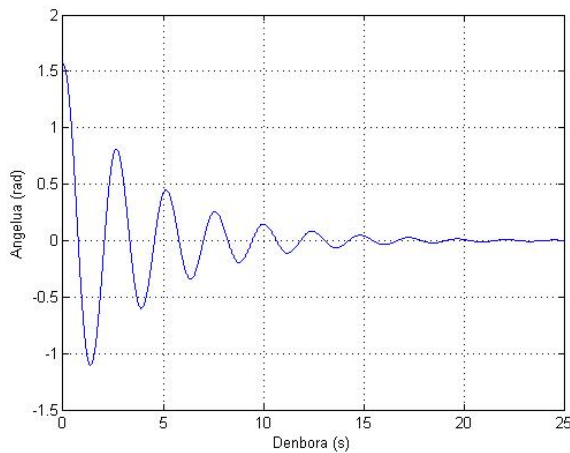


3.3. Fig. Pendulu sinplearen simulazioa

Kasu honetan, pendulua angelu konkretu batekin aske utziko da, grabitatearen eraginez erortzen utziz eta marruskadurak eragindako geldiarazteko joera aztertuz. Horretarako, pendulari 2 m-ko luzera eman zaio, 5 cm-ko erradioa eta 2 kg-ko masa. Grabitatea 9,81 m/s²-koa suposatu da eta artikulazioko marruskadura koefizientea 4-koa. Marruskadura honen eragina ongi aztertzeke, 25 seg-ko simulazioa prestatu da, modu honetan pendulua ia guztiz gelditzen den arte aztertzeke aukera emanez.

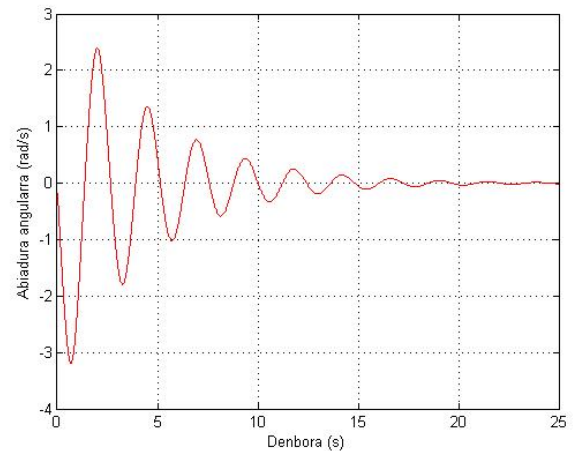
Mekanismo hau geldirik dagoen egoera batetan askatzen da, hau da, hasierako abiadura angeluar nuluarekin, eta kulunkatzea antzemateko hasierako $\theta = \pi/2$ rad angelua eman zaio.

Jarraian, aipatu berri den egoeran simulaturiko penduluaren θ angelua, $\dot{\theta}$ abiadura angeluarra eta $\ddot{\theta}$ azelerazio angeluarra denboraren aurrean erakusten duten grafikoak ageri dira.



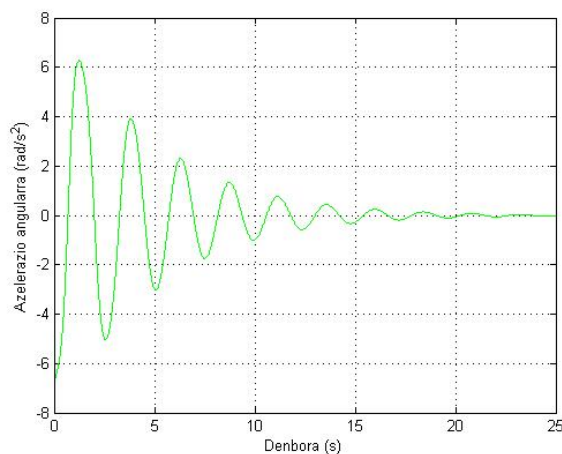
3.4. Fig. Pendulu sinplearen simulazioa:

Angelua denboraren aurrean



3.5. Fig. Pendulu sinplearen simulazioa:

Abiadura angeluarra denboraren aurrean



3.6. Fig. Pendulu sinplearen simulazioa:

Azelerazio angeluarra denboraren aurrean

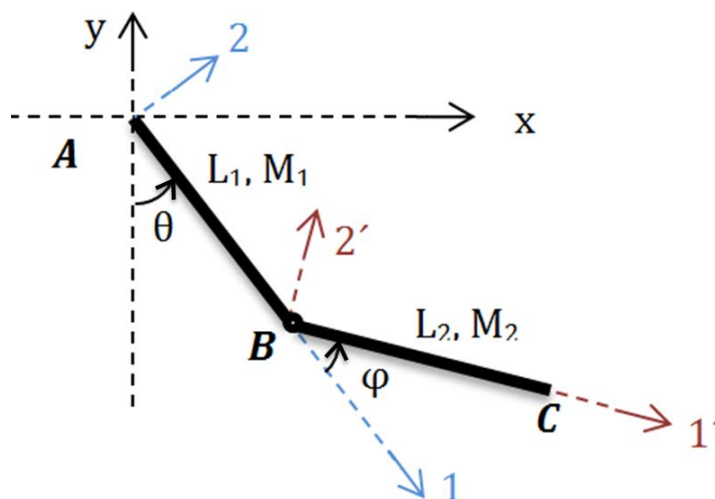
3.2.2.1. Emaitzen analisisa

Grafikoak aztertzen badira, argi ikusten da artikulazioko marruskadurak penduluarengan eragiten duen balaztatzea, hiru grafikoetan antzematen baita pendulua geldituz doala, hiru aldagaiak zerora hurbilduz. Emaitzak koherenteak dira espero genezakeenarekin, eta aldagaiak balio logikoetan mugitzen dira.

3.3. PENDULU BIKOITZA

3.3.1. Azalpen orokorra

Atal hau, pendulu bikoitzean oinarritzen da, zeina barraren mutur batean artikulazio baten bidez finkatzen den, beste muturrean, bigarren pendulu bat izanik. Sistema hau, barren pisuaren eraginez mugitzen da, hauek duten inertiaren eraginez, aurreikusteko zailak diren portaera edota ibilbideak erakusteko aukera izanik. Eta honek, burutzeko modelo dinamiko interesgarria bilakatzen du.



3.7. Fig. Pendulu bikoitzaren akotazioa

Bestalde, pendulu bikoitza, programazioari dagokionez, plataformaren modelora hurbiltzen doan lehenengo sistema da, non honen portaera azaltzeko ekuazio kopurua dela eta, matrize eragiketei jo behar den. Aldagaiak banaka askatzeak, ekuazio oso luzeak sortzeaz gain, lan asko eskatzen du, beraz, bideragarriagoa da matrize bidezko ebazpena.

3.3.2. Ekuazioak

Mekanismo honen modelo dinamikoak, 6 ekuazio nagusitan oinarrituz [3.7-3.9.Ek. eta 3.11-3.13.Ek.], bere portaera erakusten du, zeinetatik hiruk [3.7-3.9.Ek.] barra bateri dagokioke eta beste hiruak [3.11-3.13.Ek.], besteari. Mugimendu Kantitatearen Teorema aplikatuz, barra bakoitzetik 2 ekuazio lortzen dira: bat dagokion basearen ardatz horizontalari erreferentzia egiten diona [3.7. eta 3.11. Ek.] eta bestea, aldiz, ardatz bertikalari erreferentziaduna [3.8. eta 3.12. Ek.]. Hau bi dimentsiotan lan egiteagatik gertatzen da, lan osoan egin den bezala. Hiru dimentsiotan lan egin izanez gero, ateratako ekuazio kopurua handiagoa litzateke. Falta diren bi ekuazioak [3.9. eta 3.13. Ek.], barrei Momentu Zinetikoaren Teorema aplikatuz lortzen dira. Honi esker, barra bakoitzeko ekuazio bana ateratzen da, Z ardatzeko momentuei dagokiena, ardatz hau komuna izanik base guztientzat.

Honez gain, aipatzekoa da bi barren inertzia tentsoreen hirugarren zutabea besterik ez dela kalkulatu [3.6. eta 3.10. Ek.], kasu honetan, matrizearen gainontzeko zutabeen erabilgarritasun eza dela eta.

Jarraian, bi barren portaera azaltzen laguntzen duten ekuazioak ageri dira, non M_1 AB barraren masa den, M_2 BC barrarena, L_1 AB barraren luzera, L_2 BC barraren luzera, r_1 AB barraren erradioa, r_2 BC barraren erradioa, g grabitatea, f_1^A eta f_2^A AB barra eta lurraren arteko lotura indarrak, f_1^B eta f_2^B bi barren arteko lotura indarrak, θ AB barrak bertikalarekiko osatzen duen angelua, $\dot{\theta}$ eta $\ddot{\theta}$ AB barraren abiadura eta azelerazio angeluar absolutuak, φ BC barrak beste barrarekiko osatzen duen angelua, $\dot{\varphi}$ eta $\ddot{\varphi}$ BC barraren abiadura eta azelerazio angeluar erlatiboak beste barrarekiko eta c_A eta c_B artikulazioen marruskadurak diren. $I_A(AB)_{(c,3)}$ eta $I_{G2}(BC)_{(c,3)}$, aldiz, bi barren inertzia tentsoreetako 3. zutabeak dira, non AB barrarena A puntuarekiko kalkulatu den eta BC barrarena, berriz, bere grabitate zentroarekiko.

Pendulu bikoitzaren portaera deskribatzen duten ekuazioetan, honako aldagai ezezagunak aurkitzen dira: f_1^A , f_2^A , f_1^B , f_2^B , $\ddot{\theta}$ eta $\ddot{\varphi}$. Hauek, aurrerago azaldu moduan, matrize bidez kalkulaturako eragiketei esker askatzen dira, beren balioa ezagutzea lortuz, eta aldi berean, une konkretu hori deskribatzeko beharrezko datu guztiak eskuratuz. Matrize bidezko ebazpena, ekuazio guztien linealtasunari esker burutu daitezke. Hala ez izatearen kasuan, ezingo litzateke prozedura honen bidez ebatzi.

3.3.2.1. AB Barra

[3.6. Ek.] - Pendulu bikoitzaren AB barraren A puntuarekiko inertzia tentsorearen 3. zutabea

$$\{I_A(AB)_{(c,3)}\}_{123} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{M_1 \cdot r_1^2}{4} + \frac{M_1 \cdot L_1^2}{12} + \frac{M_1 \cdot L_1^2}{4} \end{Bmatrix}_{123} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{M_1 \cdot r_1^2}{4} + \frac{M_1 \cdot L_1^2}{12} + \frac{M_1 \cdot L_1^2}{4} \end{Bmatrix}_{XYZ}$$

[3.7. Ek.] - Pendulu bikoitzaren AB barraren Mugimendu Kantitatearen teoremako ardatz horizontalaren ekuazioa

$$f_1^A + f_1^B + M_1 \cdot \frac{L_1}{2} \cdot \sin \theta \cdot \dot{\theta}^2 - \ddot{\theta} \cdot \left(M_1 \cdot \frac{L_1}{2} \cdot \cos \theta \right) = 0$$

[3.8. Ek.] - Pendulu bikoitzaren AB barraren Mugimendu Kantitatearen teoremako ardatz bertikalaren ekuazioa

$$f_2^A + f_2^B - M_1 \cdot g - M_1 \cdot \frac{L_1}{2} \cdot \cos \theta \cdot \dot{\theta}^2 - \ddot{\theta} \cdot \left(M_1 \cdot \frac{L_1}{2} \cdot \sin \theta \right) = 0$$

[3.9. Ek.] - Pendulu bikoitzaren AB barraren Momentu Zinetikoaren teoremako ekuazioa

$$f_2^B \cdot (L_1 \cdot \sin \theta) + f_1^B \cdot (L_1 \cdot \cos \theta) - M_1 \cdot g \cdot \frac{L_1}{2} \cdot \sin \theta - c_A \cdot \dot{\theta} + c_B \cdot \dot{\varphi} - \ddot{\theta} \cdot \left(\frac{M_1 \cdot r_1^2}{4} + \frac{M_1 \cdot L_1^2}{12} + \frac{M_1 \cdot L_1^2}{4} \right) = 0$$

3.3.2.2. BC Barra

[3.10. Ek.] - Pendulu bikoitzaren BC barraren, bere grabitate zentroarekiko inertzia tentsorearen 3. zutabea

$$\{I_{G2}(BC)_{(:,3)}\}_{1'2'3'} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{M_2 \cdot r_2^2}{4} + \frac{M_2 \cdot L_2^2}{12} \end{Bmatrix}_{1'2'3'} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{M_2 \cdot r_2^2}{4} + \frac{M_2 \cdot L_2^2}{12} \end{Bmatrix}_{XYZ}$$

[3.11. Ek.] - Pendulu bikoitzaren BC barraren Mugimendu Kantitatearen teoremako ardatz horizontalaren ekuazioa

$$-f_1^B + M_2 \cdot L_1 \cdot \sin \theta \cdot \dot{\theta}^2 - \ddot{\theta} \cdot \left(M_2 \cdot L_1 \cdot \cos \theta + M_2 \cdot \frac{L_2}{2} \cdot \cos(\theta + \varphi) \right) - \ddot{\varphi} \cdot \left(M_2 \cdot \frac{L_2}{2} \cdot \cos(\theta + \varphi) \right) + M_2 \cdot \frac{L_2}{2} \cdot \sin(\theta + \varphi) \cdot (\dot{\theta} + \dot{\varphi})^2 = 0$$

[3.12. Ek.] - Pendulu bikoitzaren BC barraren Mugimendu Kantitatearen teoremako ardatz bertikalaren ekuazioa

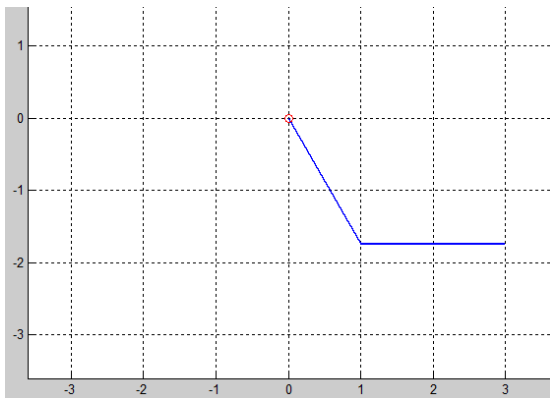
$$-f_2^B - M_2 \cdot g - M_2 \cdot L_1 \cdot \cos \theta \cdot \dot{\theta}^2 - \ddot{\theta} \cdot \left(M_2 \cdot L_1 \cdot \sin \theta + M_2 \cdot \frac{L_2}{2} \cdot \sin(\theta + \varphi) \right) - \ddot{\varphi} \cdot \left(M_2 \cdot \frac{L_2}{2} \cdot \sin(\theta + \varphi) \right) - M_2 \cdot \frac{L_2}{2} \cdot \cos(\theta + \varphi) \cdot (\dot{\theta} + \dot{\varphi})^2 = 0$$

[3.13. Ek.] - Pendulu bikoitzaren AB barraren Momentu Zinetikoaren teoremako ekuazioa

$$f_1^B \cdot \left(-\frac{L_2}{2} \cdot \cos(\theta + \varphi) \right) + f_2^B \cdot \left(\frac{L_2}{2} \cdot \sin(\theta + \varphi) \right) - \ddot{\theta} \cdot \left(\frac{M_2 \cdot r_2^2}{4} + \frac{M_2 \cdot L_2^2}{12} \right) - \ddot{\varphi} \cdot \left(\frac{M_2 \cdot r_2^2}{4} + \frac{M_2 \cdot L_2^2}{12} \right) - c_B \cdot \dot{\varphi} = 0$$

3.3.3. Simulazioa

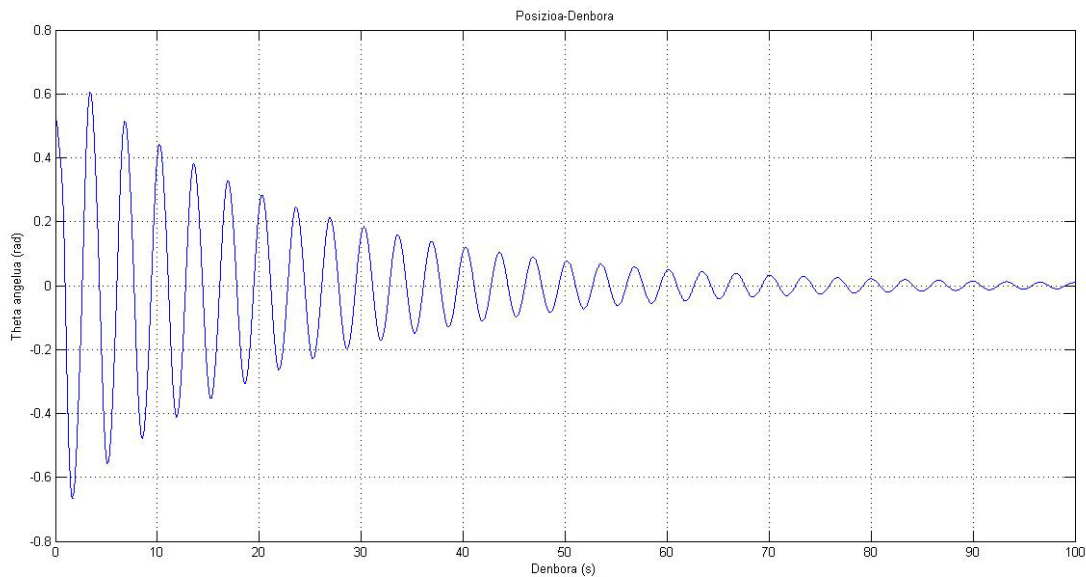
Zati honetan, azaldu berri den pendulu bikoitzaren funtzionamenduko adibide bat deskribatzen da, angeluei balio jakin batzuk emanaz eta bertatik, sistema osoa grabitatearen eraginez erortzen utziz. Kasu honetan, bi barrak berdinak simulatu dira, bai tamainaz eta baita pisuz ere, eta artikulazioetako marruskadura koefizienteak ere, berdinak dira. Modu honetan, artikulazioen marruskadurak, artikulazioak nola geldiarazten dituen oso garbi ikus daiteke. Beste edozein kasu simulatu nahi izanez gero, nahikoa litzateke programazio kodigoaren hasieran datuen balioak aldatzearekin, programak berak, dagokion bideoa eta grafikoak aterako bailituzke.



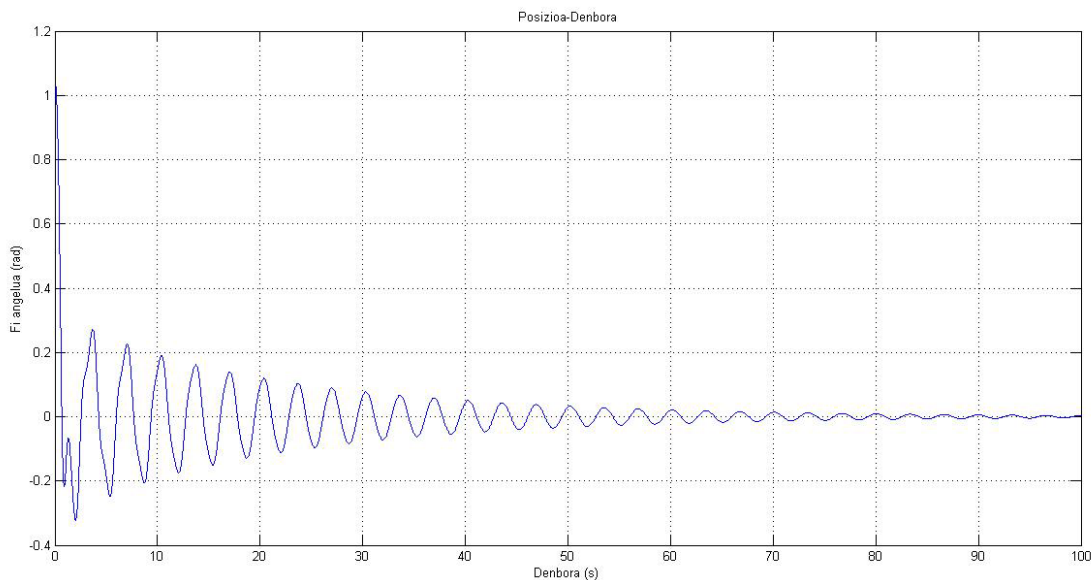
3.8. Fig. Pendulu bikoitzaren simulazioa

Adibide honetarako, bi barrei $2m$ -ko luzera eman zaie, $2cm$ -ko erradioa eta $2kg$ -ko masa. Grabitatea $9,81 m/s^2$ suposatu da eta marruskadura koefizientei, 2 -nako balioa jarri zaie. Hasierako puntuan, θ -ri $\pi/6$ rad balioa eman zaio eta φ -ri, berriz, $\pi/3$ rad-ekoa. Hasierako abiadura angeluarrak nuluak suposatu dira. Lortu nahi diren emaitzak argi ikusteko 100 seg-ko iraupeneko simulazioa burutu da, non pendulu bikoitzaren marruskadurak eragindako geldiarazteko joera ikusi daitekeen.

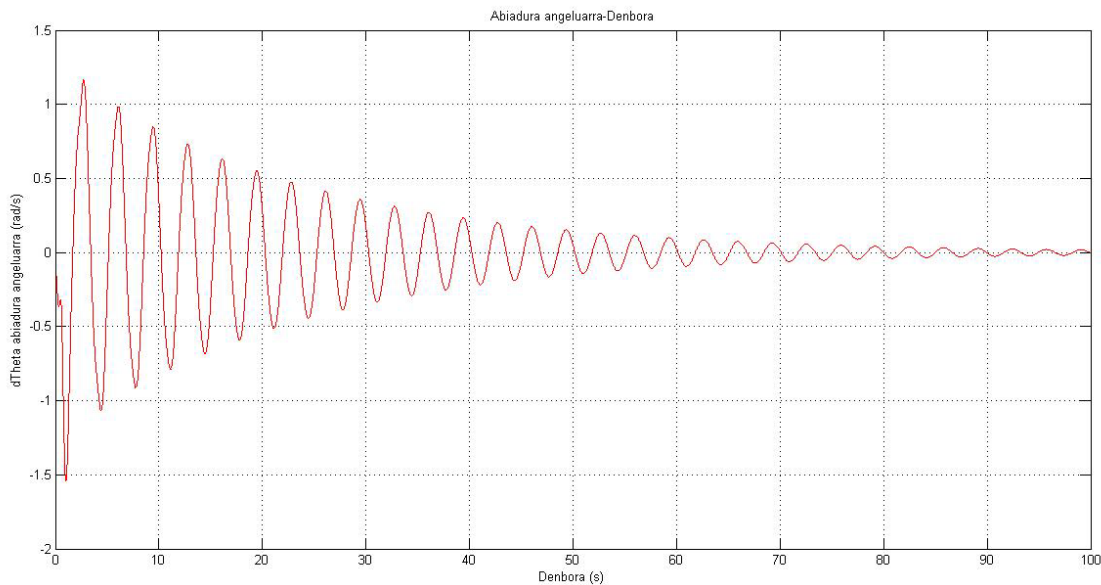
Emaitzak aztertzeko jarraian ageri diren grafikoak sortu dira non $\theta, \dot{\theta}, \ddot{\theta}, \varphi, \dot{\varphi}$ eta $\ddot{\varphi}$ denboraren aurrean ikusi daitezkeen.



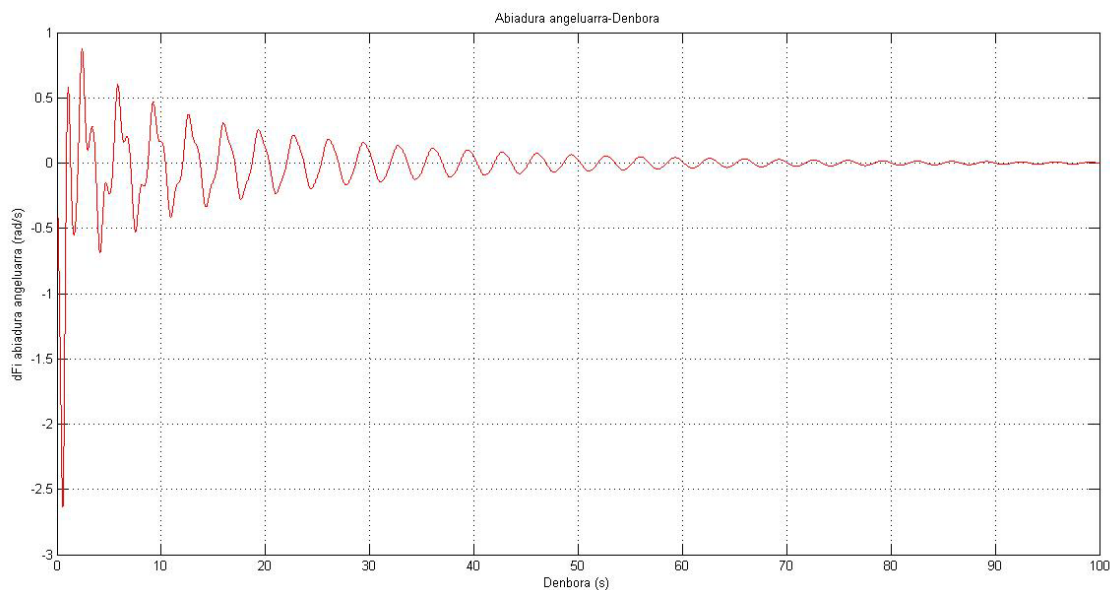
3.9. Fig. Pendulu bikoitzaren simulazioa: θ angelua denboraren aurrean



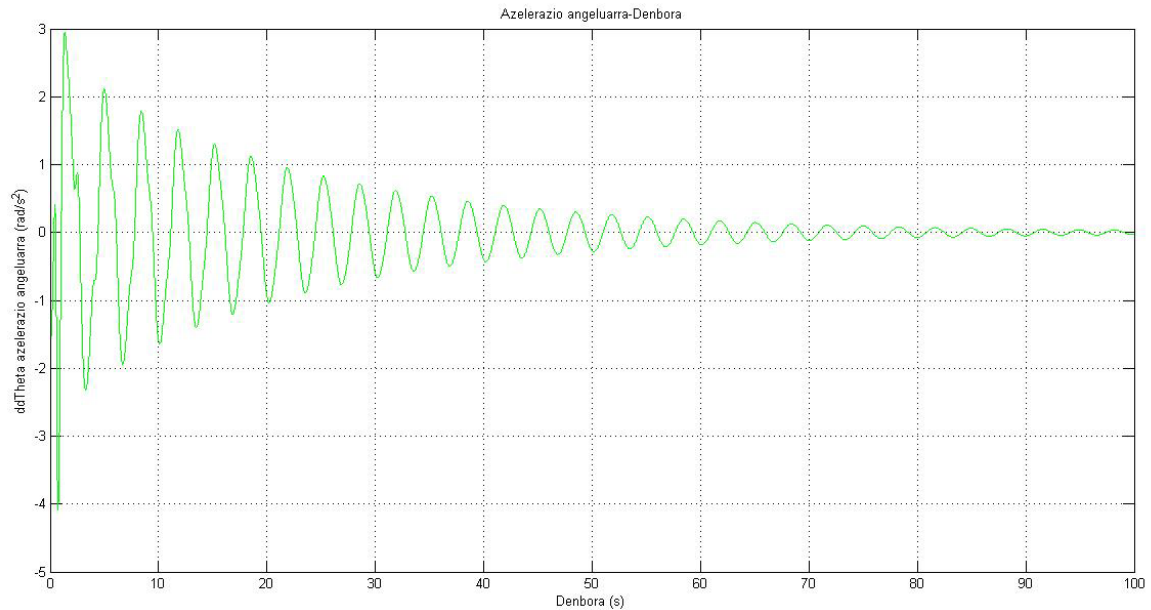
3.10. Fig. Pendulu bikoitzaren simulazioa: ϕ angelua denboraren aurrean



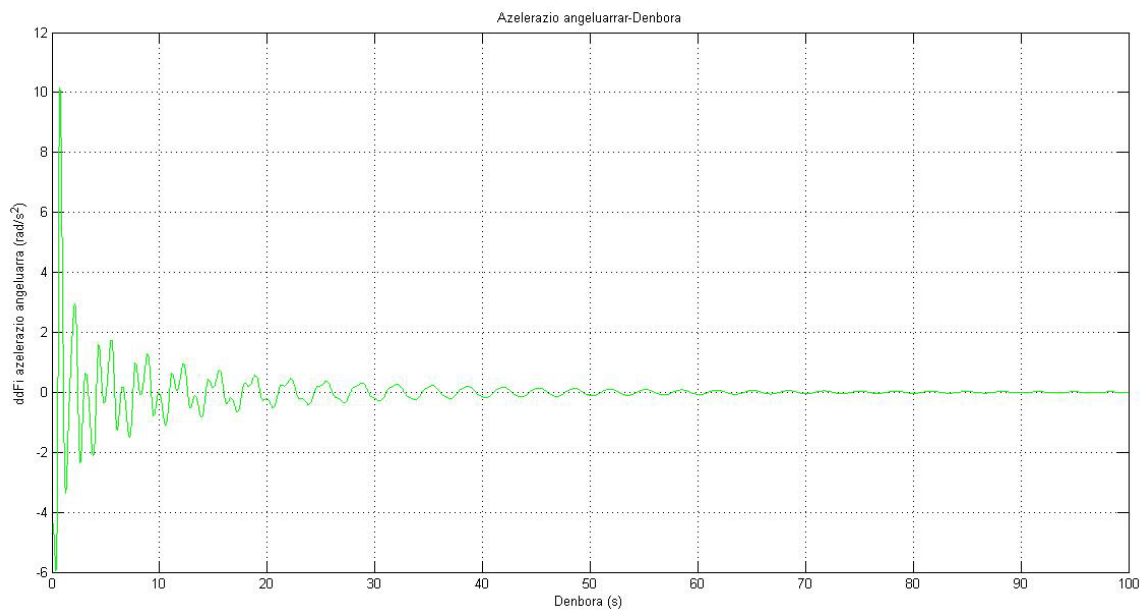
3.11. Fig. Pendulu bikoitzaren simulazioa: $\dot{\theta}$ abiadura angeluarra denboraren aurrean



3.12. Fig. Pendulu bikoitzaren simulazioa: $\dot{\phi}$ abiadura angeluarra denboraren aurrean



3.13. Fig. Pendulu bikoitzaren simulazioa: $\ddot{\theta}$ azelerazio angeluarra denboraren aurrean



3.14. Fig. Pendulu bikoitzaren simulazioa: $\ddot{\phi}$ azelerazio angeluarra denboraren aurrean

3.3.3.1. Emaizten analisisia

Barren angelua denboraren aurrean irudikatzen duten grafikoetan oso garbi ikusten da marruskadurak duen eragina mugimenduan, eta nola bi penduluak balaztatuz joaten diren, abiadura angeluarren eta azelerazioen grafikoek ere, hala erakusten dutelarik. Bestalde, ikusteko interesgarria da nola AB barraren mugimenduak, oro har, itxaroteko modukoak diren, baina beste penduluarenak aldiz, lehenengoaren mende egotean, zati batzuetan pendulu simple batentzat ezohikoak izango ziren abiadura eta azelerazio aldaketak jasaten dituen.

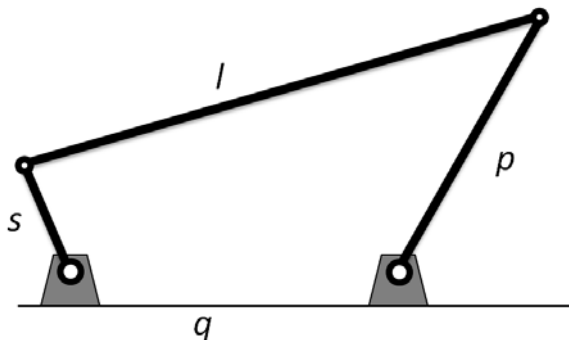
3.4. LAUKI ARTIKULATUA

3.4.1. Azalpen orokorra

Pendulu sinplea eta pendulu bikoitza simulatu eta gero, jarraian lauki artikulatua izeneko mekanismoa lantzen da. Mekanismo hau, oso erabilgarria da ibilbide konkretuak osatzeko eta gaur egun edozein lekutan aurkitu dezakegun barrak elkartzeko modu bat da, lanpararik sinpleenetik hasiz edozein hondeatzaileraren palaraino.

Lauki artikulatua, bere izenak dioen bezala, artikulazio bidez elkarturiko lau barrez osatzen den mekanismoa da. Nahiz eta lan honetan azaltzen den kasuan hiru barra bakarrik ageri, laugarren barra lurra dela kontsideratuko litzateke, hau da, A eta D puntuak elkartuko lituzkeen barra bat, bi puntu hauek finkoak izatean, sistema honetan zentzurik ez duena.

Mekanismo honek berezitasun nagusi bat du, Grashof-en legea [3.14.Ek.] izeneko lege batek baldintzatzen duena. Berezitasun hau, barretako batek bere artikulazioaren inguruan bira osoa eman ahal izateko lege hau bete behar izatea da, zeinak barrarik motzenaren eta luzeenaren luzeren batura, beste bi barrenena baino txikiagoa edo berdina izatera mugatzen duen.

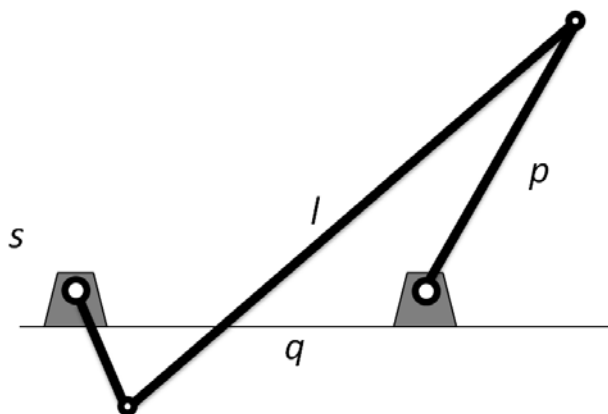


3.15. Fig. Lauki artikulatua: Grashof-en legea

[3.14. Ek.] - Grashof-en legea

$$s + l \leq p + q$$

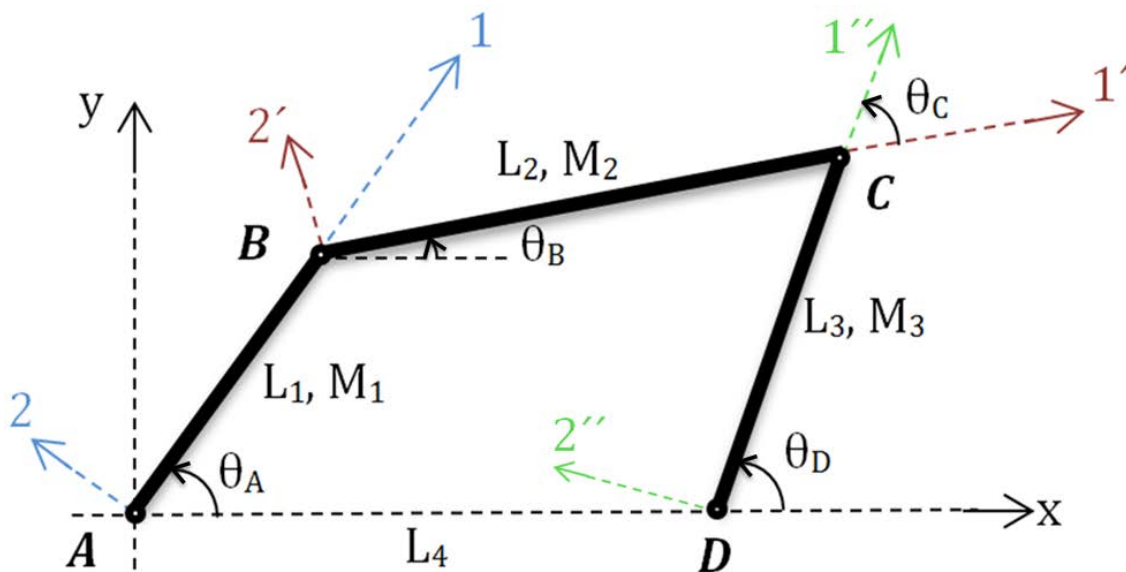
Atal honetan simulaturiko modeloak, Grashof-en legea betetzen ez badu eta ezinezko posizio batera heltzen bada, errorea ematen du, beraz, programak ongi funtzionatzea nahi bada, barren luzerak sartzerako orduan arreta izan behar da.



3.16. Fig. Lauki artikulatua: Muntatzeko modua

Lege honetaz aparte, sistema honek beste ezaugarri esanguratsu bat du, muntatzeko modua hain zuzen ere. Lauki artikulatua, modu bat baino gehiagotan konfiguratu daiteke, honek, bere funtzionatzeko era guztiz aldatzen duelarik. Programaturiko modelo dinamikoan, muntatzeko modua aldatzeko aukera dago, konfigurazio ezberdinen funtzionamendua aztertzeko aukera emanez.

Modelo dinamiko honen programazioa, plataformaren diseinatza pasatu aurreko azkeneko pausoa da eta bertan, proiektu honen helburu den modeloaren elaboraziorako eman beharreko pausuen gehiengoak ematen dira, programazioaren ikuspuntutik begiratuta beti ere. Kasu honetako, bere portaera deskribatzen duten ekuazioak lortzeko dinamikako ekuazioekin nahikoa ez den lehenengo mekanismoa da, non ekuazio hauez gain, zinematika aztertzerakoan lorturikoak ere kontutan hartu behar dira. Modu honetan, hasierako egoerako angelu guztiak kalkulatu dira lotura ekuazio geometrikoen bidez, hauek denborarekiko behin deribatuz, hasierako egoerako abiadura angeluar guztiak lortzen dira eta denborarekiko bitan deribatuz gero, dinamikako ekuazioekin batera, modelo dinamikoa burutzeko eta aldagai ezezagun guztien balioa lortzeko beharrezko diren azken hiru ekuazioak eskuratzen dira.



3.17. Fig. Lauki artikulatuaren akotazioa

Hasierako abiadurarik sartu ezean, grabitatearen eraginak bakarrik mugiarazten ditu barrak, eta artikulazioetan jasaten duten marruskaduren eraginez, oreka egoera batera iritsi arte mantsotuz joango da sistema. Jarraian, lauki artikulatuaren portaera azaltzeko beharrezko ekuazio guztiak erakutsiko dira, eta honen ostean, deskribatu berri den mekanismoa bere pisuaz erortzen uzteko simulazioa burutuko dira, baita hasierako abiadura bat sartuz gero lortzen diren emaitzak aztertu ere.

3.4.2. Ekuazioak

Sistema honen portaera azaltzeko eta simulatzeko, 12 ekuazioz baliatu da, barra bakoitzeko 3 eta lotura ekuazio geometrikoak denborarekiko deribatuz lorturiko beste 3. Lehenengo barrari lehenengo teorema bektoriala aplikatuz, bi ekuazio [3.16.- 3.17.Ek.] ateratzen dira eta bigarren teorema bektoriala aplikatuz beste bat [3.18.Ek.]. Bigarren barrari lehenengo teorema bektoriala aplikatuz 2 ekuazio [3.20-3.21.Ek.] eta bigarren teorema bektoriala aplikatuz ekuazio bat [3.22.Ek.] lortzen ditugu. Hirugarren barrarekin berdin gertatzen da, lehenengo teoremaz 2 ekuazio [3.24-3.25.Ek.] eta bigarren teoremaz beste bat [3.26.Ek.] lortzen ditugu.

Hiru barren inertzia tentsoreen [3.15, 3.19 eta 3.23.Ek.] hirugarren zutabea besterik ez da kalkulatu, bi dimentsiotan lan egitean, beste osagaiak beharrezkoak ez direlako.

Honez gain, lehenago esan bezala, lotura geometrikoak aztertuz hiru ekuazio lortzen ditugu: X ardatzeko ekuazioa [3.27.Ek.], Y ardatzekoa [3.28.Ek.] eta angeluena [3.29.Ek.]. Ekuazio hauek denborarekiko behin deribatuz, abiaduren hiru ekuazioak lortzen ditugu non [3.36.Ek.] X ardatzekoa den, [3.31.Ek.] Y ardatzekoa eta [3.32.Ek.] abiadura angeluarrena. Berriz denborarekiko deribatuz gero, azelerazio angeluarren 3 ekuazioak lortzen dira, X ardatzeko azelerazioei dagokiena [3.33.Ek.], Y ardatzekoei dagokiena [3.34.Ek.] eta azelerazio angeluarrena [3.35.Ek.].

Ekuazioen osagaiei dagokienez, M_1 , M_2 eta M_3 barren masak dira, L_1 , L_2 eta L_3 hauen luzerak, r_1 , r_2 eta r_3 barren erradioak eta $I_A(1)$, $I_G(2)$ eta $I_D(3)$ barren inertiak dira. f_1^A , eta f_2^A lurraren eta lehenengo barraren arteko lotura indarrak dira, f_1^B , eta f_2^B B puntuko barraren artekoak, f_1^C , eta f_2^C C puntuko barraren artekoak eta f_1^D , eta f_2^D , berriz, D puntuko hirugarren barraren eta lurraren arteko lotura indarrak dira. θ_A , θ_B , θ_C eta θ_D azpi-izendapenean adierazten den puntuetako angeluei dagokite, $\dot{\theta}_A$, $\dot{\theta}_B$, $\dot{\theta}_C$ eta $\dot{\theta}_D$ abiadura angeluarrei eta $\ddot{\theta}_A$, $\ddot{\theta}_B$, $\ddot{\theta}_C$ eta $\ddot{\theta}_D$, aldiz, azelerazioei, C puntuari dagokioten aldagaiak erlatiboak direlarik, eta beste guztiak, absolutuak. Amaitzeko, c_A , c_B , c_C eta c_D artikulazioetako marruskadura koefizienteak direla esan beharra dago.

Ekuazioen ebazpenerako, lehenik eta behin, θ_A eta $\dot{\theta}_A$ ezagunak izanda, lotura ekuazio geometrikoen ekuazioen bidez θ_B , θ_C eta θ_D ezagutu daitezke, eta hauekin, ekuazioen denborarekiko lehenengo deribatuaren bidez, $\dot{\theta}_B$, $\dot{\theta}_C$ eta $\dot{\theta}_D$. Behin datu hauek ezagututa, inertzien ekuazioak aparte, beste guztien artean matrize bat osatzen da, eta hau ebazterakoan, aldagai guztien balioa lor daiteke, aldagai ezezagunak honakoak direlarik: f_1^A , f_2^A , f_1^B , f_2^B , f_1^C , f_2^C , f_1^D , f_2^D , $\dot{\theta}_A$, $\dot{\theta}_B$, $\dot{\theta}_C$ eta $\dot{\theta}_D$.

3.4.2.1. 1. Barra

[3.15. Ek.] - Lauki artikulatuaren 1. barraren, A puntuarekiko inertzia tentsorearen 3. zutabea

$$\{I_A(1)_{(1,3)}\}_{123} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ M_1 \cdot r_1^2 + \frac{M_1 \cdot L_1^2}{12} + \frac{M_1 \cdot L_1^2}{4} \end{Bmatrix}_{123} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ M_1 \cdot r_1^2 + \frac{M_1 \cdot L_1^2}{12} + \frac{M_1 \cdot L_1^2}{4} \end{Bmatrix}_{XYZ}$$

[3.16. Ek.] - Lauki artikulatuaren 1. barraren Mugimendu Kantitatearen teoremako 1 ardatzeko ekuazioa

$$f_1^A + f_1^B + M_1 \cdot \frac{L_1}{2} \cdot \cos \theta_A \cdot \dot{\theta}_A^2 + \ddot{\theta}_A \cdot \left(M_1 \cdot \frac{L_1}{2} \cdot \sin \theta_A \right) = 0$$

[3.17. Ek.] - Lauki artikulatuaren 1. barraren Mugimendu Kantitatearen teoremako 2 ardatzeko ekuazioa

$$f_2^A + f_2^B - M_1 \cdot g + M_1 \cdot \frac{L_1}{2} \cdot \sin \theta_A \cdot \dot{\theta}_A^2 + \ddot{\theta}_A \cdot \left(-M_1 \cdot \frac{L_1}{2} \cdot \cos \theta_A \right) = 0$$

[3.18. Ek.] - Lauki artikulatuaren 1. barraren Momentu Zinetikoaren teoremako ekuazioa

$$f_2^B \cdot (L_1 \cdot \cos \theta_A) + f_1^B \cdot (-L_1 \cdot \sin \theta_A) - M_1 \cdot g \cdot \frac{L_1}{2} \cdot \cos \theta_A - c_A \cdot \dot{\theta}_A + c_B \cdot (\dot{\theta}_B - \dot{\theta}_A) - \ddot{\theta}_A \cdot \left(\frac{M_1 \cdot r_1^2}{4} + \frac{M_1 \cdot L_1^2}{12} + \frac{M_1 \cdot L_1^2}{4} \right) = 0$$

3.4.2.2. 2. Barra

[3.19. Ek.] - Lauki artikulatuaren 2. barraren, bere grabitate zentruarekiko inertzia tentsorearen 3. zutabea

$$\{I_{G2(2)(:,3)}\}_{1'2'3'} = \left\{ \begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ \frac{M_2 \cdot r_2^2}{4} + \frac{M_2 \cdot L_2^2}{12} \end{array} \right\}_{1'2'3'} = \left\{ \begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ \frac{M_2 \cdot r_2^2}{4} + \frac{M_2 \cdot L_2^2}{12} \end{array} \right\}_{XYZ}$$

[3.20. Ek.] - Lauki artikulatuaren 2. barraren Mugimendu Kantitatearen teoremako 1' ardatzeko ekuazioa

$$-f_1^B + f_1^C + M_2 \cdot L_1 \cdot \cos \theta_A \cdot \dot{\theta}_A^2 + \ddot{\theta}_A \cdot (M_2 \cdot L_1 \cdot \sin \theta_A) + M_2 \cdot \frac{L_2}{2} \cdot \cos \theta_B \cdot \dot{\theta}_B^2 + \ddot{\theta}_B \cdot \left(M_2 \cdot \frac{L_2}{2} \cdot \sin \theta_B \right) = 0$$

[3.21. Ek.] - Lauki artikulatuaren 2. barraren Mugimendu Kantitatearen teoremako 2' ardatzeko ekuazioa

$$-f_2^B + f_2^C - M_2 \cdot g + M_2 \cdot L_1 \cdot \sin \theta_A \cdot \dot{\theta}_A^2 + \ddot{\theta}_A \cdot (-M_2 \cdot L_1 \cdot \cos \theta_A) + M_2 \cdot \frac{L_2}{2} \cdot \sin \theta_B \cdot \dot{\theta}_B^2 + \ddot{\theta}_B \cdot \left(-M_2 \cdot \frac{L_2}{2} \cdot \cos \theta_B \right) = 0$$

[3.22. Ek.] - Lauki artikulatuaren 2. barraren Momentu Zinetikoaren teoremako ekuazioa

$$f_1^B \cdot \left(-\frac{L_2}{2} \cdot \sin \theta_B \right) + f_2^B \cdot \left(\frac{L_2}{2} \cdot \cos \theta_B \right) + f_1^C \cdot \left(-\frac{L_2}{2} \cdot \sin \theta_B \right) + f_2^C \cdot \left(\frac{L_2}{2} \cdot \cos \theta_B \right) - c_B \cdot (\dot{\theta}_B - \dot{\theta}_A) + c_C \cdot (\dot{\theta}_D - \dot{\theta}_B) - \ddot{\theta}_B \cdot \left(\frac{M_2 \cdot r_2^2}{4} + \frac{M_2 \cdot L_2^2}{12} \right) = 0$$

3.4.2.3. 3. Barra

[3.23. Ek.] - Lauki artikulatuaren 3. barraren, D puntuarekiko inertzia tentsorearen 3. zutabea

$$\{I_D(3)_{(,3)}\}_{1''2''3''} = \begin{pmatrix} 0 & & \\ 0 & & \\ \frac{M_3 \cdot r_3^2}{4} + \frac{M_3 \cdot L_3^2}{12} + \frac{M_3 \cdot L_3^2}{4} & & \end{pmatrix}_{1''2''3''} = \begin{pmatrix} 0 & & \\ 0 & & \\ \frac{M_3 \cdot r_3^2}{4} + \frac{M_3 \cdot L_3^2}{12} + \frac{M_3 \cdot L_3^2}{4} & & \end{pmatrix}_{XYZ}$$

[3.24. Ek.] - Lauki artikulatuaren 3. barraren Mugimendu Kantitatearen teoremako 1'' ardatzeko ekuazioa

$$f_1^D - f_1^C + M_3 \cdot \frac{L_3}{2} \cdot \cos \theta_D \cdot \dot{\theta}_D^2 + \ddot{\theta}_D \cdot \left(M_3 \cdot \frac{L_3}{2} \cdot \sin \theta_D \right) = 0$$

[3.25. Ek.] - Lauki artikulatuaren 3. barraren Mugimendu Kantitatearen teoremako 2'' ardatzeko ekuazioa

$$f_2^D - f_2^C - M_3 \cdot g + M_3 \cdot \frac{L_3}{2} \cdot \sin \theta_D \cdot \dot{\theta}_D^2 + \ddot{\theta}_D \cdot \left(-M_3 \cdot \frac{L_3}{2} \cdot \cos \theta_D \right) = 0$$

[3.26. Ek.] - Lauki artikulatuaren 3. barraren Momentu Zinetikoaren teoremako ekuazioa

$$-M_3 \cdot g \cdot \frac{L_3}{2} \cdot \cos \theta_D - f_2^C \cdot (L_3 \cdot \cos \theta_D) - c_C \cdot (\dot{\theta}_D - \dot{\theta}_B) - c_D \cdot \dot{\theta}_D - \ddot{\theta}_D \cdot \left(\frac{M_3 \cdot r_3^2}{4} + \frac{M_3 \cdot L_3^2}{12} + \frac{M_3 \cdot L_3^2}{4} \right) + f_1^C \cdot (L_3 \cdot \sin \theta_D) = 0$$

3.4.2.4. Lotura ekuazio geometrikoak

[3.27. Ek.] - Lauki artikulatuaren Lotura Ekuazio Geometrikoetako 1. ekuazioa

$$L_1 \cdot \cos \theta_A + L_2 \cdot \cos \theta_B - L_3 \cdot \cos \theta_D - L_4 = 0$$

[3.28. Ek.] - Lauki artikulatuaren Lotura Ekuazio Geometrikoetako 2. ekuazioa

$$L_1 \cdot \sin \theta_A + L_2 \cdot \sin \theta_B - L_3 \cdot \cos \theta_D = 0$$

[3.29. Ek.] - Lauki artikulatuaren Lotura Ekuazio Geometrikoetako 3. ekuazioa

$$\theta_D - \theta_B - \theta_C = 0$$

3.4.2.5. Lotura ekuazio geometrikoen denborarekiko lehenengo deribatua

[3.30. Ek.] - Lauki artikulatuaren Lotura ekuazio geometrikoen denborarekiko lehenengo deribatuen 1. ekuazioa

$$-L_1 \cdot \sin \theta_A \cdot \dot{\theta}_A - L_2 \cdot \sin \theta_B \cdot \dot{\theta}_B + L_3 \cdot \sin \theta_D \cdot \dot{\theta}_D = 0$$

[3.31. Ek.] - Lauki artikulatuaren Lotura ekuazio geometrikoen denborarekiko lehenengo deribatuen 2. ekuazioa

$$L_1 \cdot \cos \theta_A \cdot \dot{\theta}_A + L_2 \cdot \cos \theta_B \cdot \dot{\theta}_B - L_3 \cdot \cos \theta_D \cdot \dot{\theta}_D = 0$$

[3.32. Ek.] - Lauki artikulatuaren Lotura ekuazio geometrikoen denborarekiko lehenengo deribatuen 3. ekuazioa

$$\dot{\theta}_D - \dot{\theta}_B - \dot{\theta}_C = 0$$

3.4.2.6. Lotura ekuazio geometrikoen denborarekiko bigarren deribatua

[3.33. Ek.] - Lauki artikulatuaren Lotura ekuazio geometrikoen denborarekiko bigarren deribatuen 1. ekuazioa

$$-L_1 \cdot \cos \theta_A \cdot \dot{\theta}_A^2 + \ddot{\theta}_A \cdot (-L_1 \cdot \sin \theta_A) - L_2 \cdot \cos \theta_B \cdot \dot{\theta}_B^2 + \ddot{\theta}_B \cdot (-L_2 \cdot \sin \theta_B) + L_3 \cdot \cos \theta_D \cdot \dot{\theta}_D^2 + \ddot{\theta}_D \cdot (L_3 \cdot \sin \theta_D) = 0$$

[3.34. Ek.] - Lauki artikulatuaren Lotura ekuazio geometrikoen denborarekiko bigarren deribatuen 2. ekuazioa

$$-L_1 \cdot \sin \theta_A \cdot \dot{\theta}_A^2 + \ddot{\theta}_A \cdot (L_1 \cdot \cos \theta_A) - L_2 \cdot \sin \theta_B \cdot \dot{\theta}_B^2 + \ddot{\theta}_B \cdot (L_2 \cdot \cos \theta_B) + L_3 \cdot \sin \theta_D \cdot \dot{\theta}_D^2 + \ddot{\theta}_D \cdot (-L_3 \cdot \sin \theta_D) = 0$$

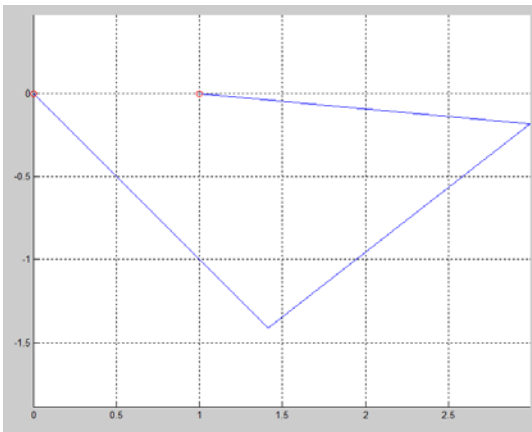
[3.35. Ek.] - Lauki artikulatuaren Lotura ekuazio geometrikoen denborarekiko bigarren deribatuen 3. ekuazioa

$$\ddot{\theta}_D - \ddot{\theta}_B - \ddot{\theta}_C = 0$$

3.4.3. Simulazioa

Lauki artikulatuaren atal honetan, mekanismoa erortzen uzten den kasu bat simulatu eta aztertuko da, marruskaduren eragina **A** eta **D** puntuetako angelu, abiadura angeluar eta azelerazio angeluarrak denboraren aurrean irudikatuz. Intuizioz marruskadurak aldagai hauen balioa murriztuaraziko duela pentsa daiteke eta lauki artikulatua posizio egonkor batetara iritsiko dela.

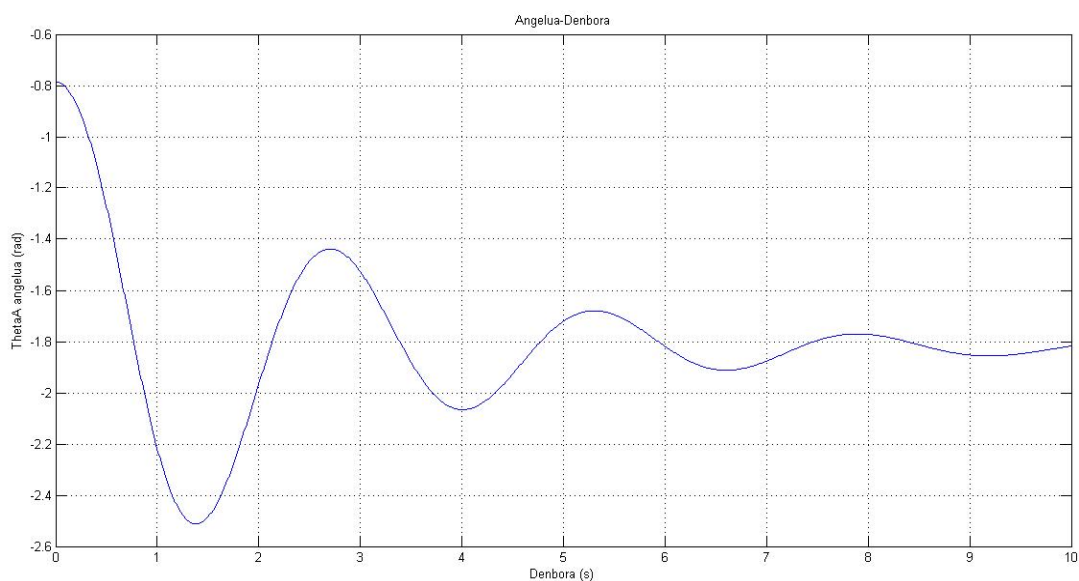
Simulazioa gauzatzeko hiru barrei 2 m -ko luzera eman zaie eta **A** eta **D** puntuak ardatz horizontalean 1 m -ko distantziara kokatu dira. hiru barrek 2 kg -ko masa dute eta 5 cm -ko erradioa. Artikulazioetako marruskadura koefiziente guztiak berdinak suposatu dira 4 -ko balioarekin.



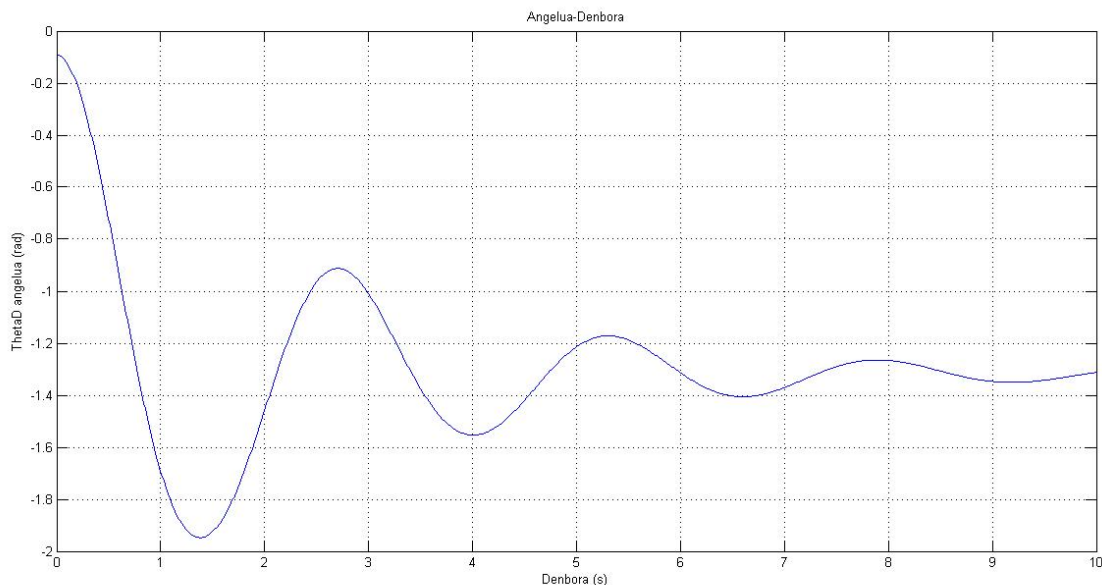
3.18. Fig. Lauki artikulatuaren simulazioa

Honez gain, aipatzekoa da mekanismoa beiti begira jarri dela eta $\theta_A = -\pi/4\text{ rad}$ angeluarekin askatu dela hasierako puntuan, abiadura nulurekin. 10 seg -ko simulazioa burutu da, marruskaduren eragina aztertzeko nahikoa izango delakoan.

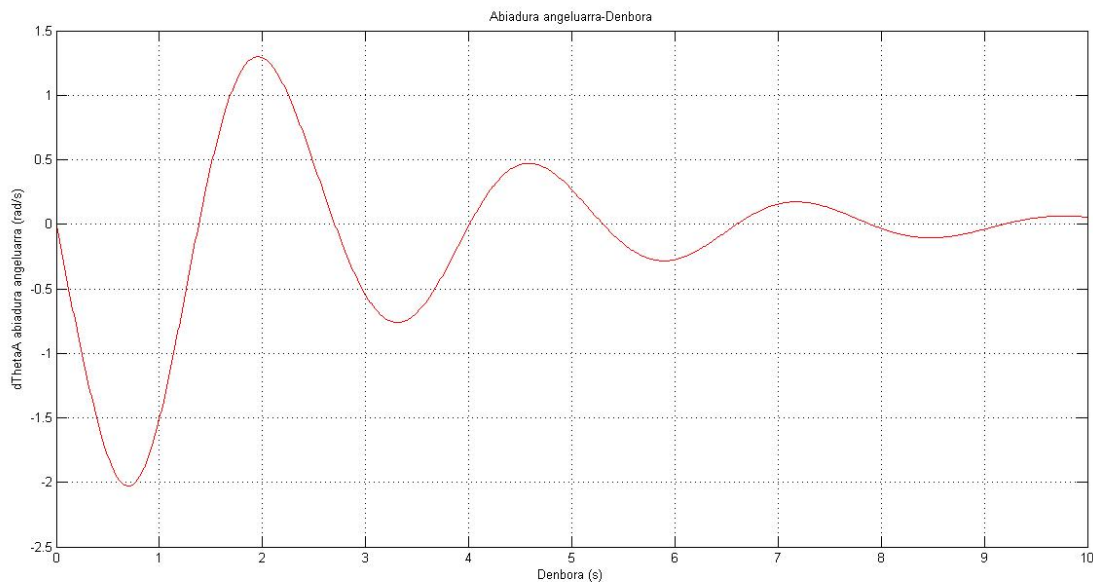
Jarraian, esan bezala **A** eta **D** puntuetako angelu, abiadura angeluar eta azelerazio angeluarrak denboraren aurrean irudikatzen dira.



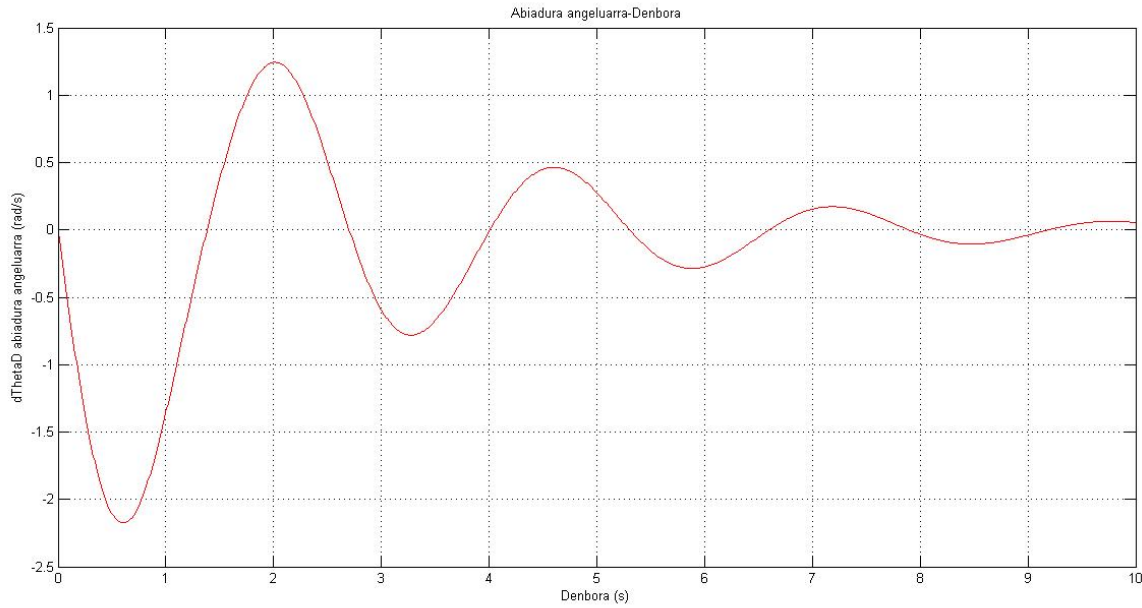
3.19. Fig. Lauki artikulatuaren simulazioa: ThetaA angelua denboraren aurrean



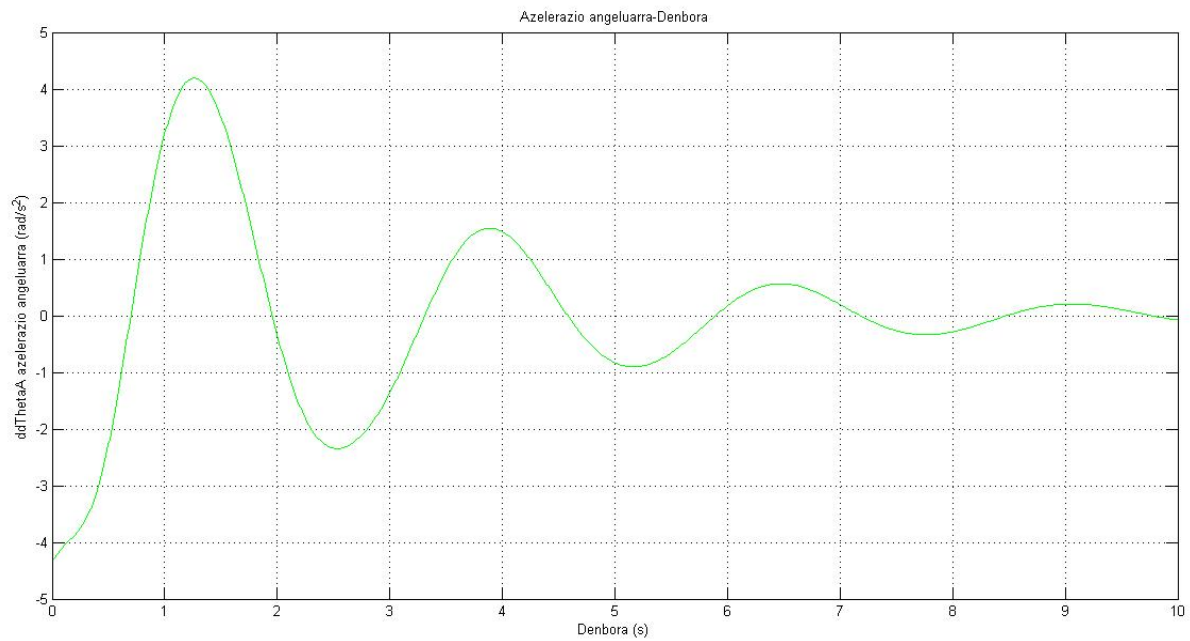
3.20. Fig. Lauki artikulatuaren simulazioa: Θ_D angelua denboraren aurrean



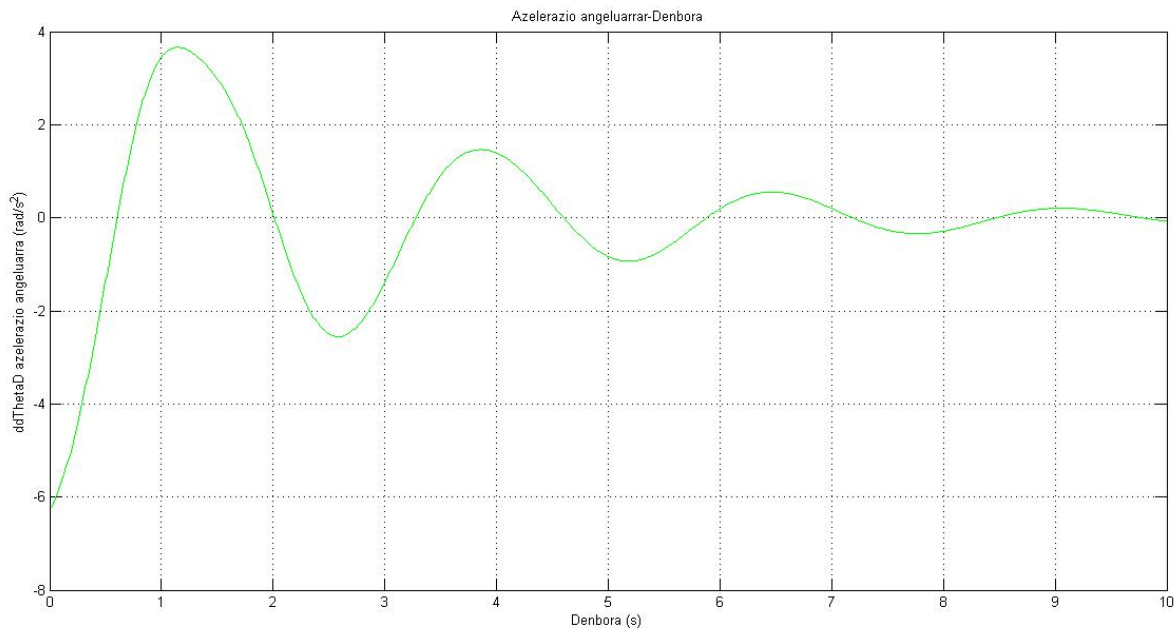
3.21. Fig. Lauki artikulatuaren simulazioa: $d\Theta_A$ abiadura angeluarra denboraren aurrean



3.22. Fig. Lauki artikulatuaren simulazioa: $d\Theta_{D}$ abiadura angeluarra denboraren aurrean



3.23. Fig. Lauki artikulatuaren simulazioa: $dd\Theta_{A}$ azelerazio angeluarra denboraren aurrean



3.24. Fig. Lauki artikulatuaren simulazioa: $dd\Theta_{iD}$ azelerazio angeluarrar denboraren aurrean

3.4.3.1. Emaitzen analisisa

Emaitzak, simulazioa egin aurretik espero zitezkeenak dira, non bi angeluek marruskaduraren eragin bera jasaten duten eta zerorantz hurbilduz doazen, honen inguruko oszilazioak txikituz. Bai abiadura angeluarrak eta baita azelerazio angeluarrak ere zerorantz egonkortuz doazen oszilazio moduan irudikatu dira, mekanismoa geldiaraziz doala adieraziz. Datu hauekin beraz, modelo dinamikoaren funtzionamendu egokia bermatu dezakegu, honen portaera koherentea dela eta.

4. AEROSORGAILUAREN PLATAFORMAREN MODELO DINAMIKOA

4.1. SARRERA

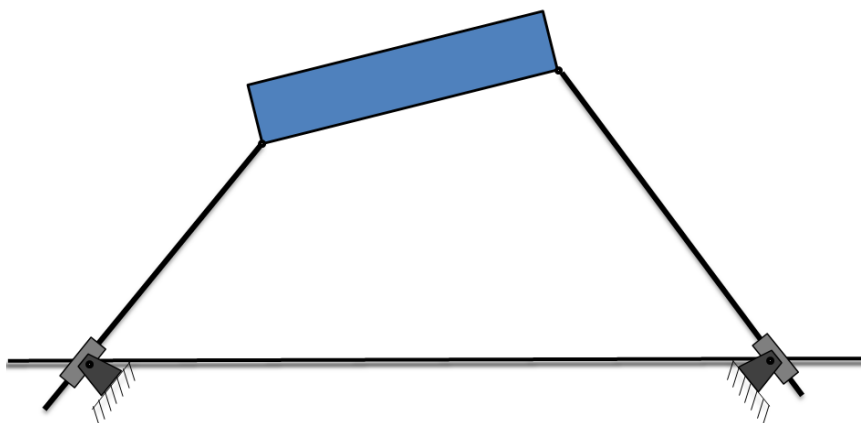
Kapitulu honetan, proiektuaren oinarri den plataformaren modelo dinamikoa diseinatzeari ekingo zaio, lehendabiziko, plataforma bakarrik kontutan hartzen duen modelo sinplifikatu batekin hasiz, eta hurrengo kapituluan, modelo honi aerosorgailua eta flotarazten duten boiak gehituz. Aurreragoko ataletan esan bezala, modeloak, bi dimentsiotan aztertzeke kalkulatu eta programatu dira, honek dakartzkien muga eta sinplifikazioekin.

Itsasoa, ur maila konstantean izateko sinplifikatu da, eta korronteen, mareen eta olatuen eraginek, indar eta momentu konstanteen bidez eragiten dute plataformarengan. Hau guztia, modeloaren bi bertsioendako aplikatuko da.

Plataforma itsasoko lurzoruari bi kableren bidez lotzen da eta kable hauek automatikoki kontrolatzen dira, eragile baten bidez haietatik tiratuz edo hauek askatuz, hauek muturretako batean biltzen direlarik, honela plataforma nahi bezala kontrolatzeko. Proiektu honen helburua kable hauen bidez kontrolatua izateko plataformaren modelo dinamikoaren diseinua da, zeinak errealitatean plataforma mota hauek kontrolatzeko erabiltzen diren. Kontrol honetaz, Nafarroako Unibertsitate Publikoko Kontrol eta Automatika saileko jendea arduratuko da.

4.1.1. Azalpen orokorra eta arazoari aurre egiteko planteamendua

Plataforma hutsa, edo plataformaren lehenengo modeloa, aurretik esan bezala, plataforma eta kableak bakarrik barne hartzen dituen sistema da. Aerosorgailuaren oinarria izateaz arduratzen den sistemaren atala da, hau plataforman egonkortzen baita, plataformaren boiek sistema osoa ur-azalera ateratzen dutelarik. Atal honetan, aerosorgailua eta boiak ez dira kontutan hartuko eta plataformaren modelo dinamiko bat osatzera bideratuko da, hurrengo kapituluan, beste gehigarriak modeloan sartzeko intentzioarekin.



4.1. Fig. Aerosorgailuaren plataforma

Modelo hau, hasierako egoeraren, plataformaren ezaugarrien eta uraren eraginaren arabera mugitzen da eta kableetatik eragiten zaion indarraren bidez kontrolatzen da. Itsasoko uraren eragina, flotazioak eragindako bultzada eta urarekiko marruskadura kontutan hartuz simulatu da, indar hauen eragina itsas mailaren menpe izanik. Sarreran esan bezala, honako sinplifikazio hauek egin dira, itsasoaren simulazioari dagokionez:

1. Itsas maila uneoro konstante mantentzeko diseinatu da, honek simulatzerako orduan dakarzkien sinplifikazioekin.
2. Itsasoaren plataformarenganako eragina ere indar eta momentu konstanteen bidez sinplifikatu da, mareen, korronteen eta olatuen eragina balio konstanteen bidez sartzeko aukera emanez.
3. Urarekiko marruskadura koefizienteak ere konstante moduan funtzionatzen dute, hauen balioa simulazio osoan zehar berdina delarik.

Nahiz eta sinplifikazio asko sartu diren itsasoaren portaera eta honen plataformarenganako eragina simulatzeko, behin horretarako ekuazio errealagoak aurkituta, erraz birprogramatu liteke modelo dinamikoa, aipatutako indar, momentu eta koefiziente hauen funtzioak aurrerago azalduko den **Dinamika** programan sartuz, honela une bakoitzeko hauen kalkuluak burutzeko.

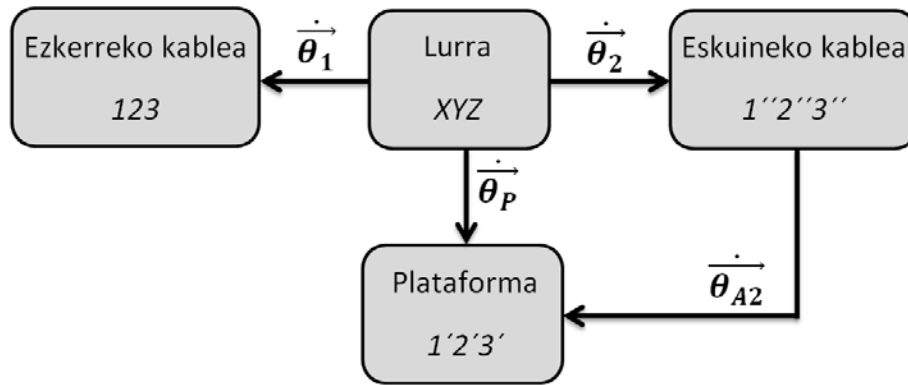
Plataforma laukizuzen formakoa dela suposatu da eta aipatutako kableek artikulazioen bidez beheko erpinetatik heltzen dute. Kasu honetan, plataformaren flotazioa bere dentsitatearen menpe dago, zeinaz baliatu beharra den ur-azalera ateratzeko. Ur-azalera ateratzean, plataformak itsasoaren bultzadaren eraginez jasandako momentuak eta hauen eragina aztertzeo aukera ematen du modeloak, flotazioaren ikuspuntutik, simulazio interesgarriak eskainiz.

Kableak masa gabeak suposatu dira, hauek, plataformarekin alderatuz sistema osoaren emaitzetan duten eragin eskasagatik. Plataformak, aurrerago azalduko den bezala, nahiz eta bi dimentsiotan lan egin a deituriko sakonera du, zeina beharrezkoa den masa, bultzada eta inertzia tentsoreak kalkulatzeko baina bestelako eraginik ez duen. Sakonera honi ez zaio marruskadurari zuzenean eragiteko programatu, esan bezala, marruskadura koefizienteak balio konstanteak direlako.

4.2. EKUAZIOAK ETA ESKUZKO KALKULUAK

Atal honetan, plataforma aztertzeo egin beharreko eskuzko kalkuluak ageri dira, sistemaren atal bakoitzari dagozkion ekuazioak eskuratuz eta hauek lantzearen bidez, mekanismoaren portaera azaltzearen eginiko bidea esplikatuz. Horretarako, dinamika aztertzeo lortutako ekuazioez gain, zinematika aztertzeo lorturikoak ere beharrezko izango dira sistemaren une bakoitzean ezezagun guztien balioak eskuratzeko. Bestalde, zinematika aztertzerako momentuan ekuazioetatik ezezagunak askatzeko bi modu planteatzera behartzen da, sinuek eta kosinuek, zatitzaile moduan direlarik, zero balioa hartzearen eraginez, programazioaren atalean aztertuko den moduan.

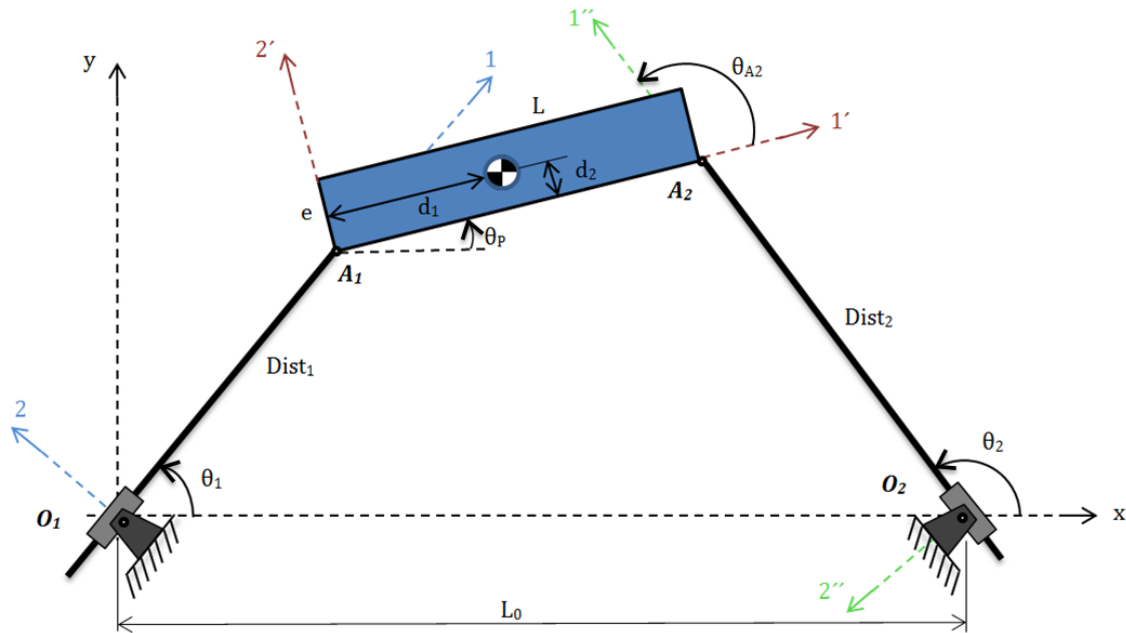
Landu beharreko sistemak hiru osagai ditu zeinak *Ezkerreko kablea*, *Eskuineko kablea* eta *Plataforma* bezala izendatu diren. Gorputz hauetako bakoitza, base batean dago, non Ezkerreko kablea 123 basean dagoen, Eskuineko kablea 1''2''3'' basean eta Plataforma aldiz, 1'2'3', erreferentzia inertziala lurra izanik XYZ basean.



4.2. Fig. Aerosorgailuaren plataformaren orientazio diagrama

Sistema aztertzeko erabilitako datuei dagokionez, konstanteak honakoak dira: M_p plataformaren masa da, g grabitatea, I_{GP} plataformaren bere grabitate zentruarekiko inertzia tentsorea, d_1 plataformaren grabitate zentruaren $1'$ ardatzeko posizioa $A1$ -ekiko, d_2 plataformaren grabitate zentruaren $A1$ -ekiko posizioa $2'$ ardatzean, e plataformaren lodiera da, L luzera, a sakonera, L_0 bi kableak itsasoko lurzorura lotzen diren puntuen arteko distantzia, **Akt1** ezkerreko kablea kontrolatzen duen eragileak eginiko indarra da eta **Akt2** eskuineko kablearena, F_x itsasoak eragindako indarrak X ardatzean, F_y itsasoak eragindako indarrak Y ardatzean, M_z itsasoak eragindako momentuen batura Z ardatzean, P plataformaren masak eragindako grabitate indarra, c_{o1} O1 artikulazioko marruskadura koefizientea da, c_{o2} O2-koa, c_{A1} A1 artikulazioko marruskadura koefizientea da eta c_{A2} A2-koa, c_x itsasoak X ardatzean mugitzean jasaten duen marruskaduraren koefizientea, c_y itsasoak Y ardatzean mugitzean jasaten duen marruskaduraren koefizientea eta c_p itsasoak Z ardatzean biratzean jasaten duen marruskaduraren koefizientea.

Aldagaiak, berriz, honela izendatu dira: f_2^{O1} O1 puntuan lurraren eta ezkerreko kablearen artean ematen den 2 ardatzeko lotura indarra, f_1^{A1} eta f_2^{A1} A1 puntuan ezkerreko kablearen eta plataformaren arteko 123 baseko lotura indarrak dira, f_1^{A2} eta f_2^{A2} A2 puntuan plataforma eta eskuineko kablearen arteko lotura indarrak $1''2''3''$ basean, f_2^{O2} O2 puntuko lurraren eta eskuineko kablearen $2''$ ardatzeko lotura indarra. D_1, \dot{D}_1 eta \ddot{D}_1 , zeinak irudietan eta programazioan **Dist1**, **dDist1** eta **ddDist1** izendatu diren, ezkerreko kablearen luzera, abiadura eta azelerazioa dira eta D_2, \dot{D}_2 eta \ddot{D}_2 , irudietan eta programazioan **Dist2**, **dDist2** eta **ddDist2** izendatuak, eskuineko kablearenak. $\theta_1, \dot{\theta}_1$ eta $\ddot{\theta}_1$ ezkerreko kablearen orientazio absolutua, abiadura angeluar absolutua eta azelerazio angeluar absolutuak dira, $\theta_2, \dot{\theta}_2$ eta $\ddot{\theta}_2$ aurrekoarentzat bezala baina hontakoan eskuineko kablearentzat eta $\theta_p, \dot{\theta}_p$ eta $\ddot{\theta}_p$, berdina baina plataformarentzat. $\theta_{A2}, \dot{\theta}_{A2}$ eta $\ddot{\theta}_{A2}$, aldiz, plataformaren eta eskuineko kablearen arteko angelu, abiadura eta azelerazio erlatiboak dira. X_G eta Y_G plataformaren grabitate zentruaren koordinatu absolutuak dira, \dot{X}_G eta \dot{Y}_G bi ardatzetako abiadurak eta \ddot{X}_G eta \ddot{Y}_G ardatz hauekiko azelerazioak. Amaitzeko, **Bultz** plataformak urpean jasaten duen bultzadaren indarra da, M_z **Bultz** honek sorturiko momentua, F_{mx} , F_{my} eta M_{mz} marruskadurak eragindako bi ardatzetako indarrak eta Z ardatzeko momentua, F_{xT} , F_{yT} eta M_{zT} ardatz bakoitzeko plataformak jasandako indarren eta momentuen baturak eta $\overline{F(Plat)}$ eta $\overline{M_{GP}(Plat)}$ plataformari eragiten dioten D'Aalamberten indarra eta momentua dira.



4.3. Fig. Aerosorgailuaren plataformaren akotazioa

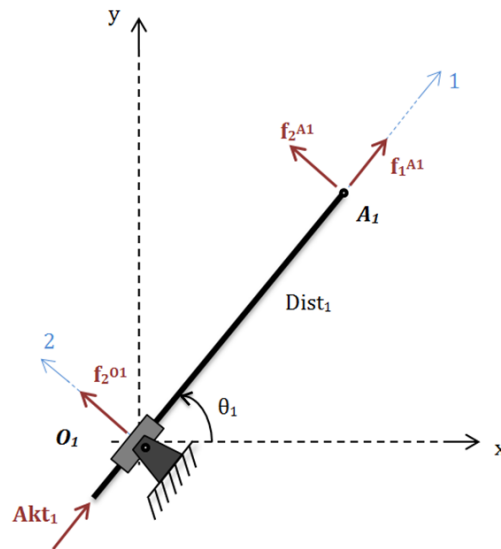
Mekanismoa aztertzeko erabili diren angelu guztiak positibo moduan akotatu dira eta esan bezala, denak absolutuak dira plataformaren eta eskuineko kablearen artekoa (θ_{A2}) ezik. Marruskadura indarrak, artikulazioetako abiadura erlatiboekin kalkulatu dira eta eragileak ere positibo moduan suposatu dira, hauetatik tiratzeko, balio negatiboa eman behar zaielarik.

Plataformaren portaera deskribatzeko beharrezko ekuazioak lortzeko bidean, lehenik eta behin ezkerreko kablea aztertu zen, honen lehenengo eta bigarren teoremaren bidez, aurreko mekanismoetan bezala 3 ekuazio lortuz. Ondoren, eskuineko kablearekin gauza bera egin zen, beste 3 ekuazio lortuz eta jarraian plataformarekin 3 ekuazio lortuz ere. Azkenik, lotura geometrikoko ekuazioak atera ziren, eta baita hauek denborarekiko bitan deribatu ere, modu honetan, planteatutako ekuazioetako ezezagun guztien balioak eskuratzeko aukera izanez.

Sistema honetan ezagutu beharreko ezezagunak, honako zerrendan agertzen dira, non denen artean 24 diren: $D_1, \dot{D}_1, \ddot{D}_1, D_2, \dot{D}_2, \ddot{D}_2, \theta_1, \dot{\theta}_1, \ddot{\theta}_1, \theta_2, \dot{\theta}_2, \ddot{\theta}_2, \theta_P, \theta_{A2}, \dot{\theta}_{A2}, \ddot{\theta}_{A2}, \dot{X}_G, \ddot{X}_G, \dot{Y}_G, \ddot{Y}_G, f_2^{O1}, f_1^{A1}, f_2^{A1}, f_2^{A2}, f_1^{A2}$ eta f_2^{O2} . Lehen aipatutako konstante guztiak eta $\theta_P, \dot{\theta}_P, X_G, \dot{X}_G, Y_G$ eta \dot{Y}_G , ordea, hasieratik ezagunak diren datuak dira. Sistema ebazteko, 24 ezezagun dauden bezala, 24 ekuazio beharrezko izango dira, zeinak hurrengo atalean aterako diren.

4.2.1. Ezkerreko kablea

Ezkerreko kablearen azterketa egin zen lehendabizi, honen 1. eta 2. teorema bektorialak aplikatuz. Kableak masarik ez duenez, ez du inertzia tentsorerik izango, ezta D'Alamberten indar eta momenturik ere ez.



4.4. Fig. Aerosorgailuaren plataformaren ezkerreko kablea

1. TEOREMA BEKTORIALA:

Indarren bektoreen gehiketan ikusten den bezala, kable honi bi muturretako lotura indarrek eta eragileak bakarrik eragiten diote.

[4.1. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Ezkerreko Kablearen Mugimendu Kantitatearen Teorema

$$\begin{Bmatrix} 0 \\ f_2^{O1} \\ 0 \end{Bmatrix}_{123} + \begin{Bmatrix} f_1^{A1} \\ f_2^{A1} \\ 0 \end{Bmatrix}_{123} + \begin{Bmatrix} Akt1 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}_{123} = \vec{0}$$

1. ekuazioa:

[4.2. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Ezkerreko Kablearen Mugimendu Kantitatearen Teoremako 1 ardatzeko ekuazioa

$$f_1^{A1} + Akt1 = 0$$

2. ekuazioa:

[4.3. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Ezkerreko Kablearen Mugimendu Kantitatearen Teoremako 2 ardatzeko ekuazioa

$$f_2^{O1} + f_2^{A1} = 0$$

2. TEOREMA BEKTORIALA:

Teorema hau, **O1** puntuan aplikatu da, beraz, puntu horretako lotura indarrek eta eragilearen indarrak ez dute momenturik sortzen. Beste muturrekoek, ordea, bai sortuko lukete, ekuazioan antzematen den bezala. Honez gain, artikulazioetako marruskadurek sorturiko momentuak ere kontutan hartzen dira, hauen koefizienteak, dagokioten artikulazioaren abiadura angeluar erlatiboarekin biderkatuz.

[4.4. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Ezkerreko Kablearen Momentu Zinetikoaren Teorema

$$\begin{Bmatrix} D_1 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}_{123} \wedge \begin{Bmatrix} f_1^{A1} \\ f_2^{A1} \\ 0 \end{Bmatrix}_{123} + \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -c_{O1} \cdot \dot{\theta}_1 \end{Bmatrix}_{123} + \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ c_{A1} \cdot (\dot{\theta}_P - \dot{\theta}_1) \end{Bmatrix}_{123} = \vec{0}$$

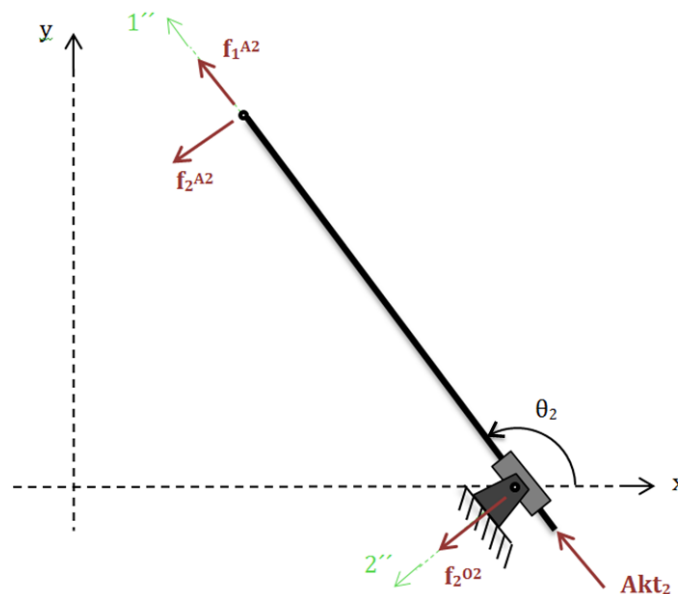
3. ekuazioa

[4.5. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Ezkerreko Kablearen Momentu Zinetikoaren Teoremako ekuazioa

$$D_1 \cdot f_2^{A1} - c_{O1} \cdot \dot{\theta}_1 + c_{A1} \cdot (\dot{\theta}_P - \dot{\theta}_1) = 0$$

4.2.2. Eskuineko kablea

Ondoren, eskuineko kablean ere 1. eta 2. teoremak aplikatu ziren beste 3 ekuazio ateraz. Kable honek ere masarik ez duenez, ez du inertzia tentsorerik izango, ezta D'Alamberten indar eta momenturik ere ez.



4.5. Fig. Aerosorgailuaren plataformaren 2. kablea

1. TEOREMA BEKTORIALA:

Aurreko kablearen kasuan gertatzen zen bezala, honetan ere lotura indarrak eta eragilearen indarra dira bakarrak.

[4.6. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Eskuineko Kablearen Mugimendu Kantitatearen Teorema

$$\begin{Bmatrix} 0 \\ f_2^{O2} \\ 0 \end{Bmatrix}_{1''2''3''} + \begin{Bmatrix} f_1^{A2} \\ f_2^{A2} \\ 0 \end{Bmatrix}_{1''2''3''} + \begin{Bmatrix} Akt2 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}_{1''2''3''} = \vec{0}$$

4. ekuazioa**[4.7. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Eskuineko Kablearen Mugimendu Kantitatearen Teoremako 1'' ardatzeko ekuazioa**

$$f_1^{A2} + Akt2 = 0$$

5. ekuazioa**[4.7. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Eskuineko Kablearen Mugimendu Kantitatearen Teoremako 2'' ardatzeko ekuazioa**

$$f_2^{O2} + f_2^{A2} = 0$$

2. TEOREMA BEKTORIALA:

1. teorema bektorialarekin gertatzen den bezala, hau ere aurreko kasukoarenaren oso antzekoa da, O2 puntuan burutua izan delarik. Hemen ere, O2 puntuko indarrek ez dute momenturik sortzen, aurkako muturreko lotura indarrek bakarrik sortzen dutelarik. Marruskadurak sortutako momentuak ere kontutan izan dira momentuen gehiketan, abiadura angeluar erlatiboak marruskadura koefizienteekin biderkatuz.

[4.8. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Eskuineko Kablearen Momentu Zinetikoaren Teorema

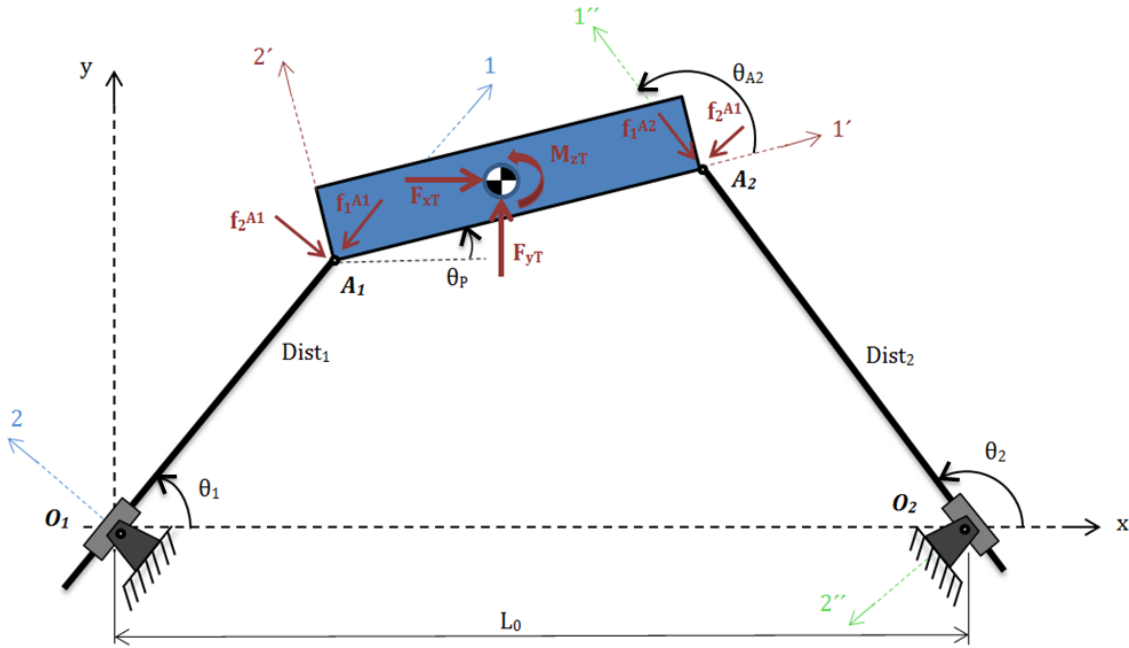
$$\begin{Bmatrix} D_2 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}_{1''2''3''} \wedge \begin{Bmatrix} f_1^{A2} \\ f_2^{A2} \\ 0 \end{Bmatrix}_{1''2''3''} + \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -c_{O2} \cdot \dot{\theta}_2 \end{Bmatrix}_{1''2''3''} + \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ c_{A2} \cdot (\dot{\theta}_P - \dot{\theta}_2) \end{Bmatrix}_{1''2''3''} = \vec{0}$$

6. ekuazioa**[4.9. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Eskuineko Kablearen Momentu Zinetikoaren Teoremako ekuazioa**

$$D_2 \cdot f_2^{A2} - c_{O2} \cdot \dot{\theta}_2 + c_{A2} \cdot (\dot{\theta}_P - \dot{\theta}_2) = 0$$

4.2.3. Plataforma

Bi kableak aztertu eta gero, plataformaren ekuazioak ateratzera murgildu zen, aurreko kasuen antzera 3 ekuazio lortuz. Honetarako, aurreko kasuetan ez bezala, bi teoremak aplikatzeko zenbait kalkulu egin beharko dira lehendabizi, hala nola, inertzia tentsorea, D'Alamberten indar eta momentua eta grabitate zentruaren azelerazioa kalkulatu behar izanik.



4.6. Fig. Aerosorgailuaren plataformari eragiten dioten indar eta momentuak

GRABITATE ZENTROAREN AZELERAZIOA

[4.10. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Grabitate Zentruaren posizioa

$$\{\overline{O_1 G_P}\}_{XYZ} = \begin{Bmatrix} D_1 \cdot \cos \theta_1 + d_1 \cdot \cos \theta_P - d_2 \cdot \sin \theta_P \\ D_1 \cdot \sin \theta_1 + d_1 \cdot \sin \theta_P + d_2 \cdot \cos \theta_P \\ 0 \end{Bmatrix}_{XYZ}$$

[4.11. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Grabitate Zentruaren posizioaren abiadura

$$\{\overline{V_{RI}(Plat)}\}_{XYZ} = \left\{ \frac{d\{\overline{O_1 G_P}\}_{XYZ}}{dt} \right\}_{RI}_{XYZ} = \begin{Bmatrix} \dot{D}_1 \cdot \cos \theta_1 - D_1 \cdot \sin \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1 - d_1 \cdot \sin \theta_P \cdot \dot{\theta}_P - d_2 \cdot \cos \theta_P \cdot \dot{\theta}_P \\ \dot{D}_1 \cdot \sin \theta_1 + D_1 \cdot \cos \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1 + d_1 \cdot \cos \theta_P \cdot \dot{\theta}_P - d_2 \cdot \sin \theta_P \cdot \dot{\theta}_P \\ 0 \end{Bmatrix}_{XYZ}$$

[4.12. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Grabitate Zentruaren posizioaren azelerazioa

$$\{\overline{A_{RI}(Plat)}\}_{XYZ} = \left\{ \frac{d\{\overline{V_{RI}(Plat)}\}_{XYZ}}{dt} \right\}_{RI}_{XYZ} = \begin{Bmatrix} \ddot{D}_1 \cdot \cos \theta_1 - 2 \cdot \dot{D}_1 \cdot \sin \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1 - D_1 \cdot \cos \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1^2 - D_1 \cdot \sin \theta_1 \cdot \ddot{\theta}_1 - \\ \ddot{D}_1 \cdot \sin \theta_1 + 2 \cdot \dot{D}_1 \cdot \cos \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1 - D_1 \cdot \sin \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1^2 + D_1 \cdot \cos \theta_1 \cdot \ddot{\theta}_1 - \\ 0 \\ -d_1 \cdot \cos \theta_P \cdot \dot{\theta}_P^2 - d_1 \cdot \sin \theta_P \cdot \ddot{\theta}_P + d_2 \cdot \sin \theta_P \cdot \dot{\theta}_P^2 - d_2 \cdot \cos \theta_P \cdot \ddot{\theta}_P \\ -d_1 \cdot \sin \theta_P \cdot \dot{\theta}_P^2 + d_1 \cdot \cos \theta_P \cdot \ddot{\theta}_P - d_2 \cdot \cos \theta_P \cdot \dot{\theta}_P^2 - d_2 \cdot \sin \theta_P \cdot \ddot{\theta}_P \end{Bmatrix}_{XYZ}$$

D'ALAMBERTEN INDARRA

[4.13. Ek.] – D'Alamberten indarraren ekuazioa

$$\{\overline{F(Plat)}\}_{XYZ} = -M_p \cdot \{\overline{A_{RI}(Plat)}\}_{XYZ}$$

[4.14. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren D'Alamberten indarra

$$\{\overline{F(Plat)}\}_{XYZ} = -M_p \cdot \begin{pmatrix} \ddot{D}_1 \cdot \cos \theta_1 - 2 \cdot \dot{D}_1 \cdot \sin \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1 - D_1 \cdot \cos \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1^2 - D_1 \cdot \sin \theta_1 \cdot \ddot{\theta}_1 - \\ \ddot{D}_1 \cdot \sin \theta_1 + 2 \cdot \dot{D}_1 \cdot \cos \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1 - D_1 \cdot \sin \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1^2 + D_1 \cdot \cos \theta_1 \cdot \ddot{\theta}_1 - \\ 0 \\ -d_1 \cdot \cos \theta_p \cdot \dot{\theta}_p^2 - d_1 \cdot \sin \theta_p \cdot \ddot{\theta}_p + d_2 \cdot \sin \theta_p \cdot \dot{\theta}_p^2 - d_2 \cdot \cos \theta_p \cdot \ddot{\theta}_p \\ -d_1 \cdot \sin \theta_p \cdot \dot{\theta}_p^2 + d_1 \cdot \cos \theta_p \cdot \ddot{\theta}_p - d_2 \cdot \cos \theta_p \cdot \dot{\theta}_p^2 - d_2 \cdot \sin \theta_p \cdot \ddot{\theta}_p \\ 0 \end{pmatrix}_{XYZ}$$

PISUA

[4.15. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren pisua

$$P = -M_p \cdot g$$

MARRUSKADURA

[4.16. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren marruskadura indarra X ardatzean

$$F_{mX} = -c_x \cdot \dot{X}$$

[4.17. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren marruskadura indarra Y ardatzean

$$F_{mY} = -c_y \cdot \dot{Y}$$

[4.18. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren marruskadura momentua Z ardatzean

$$M_{mZ} = -c_p \cdot \dot{\theta}_p$$

INDAR ETA MOMENTUEN BATURA

Indar eta momentuen batura honetan, itsasoaren eragina modu ezberdinetan kontutan hartu da, bai uraren marruskadura kontutan izanik, bai plataformak jasandako bultzada kontutan hartuz eta baita mareen, korronteen eta olatuen eraginez plataformak jasandako indar konstanteak ere.

[4.19. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren X ardatzeko indarren batura

$$F_{xT} = F_x + F_{mX}$$

[4.20. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Y ardatzeko indarren batura

$$F_{yT} = F_y + F_{mY} + P + Bultz$$

[4.21. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Z ardatzeko momentuen batura

$$M_{zT} = M_z + M_{mZ} + M_{z_Bultz}$$

1. TEOREMA BEKTORIALA:

Plataformaren kasuan, masadun gorputz bat denez, D'Alamberten indarra kontutan hartu da. Honetaz aparte, bi kableekin jasandako lotura indarrak eta aipatu berri diren indarren baturak ere bertan ageri dira.

[4.22. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Mugimendu Kantitatearen Teorema

$$\begin{Bmatrix} -f_1^{A1} \cdot \cos \theta_1 + f_2^{A1} \cdot \sin \theta_1 \\ -f_1^{A1} \cdot \sin \theta_1 - f_2^{A1} \cdot \cos \theta_1 \\ 0 \end{Bmatrix}_{XYZ} + \begin{Bmatrix} -f_1^{A2} \cdot \cos \theta_2 + f_2^{A2} \cdot \sin \theta_2 \\ -f_1^{A2} \cdot \sin \theta_2 - f_2^{A2} \cdot \cos \theta_2 \\ 0 \end{Bmatrix}_{XYZ} + \begin{Bmatrix} F_{xT} \\ F_{yT} \\ 0 \end{Bmatrix}_{XYZ} + \overrightarrow{\{F(Plat)\}}_{XYZ} = \vec{0}$$

7. ekuazioa**[4.23. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Mugimendu Kantitatearen Teoremako 1' ardatzeko ekuazioa**

$$-f_1^{A1} \cdot \cos \theta_1 + f_2^{A1} \cdot \sin \theta_1 - f_1^{A2} \cdot \cos \theta_2 + f_2^{A2} \cdot \sin \theta_2 + F_{xT} - M_p \cdot \left(\ddot{D}_1 \cdot \cos \theta_1 - 2 \cdot \dot{D}_1 \cdot \sin \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1 - D_1 \cdot \cos \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1^2 - D_1 \cdot \sin \theta_1 \cdot \ddot{\theta}_1 - d_1 \cdot \cos \theta_p \cdot \dot{\theta}_p^2 - d_1 \cdot \sin \theta_p \cdot \ddot{\theta}_p + d_2 \cdot \sin \theta_p \cdot \dot{\theta}_p^2 - d_2 \cdot \cos \theta_p \cdot \ddot{\theta}_p \right) = 0$$

8. ekuazioa**[4.24. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Mugimendu Kantitatearen Teoremako 2' ardatzeko ekuazioa**

$$-f_1^{A1} \cdot \sin \theta_1 - f_2^{A1} \cdot \cos \theta_1 - f_1^{A2} \cdot \sin \theta_2 - f_2^{A2} \cdot \cos \theta_2 + F_{yT} - M_p \cdot \left(\ddot{D}_1 \cdot \sin \theta_1 + 2 \cdot \dot{D}_1 \cdot \cos \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1 - D_1 \cdot \sin \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1^2 + D_1 \cdot \cos \theta_1 \cdot \ddot{\theta}_1 - d_1 \cdot \sin \theta_p \cdot \dot{\theta}_p^2 + d_1 \cdot \cos \theta_p \cdot \ddot{\theta}_p - d_2 \cdot \cos \theta_p \cdot \dot{\theta}_p^2 - d_2 \cdot \sin \theta_p \cdot \ddot{\theta}_p \right) = 0$$

PLATAFORMAREN INERTZIA TENTSOREA BERE GRABITATE ZENTRUAN

Aurreko gorputzetan ez bezala, honetan inertzia tentsorea kalkulatzeko beharrezkoa da, jarraian kalkulatu den D'Alamberten momentuaren osagaietako bat baita.

[4.25. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Inertzia Tentsorea bere grabitate zentruan

$$[I_{GP}(P)]_{1'2'3'} = \begin{bmatrix} \frac{M_P \cdot (e^2 + a^2)}{12} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{M_P \cdot (L^2 + a^2)}{12} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{M_P \cdot (e^2 + L^2)}{12} \end{bmatrix}_{1'2'3'}$$

D'ALAMBERTEN MOMENTUA

D'alamberten momentua plataformaren grabitate zentruan (GP) kalkulatuenez, ekuazioaren bigarren zatian zero den bektore bat dago, zati hau nulu bihurtuz.

[4.26. Ek.] – D'Alamberten Momentuaren ekuazioa

$$\{\overline{M_{GP}(Plat)}\}_{1'2'3'} = - \left\{ \frac{d\overline{H_{GP}(Plat)}}{dt} \right\}_{RI}_{1'2'3'}$$

[4.27. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren momentu zinetikoa bere grabitate zentruarekiko

$$\{\overline{H_{GP}(Plat)}\}_{1'2'3'} = [\overline{I_{GP}(P)}]_{1'2'3'} \wedge \{\overline{\Omega_{RI}(Plat)}\}_{1'2'3'} = \left\{ \begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ \dot{\theta}_P \cdot \frac{M_P \cdot (e^2 + L^2)}{12} \end{array} \right\}_{1'2'3'}$$

[4.28. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren D'Alamberten Momentua bere grabitate zentruarekiko

$$\{\overline{M_{GP}(Plat)}\}_{1'2'3'} = \left\{ \begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ -\ddot{\theta}_P \cdot \frac{M_P \cdot (e^2 + L^2)}{12} \end{array} \right\}_{1'2'3'} = \{\overline{M_{GP}(Plat)}\}_{XYZ} = \left\{ \begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ -\ddot{\theta}_P \cdot \frac{M_P \cdot (e^2 + L^2)}{12} \end{array} \right\}_{XYZ}$$

2. TEOREMA BEKTORIALA:

Teorema honetan, plataformak bi kableekin elkarlekuan jasandako indarrek eragindako momentua kontutan hartu da, eta honi, momentuen batura, D'Alamberten momentua eta artikulazioetako marruskaduren eragina gehitu zaizkio.

[4.29. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Momentu Zinetikoaren teorema

$$\begin{aligned} & \left\{ \begin{array}{c} -d_1 \cdot \cos \theta_P + d_2 \cdot \sin \theta_P \\ -d_1 \cdot \sin \theta_P - d_2 \cdot \cos \theta_P \\ 0 \end{array} \right\}_{XYZ} \wedge \left\{ \begin{array}{c} -f_1^{A1} \cdot \cos \theta_1 + f_2^{A1} \cdot \sin \theta_1 \\ -f_1^{A1} \cdot \sin \theta_1 - f_2^{A1} \cdot \cos \theta_1 \\ 0 \end{array} \right\}_{XYZ} + \\ & + \left\{ \begin{array}{c} (L - d_1) \cdot \cos \theta_P + d_2 \cdot \sin \theta_P \\ (L - d_1) \cdot \sin \theta_P - d_2 \cdot \cos \theta_P \\ 0 \end{array} \right\}_{XYZ} \wedge \left\{ \begin{array}{c} -f_1^{A2} \cdot \cos \theta_2 + f_2^{A2} \cdot \sin \theta_2 \\ -f_1^{A2} \cdot \sin \theta_2 - f_2^{A2} \cdot \cos \theta_2 \\ 0 \end{array} \right\}_{XYZ} + \left\{ \begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ M_{zT'} \end{array} \right\}_{XYZ} + \\ & + \left\{ \begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ -c_{A1} \cdot (\dot{\theta}_P - \dot{\theta}_1) \end{array} \right\}_{XYZ} + \left\{ \begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ c_{A2} \cdot (\dot{\theta}_2 - \dot{\theta}_P) \end{array} \right\}_{XYZ} + \left\{ \begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ -\ddot{\theta}_P \cdot \frac{M_P \cdot (e^2 + L^2)}{12} \end{array} \right\}_{XYZ} = \vec{0} \end{aligned}$$

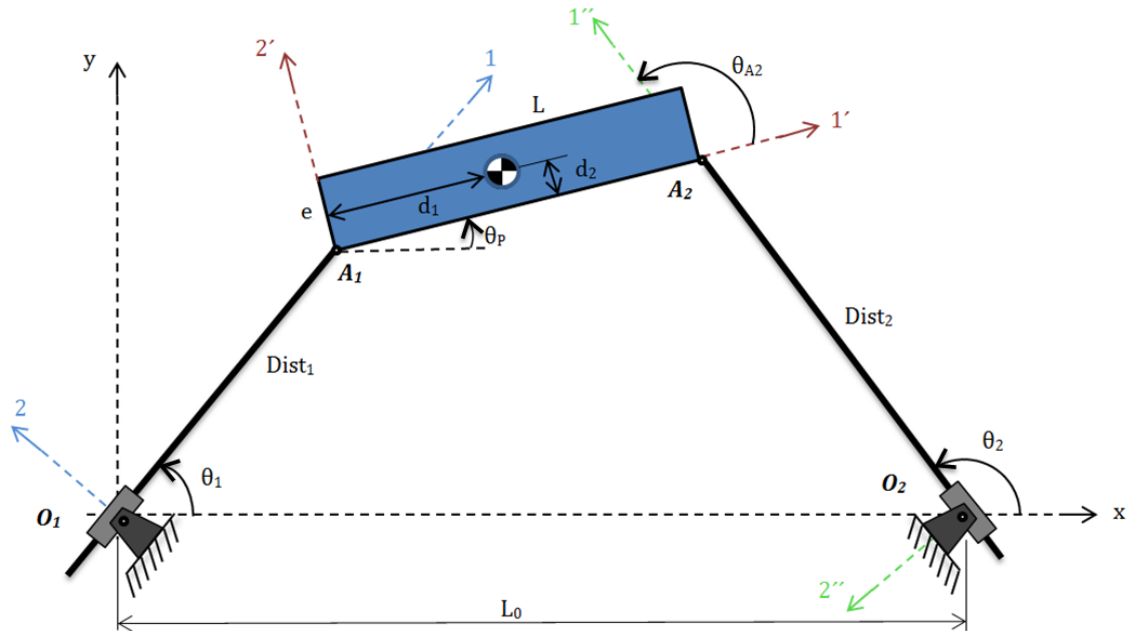
9. ekuazioa

[4.30. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Momentu Zinetikoaren teoremako ekuazioa

$$\begin{aligned}
 & -f_1^{A1} \cdot \sin \theta_1 \cdot (-d_1 \cdot \cos \theta_P + d_2 \cdot \sin \theta_P) - f_2^{A1} \cdot \cos \theta_1 \cdot (-d_1 \cdot \cos \theta_P + d_2 \cdot \sin \theta_P) + f_1^{A1} \cdot \cos \theta_1 \cdot \\
 & \quad \cdot (-d_1 \cdot \sin \theta_P - d_2 \cdot \cos \theta_P) - f_2^{A1} \cdot \sin \theta_1 \cdot (-d_1 \cdot \sin \theta_P - d_2 \cdot \cos \theta_P) - f_1^{A2} \cdot \sin \theta_2 \cdot \\
 & \quad \cdot ((L - d_1) \cdot \cos \theta_P + d_2 \cdot \sin \theta_P) - f_2^{A2} \cdot \cos \theta_2 \cdot ((L - d_1) \cdot \cos \theta_P + d_2 \cdot \sin \theta_P) + f_1^{A2} \cdot \\
 & \quad \cdot \cos \theta_2 \cdot ((L - d_1) \cdot \sin \theta_P - d_2 \cdot \cos \theta_P) - f_2^{A2} \cdot \sin \theta_2 \cdot ((L - d_1) \cdot \sin \theta_P - d_2 \cdot \cos \theta_P) + \\
 & \quad + M_{zT} - c_{A1} \cdot (\dot{\theta}_P - \dot{\theta}_1) + c_{A2} \cdot (\dot{\theta}_2 - \dot{\theta}_P) - \ddot{\theta}_P \cdot \frac{M_P \cdot (e^2 + L^2)}{12} = 0
 \end{aligned}$$

4.2.4. Lotura ekuazio geometrikoak

Mekanismoan lotura ekuazio geometrikoak aztertuz gero, 5 ekuazio lortzen dira. horretarako, mekanismo osoaren lotura ekuazio geometrikoak aztertu dira lehenik, grabitate zentruarenak jarraian, eta **A2** puntuan plataformak eta eskuineko kableak osaturiko angelu erlatiboa azkenik.



4.7. Fig. Aerosorgailuaren plataforma akotatua

15-19. ekuazioak

[4.31. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Lotura Ekuazio Geometrikoetako 1. ekuazioa

$$D_1 \cdot \cos \theta_1 + L \cdot \cos \theta_P - D_2 \cdot \cos \theta_2 - L_0 = 0$$

[4.32. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Lotura Ekuazio Geometrikoetako 2. ekuazioa

$$D_1 \cdot \sin \theta_1 + L \cdot \sin \theta_P - D_2 \cdot \sin \theta_2 = 0$$

[4.33. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Lotura Ekuazio Geometrikoetako 3. ekuazioa

$$D_1 \cdot \cos \theta_1 + d_1 \cdot \cos \theta_P - d_2 \cdot \sin \theta_P - X_G = 0$$

[4.34. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Lotura Ekuazio Geometrikoetako 4. ekuazioa

$$D_1 \cdot \sin \theta_1 + d_1 \cdot \sin \theta_P + d_2 \cdot \cos \theta_P - Y_G = 0$$

[4.35. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Lotura Ekuazio Geometrikoetako 5. ekuazioa

$$\theta_{A2} = \theta_2 - \theta_P$$

Ekuazio hauek, hasierako egoerako datu guztiak ezagutzeko erabiliko dira bakarrik, aurrerago programazioaren zatian azalduko den bezala, non D_1 , D_2 , θ_1 , θ_2 eta θ_{A2} -ren balioak ebatzen diren.

4.2.5. Lotura ekuazio zinematikoak

- DENBORAREKIKO BEHIN DERIBATUZ

Lotura ekuazio geometrikoak denborarekiko behin deribatuz gero, honako 5 ekuazio hauek lortzen dira. Hauek, aurreko kasuan egin den antzera, hasierako egoerako abiadurak kalkulatzeko bakarrik erabiliko dira, honela, \dot{D}_1 , \dot{D}_2 , $\dot{\theta}_1$, $\dot{\theta}_2$ eta $\dot{\theta}_{A2}$ -ren balioak ezagutuz.

20-24. ekuazioak

[4.35. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Lotura ekuazio geometrikoen denborarekiko lehenengo deribatuen 1. ekuazioa

$$\dot{D}_1 \cdot \cos \theta_1 - D_1 \cdot \sin \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1 - L \cdot \sin \theta_P \cdot \dot{\theta}_P - \dot{D}_2 \cdot \cos \theta_2 + D_2 \cdot \sin \theta_2 \cdot \dot{\theta}_2 = 0$$

[4.36. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Lotura ekuazio geometrikoen denborarekiko lehenengo deribatuen 2. ekuazioa

$$\dot{D}_1 \cdot \sin \theta_1 + D_1 \cdot \cos \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1 + L \cdot \cos \theta_P \cdot \dot{\theta}_P - \dot{D}_2 \cdot \sin \theta_2 - D_2 \cdot \cos \theta_2 \cdot \dot{\theta}_2 = 0$$

[4.37. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Lotura ekuazio geometrikoen denborarekiko lehenengo deribatuen 3. ekuazioa

$$\dot{D}_1 \cdot \cos \theta_1 - D_1 \cdot \sin \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1 - d_1 \cdot \sin \theta_P \cdot \dot{\theta}_P - d_2 \cdot \cos \theta_P \cdot \dot{\theta}_P - \dot{X}_G = 0$$

[4.38. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Lotura ekuazio geometrikoen denborarekiko lehenengo deribatuen 4. ekuazioa

$$\dot{D}_1 \cdot \sin \theta_1 + D_1 \cdot \cos \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1 + d_1 \cdot \cos \theta_P \cdot \dot{\theta}_P - d_2 \cdot \sin \theta_P \cdot \dot{\theta}_P - \dot{Y}_G = 0$$

[4.39. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Lotura ekuazio geometrikoen denborarekiko lehenengo deribatuen 5. ekuazioa

$$\dot{\theta}_{A2} = \dot{\theta}_2 - \dot{\theta}_P$$

- DENBORAREKIKO BI ALDIZ DERIBATUZ

Azkenik, lotura ekuazio geometrikoak denborarekiko beste behin deribatuz gero, sistema ebazteko beharrezko diren azkeneko 5 ekuazioak lortzen dira.

10. ekuazioa

[4.40. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Lotura ekuazio geometrikoen denborarekiko bigarren deribatuen 1. ekuazioa

$$\ddot{D}_1 \cdot \cos \theta_1 - 2 \cdot \dot{D}_1 \cdot \sin \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1 - D_1 \cdot \cos \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1^2 - D_1 \cdot \sin \theta_1 \cdot \ddot{\theta}_1 - L \cdot \cos \theta_P \cdot \dot{\theta}_P^2 - L \cdot \sin \theta_P \cdot \dot{\theta}_P - \ddot{D}_2 \cdot \cos \theta_2 + 2 \cdot \dot{D}_2 \cdot \sin \theta_2 \cdot \dot{\theta}_2 + D_2 \cdot \cos \theta_2 \cdot \dot{\theta}_2^2 + D_2 \cdot \sin \theta_2 \cdot \ddot{\theta}_2 = 0$$

11. ekuazioa

[4.41. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Lotura ekuazio geometrikoen denborarekiko bigarren deribatuen 2. ekuazioa

$$\ddot{D}_1 \cdot \sin \theta_1 + 2 \cdot \dot{D}_1 \cdot \cos \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1 - D_1 \cdot \sin \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1^2 + D_1 \cdot \cos \theta_1 \cdot \ddot{\theta}_1 - L \cdot \sin \theta_P \cdot \dot{\theta}_P^2 + L \cdot \cos \theta_P \cdot \dot{\theta}_P - \ddot{D}_2 \cdot \sin \theta_2 - 2 \cdot \dot{D}_2 \cdot \cos \theta_2 \cdot \dot{\theta}_2 + D_2 \cdot \sin \theta_2 \cdot \dot{\theta}_2^2 - D_2 \cdot \cos \theta_2 \cdot \ddot{\theta}_2 = 0$$

12. ekuazioa

[4.42. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Lotura ekuazio geometrikoen denborarekiko bigarren deribatuen 3. ekuazioa

$$\ddot{D}_1 \cdot \cos \theta_1 - 2 \cdot \dot{D}_1 \cdot \sin \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1 - D_1 \cdot \cos \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1^2 - D_1 \cdot \sin \theta_1 \cdot \ddot{\theta}_1 - d_1 \cdot \cos \theta_P \cdot \dot{\theta}_P^2 - d_1 \cdot \sin \theta_P \cdot \dot{\theta}_P + d_2 \cdot \sin \theta_P \cdot \dot{\theta}_P^2 - d_2 \cdot \cos \theta_P \cdot \ddot{\theta}_P - \ddot{X}_G = 0$$

13. ekuazioa

[4.43. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Lotura ekuazio geometrikoen denborarekiko bigarren deribatuen 4. ekuazioa

$$\ddot{D}_1 \cdot \sin \theta_1 + 2 \cdot \dot{D}_1 \cdot \cos \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1 - D_1 \cdot \sin \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1^2 + D_1 \cdot \cos \theta_1 \cdot \ddot{\theta}_1 - d_1 \cdot \sin \theta_P \cdot \dot{\theta}_P^2 + d_1 \cdot \cos \theta_P \cdot \dot{\theta}_P - d_2 \cdot \cos \theta_P \cdot \dot{\theta}_P^2 - d_2 \cdot \sin \theta_P \cdot \ddot{\theta}_P - \ddot{X}_G = 0$$

14. ekuazioa

[4.44. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Lotura ekuazio geometrikoen denborarekiko bigarren deribatuen 5. ekuazioa

$$\ddot{\theta}_{A2} = \ddot{\theta}_2 - \ddot{\theta}_P$$

4.3. PROGRAMAZIOA

Behin aurreko ekuazioak lortuta, hauek *Matlab*-en bidez programatzera pasa zen, programazioaren atal honetan azalduko diren beste pauso gehiagorekin batera. Modelo hau diseinatzearen helburua, eskuratutako ekuazioen bidez plataformaren portaera simulatzea da, hasierako egoerako datu guztiak kalkulatu lehendabizi, eta datu hauetako batzuk denboran hurrengo uneetarako integratuz, estatuen espazioaren teoria aplikatuz. Modu honetan denboran zehar une bakoitzeko datu guztiak ezagutu daitezke. Hau burutzeko, plataformaren posizioaren eboluzio grafikoa bideo moduan azaltzen da, honen portaeraren ulermena errazteko, eta bideoa bukatzean, berriz, zenbait datu esanguratsuren eboluzioa azter daiteke hauek denboraren aurrean irudikatzen dituzten grafikoei esker.

Aurrerago, modelo dinamikoaren programazioaren *Matlab*-eko kodigoa erakusten da, bere funtzio nagusia **Main_Plataforma** delarik. Funtzio honetan, programa osoa egituratzen da, beharrezko sarrera datuak bertan sartuz eta beste funtzioak honen barruan landuz. Kodigoa, **ANEXO-ko 1.1.** puntuan gehitu da eta **Main_Plataforma** honek eramaten duen ordenean azaltzen da, programak funtzio hau burutzeko egiten duen ibilbide bera jarraituz azalpenerako eta beste funtzioen batekin topatzerakoan hau esplikatu. Funtzio nagusi honen barruan diren beste funtzioen kodigoa erakusteko, barra batez baztertu da idatzitakoa, funtzio nagusiarena baino eskuinalderago ageriz. Bigarren maiako funtzio hauen barruan beste funtzioen bat agertzean ere, aurreko gauza bera egin da, baina maila bat eskuinerago oraindik. Honez gain, behin baino gehiagotan agertzen diren funtzioak, agertu diren lehenengo aldiak bakarrik azaltzen direla esan beharra dago, kodigoren azalpen ulerker eta egokiago batentzat.

4.3.1. Programazioaren azalpen orokorra

Lehenik eta behin, **Main_Plataforma** funtzioan mekanismoaren ezaugarriak eta hasierako egoerari buruzko oinarritzko informazioa ematen da, plataformaren masa edota **Inertzia** funtzioaren bidez kalkulaturiko inertzia tentsorea bezalako zenbait datu, beste batzuetatik abiatuz kalkulatu direlarik. Jarraian, lotura ekuazio geometrikoen baliatuz, hasierako angelu eta kableen luzera ezezagunak lortzen dira **Angeluak_eta_kableen_luzera** funtzioarekin. Era berean, **Abiadurak** funtzioarekin hasierako abiadura angeluarrak eta kableen abiadurak lortzen dira.

Datu hauek ezagunak direnean, **Dinamika** funtziora jotzen da, beharrezko indarrak kalkulatu eta sistemaren dinamiko ekuazioak erabiliz matrize bat osatuz, non ekuazioei eskainitako aurreko atalean lorturiko 1.-etik 14.-erainoko ekuazioen ezezagunekin biderkatzen diren osagaiak sartzen diren. Matrizearen errenkada bakoitzak, ordenean jarritako 14 ekuazio hauetako bakoitzari dagokio eta zutabe bakoitzak, berriz, ezezagunetako bati, hauek ere 14 izanik. Matrize hau, ezezagunak barne dituen bektore batekin bidekatzen da, eragiketa honen berdintza, aurreko ekuazioetako ezezagunekin biderkatzen ez ziren osagai ezagunekin osatzen delarik. Gauzak honela, ezezagunen bektorea askatzen da, honela, hauen balioak eskuratuz. Prozesu honen bitartez, hasierako egoerako datu guztiak ezagunak dira dagoeneko.

Honen ostean, *ode* bat erabiliz eta **Integrazioa_Plataforma** funtzioaren laguntzaz, lortutako datu hauek hurrengo uneetarako kalkulatu dira, estatuen espazioaren teorian oinarrituz, une konkretu bateko balioetatik, hurrengo unerako balioak lortuz. Ondoren,

Dinamika funtzioa *for* baten bitartez landuz, eta lortu berri dien datuez baliatuz, *ode*-aren bitartez kalkulatu ez diren azkeneko datuak kalkulatzeko dira.

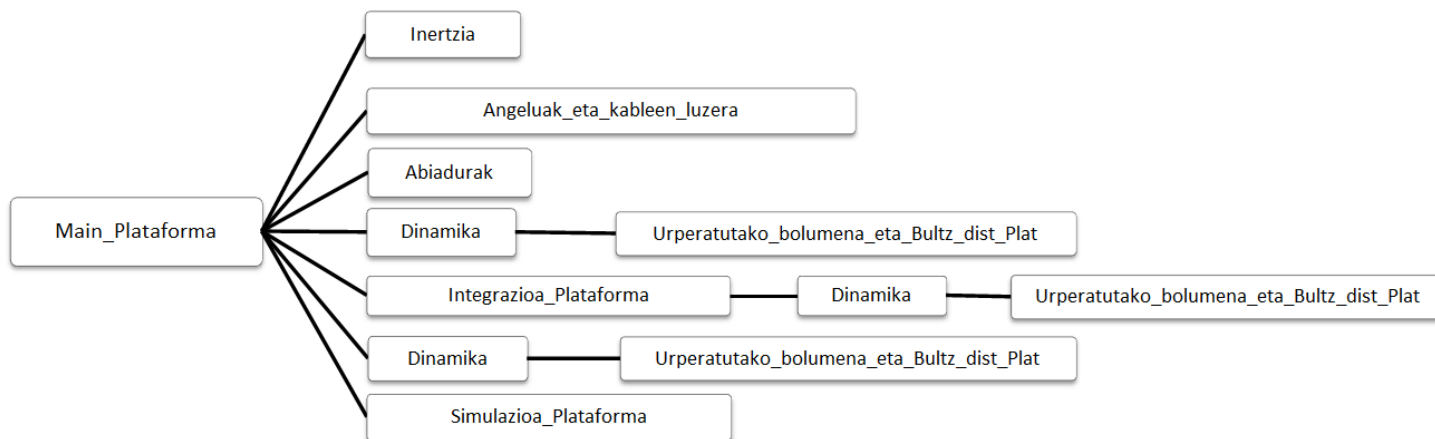
Behin erabakitako denbora tarteko une bakoitzeko datu guztiak izanda, hauen errepresentaziora pasatzen da, lehenengo pausu bezala, *for* baten bitartez, **Simulazioa_Plataforma** funtzioa eta *set* komandoa erabiliz plataformaren posizioa eta mugimenduak irudikatzen dituen mugimendudun simulazio edo bideo bat sortuz. Simulazio honen ondoren, *plot* komandoen bitartez, plataformaren portaera adierazteko eta aztertzeke esanguratsuak izan litezkeen zenbait datu, grafiko batzuetan denboraren aurrean jarriz irudikatzen dira.

Beharrezko atletan, modelo dinamikoaren funtzionamenduan arazoak antzemateko mekanismoak daude, hala nola funtzio batzuek exekutatzeko irauten duten denbora neurtzen duten *tic toc* komandoak, **Dinamika** funtzioan matrizearen heinarekin arazoak detektatzeko dituen kodigo zatia edota plataformaren gehiegizko inklinazioa antzemateko duen **Urperatutako_bolumena_eta_Bultz_dist_Plataforma** funtzioaren kodigo puska.

Azkenik, **Main_Plataforma** funtzio nagusi osoan zehar programa lantzea erosoagoa egiten duten atalak edo komandoak daudela esan beharra dago. Mugimendudun simulazioa hasteko, edota grafikoak agerrarazteko *pause* komandoak programatu dira, hauen agerpen unea erabiltzailearen eskutan jarriz. Honez gain, bideoa edota grafikoak ikustearren erabakia hartzeko aukera ematen dio erabiltzailerari, programak berak hauek exekutatzeko ala ez galdetzen duelarik. Honek, simulazio bakoitzean nahi diren datuak bakarrik ikusteko aukera ematen du, programarekin lan egitea erosoago bihurtuz. Programaren hasieran eta bukaeran, berriz, *close all* eta *clear all* komandoak daude, irekita gelditzen diren leiho guztiak ixteko.

4.3.2. Funtzioen eskema hierarkikoa

Eskema honetan, modelo dinamikoaren programazioan erabilitako funtzioen hierarkia azaltzen da, non ezkerreko funtzioek eskuinekoak barneratzen dituzten eta bertikalki beheranzko orden kronologiko bat jarrizten den. Modeloaren beste eginkizun gehiago daude, funtzio konkretu batetan integratu ez direnak, zeinak **Main_Plataforma** funtzioan programatu diren. Eginkizun hauek, ez dira eskeman agertzen, eskema honen helburua, modelo dinamikoa osatzen duten funtzio edo artxiboen antolaketa baita, programazioan jarraituriko prozedimendua ulertzeko bidean, antolamenduaren ideia bat eskainiz.



4.8.. Fig. Plataformaren modelo dinamikoa programatzeko erabilitako funtzioen eskema

4.3.3. Datuen sarrera

Datuen sarrerari dagokionez, berebizikoa da datu guztiak unitate internazionaletan bai sartu eta bai lortzen direla ere adieraztea. Atal honetan, grabitatea, grabitate zentruaren hasierako posizioa, orientazioa eta abiadura, honen kokapena plataforman, ezaugarriak, artikulazioetako marruskadura koefizienteak, itsasoa ezaugarriak eta simulazioaren luzapena ezartzen dira.

4.3.3.1. Inertzia

Funtzio honetan, plataformaren inertzia tentsorea kalkulatu da, alde batetik Steiner aplikatzeko beharrezko zentru geometrikotik grabitate zentruarainoko distantzia bektorea kalkulatu eta bestetik, kalkulatu berri den bektorearekin dagokion Steinerren inertzia tentsorea eta plataformaren zentru geometrikoarekiko inertzia tentsorea kalkulatu, bien bitartez plataformaren grabitate zentruarekiko inertzia tentsorea lortuz.

4.3.4. Hasierako egoeren kalkulua (Dinamika eta Zinematika)

Hemen, hasierako egoerako angelu guztiak eta kableen luzera kalkulatu dira lehendabizi **Angeluak_eta_kableen_luzerak** funtzioarekin. Funtzio honetan, lotura ekuazio geometrikoetatik abiatuz, lortu beharrezko angelu eta distantziak askatu dira, zeinak if baten baldintzapean dauden, distantzien zatitzaileak zero balioa hartzen dutelako angelu jakin batzuentzako, errorea emanez.

Jarraian, hasierako abiadura ezberdinen balioak eskuratzen dira **Abiadurak** izeneko funtzioarekin, zeinak aipatu berri den aurreko funtzioak bezala funtzionatzen duen, baina lotura ekuazio geometrikoen denborarekiko lehenengo deribatuen ekuazioak erabiliz. Honetan ere, if batzuen bidez baldintzatzen dira kableen abiaduren kalkulurako ekuazioak.

Datu hauek kalkulatzeko, beharrezko izango zaizkigun indar eta momentuak definitzen dira, baita eragileen eragina ere.

Behin sarrera datuak sartu direla eta **Angeluak_eta_kableen_luzerak** eta **Abiadurak** funtzioen bidez hasierako angeluak, distantziak eta abiadurak kalkulatu direla, gelditzen diren ekuazioak erabiliz eta matrize bidezko eragiketei esker dinamika aztertzetik askatu beharreko aldagaiak lortzen ditugu **Dinamika** funtzioaren bidez. Bertan, aldagaiak diren indar eta momentuak kalkulatu dira hasieran, non beste batzuen artean, **Urperatutako_bolumena_eta_Bultz_dist_Plat** erabiliz, plataformaren urperatutako bolumena kalkulatu den, honen arabera bultzada indar eta momentua kalkulatu. Horren ostean, jadanik beharrezko datuak ezagututa, aipaturiko matrizea osatu da eta honekin eginiko eragiketekin gelditzen diren aldagai ezezagun guztien balioak lortzen dira.

4.3.4.1. Angeluak_eta_kableen_luzerak

Funtzio honen bitartez, lotura geometrikoko ekuazioez baliatuz, $\theta_1, \theta_2, \theta_{A2}, D_1$ eta D_2 aldagaien balioak lortzen ditugu, alde aurretik hauek ekuazioetatik askatuz eta orden egokian kalkulatu, ekuazioetako batzuek besteen emaitzen beharra bitute ebatziak izateko. Atalaren azalpenean esan den bezala, kableen angelu konkretu batentzat, 90° dituztenerako hain zuzen ere, *if* batzuen bidez ekuazioz aldatzera bideratzen da, modu honetan ekuazioa zeroz zatitua izatea saihesteko.

4.3.4.2. Abiadurak

Abiadurak funtzioaren honen bitartez, lotura geometrikoko ekuazioen denborarekiko lehenengo deribatuz baliatuz $\dot{\theta}_1, \dot{\theta}_2, \dot{\theta}_{A2}, \dot{D}_1$ eta \dot{D}_2 aldagaien balioak lortzen ditugu, aurreko funtzioaren kasuan bezala, alde aurretik hauek ekuazioetatik askatuz eta orden egokian kalkulatu, ekuazioetako batzuek besteen emaitzen beharra bitute ebatziak izateko. Kasu honetan, berriz ere kableen angelu konkretu batentzat, 90° dituztenerako hain zuzen ere, *if* batzuen bidez ekuazioz aldatzera bideratzen da, modu honetan ekuazioa zeroz zatitua izatea saihesteko.

4.3.4.3. Dinamika

Funtzio honen hasieran, itsasoaren plataformarenganako eragina ur mailaren eta plataformaren sakoneraren arabera *if* baten bidez baldintzatzen da. Honek, plataforma uretik kanpo dagoenean bai itsasoak eragindako indar eta momentuak eta baita honekiko marruskadura koefizienteak ere nuluak bihurtzen ditu, hauen eragina deuseztatuz.

Ondoren, plataformaren urperatutako bolumena eta honen flotazio zentroa kalkulatu dira **Urperatutako_bolumena_eta_Bultz_dist_Plat** funtzioaren bitartez, zeina aurrerago azalduko den.

Honen ostean, momentu bakoitzeko ezberdinak diren zenbait indar eta momentu kalkulatu dira, horien artean aipatu berri den bultzadak sortutakoak izanik, eta ardatz bakoitzeko indar guztien eta momentu guztien batura egiten da, honela, indar eta momentu guztiak hiru aldagaien bidez errepresentatu.

Azkenik, funtzio honen atalik garrantzitsuena dena dator, matrizeen eragiketen bidezko ekuazioen ebazpena. Bertan, $A \cdot X = B$ moduko matrizeen bidezko ekuazio bat ebazten da aldagai ezezagunen balioak eskuratzeko. Kasu honetan, eragiketa honelakoa litzateke: $MAT \cdot X = EMA$. **MAT** matrizea, ekuazioen ataleko 1.-etik 14.-erainoko ekuazioetako ezezagunekin biderkatzen diren osagaiekin egituratzen da, errenkadetan ekuazioen ordena jarraituz eta zutabe bakoitzari ezezagun konkretu batekin biderkatzen izatea egokituz, zutabeek orden hau jarraitzen dutelarik: $f_2^{01}, f_1^{A1}, f_2^A, f_2^{A2}, f_1^{A2}, f_2^{02}, \dot{\theta}_1,$

$\ddot{\theta}_2$, $\ddot{\theta}_{A2}$, \ddot{D}_1 , \ddot{D}_2 , \ddot{X}_G eta \ddot{Y}_G . \mathbf{X} bektore bertikal bat da, zeinak azaldu berri diren aldagai ezezagunak orden bera jarraituz zutabe bakarrean barneratzen dituen. \mathbf{EMA} , aldiz, ekuazio hauetako osagai konstanteak gordetzen dituen zutabe bektorea da, zeinak bektorean sartu aurretik, ekuazioaren eskuineko aldera pasatu behar diren. Matrize eta bektoreak osatzean, $\mathbf{X} = \mathbf{EMA} \cdot \mathbf{MAT}^{-1}$ eragiketa eginez \mathbf{X} bektorea askatzen dugu eta honela, ezezagun guztien balioak lortzen ditugu.

Hau programatzeko, lehenik eta behin zeroz osaturiko \mathbf{MAT} matrizea sortu da eta bere osagaiak banan bana ordezkatzuz joan dira, zeroak sartzerakoan lana laburbilduz, matrizean hauen kopurua dela eta. Gero, \mathbf{EMA} bektorea osatzen da, hemen ere bere aldagaiak banaka sartuz. Behin datuak dagokieten matrize edo bektorean sartuta, aipaturiko eragiketa burutzen da, eta ebatzitako ezezagunen bektoretik, funtziotik atera nahi diren datuak definitzen dira. Matrizearen heinarekin arazoren bat izanez gero mezu bat idazteko programatu da funtzioa, honela akatsen bat izanez gero, hau errazago antzemateko.

Funtzio hau, **Main_Plataforma** funtzio nagusian behin baino gehiagotan errepikatzen da, eta baita **Integrazioa_Plataforma**-n ere, honen barneko funtzionamendua berdin izanik exekutatzen den aldi guztietan. Hori dela eta, behin azaltzearekin nahikoa da erabiltzen den hurrengo aldietan ulertzeko.

4.3.4.4. Urperatutako_bolumena_eta_Bultz_dist_Plat

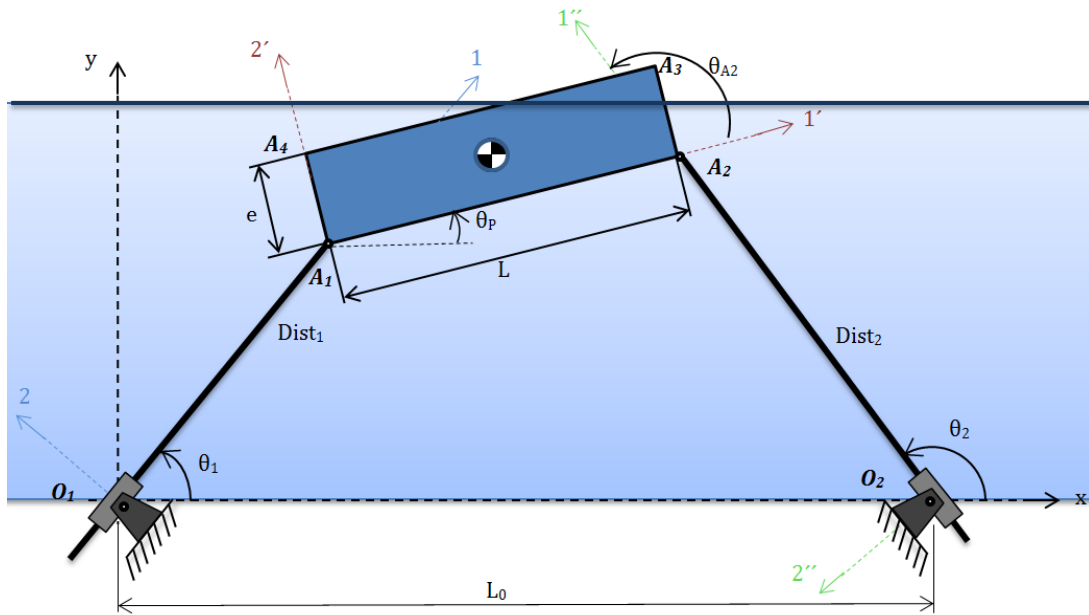
Atal honetan **Urperatutako_bolumena_eta_Bultz_dist_Plat** funtzioaz hitz egingo da, zeina **Dinamika** funtzioaren barrenean kokatzen den, hau, aldi berean **Main_Plataforma**-n behin baino gehiagotan ageriz, baita aurrerago aipatuko den bezala beste funtzioaren batetan ere.

Funtzio honek, bi eginkizun ditu: alde batetik, plataformaren urperatutako bolumena kalkulatu du, eta bestetik, urperatutako bolumen horren flotazio zentruaren koordinatuak ematen ditu, bultzadaren eragina aztertzeko ezinbesteko datuak eskainiz.

Bi eginkizun hauek betetzeko, *if* eta *else if* komandoez baliatuz, plataformaren orientazioaren eta urperatutako plataforma zatiaren geometriaren arabera kalkulatuak burutzen dira. Kalkulua erabakitzeke, lehendabizi bi bideren artean bereizten da, non plataformaren θ_p angelua ≤ -90 edo ≥ 90 bada errore mezu bat idazteko programatu den, aldi berean urperatutako bolumenari zero balioa emanez eta simulazioa zapuztuz, egoeraren funtzionalitate eza dela eta. Hala ez izanez gero, hurrengo bidegurutzera pasatzen da, non orientazio angelu positibo edo negatiboaren artean bereizten duen. Azkenik, urperatutako zatiaren geometriaren arabera bide bat edo bestea jarraitzen du sei aukera ezberdin izanez orientazio bide bakoitzeko.

Kalkuluak bizkorrago burutzeko, hasieran ur mailaren eta plataformaren punturik baxuenaren arteko distantzia bertikala kalkulatu da funtzioaren hasieran, hau h1 edo h2 izanez plataformaren orientazioaren arabera.

Jarraian, plataforma erdi urperatuta dagoen kasu bateko adibidea azaltzen da, honen urperatutako bolumena eta flotazio zentruaren kokapena kalkulatzeko jarraituriko bidea azalduz.

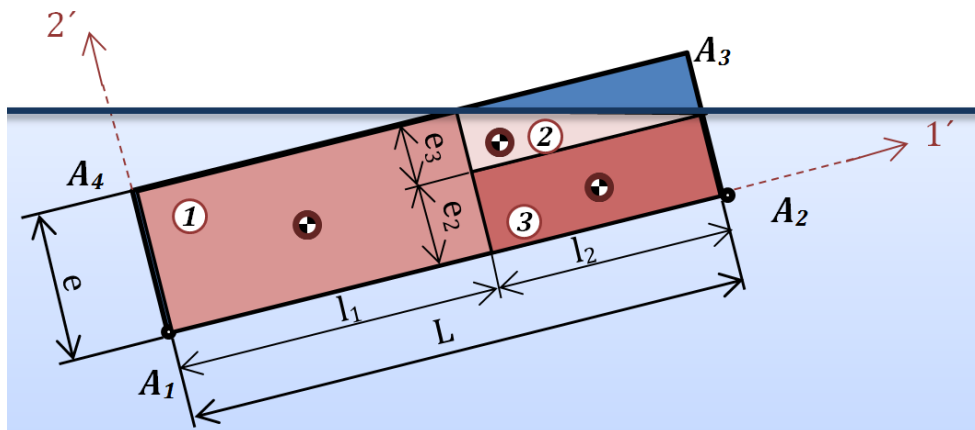


4.9.. Fig. Plataformaren urperatutako bolumenaren kalkuluko adibidea

Irudian antzematen den bezala, kasu honetan plataformak θ_p angelu positiboa du, beraz programak bide hori hartuko du. Honen ostean, geometriaren arabera bidegurutzea aurkitzen da funtzioan non hiruki itsurako erpin bakarria dagoen uretik kanpo. Geometria hau, funtzioaren ondoko *if* baldintzari dagokio:

$$\text{Sakont } \geq (XAl_y + L \cdot \sin(\text{ThetaP})) \ \&\& \ \text{Sakont } \geq (XAl_y + e \cdot \cos(\text{ThetaP})) \ \&\& \ \text{Sakont } \leq (XAl_y + L \cdot \sin(\text{ThetaP}) + e \cdot \cos(\text{ThetaP}))$$

Behin honaino iritsita, funtzioak egin beharreko kalkuluak erabakiak ditu eta hauek burutzeko, kasu honetan urperatutako bolumena hiru zatitan banatzen du, hau, bi laukizuzen eta hiruki batekin osatuz ondorengo irudian ikusten den bezala.



4.10. Fig. Plataformaren urperatutako bolumenaren kalkuluko adibidearen zatiketaren akotazioa

Programak urperatutako hiru bolumenak kalkulatzeko lehendabizi, bereizi berri diren hiru geometrien azalerari *a* sakonera biderkatuz. Hemen kalkuluak:

[4.45. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Urperatutako Bolumenaren kalkuluko 1. zatiaren bolumena

$$Vh_{1bol} = \frac{(h1 - e \cdot \cos(\Theta P))}{\sin(\Theta P)} \cdot e \cdot a$$

[4.46. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Urperatutako Bolumenaren kalkuluko 2. zatiaren bolumena

$$Vh_{2bol} = \left(L - \frac{h1 - e \cdot \cos(\Theta P)}{\sin(\Theta P)} \right) \cdot \left(\frac{h1 - L \cdot \sin(\Theta P)}{\cos(\Theta P)} \right) \cdot a$$

[4.47. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Urperatutako Bolumenaren kalkuluko 3. zatiaren bolumena

$$Vh_{3bol} = \left(L - \frac{h1 - e \cdot \cos(\Theta P)}{\sin(\Theta P)} \right) \cdot \left(e - \frac{h1 - L \cdot \sin(\Theta P)}{\cos(\Theta P)} \right) \cdot \frac{a}{2}$$

[4.45. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Urperatutako Bolumenaren kalkuluko zati guztien bolumenaren batura

$$Vh = Vh_{1bol} + Vh_{2bol} + Vh_{3bol}$$

Ur azpian den plataformaren bolumen totala kalkulatu eta gero, funtzioak aipaturiko hiru zatien grabitate zentruak kalkulatzeko dituzten hauen artean grabitate zentru orokorra aurkituz, hau da, plataformaren flotazio zentrua. Hauek kokatzeko, A_1 puntuarekiko 1'2'3' basean akotatzen dira.

[4.46. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Urperatutako Bolumenaren 1. zatiaren flotazio zentruaren 1' ardateko koordinatua

$$d1_{1bol} = \frac{h1 - e \cdot \cos(\Theta P)}{(2 \cdot \sin(\Theta P))}$$

[4.47. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Urperatutako Bolumenaren 1. zatiaren flotazio zentruaren 2' ardateko koordinatua

$$d2_{1bol} = \frac{e}{2}$$

[4.48. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Urperatutako Bolumenaren 2. zatiaren flotazio zentruaren 1' ardateko koordinatua

$$d1_{2bol} = \frac{h1 - e \cdot \cos(\Theta P)}{(2 \cdot \sin(\Theta P))} + \frac{L}{2}$$

[4.49. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Urperatutako Bolumenaren 2. zatiaren flotazio zentruaren 2'ardateko koordinatua

$$d2_2bol = \frac{h1 - L \cdot \sin(\text{Theta}P)}{(2 \cdot \cos(\text{Theta}P))}$$

[4.50. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Urperatutako Bolumenaren 3. zatiaren flotazio zentruaren 1'ardateko koordinatua

$$d1_3bol = \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{h1 - e \cdot \cos(\text{Theta}P)}{\sin(\text{Theta}P)} \right) + \frac{L}{3}$$

[4.51. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Urperatutako Bolumenaren 3. zatiaren flotazio zentruaren 2'ardateko koordinatua

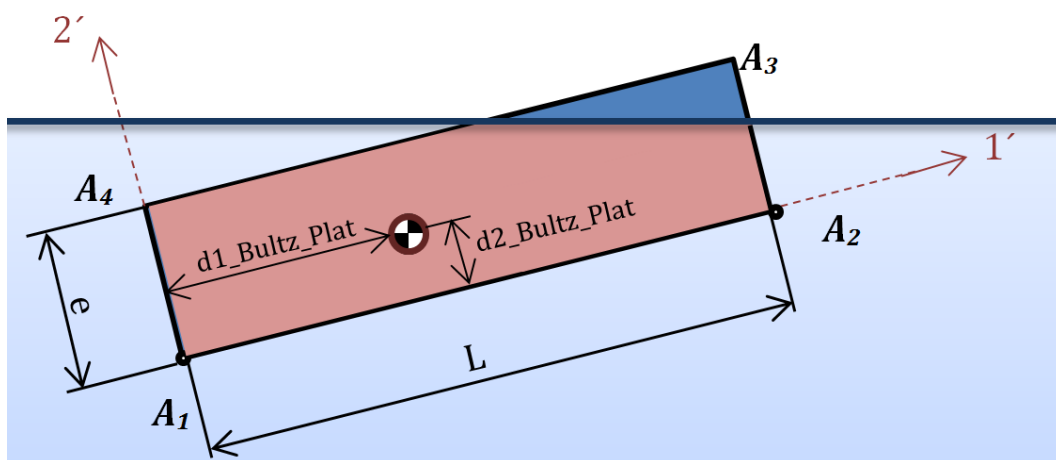
$$d2_3bol = \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{h1 - L \cdot \sin(\text{Theta}P)}{\cos(\text{Theta}P)} \right) + \frac{e}{3}$$

[4.52. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Flotazio Zentruaren 1'ardateko koordinatua

$$d1_Bultz_Plat = \frac{d1_1bol \cdot Vh_1bol + d1_2bol \cdot Vh_2bol + d1_3bol \cdot Vh_3bol}{Vh}$$

[4.53 Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Flotazio Zentruaren 2'ardateko koordinatua

$$d2_Bultz_Plat = \frac{d2_1bol \cdot Vh_1bol + d2_2bol \cdot Vh_2bol + d2_3bol \cdot Vh_3bol}{Vh}$$



4.11. Fig. Plataformaren urperatutako bolumenaren kalkuluko adibidearen flotazio zentroaren akotazioa

Modu honetan, goiko irudian antzematen den moduan, plataformaren flotazio zentroaren koordinatuak lortzen dira. Funtzioaren bukaeran, hauek XYZ basera pasatzen ditu, momentuek kalkulurako distantzia prest izanik.

Funtzio hau exekutatzeko, kalkulatu dugun urperatutako bolumena eta flotazio zentroaren X ardatzeko koordinatu absolutua ematen dizkigu, bultzadak eragindako indarra eta momentua kalkulatzeko beharrezko datuak eskainiz.

4.3.5. Datuen kalkulua denboran (Estatuen Espazioaren Teoria)

Hasierako egoerako datu guztiak kalkulatu eta gero, hauek denboran aurrera lortu behar dira, plataformaren portaera azaltzeko une bakoitzeko datu guztiak ezagutu ahal izateko. Honetarako, estatuen espazioaren teorian oinarritutako prozedura bat burutzen da non hasierako egoerako datuetatik abiatuta ondorengo uneetako kalkuluak burutzen dituen *ode* deituriko *Matlab*-eko komando bati esker.

ode honek, simulaturiko denboran zehazturiko une bakoitzeko distantziak, angeluak eta abiadurak emango dizkigu, baina azelerazioak, prozesu honen ostean birkalkulatu behar dira. Kalkulu hau, **Dinamika** funtzioa *for* baten bitartez landuz burutuko da, aipaturiko une bakoitzeko behar diren azken datuak eskuratzuz.

4.3.5.1. Integrazioa_Plataforma

Ode komandoak, **Integrazioa_Plataforma** funtzioaz baliatuz, hasierako egoeran **Dinamika** funtzioaz lorturiko datuak denboran integratzen ditu, honela hurrengo uneko abiadurak, abiadura angeluarrak, distantzien eta angeluen balioak eskuratzuz. Ondoren, une berri horretako azelerazioak kalkulatu dira, funtzio honen barrenean dagoen beste **Dinamika** funtzio bati esker, bi pausuen bitartez une berri honetako datu guztiak ezagutzuz.

Prozesu hau, **tinu** balioaren bidez maneiatzen da, zeinaren bitartez kalkulatu beharreko une kopurua eta beraien arteko denbora tartea ezartzen den, prozesuaren errepikapenak markatuz.

Azaldu berri den *ode* komando honek, **Param** moduan izendatu den hasierako egoerako datuak gordetzen dituen bektorea behar du, bere barruko prozeduretan datu hauek erabiltzeko. Honetaz aparte, *ode* komandoaren aurretik *odeset* komandoak erabiliko diren tolerantzia erlatibo eta absolutuak definitzen dituela esan beharra dago.

4.3.6. Simulazioa grafikoa

Modelo dinamiko honek sortzen dituen mugimendudun simulazioak programatzeko, **Simulazioa_Plataforma** deituriko funtzioa diseinatu da, zeinak une bakoitzeko plataformaren posizioa irudi aldakor batetan irudikatzen duen. Hau gauzatzeko, simulazioan erabili beharreko puntu eta lerroak definitzen dira, hasierako irudi finkoa irudikatzeke lehendabizi eta *for* baten bitartez mugimendudun bideoa osatzeko gero. *for* honen barrenean, aipaturiko **Simulazioa_Plataforma** funtzioa martxan jartzen da, honek mugimendudun simulazioa sortuz.

Honez gain, aipatu beharra da zati honetako kodigoaren hasieran agertzen diren *save* eta *load* komandoak, orain arte kalkulaturiko datuak gordetzeko eta kargatzeko direla. Honela, egoera ezberdinen datuak gordetzeko aukera dago *save* komandoarekin, eta atal honen eta grafikoak azaltzen dituen hurrengo atalaren bidez, *load* komandoaz kargaturiko datuak irudikatu daitezkeela.

4.3.6.1. Simulazioa_Plataforma

Funtzio honek, atalaren azalpenean esan den bezala, plataformaren mekanismoaren mugimendudun simulazio bat sortzen du. Horretarako *set* komandoaz baliatzen da, komando honek une bakoitzeko irudikatu beharreko atalen balioak egokitzen dituelarik. *set* komando honek, alde aurretik definitu diren *plot* bidez irudikatutako puntu, lerro eta *fill*-ez osaturiko ***dib*** bektorearen balioak simulatzen ditu. Bestalde, adieraztekoa da *fill* deituriko *Matlab*-en funtzioa, plataformari kolorea emateko erabili den funtzioa dela, eta kodigoaren bukaeran agertzen den *pause*-ak, berriz, simulazioaren erreproduktzio abiadura markatzen duela.

4.3.7. Grafikoak

Main_Plataforma-ren azkeneko zatia azaltzen duen atal honetan, lorturiko datu esanguratsuenak grafikoaren bidez denboraren aurrean irudikatzen dira. Horretarako, *plot* komandoez baliatzen da, honen azpi-komandoen bidez grafikoaren tamaina, eskala, tituluak, azpitituluak, etab. definituz.

4.4. FUNTZIONAMENDUAREN ADIBIDEA

Aerosorgailuaren plataformaren modelo dinamikoaren programazioa ziurtatzeko, honen ezaugarri interesgarriena aztertzea erabaki da, flotazioa. Horretarako, bultzadaren indarrak plataformari ur azalera iristerakoan eragiten dion momentua garbi antzematen den egoera bat simulatuko da.

Kapitulu honetan ez da eragileen funtzionamendua frogatuko, alde batetik indar konstante moduan bakarrik lan egiteko diseinatu direlako eta bestetik, hurrengo kapituluan frogatzea interesgarriagoa delako, orain arteko indarrez gain bestelako kanpoko indar gehiago hartzen baitira kontutan. Eragilerik gabe, plataforma aske balego bezala portatu beharko litzateke, hau da, kablerik ez balego bezala.

4.4.1. Simulazioa

Simulazio hau gauzatzeko, plataforma hasierako egoeran urpean kokatu da, bultzada indarraren eraginez ur-azalera atera beharko litekeelarik, bertan indar honek eragindako momentua aztertzei aukera emanaz. Uraren marruskaduraren funtzionatzeko era dela eta, koefiziente handiak sartu behar izan dira, hauek ez baitira plataformaren tamainaren arabera bakarrik aldatzen. Itsasoko mareek, olatuek eta korronteek eragindako indar eta momentuak, aldiz, nuluak suposatu dira, bultzadaren eragina hobeto aztertzearen.

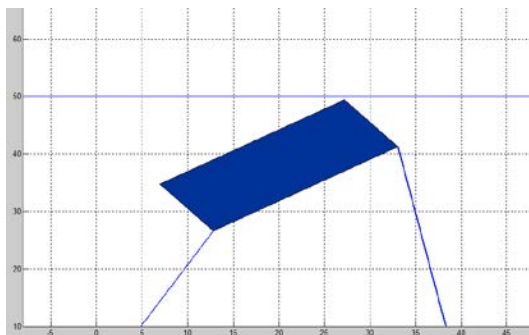
Lehentxeago aipatuz bezala, eragileei zero balioa eman zaie, plataforma kablerik gabe libreki balego bezala simulatzeko.

Plataformaren ezaugarriei dagokienez, esan beharra dago $25 \times 25 \text{ m}$ -ko oinarria duela eta 10 m -ko lodiera. Grabitate zentrua, zentru geometrikoan dago eta 670 kg/m^3 -ko dentsitatea suposatu zaio, emaitzen azterketari begira. Plataforma kokatzeko, bere grabitate zentrua X ardatzean 01 puntutik 20 m -ko distantziara kokatu da eta 38 m -ra Y ardatzean. Plataformaren angeluari dagokionez, bultzadaren momentua antzematearren $\pi/5$ balioa eman zaio. Hasierako abiadura guztiak nuluak suposatu dira. Grabitateari, orain arte egin den bezala, $9,81 \text{ m/s}^2$ balioa eman zaio. Nahiz eta balio nulua eman zaien, eragileak bata bestez 40 m -ko distantziara kokatu dira eta artikulazioei ez zaie marruskadurarik eman, kablerik gabe balego bezala izan dadin.

Itsasoari dagokionez, ur maila 50 m -tan kokatu da eta urari 1000 kg/m^3 - eman zaio. Honez gain, urak eragindako marruskaduraren koefizienteak X ardatzeko desplazamenduarena, Y ardatzeko desplazamenduarena eta ardatzeko biraketari dagokiona berdinak suposatu dira, 500.000 -ko balioa dutelarik. Hasieran esan bezala, mareek, olatuek eta korronteek eragindako indar eta momentuei zero balioa eman zaie.

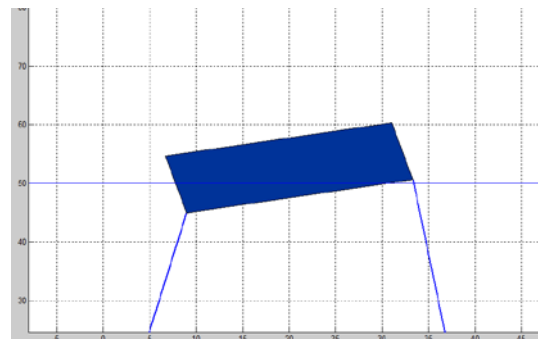
Bultzadak eragindako momentua aztertzeko, 15 seg -ko simulazioa prestatu da, non plataforma urpetik ateratzen den eta ur-azalean egonkortzen hasten den. Simulazioari, iraupen hau grafikoak hobeto ikusteko eta aztertzeko eman zaio, emaitzen ulerpenari begira.

Jarraian, simulazioko bideoaren lau irudi erakusten dira, simulazioaren ideia bat egitearren, non plataforma urpean, uretik ateratzen, urpera itzultzen eta ur-azalean egonkortzen hasten ikus daitekeen.



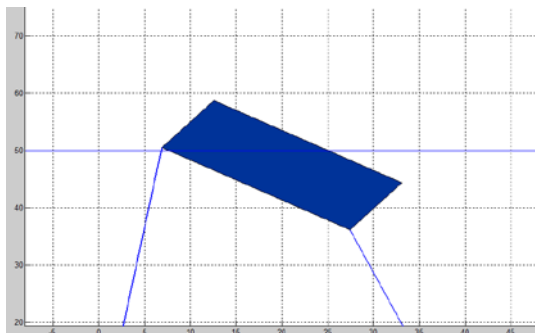
4.12. Fig. Plataformaren simulazioa: 1. Irudia.

(0. seg)



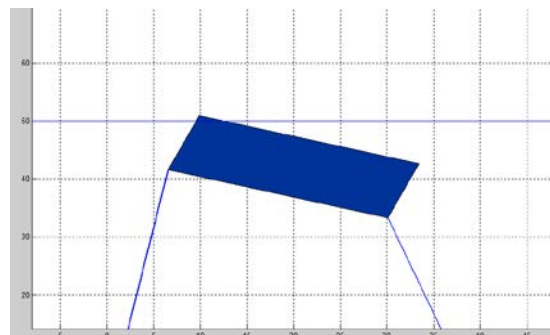
4.13. Fig. Plataformaren simulazioa: 2. Irudia

(3. seg)



4.14. Fig. Plataformaren simulazioa: 3. Irudia

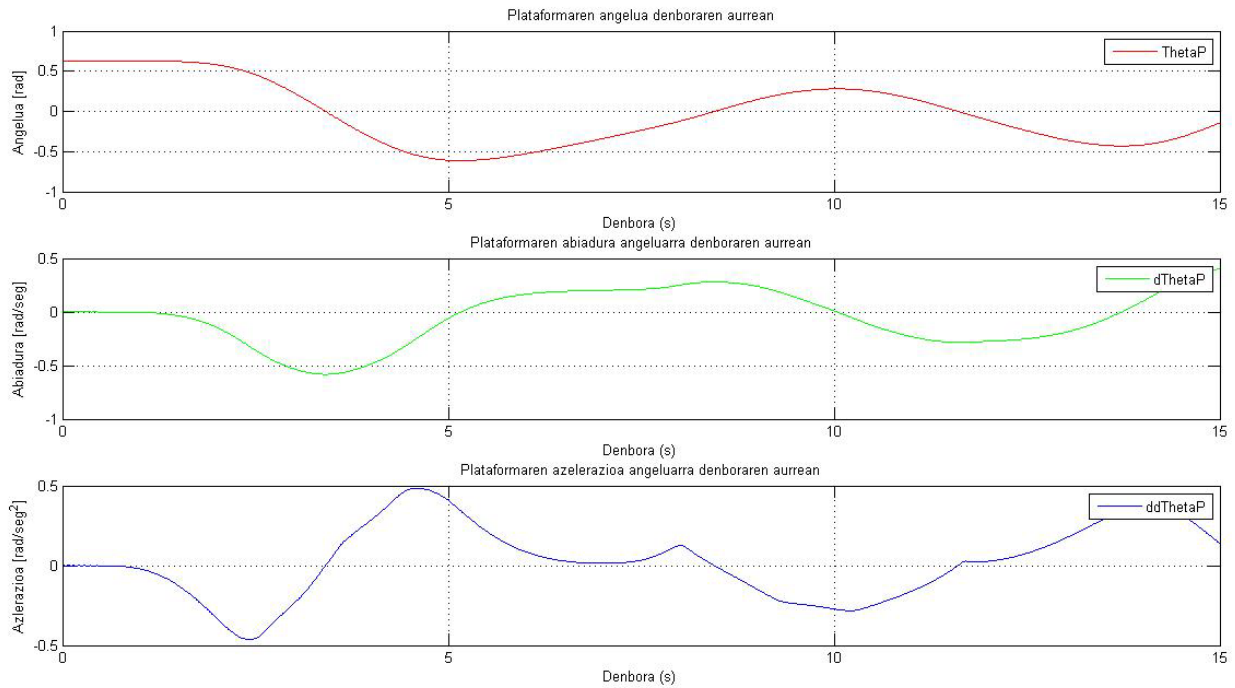
(0. seg)



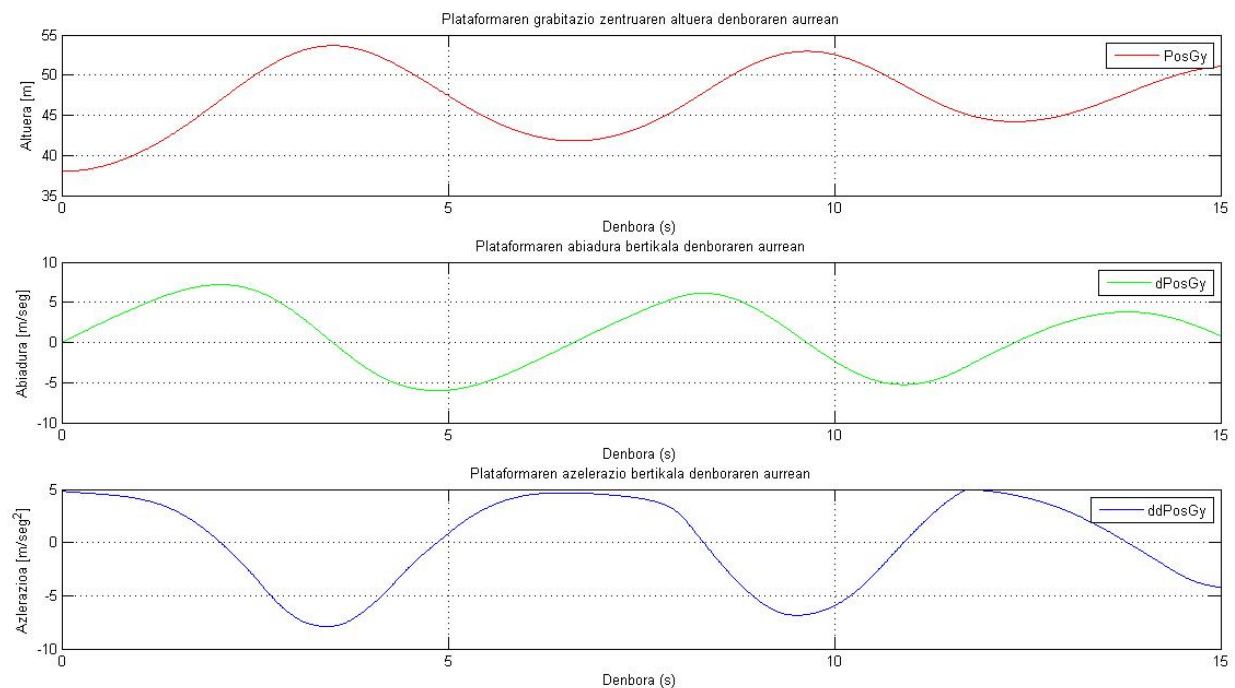
4.15. Fig. Plataformaren simulazioa: 4. irudia

(3. seg)

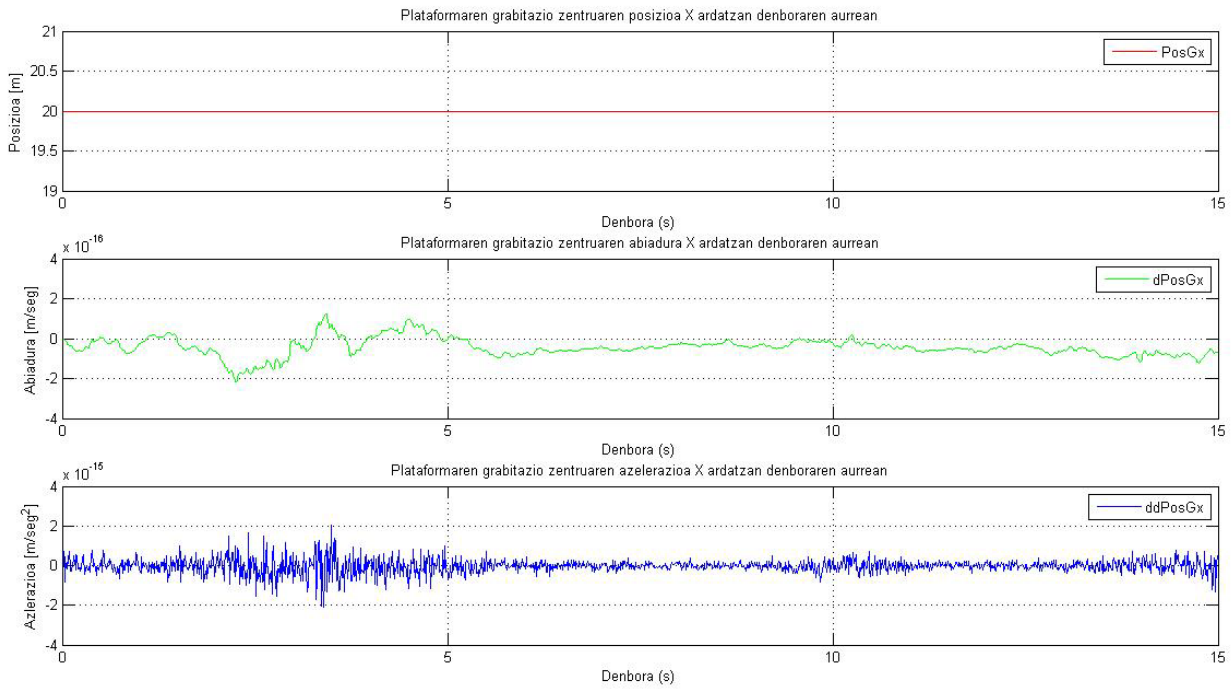
Simulazio honek, ondorengo grafikoak sortzen ditu non $\theta_P, \dot{\theta}_P, \ddot{\theta}_P, Y_G, \dot{Y}_G, \ddot{Y}_G, X_G, \dot{X}_G, \ddot{X}_G$ eta M_{zT} denboraren aurrean irudikatzen diren, datu hauek aztertzeko eta konparatzeko aukera emanez.



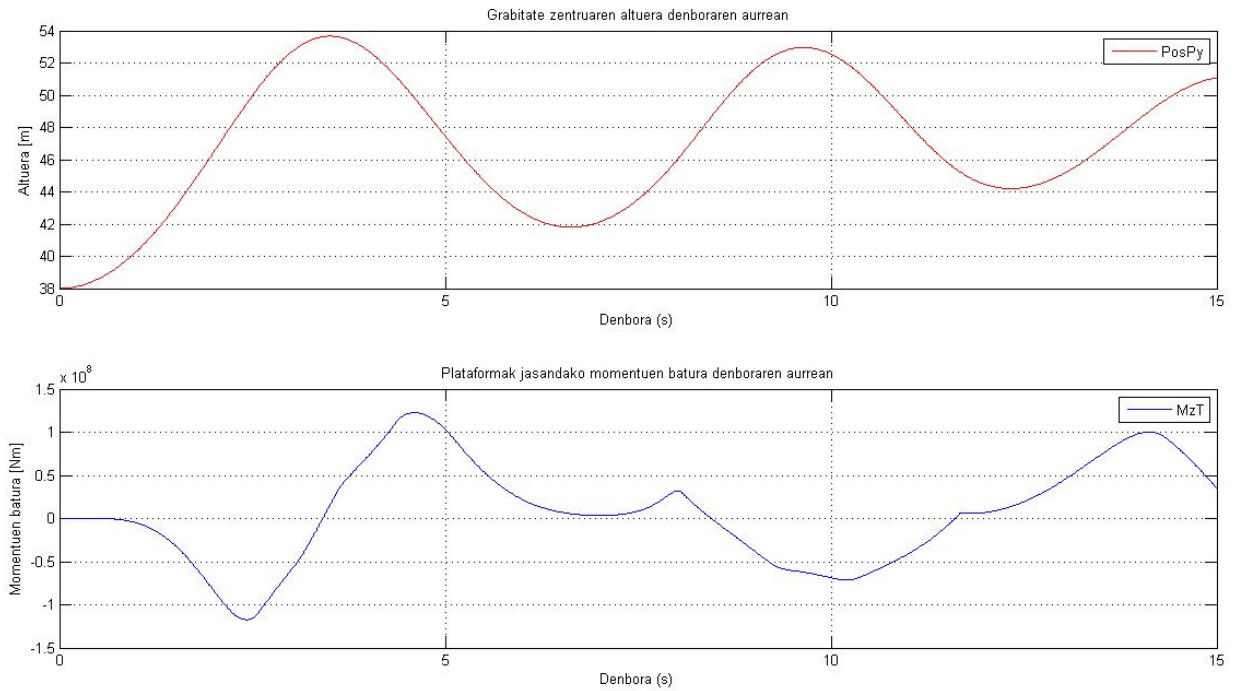
4.16. Fig. Plataformaren simulazioa: Plataformaren angelua, abiadura angeluarra eta azelerazio angeluarra denboraren aurrean.



4.17. Fig. Plataformaren simulazioa: Plataformaren grabitate zentruaren altuera, abiadura eta azelerazio Y ardatzean denboraren aurrean.



4.18. Fig. Plataformaren simulazioa: Plataformaren grabitate zentruaren posizioa, abiadura eta azelerazio X ardatzean denboraren aurrean.



4.19. Fig. Plataformaren simulazioa: Plataformari eragiten dioten kanpoko momentuen batura eta grabitate zentruaren altuera denboraren aurrean

4.4.2. Emaidzen analisiak

Atal honetan, simulazioko emaitza diren grafikoak azaldu eta aztertuko dira. Lehenengo grafiko multzoari dagokionez, plataformaren orientazioa lantzen duen grafikoan, angelua pixkanaka zerorantz egonkortzen doala antzeman daiteke, hau marruskaduraren eragina izanik. Balioek zeroren inguruan duten oszilazioa, berriz, bultzadak plataforma biratzeagatik ematen dira. Abiadura angeluarraren grafikoan, hirugarren segundo inguruan ur-azalera iristean bultzadak eragindako momentua dela eta plataformak abiadura bat hartzen du, zeina murriztu eta zeinuz aldatuko den uretara sartzerakoan biraketa eta bultzadaren eraginez. Azelerazio angeluarren grafikoan, bestalde, aurretik aipaturiko bultzadak eragindako momentuen eragina antzematez gain, urperatutako bolumenaren aldaketak ere antzeman daitezke, plataformaren erpinetako bat uretik atera edo sartzerakoan azelerazio aldaketa bortitzagoak emanez, 7. eta 12. segundoen inguruan antzeman daitekeen bezala. Honez gain, plataformaren orientazioaren arabera momentuak eragindako orientazio aldaketarako joerak ikus daitezke, hala nola 2,5. edota 4,5. segundoen inguruan.

Plataformaren grabitate zentruaren altuera eta honen abiadura eta azelerazio aldaketa bertikalak aztertzen dituen grafiko multzoan, plataformaren ur-azalera zanko egonkortzea antzeman daiteke, altuera 50 m-tan dagoen ur-maila baino beheagoko altueran egonkortzen doalarik. Abiadura ere murriztuz doala ikusi daiteke, zeroaren inguruan oszilatuz. Azelerazioan, aldiz, bultzadaren eragina atzematen da, non plataformak jasandako bultzada indarra plataformaren orientazioaren arabera ezberdina den, grabitate zentrua ur-mailatik gehiago edo gutxiago altxatuz. Eragin hau, plataforma ur-azalean dagoenean ikus daiteke, urperatzerakoan ez bezala, gutxi gora behera era berean portatzen baita.

Grabitate zentruaren X ardatzeko posizioa, abiadura eta azelerazioa aztertzen dituen grafiko multzoan garbi ikusten da ez dela ardatz honetan mugitzen, bere grabitate zentruarekiko biratzen baitu, mugimendu bakarra Y ardatzean izanez. Abiaduraren eta azelerazioaren grafikoetan, nahiz eta grafikoan alterazioak ageri, hauek oso txikiak dira, beraz zeroan mantentzen direla suposatu dezakegu.

Azkeneko grafiko multzoan, plataformak jasandako kanpoko momentuak aztertze dira, hondoan honen grabitate zentruaren altuera erakutsiz, simulazioaren uneaz orientatzeko. Momentuen grafikoak, lehenengo multzoko azelerazio angeluarren grafikoaren itsura bera du, momentu honek zuzenki eragiten baitio azelerazioari. Lehen esan bezala, urperatutako bolumenaren aldaketak antzeman daitezke, plataformaren erpinetako bat uretik atera edo sartzerakoan momentu aldaketa bortitzagoak emanez, 7. eta 12. segundoen inguruan antzeman daitekeen bezala. Bestalde, plataformaren orientazio aldaketa ere argi ikusi daiteke, hau gertatzean flotazio zentroa alde batetik bestera pasatzen baita eta bultzadak flotazio zentroan eragiten duenez, momentuaren orientazioa ere aldatzen da. Aldaketa hau, nola gertatzen den ikusi daiteke, batzuetan era pasatuan gertatuz, 12. segundo inguruan bezala, eta besteetan modu bortitzago batetan, 4. segundo aldera bezala.



4.5. ONDORIOAK

Behin simulazioa gauzatu dela eta emaitzak analizatu direla, modeloaren funtzionamendua egokia dela esan daiteke, edo flotazioaren atalak behintzat itxuraz akatsik ez duela pentsa daiteke, bultzadak plataformarengan eragindako efektua eta honen erantzuna koherenteak baitira. Uraren marruskadurak ere ongi lan egiten duenaren ondoriora iritsi da, nahiz eta simulatutako adibidean eragin nabarmena ez izan, energia kontsumitzen zuela ikus zitekeelako, solidoaren altueraren eta abiaduraren oszilazioak txikituz.

Gauzak honela, printzipioz modeloa ontzat eman dezakegu honekin hurrengo fasera pasatuz, non landu den plataformaren modelo dinamikoa honi aerosorgailu eta boia sinplifikatu batzuk gehituko zaizkion, plataforma lanean arituko litzatekeen egoera errealago bat simulatzearen helburuarekin.

5. AEROSORGAILUAREN SISTEMA OSOAREN MODELO DINAMIKOA

5.1. SARRERA

Aerosorgailuaren sistema osoaren modelo dinamikoa deituriko kapitulu honetan, proiektu honen helburua den modelo dinamikoaren deskribapena, azalpenak, kalkuluak eta programazioa azalduko dira, bukaeran, honen funtzionamenduaren azterketa bat egingez. Atal honetan, modelo dinamikoa ez dela berritik sortuko azaltzea garrantzitsua da, orain arteko beste kasuetan ez bezala, aurreko kapitulan diseinaturiko plataformaren modelo dinamikoaz baliatuko baita, eraldaketa batzuen bidez lortu nahi den azken modelora iristeko. Honek, aurreko programaren bigarren bertsio moduko bat bilakatzen du hau, eta hori dela eta, atal asko ez dira berriro ez azalduko ezta kalkulatu edo programatu ere, aurreko kapitulan egingo baitaude. Lanaren zati hau plataforma simulatzen duen programaren eraldaketetan oinarrituko da, modelo batetik bestera dauden ezberdintasunak edo aldaketak esplikatuz eta gehitu beharreko datu edo atalak azalduz.

Lan osoan egin den bezala, modelo honetan ere bi dimentsiotan lan egingo da eta aurreko kasuko sinplifikazio eta muga guztiak, honetarako ere aplikatuko dira, hala nola, itsasoaren ur-maila, bere sistemarenganako eragina edo eragileen indarra edo portaera konstantea.

Modelo hau, proiektuko azken modeloa da eta beraz Nafarroako Unibertsitate Publikoko Kontrol eta Automatika saileko jendeak kontrolatzeko diseinaturikoa, zeinaren bidez offshore aerosorgailu baten plataformaren kontrolerako algoritmoak frogatu ahal izango dituzte.

5.1.1. Azalpen orokorra eta arazoari aurre egiteko planteamendua

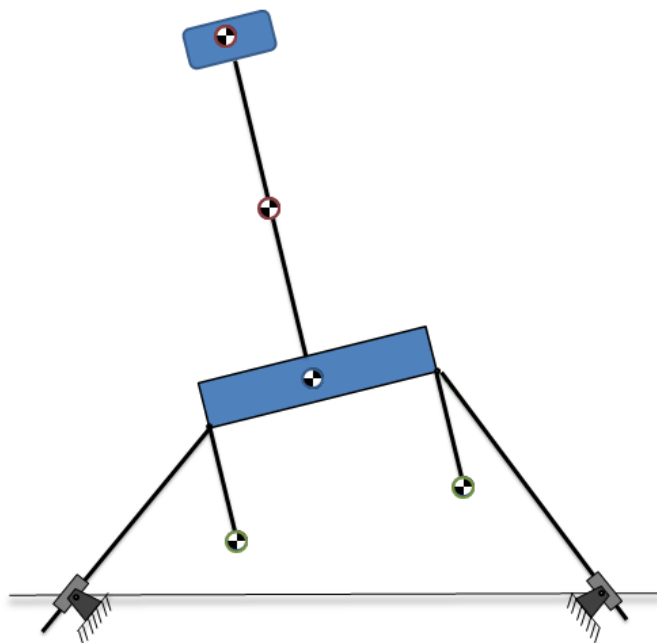
Aerosorgailuaren sistema osoa esaterakoan, zati honetan landuko den mekanismoaz hitz egiten da, zeinak aurreko plataforma eta bi klabez gain, aerosorgailu bat eta bi boia barne hartzen ditu. Aerosorgailua, honen dorreak eta gondolak osatzen dute, biak ere masa puntual modura simulatu direlarik. Era berean, boiak ere masa puntual gisa hartu dira kontutan.

Boiak, sistema osoa flotaraztearen erantzule nagusiak dira, plataformaren urperatutako bolumenarekin batera aerosorgailua uretik kanpo kontzearen ardura dutelarik. Hauek, bultzada konstantea jasaten dute ur azpian diren bitartean, honen izaerak dakartzkien sinplifikazioekin. Boiek, beren pisuarekin ere beheranzko indar bertikal baten bidez eragiten dute mekanismoarengan.

Plataformaren gondolak eta dorreak, era berean, beren pisuarekin eragiten diote sistemari, hau egoera desegonkor ia konstante batetan murgilduz, plataformaren inklinazioa horizontala ez denean pisuek sistema osoa birarazten duten momentuak sortzen baitituzte. Grabitateak sorturiko indarren bidez eragiteaz gain, dorrean eta gondolan haizearen eragina simulatzen duten indar konstanteak kokatu dira, zeinak naiz

eta oso errealistak ez izan, aerosorgailuaren lan egoera bat simulatzeko erabilgarriak izan daitezke.

Aerosorgailuaren atalak eta boiak, masa gabeko barra batzuen bidez lotzen dira plataformara, hauek kalkuluetan kontutan hartu ez direlarik.



5.1.. Fig. Aerosorgailuaren plataformaren sistema osoa

5.2. EKUAZIOAK ETA ESKUZKO KALKULUAK

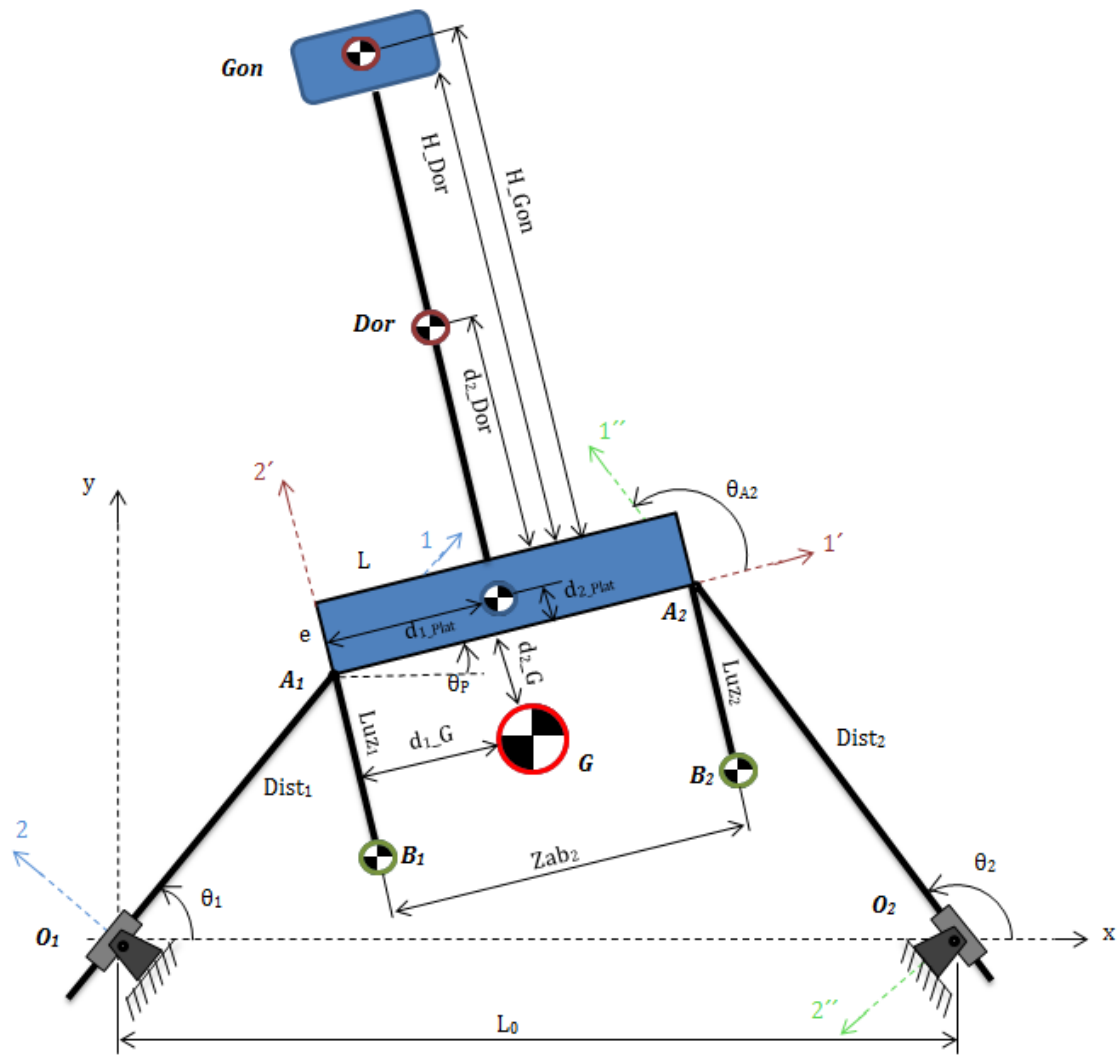
Ekuazioei eskaintako atala honetan, aurreko modeloaren berdina diren ekuazioak berrerrakustez gain, honekiko egindako datuen aldaketak eta datu berrien gehitzea azalduko da. Honetaz aparte, sistema hau ebazteko kalkulaturiko ekuazio eta aldagai berriak ere deskribatuko dira.

Sarreran aipatu den bezala, modelo hau aurrekoa eraldatzetik sortzen da, inertzia tentsorea, grabitate zentrua eta osagai berriek eragindako indar eta momentuak direlarik batetik bestera egin diren aldaketa nagusiak. Honez gain, aerosorgailua eta boiak deskribatzeko beharrezko datuak gehitu behar izan dira, baita hauen eragina kalkulatu ere inertzia edo grabitate zentrua bezalako datuengan.

Sistema hau definitzeko datuetan egin diren aldaketei dagokienez, osagai berri guztien grabitate zentruak $1'2'3'$ basean $A1$ -etikiko akotatu dira eta plataformaren grabitate zentrua ere, besteen akotazioaren nomenklatura berera pasatu da. Gondolaren eta dorrearen altuerak ere definitu dira, eta boien sakonera eta plataformarekiko kopapena ere bai. Aipaturiko aldaketekin, datuak honela gelditzen dira: d_{1_Plat} eta d_{2_Plat} plataformaren grabitate zentruaren $A1$ -etikiko koordenatu berriak dira, d_{1_Gon} eta d_{2_Gon} aerosorgailuaren gondolarenak, d_{1_Dor} eta d_{2_Dor} aerosorgailuaren dorrearenak, d_{1_B1} eta d_{2_B1} boiarenak eta d_{1_B1} eta d_{2_B1} , berriz, 2. Boiarenak. Honez gain, H_{Gon} eta H_{Dor} gondolaren eta dorrearen altuerak dira, Luz_1 eta Luz_2 boien plataformarekiko urperatutako distantzia $1'2'3'$ basean eta Zab_1 eta Zab_2 -k azkenik, boien $A1$ -etikiko $1'$ ardatzeko kokapena deskribatzen dute.

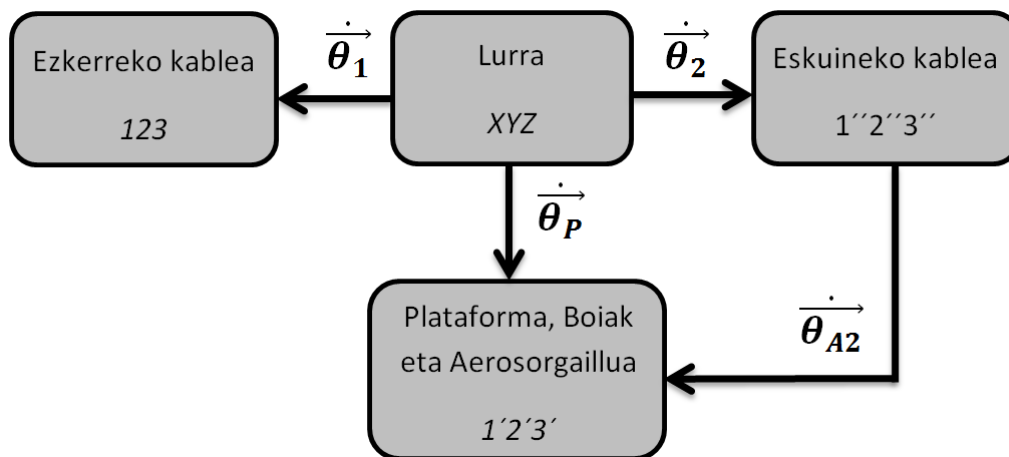
Solido berri guztien masak ere definitu dira, eta plataformarena besteen nomenklaturara egokitu da. Masa gehiagoren presentziak, **Grabitate_Zentrua** bezala izendaturiko funtzioaren programazioa bultzatu du, zeinak sistema osoaren grabitate zentrua kalkulatzeko duen. Bestalde, **Inertzia** funtzioa ere egokitu behar izan da, orain masa puntual berriak kontutan hartuz inertzia tentsorea kalkulatzeko. Datu berri hauek honakoak dira: M_{Plat} plataformaren masa da, M_{Gon} gondolarena, M_{Dor} dorrearena, M_{B1} 1. boiarena eta M_{B2} 2. boiarena. d_{1_G} eta d_{2_G} sistemaren grabitate zentruaren koordinatuak dira **A1** puntuarekiko akotatuak eta M_{TOT} sistema osoaren masa da.

Sistemari eragiten dioten kanpoko indar eta momentuen gaia erabat aldatu da aurreko kasutik hona. Alde batetik, orain osagai berri guztien pisua kontutan hartu behar dira eta hauek, lehen ez bezala, sistemaren grabitate zentruan ez eragitean momentuak sortzen dituzte, plataformaren pisua barne. Bestalde, boiek jasandako bultzada eta hauen urarekiko marruskadura ere jokoan sartzen dira, sistema oraindik ere desegonkorragoa bihurtuz eta oreka egoera batetan bere kabuz mantentzea ia ezinezkoa eginez. Plataformaren marruskadura indarrak ere berriz nomenklatura egokira pasatu dira. Azkenik, aerosorgailuak dorrean eta gondolan jasaten dituen haizearen indar puntualak daude, non eragileen lanik gabe sistema uretara irauli oi duten. Indar hauek guztiak honela izendatu dira: P_{Plat} , P_{Dor} , P_{Gon} , P_{B1} eta P_{B2} sistemaren osagaien pisuak dira orain arteko izendapena jarraituz, **Bultz_{B1}** eta **Bultz_{B2}** boien bultzada indarrak dira eta $F_{mX_{B1}}$, $F_{mX_{B2}}$, $F_{mY_{B1}}$ eta $F_{mY_{B2}}$ hauen marruskadurak eragindako indarrak dira. $F_{mX_{Plat}}$ eta $F_{mY_{Plat}}$ plataformaren marruskadura indarrak dira, nomenklatura egokian adierazita, eta **Bultz_{Plat}** honek jasandako bultzada. $F_{x_{Haizea_{Gon}}}$, $F_{x_{Haizea_{Dor}}}$, $F_{y_{Haizea_{Gon}}}$ eta $F_{y_{Haizea_{Dor}}}$, berriz, aerosorgailuaren bi puntuetan eragiten duten haizeak eragindako indarrak dira.



5.2. Fig. Aerosorgailuaren plataformaren sistema osoaren akotazioa

Sistema honek, nahiz eta osagai berriak sartu izan, hiru base izaten jarraitzen du, hauek Ezkerreko kablea, Eskuineko kablea eta Plataforma, Boiak eta Aerosorgailua bezala izendatu direlarik. Gorputz hauetako bakoitza, base batean dago, non ezkerreko kablea 123 basean dagoen, eskuineko kablea 1''2''3'' basean eta plataforma, boiak eta aerosorgailua aldiz, 1'2'3'-an, erreferentzia inertziala XYZ basean lurra izanik.



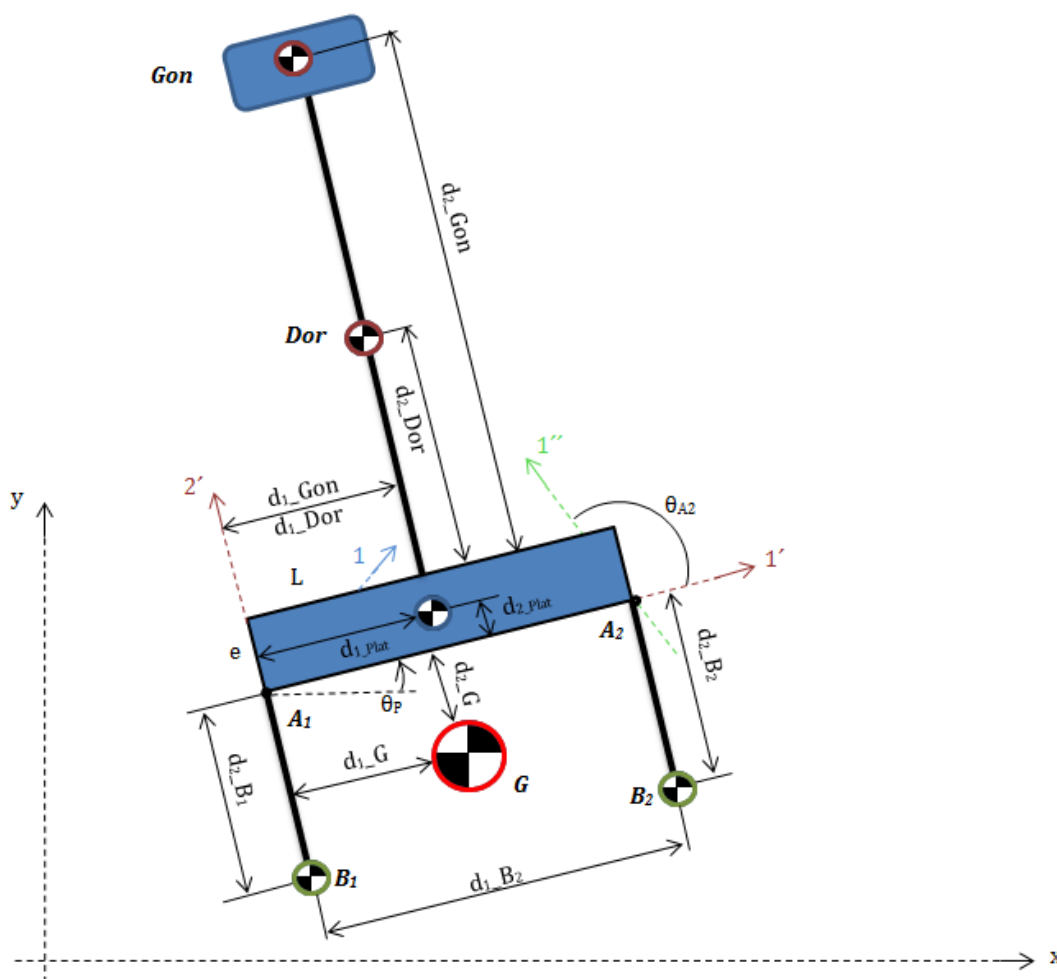
5.3. Fig. Aerosorgailuaren sistema osoaren orientazio diagrama

Jarraian, modelo hau plataforma hutsa kontutan hartzen duen modelo dinamikoarengandik ezberdintzen duen kalkuluak burutuko dira, hemen kalkulaturiko ekuazio, aldagai eta konstanteak ezik beste guztiak aurreko modelotik mantentzen direlarik. Programaren lehenengo bertsioiko kalkulu eta ekuazioak ez dira atal honetan berriro azalduko, hauen demostrazioak eta azalpenak dagoeneko aurreko kapituluan baitaude. Ekuazio hauek, atalaren hasieran ezarritako nomenklaturan eta orain kalkulatuak diren datuetan bakarrik ezberdindu dira.

Ekuazio berri hauen eta aurreko modelotik mantendutakoenen artean, aurreko kapituluko ezezagun berak eta honetan gehiturikoak ezagutzea da kalkuluaren helburua. Gehitu diren datu berrien gehiengoak datu ezagunak dira, ezezagunak direnak jarraian kalkulatuak direlarik.

5.2.1. Grabitate zentrua

Kasu honetan masa bat baino gehiago daudenez, ekuazioak kalkulatzeko grabitate zentrua kalkulatu behar da. Hau kalkulatzeko, solido bakoitzaren koordinatuak bere masarekin biderkatu eta hauen guztien batura masa totalaz zatituz lortzen da, zentru hau, solidoen masaren eta hauen kokapenaren arabera izanik. Grabitate zentruaren koordinatuak **A1** puntuarekiko akotatuak dira eta 1'2'3' basean daude.



5.4. Fig. Aerosorgailuaren plataformaren sistema osoaren grabitate zentruaren akotazioa

[5.1. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Sistema osoaren masa totala

$$M_{TOT} = M_{Plat} + M_{Dor} + M_{Gon} + M_{B1} + M_{B2}$$

[5.2. Ek.] – Sistemaren grabitate zentruaren A1-ekiko 1' ardatzeko koordinatua

$$d_{1_G} = \frac{d_{1_{Plat}} \cdot M_{Plat} + d_{1_{Dor}} \cdot M_{Dor} + d_{1_{Gon}} \cdot M_{Gon} + d_{1_{B1}} \cdot M_{B1} + d_{1_{B2}} \cdot M_{B2}}{M_{TOT}}$$

[5.3. Ek.] – Sistemaren grabitate zentruaren A1-ekiko 2' ardatzeko koordinatua

$$d_{2_G} = \frac{d_{2_{Plat}} \cdot M_{Plat} + d_{2_{Dor}} \cdot M_{Dor} + d_{2_{Gon}} \cdot M_{Gon} + d_{2_{B1}} \cdot M_{B1} + d_{2_{B2}} \cdot M_{B2}}{M_{TOT}}$$

5.2.2. Inertzia

Grabitate zentruaren kasuan bezala, masa bat baino gehiago daudenez aurreko modeloaren inertzia tentsorearen kalkuluak ez du balio. Beraz, atal honetan solido guztien inertzia tentsoreak kalkulatu dira, bakoitzari dagokion Steinerren matrizearekin, sistemaren grabitate zentruan kalkulatzeko interesatzen baitzaigu. Azkenik, plataforma eta honi gehitu zaizkion osagaiek osaturiko blokearen inertzia tentsorea kalkulatu da, osatzen duten solido guztien inertzia tentsoreak gehituz.

PLATAFORMAREN INERTZIA TENSOREA

Tentsore hau osatzeko, plataformaren inertzia tentsorea bere grabitate zentruan kalkulatu da lehendabizi, eta honi Steinerren matrizea gehitzen zaio, honela sistemaren grabitate zentruarekiko plataformaren inertzia tentsorea lortuz.

[5.4. Ek.] – Sistemaren grabitate zentruan kalkulaturiko plataformaren inertzia tentsorea

$$[I_G(Plat)]_{1'2'3'} = \begin{bmatrix} \frac{M_{Plat} \cdot (e^2 + a^2)}{12} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{M_{Plat} \cdot (L^2 + a^2)}{12} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{M_{Plat} \cdot (e^2 + L^2)}{12} \end{bmatrix}_{1'2'3'} +$$

$$+ M_{Plat} \cdot \begin{bmatrix} (d_{2_G} - d_{2_{Plat}})^2 & -(d_{1_G} - d_{1_{Plat}}) \cdot (d_{2_G} - d_{2_{Plat}}) & 0 \\ -(d_{1_G} - d_{1_{Plat}}) \cdot (d_{2_G} - d_{2_{Plat}}) & (d_{1_G} - d_{1_{Plat}})^2 & 0 \\ 0 & 0 & (d_{1_G} - d_{1_{Plat}})^2 + (d_{2_G} - d_{2_{Plat}})^2 \end{bmatrix}_{1'2'3'}$$

DORREAREN INERTZIA TENTSOREA

Dorrearen inertzia tentsorea lortzeko, eta baita ondorengo solidoena ere, Steinerren matrizearekin nahiko izanen da, hauek denak masa puntual bezala sinplifikatu baitira eta beraz, ez dute plataformaren kasuan bezala bere grabitate zentruarekiko inertzia tentsorerik.

[5.5. Ek.] – Sistemaren grabitate zentruan kalkulaturiko dorrearen inertzia tentsorea

$$[I_G(Dor)]_{1'2'3'} =$$

$$= M_{Dor} \cdot \begin{bmatrix} (d_{2_G} - d_{2_{Dor}})^2 & -(d_{1_G} - d_{1_{Dor}}) \cdot (d_{2_G} - d_{2_{Dor}}) & 0 \\ -(d_{1_G} - d_{1_{Dor}}) \cdot (d_{2_G} - d_{2_{Dor}}) & (d_{1_G} - d_{1_{Dor}})^2 & 0 \\ 0 & 0 & (d_{1_G} - d_{1_{Dor}})^2 + (d_{2_G} - d_{2_{Dor}})^2 \end{bmatrix}_{1'2'3'}$$

GONDOLAREN INERTZIA TENTSOREA

[5.6. Ek.] – Sistemaren grabitate zentruan kalkulaturiko gondolaren inertzia tentsorea

$$[I_G(Gon)]_{1'2'3'} =$$

$$= M_{Gon} \cdot \begin{bmatrix} (d_{2_G} - d_{2_{Gon}})^2 & -(d_{1_G} - d_{1_{Gon}}) \cdot (d_{2_G} - d_{2_{Gon}}) & 0 \\ -(d_{1_G} - d_{1_{Gon}}) \cdot (d_{2_G} - d_{2_{Gon}}) & (d_{1_G} - d_{1_{Gon}})^2 & 0 \\ 0 & 0 & (d_{1_G} - d_{1_{Gon}})^2 + (d_{2_G} - d_{2_{Gon}})^2 \end{bmatrix}_{1'2'3'}$$

1. BOIAREN INERTZIA TENTSOREA

[5.7. Ek.] – Sistemaren grabitate zentruan kalkulaturiko 1. boiaren inertzia tentsorea

$$[I_G(B1)]_{1'2'3'} =$$

$$= M_{B1} \cdot \begin{bmatrix} (d_{2_G} - d_{2_{B1}})^2 & -(d_{1_G} - d_{1_{B1}}) \cdot (d_{2_G} - d_{2_{B1}}) & 0 \\ -(d_{1_G} - d_{1_{B1}}) \cdot (d_{2_G} - d_{2_{B1}}) & (d_{1_G} - d_{1_{B1}})^2 & 0 \\ 0 & 0 & (d_{1_G} - d_{1_{B1}})^2 + (d_{2_G} - d_{2_{B1}})^2 \end{bmatrix}_{1'2'3'}$$

2. BOIAREN INERTZIA TENTSOREA

[5.8. Ek.] – Sistemaren grabitate zentruan kalkulaturiko 2. boiaren inertzia tentsorea

$$[I_G(B2)]_{1'2'3'} =$$

$$= M_{B2} \cdot \begin{bmatrix} (d_{2_G} - d_{2_{B2}})^2 & -(d_{1_G} - d_{1_{B2}}) \cdot (d_{2_G} - d_{2_{B2}}) & 0 \\ -(d_{1_G} - d_{1_{B2}}) \cdot (d_{2_G} - d_{2_{B2}}) & (d_{1_G} - d_{1_{B2}})^2 & 0 \\ 0 & 0 & (d_{1_G} - d_{1_{B2}})^2 + (d_{2_G} - d_{2_{B2}})^2 \end{bmatrix}_{1'2'3'}$$

INERTZIA TENSORE TOTALA

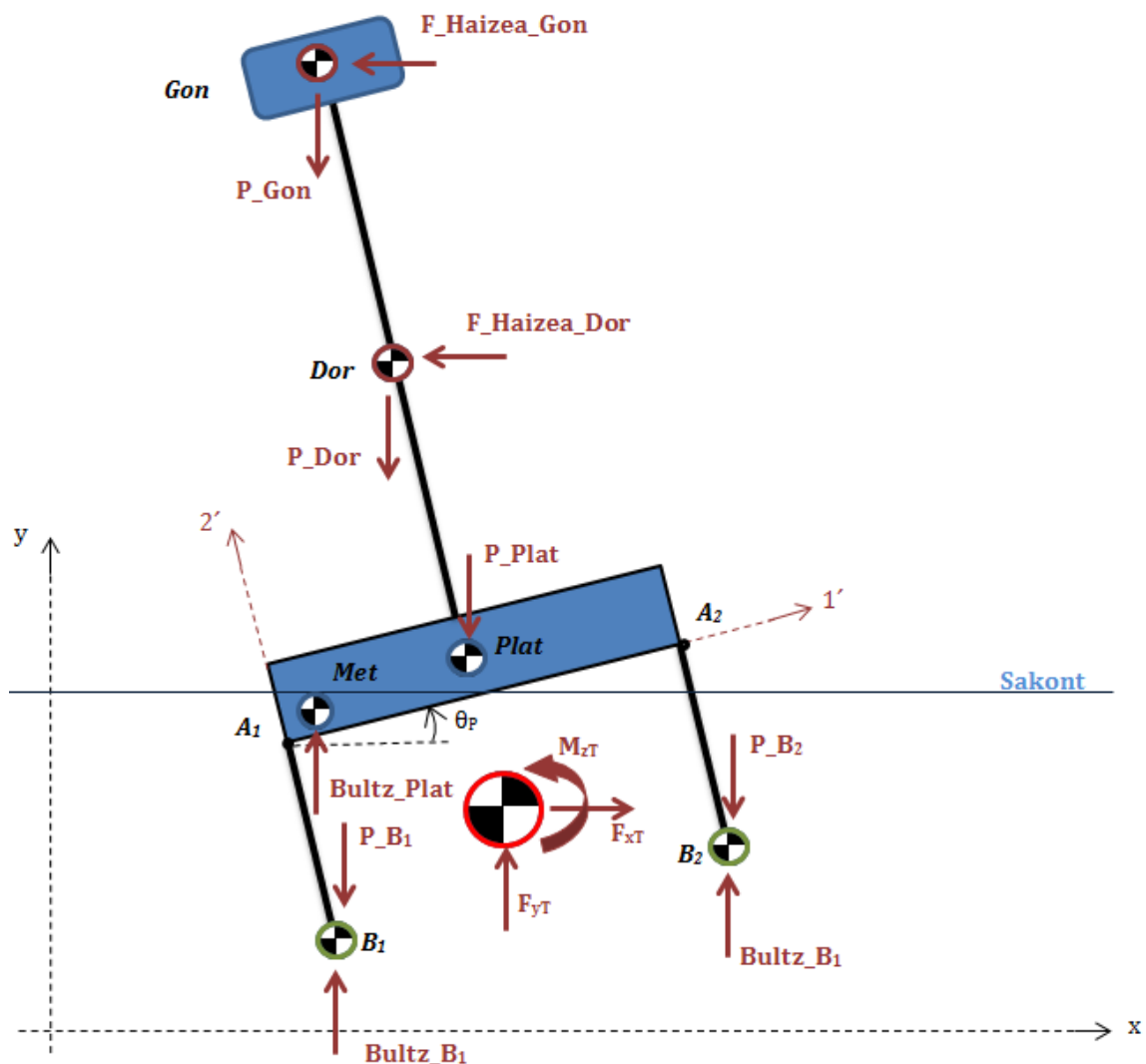
Aurreratu den bezala, behin inertzia tentsore guztiak izanda hauek batuz sistemaren grabitate zentruarekiko inertzia tentsore totala lortuko dugu.

[5.9. Ek.] – Sistemaren grabitate zentruan kalkulaturiko inertzia tentsore totala

$$I_G = I_{G_Plat} + I_{G_Dor} + I_{G_Gon} + I_{G_B1} + I_{G_B2}$$

5.2.3. Indarrak

Atal honetan, aurreko modeloan F_{xT} eta F_{yT} moduan izendatu diren indarren baturak kalkulatu dira, aerosorgailuaren pisua, boien bultzada eta haizearen eragina bezalako indarrak kontutan hartzearen aldatetarekin.



5.5. Fig. Aerosorgailuaren plataformaren sistema osoari eragiten dioten indar eta momentuak

PISUAK**[5.10. Ek.] – Plataformaren pisua**

$$P_{Plat} = -M_{Plat} \cdot g$$

[5.12. Ek.] – Gondolaren pisua

$$P_{Gon} = -M_{Gon} \cdot g$$

[5.13. Ek.] – Dorrearen pisua

$$P_{Dor} = -M_{Dor} \cdot g$$

[5.14. Ek.] – 1. Boiaren pisua

$$P_{B1} = -M_{B1} \cdot g$$

[5.15. Ek.] – 2. Boiaren pisua

$$P_{B2} = -M_{B2} \cdot g$$

MARRUSKADURA INDARRAK**[5.16. Ek.] – Plataformaren X ardatzeko marruskadura indarra**

$$F_{mX_Plat} = -c_{X_Plat} \cdot \dot{X}_{Platx}$$

[5.19. Ek.] – Plataformaren Y ardatzeko marruskadura indarra

$$F_{mY_Plat} = -c_{Y_Plat} \cdot \dot{X}_{Platy}$$

[5.17. Ek.] – 1. Boiaren X ardatzeko marruskadura indarra

$$F_{mX_B1} = -c_{X_B1} \cdot \dot{X}_{B1x}$$

[5.20. Ek.] – 1. Boiaren Y ardatzeko marruskadura indarra

$$F_{mY_B1} = -c_{Y_B1} \cdot \dot{X}_{B1y}$$

[5.18. Ek.] – 2. Boiaren X ardatzeko marruskadura indarra

$$F_{mX_B2} = -c_{X_B2} \cdot \dot{X}_{B2x}$$

[5.21. Ek.] – 2. Boiaren Y ardatzeko marruskadura indarra

$$F_{mY_B2} = -c_{Y_B2} \cdot \dot{X}_{B2y}$$

INDARREN BATURA**[5.22. Ek.] – Sistema osoaren X ardatzeko kanpoko indarren batuta**

$$F_{xT} = F_x + F_{x_Haizea_Gon} + F_{x_Haizea_Dor} + F_{mX_Plat} + F_{mX_B1} + F_{mX_B2}$$

[5.23. Ek.] – Sistema osoaren Y ardatzeko kanpoko indarren batuta

$$F_{yT} = F_y + F_{y_Haizea_Gon} + F_{y_Haizea_Dor} + P_{Plat} + P_{Dor} + P_{Gon} + P_{B1} + P_{B2} + Bultz_{Plat} + Bultz_{B1} + Bultz_{B2} + F_{mY_Plat} + F_{mY_B1} + F_{mY_B2}$$

5.2.4. Momentuak

Hemen, aurreko ataleko indarrek sorturiko momentuak kalkulatu dira, baita marruskaduraren eraginez sorturiko bat ere, denek sistemaren grabitate zentruan aztertuak izanik.

PISUEK SORTURIKO MOMENTUAK

Hemen sistemaren zati ezberdinek beren pisuaren ondorioz sortzen dituzten momentuak kalkulatu dira, pisua solidoaren eta sistemaren grabitate zentruaren arteko distantziagatik biderkatuz.

[5.24. Ek.] – Plataformaren pisuak sistemaren grabitate zentruan sorturiko momentua

$$M_{z_P_Plat} = (X_{G_Plat} - X_G) \cdot P_{Plat}$$

[5.25. Ek.] – Dorrearen pisuak sistemaren grabitate zentruan sorturiko momentua

$$M_{z_P_Dor} = (X_{G_Dor} - X_G) \cdot P_{Dor}$$

[5.26. Ek.] – Gondolaren pisuak sistemaren grabitate zentruan sorturiko momentua

$$M_{z_P_Gon} = (X_{G_Gon} - X_G) \cdot P_{Gon}$$

[5.27. Ek.] – 1. Boiaren pisuak sistemaren grabitate zentruan sorturiko momentua

$$M_{z_P_B1} = (X_{G_B1} - X_G) \cdot P_{B1}$$

[5.28. Ek.] – 2. Boiaren pisuak sistemaren grabitate zentruan sorturiko momentua

$$M_{z_P_B2} = (X_{G_B2} - X_G) \cdot P_{B2}$$

BULTZADEK SORTURIKO MOMENTUAK

Boiek jarritako bultzada konstanteek eta plataformaren urperatutako bolumenaren arabera sorturiko bultzadak eragindako momentuak kalkulatu dira hemen, bultzadaren indarrak, sistemaren grabitate zentrutik eragiten duten lekurainoko distantziagatik biderkatuz.

[5.29. Ek.] – Plataformaren urperatutako bolumenaren bultzadak sistemaren grabitate zentruan sorturiko momentua

$$M_{z_Bultz_Plat} = (X_{Met} - X_G) \cdot Bultz_{Plat}$$

[5.30. Ek.] – 1. Boiaren bultzadak sistemaren grabitate zentruan sorturiko momentua

$$M_{z_Bultz_B1} = (X_{G_B1} - X_G) \cdot Bultz_{B1}$$

[5.31. Ek.] – 2. Boiaren bultzadak sistemaren grabitate zentruan sorturiko momentua

$$M_{z_Bultz_B2} = (X_{G_B2} - X_G) \cdot Bultz_{B2}$$

HAIZEAREN INDARREK SORTURIKO MOMENTUAK

Atal honetan aerosorgailuak jasaten dituen haizearen indarrek sorturiko momentuak kalkulatu dira.

[5.32. Ek.] – Dorreko haizearen indarrak sistemaren grabitate zentruan sorturiko momentua

$$M_{z_Haizea_Dor} = (X_{G_Dor} - X_G) \cdot F_{y_Haizea_Dor} - (Y_{G_Dor} - Y_G) \cdot F_{x_Haizea_Dor}$$

[5.33. Ek.] – Gondolako haizearen indarrak sistemaren grabitate zentruan sorturiko momentua

$$M_{z_Haizea_Gon} = (X_{G_Gon} - X_G) \cdot F_{y_Haizea_Gon} - (Y_{G_Gon} - Y_G) \cdot F_{x_Haizea_Gon}$$

MARRUSKADUREK SORTURIKO MOMENTUAK

Hemen, urak eragindako marruska indarrek sorturiko momentuak eta plataformaren biraketa dela eta jasandako marruskadura kalkulatu dira.

[5.34. Ek.] – Plataformaren biraketaren marruskadurak sistemaren grabitate zentruan sorturiko momentua

$$M_{z_Biraketa_mar_Plat} = -C_{P_Plat} \cdot \dot{\theta}_p$$

[5.35. Ek.] – Plataformaren desplazamenduen marruskadurak sistemaren grabitate zentruan sorturiko momentua

$$M_{z_Fm_Plat} = (X_{G_Plat} - X_G) \cdot F_{mY_Plat} - (Y_{G_Plat} - Y_G) \cdot F_{mX_Plat}$$

[5.36. Ek.] – 1. Boiaren desplazamenduen marruskadurak sistemaren grabitate zentruan sorturiko momentua

$$M_{z_Fm_B1} = (X_{G_B1} - X_G) \cdot F_{mY_B1} - (Y_{G_B1} - Y_G) \cdot F_{mX_B1}$$

[5.37. Ek.] – 2. Boiaren desplazamenduen marruskadurak sistemaren grabitate zentruan sorturiko momentua

$$M_{z_Fm_B2} = (X_{G_B2} - X_G) \cdot F_{mY_B2} - (Y_{G_B2} - Y_G) \cdot F_{mX_B2}$$

5.3. PROGRAMAZIOA

Modelo dinamikoa programatzeko beharrezko ekuazioak lortu eta gero, plataforma bakarrik kontutan hartzen duen modelo dinamikoaren kodigoa eraldatzera pasatu zen, honen **Main_Plataforma** artxiboan oinarrituz. Modelo honetatik, kapitulu honetako mekanismorako balioagarriak ziren atalak mantendu edota egokitu egin ziren, eta honen kodigoaz gain, beharrezko ziren beste funtzio batzuk programatu ziren. Programak ematen dituen pausuetan ez da berebiziko aldaketik ematen, ezta modeloa orientatzeko garaian ere. Ematen diren aldaketak, aspektu konkretuetan ematen dira, hala nola gauza berari deitze modu ezberdinetan edota datu bat lortzeko erabilitako informazioan.

5.3.1. Plataformaren modelo dinamikoarekiko aldaketak

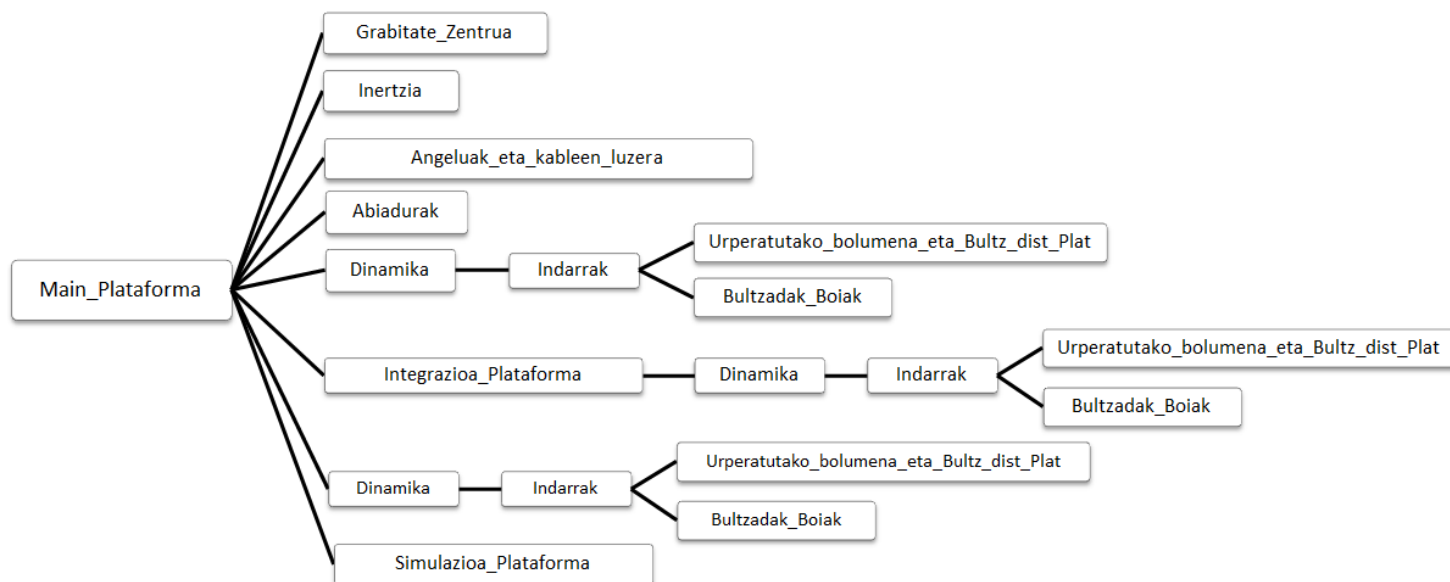
Lehenik eta behin, ekuazioen eta eskuzko kalkuluaren atalaren hasieran aipaturiko nomenklaturaren koherentzia dela eta aldatutako datuen izenak aldatu ziren, eta honekin batera, osagai berrien ezaugarrien datuak sartu. Jarraian, hasierako datuak osatzeko **Grabitate_Zentrua** eta **Inertzia** funtzioak programatu ziren, izenek dioten bezala, sistemaren grabitate zentrua eta inertzia tentsorea kalkulatzeko erabiltzen direlarik. Honi esker, eta aurreko modeloko **Angeluak_eta_kableen_luzera** eta **Abiadurak** erabiliz, **Dinamika** funtzioa exekutatzeko beharrezko datuak lortu ziren. Azken honek, indar eta momentu berriak direla eta, eraldaketa garrantzitsua jasan zuen kodigoaren hasieran non kapitulu honetan gehituriko **Indarrak** funtzioa kokatzen den. Funtzio honi esker, aurreko atalean kalkulatu berri diren indar eta momentuen ekuazioak erabiliz, sistemari eragiten dioten X eta Y ardatzetako kanpoko indarren baturak eta honi grabitate zentruan eragiten duten momentuen baturak kalkulatu dituzte. Bestalde, bultzadaren indar eta momentuen kalkulua dela eta aurreko bertsioan **Dinamika** funtzioan aurkitzen zen **Urperatutako_bolumena_eta_Bultz_dist_Plak**, **Indarrak** programaren barrenean sartu zen. Honez gain, **Bultzadak_Boiak** deituriko funtzio labur bat diseinatu zen funtzio beraren barrenean, zeinak boien bultzada deusezten duen hauek uretik ateratzean. Azkenik, simulazioa gauzatzen duen atalean, mekanismoaren osagai berriak irudikatze beharrezko kodigoa sartu zen, **Simulazioa_Plataforma** funtzioaren barrenean aldatuz.

Aldaketa hauez gain, **Main_Plataforma** funtzioaren hasieran **P** puntu baten koordinatuak sartzeko aukera ematen du programak, **P** puntu hau, sistema hasierako egoeran kokatzeko erabiltzen dena izanik. Honela, sistemako edozein puntu, nahi den hasierako posizioan kokatu daiteke, **P** puntuari puntu honen koordinatuak emanez eta jarraian, puntu hau espazioan kokatuz. Bestalde, grafikoen atalean puntu honen posizioa, abiadura eta azelerazioa aztertzen direla esatea garrantzitsua da, sistemako edozein punturen eboluzioa aztertzei aukera ematen baitu.

Modelo honen programazio kodigoa **ANEXO-ko 1.2.** puntuan gehitu da, non plataforma hutsarenean bezala, **Main_Plataformak**, eta baita **Matlab**-ek programa exekutatzeko ere jarraitzen duen ordenean ageri den, datu guztiak unitate internazionaletan adierazten direlarik..

5.3.2. Funtzioen eskema hierarkikoa

Deskribatu den orden hau, programaren funtzioen eskema hierarkiko honetan antzeman daiteke, lehenengo bertsioko antolamendutik **Grabitate_Zentrua**, **Indarrak** eta **Bultzadak_Boiak** funtzioak gehitu direlarik. Funtzio gehitze honek, eskema adarkatuagoa izatea ekarri du eta bertan, bertsio honetan gehituriko zati berrien kokapena ikus daiteke.



5.6. Fig. Offshore aerosorgailuaren sistema osoaren modelo dinamiko programatzeko erabilitako funtzioen eskema

5.3.3. Plataformaren modeloari gehitu beharreko funtzioak

Hemen, modelo dinamikoaren lehenengo fasea litzatekenari gehitu zaizkion funtzioak azaldu eta aztertuko dira, hauen eginkizuna erakutsiz eta bere lan egiteko modua deskribatuz.

5.3.3.1. Grabitate_Zentrua

Funtzio honen bidez, aerosorgailuaren sistema osatzen duten osagai guztien masak eta hauen kokapena aztertuz, grabitate zentru nagusia aurkitzen du. Horretarako, ekuazioen ataleko ekuazioez baliatzen da, hauek planteatzen diren modu berean ebazteko programatuz funtzioa. Kokapen hau, 1'2'3'basean ematen da eta **A1** puntuarekiko erlatiboa da. Honez gain, mekanismo osoaren masa kalkulatu du.

5.3.3.2. Inertzia

Aurreko bertsioan egiten zen bezala, honetan ere **Inertzia** funtzioak mekanismoaren inertzia tentsorea kalkulatu du. Honekiko ezberdintasuna, bertsio honek sistemaren atal guztiak kontutan hartzen dituela da, inertzia grabitate zentru nagusiarekiko kalkulatu eta solidoen inertiendako Steinerren teorema kontutan izanik. Plataformak, bere grabitate

zentruarekiko inertzia tentsorea eta Steinerrena ditu, baina besteek, aldiz, masa puntualak izanik, Steinerren matrizeak bakarrik aplikatzen zaie.

5.3.3.3. Indarrak

Indarrak deituriko funtzio honetan, mekanismoari eragiten dioten kanpoko indar eta momentuak aztertzen dira, hala nola pisuak, bultzadak eta haizearen eragina lantzen direlarik. Behin sistemari eragiten dioten kanpoko indar eta momentu guztiak kalkulatu direla, X ardatzean eta Y ardatzean indarren batura egiten da eta Z ardatzean, berriz, momentuena.

5.3.3.4. Bultzadak_Boiak

Programa labur honek egiten duena, boiak uretatik ateratzean beren bultzada nulua izatea da, honela simulazioa errealistagoa bilakatuz. Honetarako, *if* komandoaz baliatzen da, boiak uretik kanpo direnean bultzadari zero balioa emanez baldintzatuz.

5.3.3.5. Simulazioa_Plataforma

Atal honetan, **Simulazioa_Plataforma** funtzioa erabiliz mugimendudun simulazioa gauzatzen da, honen lehenengo bertsioaren azalpenean dioen bezala *set* komandoaz baliatuz irudiak une bakoitzean irudikatzeko. Hemen, aurreko bertsiotik eginiko aldaketa edo eguneratzea, sistema osatzen duten eta kapitulu honetan gehitu diren osagaien irudikatzea litzateke. Horretarako, plataforma hutsa irudikatzeko bezala, **dib** bektorean sartu dira hauen irudikapenak, eta funtzio honen bitartez, eta *for* batetik pasatuz, solido berrien irudikapena lortzen da.

5.4. FUNTZIONAMENDUAREN ADIBIDEA

Aerosorgailuaren sistema osoaren modelo dinamikoaren funtzionamendu egokia bermatzeko simulazio bat egiterako orduan, mekanismoaren egonkortasun ezak simulazio bat prestatzea konplikatu egiten du. Sistemak, bere zatien masaren eta bultzadaren eraginez, iraultzeko joera du eta hori dela eta, kontrol mekanismo eraginkorrik ezean gertaera hau lantzea erabaki da, simulazioan aerosorgailua irauliz.

Horretarako, sistemaren grabitate zentrua ur mailan kokatu da eta plataformari inklinazioa eman zaio, honela, aerosorgailuaren pisuak eta boien bultzadak eragindako momentuagatik mekanismoa irauli egingen da.

Simulazio honi esker, kapitulu honetan gehitu diren osagaiek sorturiko momentuen funtzionamendua bermatu dateke, eta boietako bat uretik ateratzean, honek jasandako bultzadaren desagerpena ere aztertu daiteke, modu honetan iraultzea balaztatzen duelarik.

5.4.1. Simulazioa

Simulatu nahi den egoeran, sistemaren grabitate zentrua ur-mailan dago, plataformak inklinazio pixka bat du eta bi boiak urperatuta daude. Plataformak, aldiz, zati bat bakarrik

du urpean. Hau simulatzeko, eta aztertu nahi diren fenomenoak ongi antzemateko, modelo dinamikoak berez dituen sinplifikazioez gain, honako hauek sartu zaizkio:

1. Artikulazioek ez dute marruskadurarik.
2. Itsasoaren marea, olatu eta korronteez ez dute indar edo momenturik sortzen.
3. Ez da haizearen indarririk suposatatu.
4. Eragileak ez dira martxan.

Hau gauzatu ahal izateko, programari jarraian ikus daitezkeen datuak sartu zaizkio, zeinak programazio kodigotik zuzenean kopiatu diren, hauen kopuruaren arrazoiagatik, orain arte egin diren simulazioetarako datuak nola sartu diren ikusteko baliagarria izateaz gain.

```

g=9.81;
L0=40;
%% Plataformaren ezaugarriak
L=25;
e=8;
a=L;
Dens_Plat=900;
% Aerosorgailuaren Dorrea
H_Dor=50;
M_Dor=20000;
% Aerosorgailuaren Gondola
H_Gon=H_Dor+3;
M_Gon=5000;
% 1.Boia
Luz1=10;
Zab1=0;
M_B1=800;
% 2.Boia
Luz2=10;
Zab2=L;
M_B2=800;
% Plataformaren grabitate zentura
d1_Plat=L/2;
d2_Plat=e/2;
d3_Plat=-a/2;
% Gondolaren grabitate zentura
d1_Gon=L/2;
d2_Gon=H_Gon;
d3_Gon=-a/2;
% Dorrearen grabitate zentura
d1_Dor=L/2;
d2_Dor=H_Dor/2;
d3_Dor=-a/2;
% 1.Boiaren grabitate zentura
d1_B1=Zab1;
d2_B1=-Luz1;
d3_B1=-a/2;
% 2.Boiaren grabitate zentura
d1_B2=Zab2;
d2_B2=-Luz2;
d3_B2=-a/2;
% Artikulazioen marruskadurak
cO1=0;
cO2=0;
cA1=0;
cA2=0;

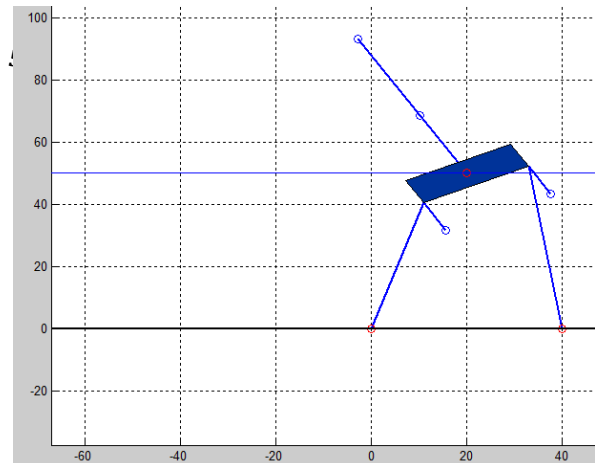
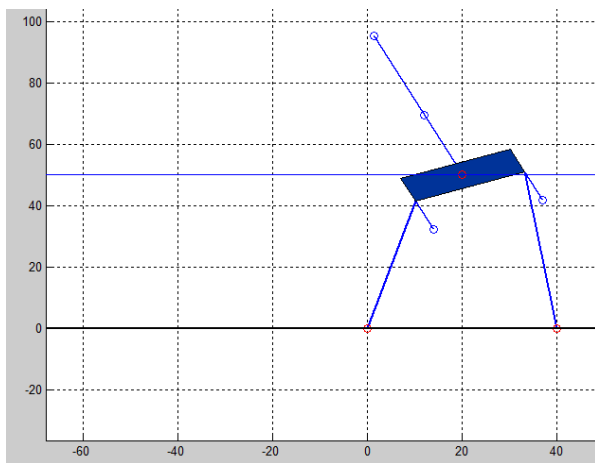
% Plataforma kokatzeko erabiltzen
den "P" puntuaren kordenatuak Al-
ekiko
d1_P=d1_G;
d2_P=d2_G;
% Plataformaren "P" puntuaren
hasierako kordenatuak eta abiadura
PosPx=20;
PosPy=50;
dPosPx=0;
dPosPy=0;
% Plataformaren hasierako
orientazio angelua eta abiadura
angeluarra
ThetaP=pi/8;
dThetaP=0;
% Urarekin zerikusia duten datuak
Sakont=50;
Dens_H2O=1000;
% Urarekiko marruskadura
cX_Plat=300000000;
cY_Plat=300000000;
cP_Plat=300000000;
cX_B1=30000;
cY_B1=30000;
cP_B1=30000;
cX_B2=30000;
cY_B2=30000;
cP_B2=30000;
% Olatu eta mareek sorturiko
indarra
Fx=0;
Fy=0;
% Olatu eta mareek sorturiko
momentuak
Mz=0;
% Haizeak eragindako indarrak
Fx_Haizea_Gon= 0;
Fy_Haizea_Gon= 0;
Fx_Haizea_Dor= 0;
Fy_Haizea_Dor= 0;
% Kableak kontrolatzeko Eragileak
Akt1=0;
Akt2=0;
Tend=3;

```


Datu hauez gain, **Indarrak** funtzioan boiek jasaten duten bultzada definitzen dela azaltzea garrantzitsua da, bien artean sistema osoaren pisua aguantatzeko programatu baitira kasu konkretu honentzat, honela bietako bat uretik ateratzean sortzen den fenomenoak hobe antzemanaz.

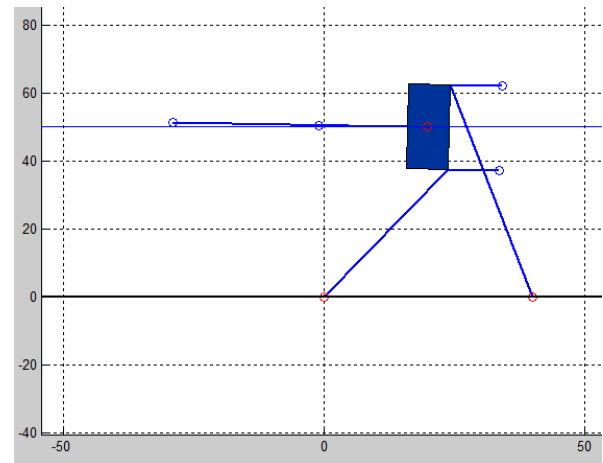
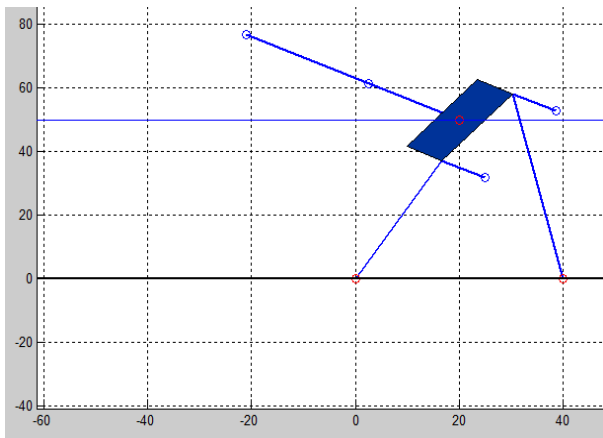
Bukaerako **Tend** konstanteak adierazten duen bezala, kasu honetan simulazio motza egin da orain artekoekin alderatuz, 3 seg-koa hain zuzen ere. Hau plataformak 90º-ko inklinazioa pasatzen duenean ematen duen programaturiko errorea dela eta erabaki da, behin angelu hori pasatuta, plataformaren urperatutako bolumena nulua kontsideratzeko eta errore mezu bat idazteko diseinatua baitago modelo bere lehenengo bertsioetik, modu honetan emaitzak baliogabetuz. Hala eta guztiz ere, landu beharreko egoera aztertzeak nahikoa da 3 seg simulatzearekin.

Jarraian simulazioak sorturiko bideoaren irudi batzuk ageri dira zeinak gertatzen denaren ideia bat egiteko lagungarri diren.



irudia

irudia



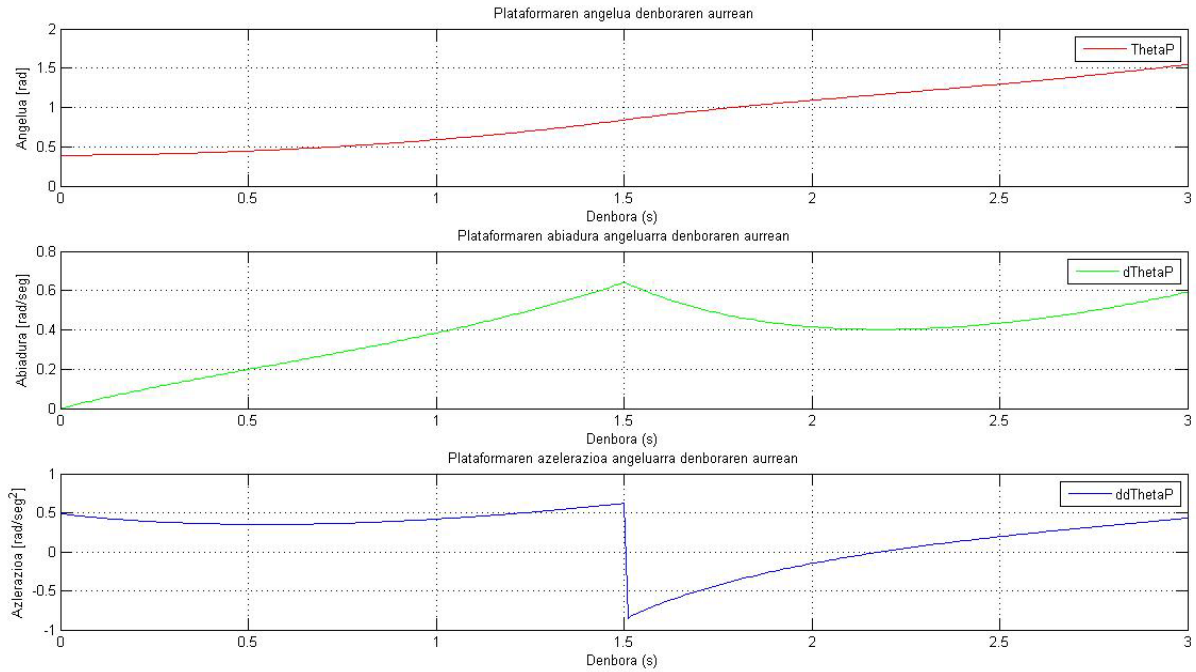
5.9. Fig. Offshore aerosorgailuaren sistema

5.10. Fig. Offshore aerosorgailuaren sistema

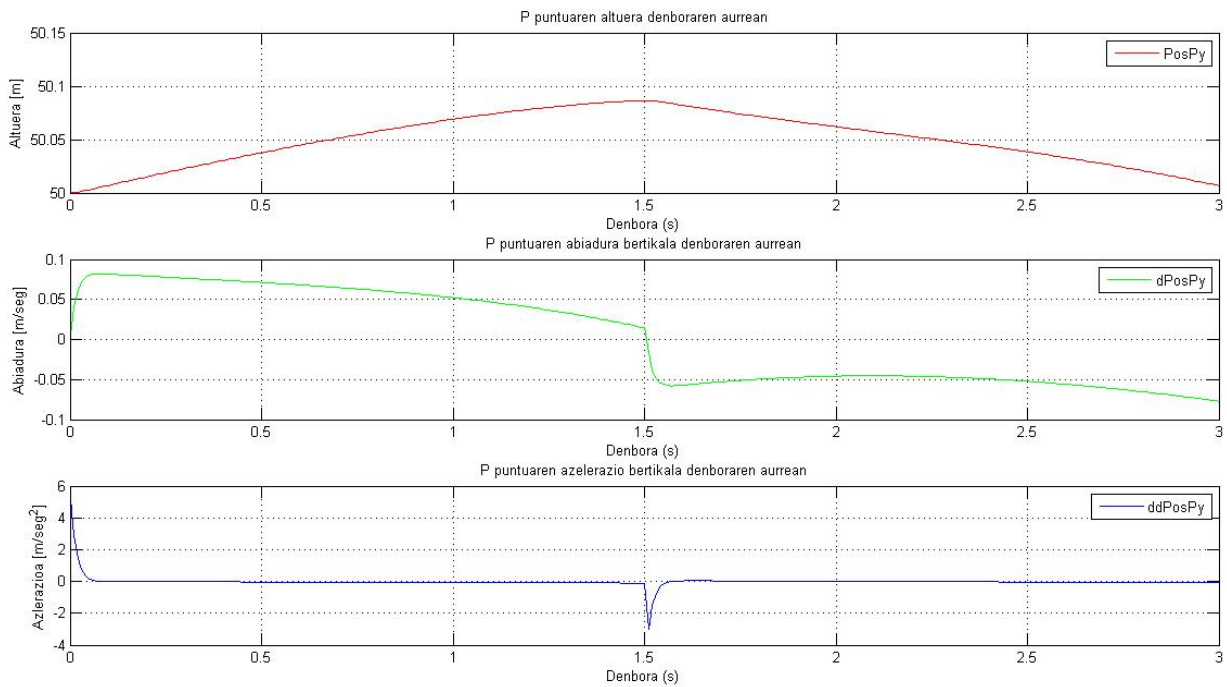
osoaren simulazioa: 3. irudia

osoaren simulazioa: 4. irudia

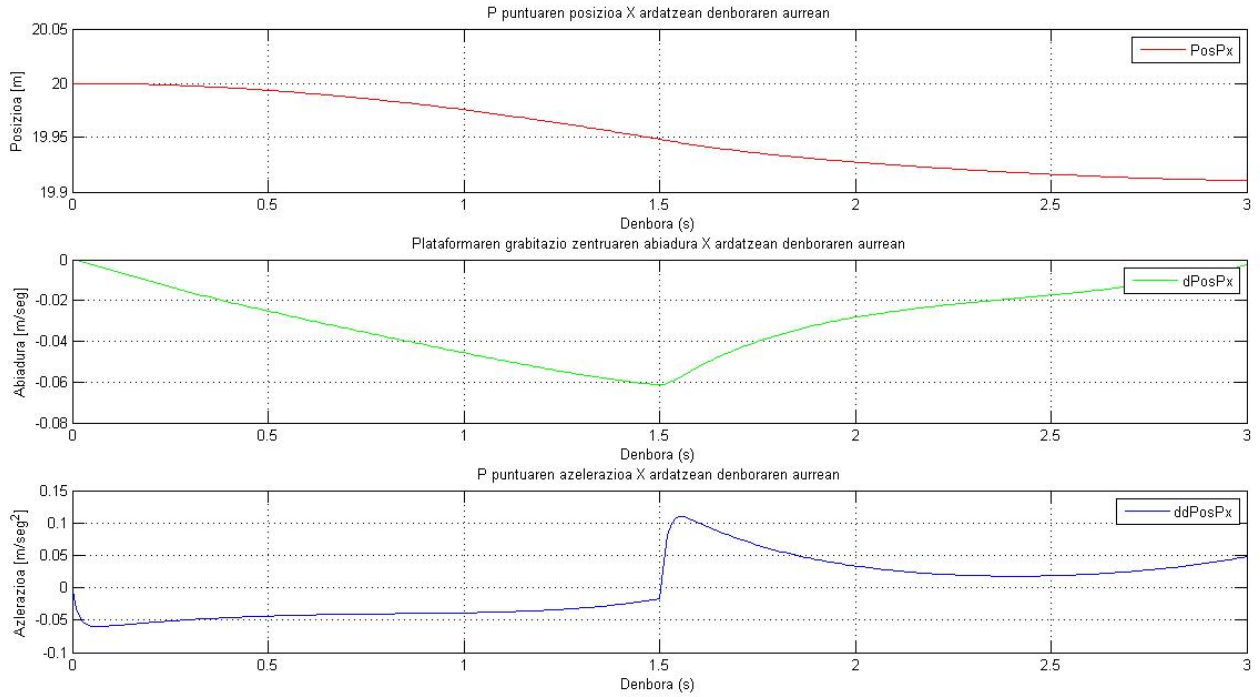
Simulazio honek, ondorengo grafikoak sortzen ditu non $\theta_P, \dot{\theta}_P, \ddot{\theta}_P, Y_P, \dot{Y}_P, \ddot{Y}_P, X_P, \dot{X}_P, \ddot{X}_P$ eta M_{zT} denboraren aurrean irudikatzen diren, datu hauek aztertzeko eta konparatzeko aukera emanaz. Garrantzitsua da θ_P eta X_P balioen azpiindizeak berdintzea, anguluarenak *plataforma* hitzari dagokiolako eta posizioarenak, aldiz, P puntuari, hau guk markatutakoa izanik.



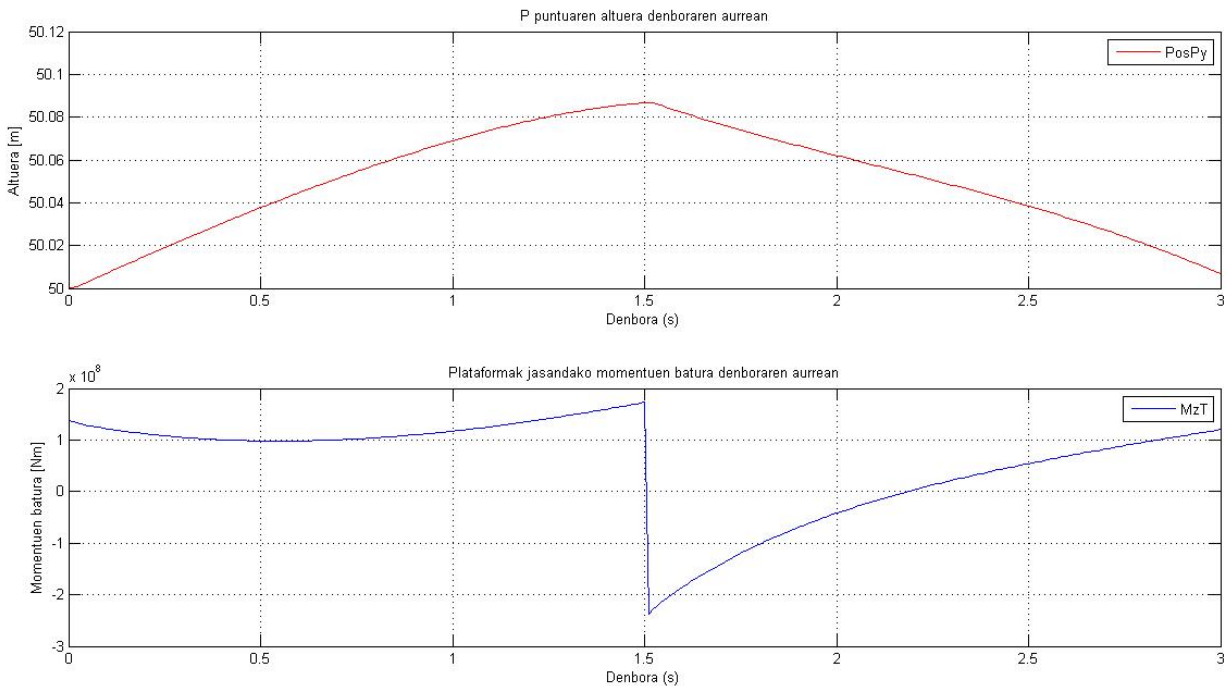
5.11. Fig. Offshore aerosorgailuaren sistema osoaren simulazioa: Plataformaren angelua, abiadura anguluarra eta azelerazio anguluarra denboraren aurrean.



5.12. Fig. Offshore aerosorgailuaren sistema osoaren simulazioa: P puntuaren altuera, abiadura eta azelerazio Y ardatzean denboraren aurrean.



5.13. Fig. Offshore aerosorgailuaren sistema osoaren simulazioa: P puntuaren posizioa, abiadura eta azelerazio X ardatzean denboraren aurrean.



5.14. Fig. Offshore aerosorgailuaren sistema osoaren simulazioa: Sistemari eragiten dioten kanpoko momentuen batura eta P puntuaren altuera denboraren aurrean

5.4.2. Eraitzen analisiak

Lehenengo grafiko multzoan, plataformaren inklinazioan argi eta garbi ikusten da plataforma iraultzen ari dela, angeluaren balioa handituz baitoa. Honez gain, aztertu nahi den bigarren fenomenoaren agertzen da bai abiadura angeluarren eta baita azelerazio angeluarren grafikoan ere. Gertaera hau, eskuineko boia uretik ateratzea da, simulazioaren 3. irudian gertatu berri den bezala, bere bultzada indarra deuseztatuz eta honen pisuagatik, aerosorgailuak eragiten duen momentuari kontra eginez. Bultzadaren bat-bateko deusezteak eta boiaren masak sorturiko momentuak dute grafiken gehiengoetan *1,5 seg*-an ematen den aldaketa bortitzaren errua.

Bigarren grafika taldean ere boia uretik ateratzearen eraginez galtzen den bultzada indar hori dela eta hasten da P puntuaren beheanzko joera ikusten da, bai abiaduran eta baita azelerazioan ere bortizki nabaritzen.

Azkeneko grafikoa da efektu hau hobekien adierazten duena, momentuaren bat-bateko aldaketa erakusten baitu, positibo izatetik negatiboa izatera pasatuz.

5.5. ONDORIOAK

Simulazio honetan lorturiko emaitzen bidez, egoera horretarako plataformaren modelo dinamikoaren funtzionamendu egokia bermatu daitekeela esan daiteke, pisuek eta bultzadek eragindako biraketa argi eta garbi erakusten baitu eta boia bat uretik ateratzearen efektuak itxura koherentea baitu. Nahiz eta ez duen plataformaren urperatutako bolumenaren arabera bultzadaren eragina ongi antzematen, honen funtzionamendu egokia aurreko kapituluaren demostratu denez, kasu honetako ere ala suposatuko da.

Modelo dinamiko hau beraz, Nafarroako Unibertsitate Publikoko Kontrol eta Automatika sailekoek kontrolatzeko moduan legoke, kontrola lantzeko *simulink* izeneko *Matlab*-en herramintara pasatu behar izanez lehendabizi.

6. ONDORIOAK ETA JARRAIPENERAKO LAN LERRO POSIBLEAK

Behin planteaturiko modelo dinamikoak eta mekanismo ezberdinen azterketak burutu direla, proiektuaren hasierako helburuekin alderatuz bide erdian gelditu dela dirudi. Proiektua, unibertsitateko Kontrol eta Automatika sailekoei pasatzeko helburu argiarekin hasi zen, baina lanak aurrera egin ahala sorturiko konplikazioek, eta *Simulink* herramintaren erabileraren ezagutza ezak ezinezko egin du. Helburuetan aipatzen zen bi dimentsiotako plataforma diseinatzerira iritsi da, boiak eta aerosorgailua simulatzerakoan oraindik pausu bat gehiago emanez, baina hala ere, ez da ez hiru dimentsioetara pasatu ezta itsasoaren eragina modu errealago batetan simulatzerira iritsi erez.

Iritsi den puntutik aurrera lanean jarraitzeko bide asko daude, besteak beste, aipaturiko uraren simulazioaren hobekuntzak edo hiru dimentsioetan lan egitera pasatzeak ate asko irekiko lituzke egunen batean modelo honetan kontroleko algoritmoekin frogak egiteari begira. Bestalde, aerosorgailuaren eragina, boiena edo haizearen efektua modu errealistago batean simulatzea ere modelo honekin lanean jarraitzeko bide interesgarria izango litzateke.

Proiektu hau hasi nuenean, *Matlab*-ez nuen ezagutza ia nulua zen, ez zela existitzen ez esateagatik, eta hilabete hauetan zehar lanean aurrera egin ahala asko ikasi dudanaren sentsazioa daukat, bai *Matlab*-i buruz eta baita mekanikari buruz ere, gauza asko dagoeneko ikasiak ziren arren, lanerako ezagutza hauez behartzeak kontzeptu asko hobe ulertzea eraman nauela pentsatzen baitut.

Hasieran programari beldur pixka bat izan harren, programatzen ikasteak gustura lan egitera eraman nau, eta simulazioaren alorra ustez baino erakargarriagoa suertatu zait.

7. ERREFERENTZIAK ETA BIBLIOGRAFIA

7.1. OFFSHORE AEROSORGAILUAK

Tension Leg Platform motako plataformen irudia

“1.1. Fig. Tension Leg Platform motako plataformak”

<https://temariosformativosprofesionales.wordpress.com/2014/04/25/aerogenerador-marino/>

Offshore aerosorgailu baten muntaiaren argazkia.

“1.2. Fig. Offshore aerosorgailu baten instalazioa”

http://manuelricosecades.blogspot.com.es/2011_11_01_archive.html

Offshore aerosorgailuen zimentazio moten irudia

“1.3. Fig. Offshore aerosorgailuen zimentazio motak”

<http://erenovable.com/energia-eolica-en-el-mar/>

Offshore eolikaren informazio orokorra

<http://www.eolicaoffshore.com/>

Offshore aerosorgailuen zimentazio motak

Karrera amaierako lana

“Plataforma Offshore para un aerogenerador de 5 MW”

Egilea: Santiago de Guzmán Montón

http://oa.upm.es/8569/1/PFC_Santiago_de_Guzman_Monton.pdf

7.2. DINAMIKA ETA ZINEMATIKA

Nafarroako Unibertsitate Publikoko "Makina eta Mekanismoen Teoria" ikasgaia

Kod. 245504

B2_T0_Mekanikako Errepassoa

7.3. FLOTAZIOAREN LEGEA

Nafarroako Unibertsitate Publikoko "Ingeniería de Fluidos" ikasgaia

Kod. 245304

Tema 3: Distribución de presiones en un fluido

7.4. ESTATUEN ESPAZIOAREN TEORIA

Sevilla-ko Unibertsitateko apunteak

Egileak: Daniel Rodríguez Reamirez eta Carlos Bordóns Alba

Depto. de Ingeniería de Sistemas y Automática

Lanaren izena:

*"APUNTES DE INGENIERÍA DE CONTROL
ANÁLISIS Y CONTROL DE SISTEMAS EN ESPACIO DE ESTADO
IDENTIFICACIÓN DE SISTEMAS
CONTROL ADAPTATIVO
CONTROL PREDICTIVO"*

Fecha: 5/05/2005

ANEXO A: PROGRAMAZIO KODIGOA

1.1. AEROSORGAILUAREN PLATAFORMAREN MODELO DINAMIKOA

1.1.1. Datuen sarrera

Datuen sarrerari dagokionez, berebizikoa da datu guztiak unitate internazionaletan bai sartu eta bai lortzen direla ere adieraztea. Atal honetan, grabitatea, grabitate zentruaren hasierako posizioa, orientazioa eta abiadura, honen kokapena plataforman, ezaugarriak, artikulazioetako marruskadura koefizienteak, itsasoa ezaugarriak eta simulazioaren luzapena ezartzen dira.

MAIN PLATAFORMA

```
close all
clear all
```

```
% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %
% % % % % % % % % % % HASIERAKO DATUAK % % % % % % % % % %
% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %
```

```
g=9.81;
```

```
% Hasierako egoera
PosGx=20;
PosGy=35;
PosG=[ PosGx; PosGy ];
```

```
dPosGx=0;
dPosGy=0;
dPosG=[ dPosGx; dPosGy ];
```

```
ThetaP=pi/8; % Rad
dThetaP=0; % Rad/s
```

```
%% Plataformaren ezaugarriak
L0=40;
L=25;
e=10;
a=L;
```

```
d1=L/2;
d2=e/2;
d3=-a/2;
```

```
Dens=500;
M=L*e*a*Dens;
[ I_G]=Inertzia(L,e,a,M,d1,d2,d3);
```


INERTZIA

Funtzio honetan, plataformaren inertzia tentsorea kalkulatu da, alde batetik Steiner aplikatzeko beharrezko zentru geometrikotik grabitate zentzurainoko distantzia bektorea kalkulatu eta bestetik, kalkulatu berri den bektorearekin dagokion Steinerren inertzia tentsorea eta plataformaren zentru geometrikoarekiko inertzia tentsorea kalkulatu, bien bitartez plataformaren grabitate zentruarekiko inertzia tentsorea lortuz.

```
function [I_G]=Inertzia(L,e,a,M,d1,d2,d3)

% Zentru geometrikotik grabitate zentzurainoko distantzia
Steiner erabiltzeko

a1=d1-L/2;
a2=d2-e/2;
a3=d3-a/2;

% Inertzia matrizea

I_G=zeros(3);
I_G(1,2)=-a1*a2;
I_G(2,1)=-a1*a2;
I_G(1,3)=-a1*a3;
I_G(3,1)=-a1*a3;

I_G(1,1)=M*(e^2+a^2)/12 + M*(a2^2+a3^3);
I_G(2,2)=M*(L^2+a^2)/12 + M*(a1^2+a3^3);
I_G(3,3)=M*(L^2+e^2)/12 + M*(a1^2+a2^3);

cO1=0;
cO2=0;
cA1=0;
cA2=0;

%% Itsasoa

Sakont=50;
Dens_H2O=1000;

% Uraren marruskadura
cX=300;
cY=300;
cP=300;

%% Denbora
Tini = 0;
Tend = 20;
dt=0.01;
```

1.1.2. Hasierako egoeren kalkulua (Dinamika eta Zinematika)

Hemen, hasierako egoerako angelu guztiak eta kableen luzera kalkulatu dira lehendabizi **Angeluak_eta_kableen_luzerak** funtzioarekin. Funtzio honetan, lotura ekuazio geometrikoetatik abiatuz, lortu beharreko angelu eta distantziak askatu dira, zeinak *if* baten baldintzapean dauden, distantzien zatitzaileak zero balioa hartzen dutelako angelu jakin batzuentzako, errorea emanez.

Jarraian, hasierako abiadura ezberdinen balioak eskuratzen dira **Abiadurak** izeneko funtzioarekin, zeinak aipatu berri den aurreko funtzioak bezala funtzionatzen duen, baina lotura ekuazio geometrikoen denborarekiko lehenengo deribatuen ekuazioak erabiliz. Honetan ere, *if* batzuen bidez baldintzatzen dira kableen abiaduren kalkulurako ekuazioak.

Datu hauek kalkulatzeko, beharrezko izango zaizkigun indar eta momentuak definitzen dira, baita eragileen eragina ere.

Behin sarrera datuak sartu direla eta **Angeluak_eta_kableen_luzerak** eta **Abiadurak** funtzioen bidez hasierako angeluak, distantziak eta abiadurak kalkulatu direla, gelditzen diren ekuazioak erabiliz eta matrize bidezko eragiketeki esker dinamika aztertzeatik askatu beharreko aldagaiak lortzen ditugu **Dinamika** funtzioaren bidez. Bertan, aldagaiak diren indar eta momentuak kalkulatu dira hasieran, non beste batzuen artean, **Urperatutako_bolumena_eta_Bultz_dist_Plat** erabiliz, plataformaren urperatutako bolumena kalkulatu den, honen arabera bultzada indar eta momentua kalkulatu. Horren ostean, jadanik beharrezko datuak ezagututa, aipaturiko matrizea osatzen da eta honekin eginiko eragiketekin gelditzen diren aldagai ezezagun guztien balioak lortzen dira.

```
% Angeluak eta kableen luzerak
[Theta1,Theta2,ThetaA2,Dist1,Dist2]= Angeluak_eta_kableen_luzera
(PosGx,PosGy,ThetaP,L,L0,d1,d2);
```

ANGELUAK ETA KABLEEN LUZERA

Funtzio honen bitartez, lotura geometrikoeko ekuazioez baliatuz, θ_1 , θ_2 , θ_{A2} , D_1 eta D_2 aldagaien balioak lortzen ditugu, alde aurretik hauek ekuazioetatik askatuz eta orden egokian kalkulatu, ekuazioetako batzuek besteen emaitzen beharra bitute ebatziak izateko. Atalaren azalpenean esan den bezala, kableen angelu konkretu batentzat, 90° dituztenerako hain zuzen ere, *if* batzuen bidez ekuazioz aldatzera bideratzen da, modu honetan ekuazioa zeroz zatitua izatea saihesteko.

```
function [Theta1,Theta2,ThetaA2,Dist1,Dist2]=
Angeluak_eta_kableen_luzera(PosGx,PosGy,ThetaP,L,L0,d1,d2)

% (1) Angelua
Theta1=atan2((-d1*sin(ThetaP)-d2*cos(ThetaP)+PosGy),(-
d1*cos(ThetaP)+d2*sin(ThetaP)+PosGx));

% (1) Kablearen luzera
if Theta1~=pi/2
Dist1=(-d1*cos(ThetaP)+d2*sin(ThetaP)+PosGx)/cos(Theta1);
```

```

else
    Dist1=(-d1*sin(ThetaP)-d2*cos(ThetaP)+PosGy)/sin(Theta1);
end

% (2) Angelua
Theta2=atan2(Dist1*sin(Theta1)+L*sin(ThetaP),Dist1*cos(Theta1)+
L*cos(ThetaP)-L0);

% (2) Kablearen luzera
if Theta2~=pi/2
    Dist2=(Dist1*cos(Theta1)+L*cos(ThetaP)-L0)/cos(Theta2);
else
    Dist2=(Dist1*sin(Theta1)+L*sin(ThetaP))/sin(Theta2);
end
% (A2) Angelua
ThetaA2=Theta2-ThetaP;

```

```

% Abiadurak

```

```

[dDist1,dDist2,dTheta1,dTheta2,dThetaA2]=
Abiadurak(dPosGx,dPosGy,ThetaP,dThetaP,Theta1,Theta2,L,d1,d2,Dist1,Dis
t2);

```

ABIADURAK

Abiadurak funtzioaren honen bitartez, lotura geometrikoko ekuazioen denborarekiko lehenengo deribatuaz baliatuz $\dot{\theta}_1$, $\dot{\theta}_2$, $\dot{\theta}_{A2}$, \dot{D}_1 eta \dot{D}_2 aldagaien balioak lortzen ditugu, aurreko funtzioaren kasuan bezala, alde aurretik hauek ekuazioetatik askatuz eta orden egokian kalkulatuz, ekuazioetako batzuek besteen emaitzen beharra bitute ebatziak izateko. Kasu honetan, berriz ere kableen angelu konkretu batentzat, 90° dituztenerako hain zuzen ere, *if* batzuen bidez ekuazioz aldatzera bideratzen da, modu honetan ekuazioa zeroz zatitua izatea saihesteko.

```

function [Theta1,Theta2,ThetaA2,Dist1,Dist2]=
Angeluak_eta_kableen_luzera(PosGx,PosGy,ThetaP,L,L0,d1,d2)

% (1) Angelua
Theta1=atan2((-d1*sin(ThetaP)-d2*cos(ThetaP)+PosGy),(-
d1*cos(ThetaP)+d2*sin(ThetaP)+PosGx));

% (1) Kablearen luzera
if Theta1~=pi/2
    Dist1=(-d1*cos(ThetaP)+d2*sin(ThetaP)+PosGx)/cos(Theta1);
else
    Dist1=(-d1*sin(ThetaP)-d2*cos(ThetaP)+PosGy)/sin(Theta1);
End

% (2) Angelua
Theta2=atan2(Dist1*sin(Theta1)+L*sin(ThetaP),Dist1*cos(Theta1)+
L*cos(ThetaP)-L0);

% (2) Kablearen luzera
if Theta2~=pi/2
    Dist2=(Dist1*cos(Theta1)+L*cos(ThetaP)-L0)/cos(Theta2);
else
    Dist2=(Dist1*sin(Theta1)+L*sin(ThetaP))/sin(Theta2);

```

```

End
% (A2) Angelua
ThetaA2=Theta2-ThetaP;

%% Plataformari eragiten dioten zenbait indar eta momentu

% Olatuen indarra
Fx=0;
Fy=0;
% Pisua
P=-M*g;
% Momentuak
Mz=0;

                                % Indar eta momentuen batura Dinamikaren
                                % funtzioan kalkultzen da.

%% Kableak kontrolatzeko Eragileak

Akt1=0; % Eragileek kableetatik tiratzeko indar negatiboak jarri
Akt2=0;

%% Dinamika
[ddTheta1,ddTheta2,ddThetaA2,ddThetaP,ddDist1,ddDist2,ddPosGx,ddPosGy,
FxT,FyT,MzT]=
Dinamika(g,PosGx,PosGy,dPosGx,dPosGy,ThetaP,dThetaP,Theta1,dTheta1,Theta2,
dTheta2,ThetaA2,dThetaA2,L,e,a,d1,d2,L0,Dens,M,Dist1,dDist1,Dist2,
dDist2,I_G,Akt1,Akt2,cO1,cO2,cA1,cA2,Sakont,Dens_H2O,Fx,Fy,P,Mz,cX,cY,
cP);

```

DINAMIKA

Funtzio honen hasieran, itsasoaren plataformarenganako eragina ur mailaren eta plataformaren sakoneraren arabera *if* baten bidez baldintzatzen da. Honek, plataforma uretik kanpo dagoenean bai itsasoak eragindako indar eta momentuak eta baita honekiko marruskadura koefizienteak ere nuluak bihurtzen ditu, hauen eragina deuseztatuz.

Ondoren, plataformaren urperatutako bolumena eta honen flotazio zentroa kalkulatzen dira ***Urperatutako bolumena eta Bultz dist Plat*** funtzioaren bitartez, zeina aurrerago azalduko den.

Honen ostean, momentu bakoitzeko ezberdinak diren zenbait indar eta momentu kalkulatzen dira, horien artean aipatu berri den bultzadak sortutakoak izanik, eta ardatz bakoitzeko indar guztien eta momentu guztien batura egiten da, honela, indar eta momentu guztiak hiru aldagaien bidez errepresentatuz.

Azkenik, funtzio honen atalik garrantzitsuena dena dator, matrizeen eragiketen bidezko ekuazioen ebazpena. Bertan, $A \cdot X = B$ moduko matrizeen bidezko ekuazio bat ebazten da aldagai ezezagunen balioak eskuratzeko. Kasu honetan, eragiketa honelakoa litzateke: $MAT \cdot X = EMA$. **MAT** matrizea, ekuazioen ataleko 1.-etik 14.-erainoko ekuazioetako ezezagunekin biderkatzen diren osagaiekin egituratzen da, errenkadetan ekuazioen ordena jarraituz eta zutabe bakoitzari ezezagun konkretu batekin biderkatzen izatea egokituz, zutabeek orden hau jarraitzen dutelarik: f_2^{01} , f_1^{A1} , f_2^A , f_2^{A2} , f_1^{A2} , f_2^{02} , θ_1 , θ_2

, $\ddot{\theta}_{A2}$, \ddot{D}_1 , \ddot{D}_2 , \ddot{X}_G eta \ddot{Y}_G . X bektore bertikal bat da, zeinak azaldu berri diren aldagai ezezagunak orden bera jarraituz zutabe bakarrean barneratzen dituen. **EMA**, aldiz, ekuazio hauetako osagai konstanteak gordetzen dituen zutabe bektorea da, zeinak bektorean sartu aurretik, ekuazioaren eskuineko aldera pasatu behar diren. Matrize eta bektoreak osatzean, $X = EMA \cdot MAT^{-1}$ eragiketa eginez X bektorea askatzen dugu eta honela, ezezagun guztien balioak lortzen ditugu.

Hau programatzeko, lehenik eta behin zeroz osaturiko **MAT** matrizea sortu da eta bere osagaiak banan bana ordezkatzuz joan dira, zeroak sartzerakoan lana laburbilduz, matrizean hauen kopurua dela eta. Gero, **EMA** bektorea osatzen da, hemen ere bere aldagaiak banaka sartuz. Behin datuak dagokieten matrize edo bektorean sartuta, aipaturiko eragiketa burutzen da, eta ebatzitako ezezagunen bektoretik, funtziotik atera nahi diren datuak definitzen dira. Matrizearen heinarekin arazoren bat izanez gero mezu bat idazteko programatu da funtzioa, honela akatsen bat izanez gero, hau errazago antzemateko.

Funtzio hau, **Main_Plataforma** funtzio nagusian behin baino gehiagotan errepikatzen da, eta baita **Integrazioa_Plataforma**-n ere, honen barneko funtzionamendua berdin izanik exekutatzen den aldi guztietan. Hori dela eta, behin azaltzearekin nahikoa da erabiltzen den hurrengo aldietan ulertzeko.

```
function
[ddTheta1,ddTheta2,ddThetaA2,ddThetaP,ddDist1,ddDist2,ddPosGx,d
dPosGy,FxT,FyT,MzT]=
Dinamika(g,PosGx,PosGy,dPosGx,dPosGy,ThetaP,dThetaP,Theta1,dThe
ta1,Theta2,dTheta2,ThetaA2,dThetaA2,L,e,a,d1,d2,L0,Dens,M,Dist1
,dDist1,Dist2,dDist2,I_G,Akt1,Akt2,cO1,cO2,cA1,cA2,Sakont,Dens_
H2O,Fx,Fy,P,Mz,cX,cY,cP)

%% Indarren definizioa
% Uretik kanpo, marruskadura indarren eta olatuen indarren
deuseztatzea
if PosGy>=Sakont
    Fx_Def=0;
    Fy_Def=0;
    Mz_Def=0;
    cX_Def=0;
    cY_Def=0;
    cP_Def=0;
else
    Fx_Def=Fx;
    Fy_Def=Fy;
    Mz_Def=Mz;
    cX_Def=cX;
    cY_Def=cY;
    cP_Def=cP;
end

% Uraren butzada
[Vh_Plat,X_Flox] =
Urperatutako_bolumena_eta_Bultz_dist_Plat(ThetaP,e,L,Sakont,a,T
heta1,Dist1,d1,d2);
```

URPERATUTAKO BOLUMENA ETA BULTZ DIST PLAT

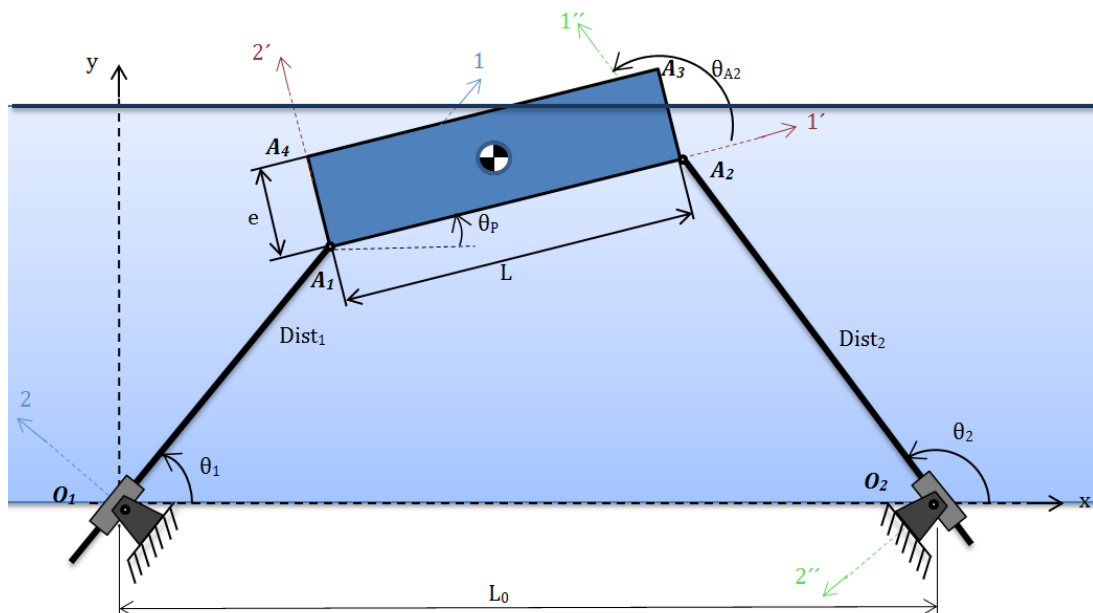
Atal honetan *Urperatutako bolumena eta Bultz dist Plat* funtzioaz hitz egingo da, zeina *Dinamika* funtzioaren barrenean kokatzen den, hau, aldi berean *Main_Plataforma*-n behin baino gehiagotan ageriz, baita aurrerago aipatuko den bezala beste funtzioen batetan ere.

Funtzio honek, bi eginkizun ditu: alde batetik, plataformaren urperatutako bolumena kalkulatzeko, eta bestetik, urperatutako bolumen horren flotazio zentroaren koordinatuak ematen ditu, bultzadaren eragina aztertzeko ezinbesteko datuak eskainiz.

Bi eginkizun hauek betetzeko, *if* eta *else if* komandoez baliatuz, plataformaren orientazioaren eta urperatutako plataforma zatiaren geometriaren arabera kalkulatuak burutzen dira. Kalkulua erabakitzeke, lehendabizi bi bideren artean bereizten da, non plataformaren θ_P angelua ≤ -90 edo ≥ 90 bada errore mezu bat idazteko programatu den, aldi berean urperatutako bolumenari zero balioa emanez eta simulazioa zapuztuz, egoeraren funtzionalitate eza dela eta. Hala ez izanez gero, hurrengo bidegurutzera pasatzen da, non orientazio angelu positibo edo negatiboaren artean bereizten duen. Azkenik, urperatutako zatiaren geometriaren arabera bide bat edo bestea jarraitzen du sei aukera ezberdin izanez orientazio bide bakoitzeko.

Kalkuluak bizkorrago burutzeko, hasieran ur mailaren eta plataformaren punturik baxuenaren arteko distantzia bertikala kalkulatzeko da funtzioaren hasieran, hau h_1 edo h_2 izanez plataformaren orientazioaren arabera.

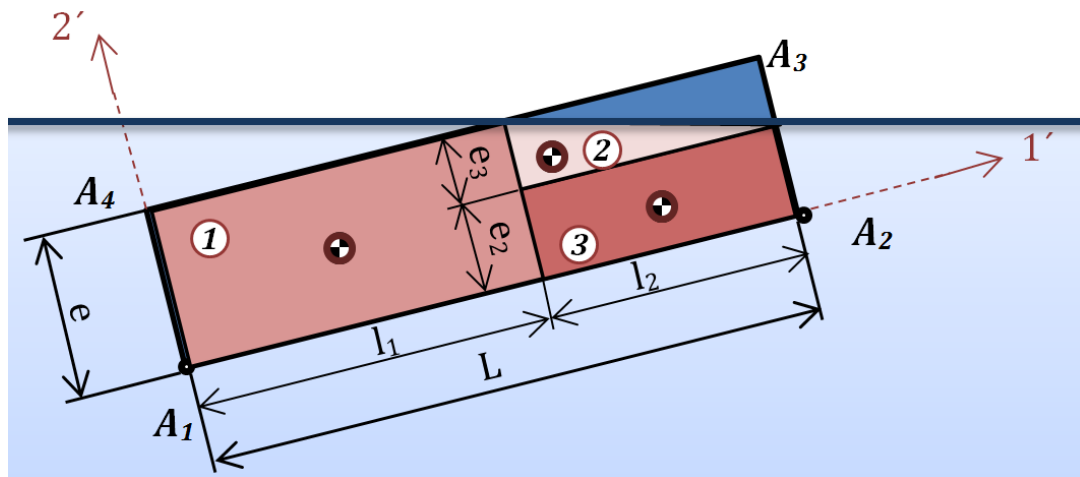
Jarraian, plataforma erdi urperatuta dagoen kasu bateko adibidea azaltzen da, honen urperatutako bolumena eta flotazio zentroaren kokapena kalkulatzeko jarraituriko bidea azalduz.



A.1.1. Fig. Plataformaren urperatutako bolumenaren kalkuluko adibidea

Irudian antzematen den bezala, kasu honetan plataformak θ_P angelu positiboa du, beraz programak bide hori hartuko du. Honen ostean, geometriaren arabera bidegurutzeta aurkitzen da funtzioan non hiruki itsurako erpin bakarria dagoen uretik kanpo. Geometria hau, funtzioaren ondoko if baldintzari dagokio: $Sakont \geq (XALy+L*\sin(\ThetaetaP)) \ \&\& \ Sakont \geq (XALy+e*\cos(\ThetaetaP)) \ \&\& \ Sakont \leq (XALy+L*\sin(\ThetaetaP)+e*\cos(\ThetaetaP))$.

Behin honaino iritsita, funtzioak egin beharreko kalkuluak erabakiak ditu eta hauek burutzeko, kasu honetan urperatutako bolumena hiru zatitan banatzen du, hau, bi laukizuzen eta hiruki batekin osatuz ondorengo irudian ikusten den bezala.



A.1.2. Fig. Plataformaren urperatutako bolumenaren kalkuluko adibidearen zatiketaren akotazioa

Programak urperatutako hiru bolumenak kalkulatzeko lehendabizi, bereizi berri diren hiru geometrien azalerari a sakonera biderkatuz. Hemen kalkuluak:

[A.1. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Urperatutako Bolumenaren kalkuluko 1. zatiaren bolumena

$$Vh_{1bol} = \frac{(h1 - e \cdot \cos(\ThetaetaP))}{\sin(\ThetaetaP)} \cdot e \cdot a$$

[A.2. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Urperatutako Bolumenaren kalkuluko 2. zatiaren bolumena

$$Vh_{2bol} = \left(L - \frac{h1 - e \cdot \cos(\ThetaetaP)}{\sin(\ThetaetaP)} \right) \cdot \left(\frac{h1 - L \cdot \sin(\ThetaetaP)}{\cos(\ThetaetaP)} \right) \cdot a$$

[A.3. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Urperatutako Bolumenaren kalkuluko 3. zatiaren bolumena

$$Vh_{3bol} = \left(L - \frac{h1 - e \cdot \cos(\ThetaetaP)}{\sin(\ThetaetaP)} \right) \cdot \left(e - \frac{h1 - L \cdot \sin(\ThetaetaP)}{\cos(\ThetaetaP)} \right) \cdot \frac{a}{2}$$

[A.4. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Urperatutako Bolumenaren kalkuluko zati guztien bolumenaren batura

$$Vh = Vh_{1bol} + Vh_{2bol} + Vh_{3bol}$$

Ur azpian den plataformaren bolumen totala kalkulatu eta gero, funtzioak aipaturiko hiru zatien grabitate zentruak kalkulatzeko, hauen artean grabitate zentru orokorra aurkituz, hau da, plataformaren flotazio zentroa. Hauek kokatzeko, A_1 puntuarekiko $1'2'3'$ basean akotatzen dira.

[A.5. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Urperatutako Bolumenaren 1. zatiaren flotazio zentruaren 1'ardateko koordinatua

$$d1_1bol = \frac{h1 - e \cdot \cos(\text{Theta}P)}{(2 \cdot \sin(\text{Theta}P))}$$

[A.6. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Urperatutako Bolumenaren 1. zatiaren flotazio zentruaren 1'ardateko koordinatua

$$d2_1bol = \frac{e}{2}$$

[A.7. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Urperatutako Bolumenaren 2. zatiaren flotazio zentruaren 1'ardateko koordinatua

$$d1_2bol = \frac{h1 - e \cdot \cos(\text{Theta}P)}{(2 \cdot \sin(\text{Theta}P))} + \frac{L}{2}$$

[A.8. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Urperatutako Bolumenaren 2. zatiaren flotazio zentruaren 2'ardateko koordinatua

$$d2_2bol = \frac{h1 - L \cdot \sin(\text{Theta}P)}{(2 \cdot \cos(\text{Theta}P))}$$

[A.9. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Urperatutako Bolumenaren 3. zatiaren flotazio zentruaren 1'ardateko koordinatua

$$d1_3bol = \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{h1 - e \cdot \cos(\text{Theta}P)}{\sin(\text{Theta}P)} \right) + \frac{L}{3}$$

[A.10. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Urperatutako Bolumenaren 3. zatiaren flotazio zentruaren 2'ardateko koordinatua

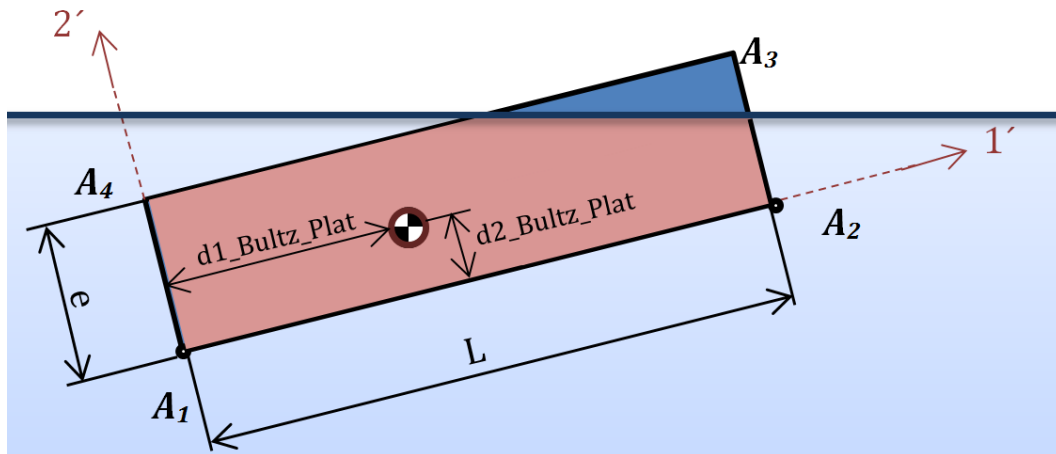
$$d2_3bol = \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{h1 - L \cdot \sin(\text{Theta}P)}{\cos(\text{Theta}P)} \right) + \frac{e}{3}$$

[A.11. Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Flotazio Zentruaren 1'ardateko koordinatua

$$d1_Bultz_Plat = \frac{d1_1bol \cdot Vh_1bol + d1_2bol \cdot Vh_2bol + d1_3bol \cdot Vh_3bol}{Vh}$$

[A.12 Ek.] – Aerosorgailuaren Plataformaren Flotazio Zentruaren 2'ardateko koordinatua

$$d2_Bultz_Plat = \frac{d2_1bol \cdot Vh_1bol + d2_2bol \cdot Vh_2bol + d2_3bol \cdot Vh_3bol}{Vh}$$



A.1.3. Fig. Plataformaren urperatutako bolumenaren kalkuluko adibidearen flotazio zentroaren akotazioa

Modu honetan, goiko irudian antzematen den moduan, plataformaren flotazio zentroaren koordinatuak lortzen dira. Funtzioaren bukaeran, hauek XYZ basera pasatzen ditu, momentuek kalkulurako distantzia prest izanik.

Funtzio hau exekutatzeko, kalkulatu dugun urperatutako bolumena eta flotazio zentroaren X ardatzeko koordinatu absolutua ematen dizkigu, bultzadak eragindako indarra eta momentua kalkulatzeko beharrezko datuak eskainiz.

```
function [Vh,X_Flox] =
Urperatutako_bolumena_eta_Bultz_dist_Plat(ThetaP,e,L,Sakont
,a,Theta1,Dist1,d1,d2)
% A1 Puntuaren altuera
XA1y= Dist1*sin(Theta1);
% A2 Puntuaren altuera
XA2y=Dist1*sin(Theta1)+L*sin(ThetaP);
% Urperatutako altuera
h1=Sakont-XA1y;
h2=Sakont-XA2y;

% Plataformaren posizioaren eta urperatutako zatiaren
geometriaren arabera bolumenaren kalkulua

% Gehiegizko ThetaP angeluaren errorea
if ThetaP >=pi/2 || ThetaP <=-pi/2
    disp('Plataformaren inklinazioa handiegia da!!!')
    Vh=0;
    d1_Bultz_Plat=d1;
    d2_Bultz_Plat=d2;
end

% ThetaP positiboarentzako urperatutako bolumenaren
kalkuluak eta urperatutako bolumenaren flotazio zentroaren
kokapena
if ThetaP >=0 && ThetaP < pi/2
    if Sakont <= XA1y
        % urperatutako bolumena
```

```

Vh=0;
% urperatutako bolumenaren flotazio zentroaren
kokapena
d1_Bultz_Plat=d1;
d2_Bultz_Plat=d2;

else if Sakont <= (XAlly+L*sin(ThetaP)) && Sakont <=
(XAlly+e*cos(ThetaP))
% urperatutako bolumena
Vh=h1^2*a/(2*cos(ThetaP)*sin(ThetaP));
% urperatutako bolumenaren flotazio zentroaren
kokapena
d1_Bultz_Plat=h1/(3*sin(ThetaP));
d2_Bultz_Plat=h1/(3*cos(ThetaP));

else if Sakont > (XAlly+L*sin(ThetaP)) && Sakont <=
(XAlly+e*cos(ThetaP))
% urperatutako bolumena
Vh_1bol=(h1-L*sin(ThetaP))/cos(ThetaP)*L*a;
Vh_2bol=L*sin(ThetaP)/cos(ThetaP)*L/2*a;
Vh=Vh_1bol+Vh_2bol;
% urperatutako bolumenaren flotazio zentroaren
kokapena
d1_1bol=L/2;
d2_1bol=(h1-L*sin(ThetaP))/(2*cos(ThetaP));
d1_2bol=L/3;
d2_2bol=L*sin(ThetaP)/(3*cos(ThetaP))+(h1-
L*sin(ThetaP))/cos(ThetaP);

d1_Bultz_Plat=(d1_1bol*Vh_1bol+d1_2bol*Vh_2bol)/Vh;
d2_Bultz_Plat=(d2_1bol*Vh_1bol+d2_2bol*Vh_2bol)/Vh;

else if Sakont <= (XAlly+L*sin(ThetaP)) && Sakont >
(XAlly+e*cos(ThetaP))
% urperatutako bolumena
Vh_1bol=(h1-e*cos(ThetaP))/sin(ThetaP)*e*a;
Vh_2bol=e/2*e*cos(ThetaP)/sin(ThetaP)*a;
Vh=Vh_1bol+Vh_2bol;
% urperatutako bolumenaren flotazio
zentroaren kokapena
d1_1bol=(h1-e*cos(ThetaP))/(2*sin(ThetaP));
d2_1bol=e/2;
d1_2bol=(h1-e*cos(ThetaP))/(sin(ThetaP))
+e*cos(ThetaP)/(3*sin(ThetaP));
d2_2bol=e/3;

d1_Bultz_Plat=(d1_1bol*Vh_1bol+d1_2bol*Vh_2bol)/Vh;
d2_Bultz_Plat=(d2_1bol*Vh_1bol+d2_2bol*Vh_2bol)/Vh;

else if Sakont >= (XAlly+L*sin(ThetaP)) &&
Sakont >= (XAlly+e*cos(ThetaP)) && Sakont <=
(XAlly+L*sin(ThetaP)+e*cos(ThetaP))
% urperatutako bolumena
Vh_1bol=(h1-e*cos(ThetaP))*e*a/
sin(ThetaP);
Vh_2bol=(L-(h1-e*cos(ThetaP)))/
sin(ThetaP)*(h1-L*sin(ThetaP))/cos(ThetaP)*a;

```

```

        Vh_3bol=(L-(h1-e*cos(ThetaP)))/
sin(ThetaP))*(e-(h1-L*sin(ThetaP))/cos(ThetaP))*a/2;
        Vh=Vh_1bol+Vh_2bol+Vh_3bol;
        % urperatutako bolumenaren flotazio
zentroaren kokapena
        d1_1bol=(h1-e*cos(ThetaP))/
(2*sin(ThetaP));
        d2_1bol=e/2;
        d1_2bol=(h1-e*cos(ThetaP))/
(2*sin(ThetaP))+L/2;
        d2_2bol=(h1-L*sin(ThetaP))/
(2*cos(ThetaP));
        d1_3bol=2/3*(h1-e*cos(ThetaP))/
(sin(ThetaP))+L/3;
        d2_3bol=2/3*(h1-L*sin(ThetaP))/
(cos(ThetaP))+e/3;

d1_Bultz_Plat=(d1_1bol*Vh_1bol+d1_2bol*Vh_2bol+d1_3bol*Vh_3
bol)/Vh;

d2_Bultz_Plat=(d2_1bol*Vh_1bol+d2_2bol*Vh_2bol+d2_3bol*Vh_3
bol)/Vh;

        else if Sakont >
(XAly+L*sin(ThetaP)+e*cos(ThetaP))
        % urperatutako bolumena
        Vh=L*e*a;
        % urperatutako bolumenaren flotazio
zentroaren kokapena
        d1_Bultz_Plat=d1;
        d2_Bultz_Plat=d2;

        end
    end
end
end
end
end
end
end

% ThetaP negatiboarentzako bolumenaren kalkuluak
if ThetaP < 0 && ThetaP > -pi/2
    ThetaP2=-ThetaP;
    if Sakont <= XA2y
        % urperatutako bolumena
        Vh=0;
        % urperatutako bolumenaren flotazio zentroaren
kokapena
        d1_Bultz_Plat=d1;
        d2_Bultz_Plat=d2;

        else if Sakont <= (XA2y+L*sin(ThetaP2)) && Sakont <=
(XA2y+e*cos(ThetaP2))
            % urperatutako bolumena
            Vh=h2^2*a/(2*cos(ThetaP2)*sin(ThetaP2));

```

```

% urperatutako bolumenaren flotazio zentroaren
kokapena
d1_Bultz_Plat=L-h2/(3*sin(ThetaP2));
d2_Bultz_Plat=h2/(3*cos(ThetaP2));

else if Sakont > (XA2y+L*sin(ThetaP2)) && Sakont <=
(XA2y+e*cos(ThetaP2))
% urperatutako bolumena
Vh_1bol=(h2-L*sin(ThetaP2))/
cos(ThetaP2)*L*a;
Vh_2bol=L*sin(ThetaP2)/cos(ThetaP2)*L/2*a;
Vh=Vh_1bol+Vh_2bol;
% urperatutako bolumenaren flotazio
zentroaren kokapena
d1_1bol=L/2;
d2_1bol=(h2-L*sin(ThetaP2))/
(2*cos(ThetaP2));
d1_2bol=L-L/3;
d2_2bol=L*sin(ThetaP2)/(3*cos(ThetaP2))+
(h2-L*sin(ThetaP2))/cos(ThetaP2);

d1_Bultz_Plat=(d1_1bol*Vh_1bol+d1_2bol*Vh_2bol)/Vh;
d2_Bultz_Plat=(d2_1bol*Vh_1bol+d2_2bol*Vh_2bol)/Vh;

else if Sakont <= (XA2y+L*sin(ThetaP2)) &&
Sakont > (XA2y+e*cos(ThetaP2))
% urperatutako bolumena
Vh_1bol=(h2-e*cos(ThetaP2))/
sin(ThetaP2)*e*a;
Vh_2bol=e/2*e*cos(ThetaP2)/sin(ThetaP2)*a;
Vh=Vh_1bol+Vh_2bol;
% urperatutako bolumenaren flotazio
zentroaren kokapena
d1_1bol=L-(h2-e*cos(ThetaP2))/
(2*sin(ThetaP2));
d2_1bol=e/2;
d1_2bol=L-((h2-e*cos(ThetaP2))/
(sin(ThetaP2))+e*cos(ThetaP2)/(3*sin(ThetaP2)));
d2_2bol=e/3;

d1_Bultz_Plat=(d1_1bol*Vh_1bol+d1_2bol*Vh_2bol)/Vh;
d2_Bultz_Plat=(d2_1bol*Vh_1bol+d2_2bol*Vh_2bol)/Vh;

else if Sakont >= (XA2y+L*sin(ThetaP2)) &&
Sakont >= (XA2y+e*cos(ThetaP2)) && Sakont <=
(XA2y+L*sin(ThetaP2)+e*cos(ThetaP2))
% urperatutako bolumena
Vh_1bol=(h2-e*cos(ThetaP2))*e*a/
sin(ThetaP2);
Vh_2bol=(L-(h2-e*cos(ThetaP2))/
sin(ThetaP2))*(h2-L*sin(ThetaP2))/cos(ThetaP2)*a;
Vh_3bol=(L-(h2-e*cos(ThetaP2))/
sin(ThetaP2))*(e-(h2-L*sin(ThetaP2))/cos(ThetaP2))*a/2;
Vh=Vh_1bol+Vh_2bol+Vh_3bol;
% urperatutako bolumenaren flotazio
zentroaren kokapena

```

```

d1_1bol=L-(h2-e*cos(ThetaP2))/
(2*sin(ThetaP2));
d2_1bol=e/2;
d1_2bol=L-((h2-e*cos(ThetaP2))/
(2*sin(ThetaP2))+L/2);
d2_2bol=(h2-L*sin(ThetaP2))/
(2*cos(ThetaP2));
d1_3bol=L-(2/3*(h2-e*cos(ThetaP2))/
(sin(ThetaP2))+L/3);
d2_3bol=2/3*(h2-L*sin(ThetaP2))/
(cos(ThetaP2))+e/3;

d1_Bultz_Plat=(d1_1bol*Vh_1bol+d1_2bol*Vh_2bol+d1_3bol*Vh_3
bol)/Vh;

d2_Bultz_Plat=(d2_1bol*Vh_1bol+d2_2bol*Vh_2bol+d2_3bol*Vh_3
bol)/Vh;

else if Sakont >
(XA2y+L*sin(ThetaP2)+e*cos(ThetaP2))
    % urperatutako bolumena
    Vh=L*e*a;
    % urperatutako bolumenaren flotazio
zentroaren kokapena
        d1_Bultz_Plat=d1;
        d2_Bultz_Plat=d2;
    end
end
end
end
end
end

% Plataformaren urperatutako bolumenaren flotazio
zentroaren kokapena XYZ ardatzekiko

X_Flox= Dist1*cos(Theta1)+d1_Bultz_Plat*cos(ThetaP)-
d2_Bultz_Plat*sin(ThetaP);

X_Floy=
Dist1*sin(Theta1)+d1_Bultz_Plat*sin(ThetaP)+d2_Bultz_Plat*c
os(ThetaP);

Bultz=Dens_H2O*g*Vh_Plat;
Mz_Bultz=(X_Flox-PosGx)*Bultz;
% Uraren marruskadura
FmX=-cX_Def*dPosGx;
FmY=-cY_Def*dPosGy;
MmZ=-cP_Def*dThetaP;

% Indarren batura
FxT=Fx_Def+FmX;

```

```

FyT=Fy_Def+P+Bultz+FmY;
% Momentuen batura
MzT=Mz_Bultz+Mz_Def+MmZ;

%% Konstanteak

% Ezezagunen ekuazioak MAT matrizean
MAT=zeros(14);

MAT(1,2)=1;
MAT(2,1)=1;
MAT(2,3)=1;
MAT(3,3)=Dist1;
MAT(4,4)=1;
MAT(5,6)=1;
MAT(5,5)=1;
MAT(6,5)=Dist2;
MAT(7,2)=-cos(Thetal);
MAT(7,3)=sin(Thetal);
MAT(7,4)=-cos(Theta2);
MAT(7,5)=sin(Theta2);
MAT(7,11)=-M*cos(Thetal);
MAT(7,7)=M*Dist1*sin(Thetal);
MAT(7,9)=M*d1*sin(ThetaP)+M*d2*cos(ThetaP);
MAT(8,2)=-sin(Thetal);
MAT(8,3)=-cos(Thetal);
MAT(8,4)=-sin(Theta2);
MAT(8,5)=-cos(Theta2);
MAT(8,11)=-M*sin(Thetal);
MAT(8,7)=-M*Dist1*cos(Thetal);
MAT(8,9)=-M*d1*cos(ThetaP)+M*d2*sin(ThetaP);
MAT(9,2)=-sin(Thetal)*(-
d1*cos(ThetaP)+d2*sin(ThetaP))+cos(Thetal)*(-d1*sin(ThetaP)-
d2*cos(ThetaP));
MAT(9,3)=-cos(Thetal)*(-d1*cos(ThetaP)+d2*sin(ThetaP))-
sin(Thetal)*(-d1*sin(ThetaP)-d2*cos(ThetaP));
MAT(9,4)=-sin(Theta2)*((L-
d1)*cos(ThetaP)+d2*sin(ThetaP))+cos(Theta2)*((L-
d1)*sin(ThetaP)-d2*cos(ThetaP));
MAT(9,5)=-cos(Theta2)*((L-d1)*cos(ThetaP)+d2*sin(ThetaP))-
sin(Theta2)*((L-d1)*sin(ThetaP)-d2*cos(ThetaP));
MAT(9,9)=-I_G(3,3);
MAT(10,11)=cos(Thetal);
MAT(10,7)=-Dist1*sin(Thetal);
MAT(10,9)=-L*sin(ThetaP);
MAT(10,12)=-cos(Theta2);
MAT(10,8)=Dist2*sin(Theta2);
MAT(11,11)=sin(Thetal);
MAT(11,7)=Dist1*cos(Thetal);
MAT(11,9)=L*cos(ThetaP);
MAT(11,12)=-sin(Theta2);
MAT(11,8)=-Dist2*cos(Theta2);
MAT(12,8)=1;
MAT(12,9)=-1;
MAT(12,10)=-1;
MAT(13,11)=cos(Thetal);
MAT(13,7)=-Dist1*sin(Thetal);
MAT(13,9)=-d1*sin(ThetaP)-d2*cos(ThetaP);
MAT(13,13)=-1;
MAT(14,11)=sin(Thetal);

```

```

MAT(14,7)=Dist1*cos(Thetal);
MAT(14,9)=d1*cos(ThetaP)-d2*sin(ThetaP);
MAT(14,14)=-1;

% Ezezagunen ekuazioen emaitzak EMA matrizean
Ema1=-Akt1;

Ema2=0;

Ema3=cO1*dThetal-cA1*(dThetaP-dThetal);

Ema4=-Akt2;

Ema5=0;

Ema6=cO2*dTheta2-cA2*(dThetaP-dTheta2);

Ema7=-FxT+M*(-2*dDist1*sin(Thetal)*dThetal-
Dist1*cos(Thetal)*dThetal^2-
d1*cos(ThetaP)*dThetaP^2+d2*sin(ThetaP)*dThetaP^2);

Ema8=-FyT+M*(2*dDist1*cos(Thetal)*dThetal-
Dist1*sin(Thetal)*dThetal^2-d1*sin(ThetaP)*dThetaP^2-
d2*cos(ThetaP)*dThetaP^2);

Ema9=-MzT+cA1*(dThetaP-dThetal)-cA2*(dTheta2-dThetaP);

Ema10=2*dDist1*sin(Thetal)*dThetal+Dist1*cos(Thetal)*dThetal^2+
L*cos(ThetaP)*dThetaP^2-2*dDist2*sin(Theta2)*dTheta2-
Dist2*cos(Theta2)*dTheta2^2;

Ema11=-
2*dDist1*cos(Thetal)*dThetal+Dist1*sin(Thetal)*dThetal^2+L*sin(
ThetaP)*dThetaP^2+2*dDist2*cos(Theta2)*dTheta2-
Dist2*sin(Theta2)*dTheta2^2;

Ema12=0;

Ema13=2*dDist1*sin(Thetal)*dThetal+Dist1*cos(Thetal)*dThetal^2+
d1*cos(ThetaP)*dThetaP^2-d2*sin(ThetaP)*dThetaP^2;

Ema14=-
2*dDist1*cos(Thetal)*dThetal+Dist1*sin(Thetal)*dThetal^2+d1*sin
(ThetaP)*dThetaP^2+d2*cos(ThetaP)*dThetaP^2;

% Emaitzen EMA bektorea
EMA=[Ema1;Ema2;Ema3;Ema4;Ema5;Ema6;Ema7;Ema8;Ema9;Ema10;Ema11;E
ma12;Ema13;Ema14];

%% Ezezagunen emaitzak (f2_O1, f1_A1, f2_A1, f1_A2, f2_A2,
f2_O2, ddThetal, ddTheta2, ddThetaP, ddThetaA2, ddDist1,
ddDist2, ddPosGx, ddPosGy)
if sum(MAT(:)<Inf)~=size(MAT,1)^2
    NaNkopurua = -sum(MAT(:)<Inf)+size(MAT,1)^2;
    disp([num2str(NaNkopurua), ' NaN dauzkagu'])
end
if rank(MAT)~=size(MAT,1)
    disp('Matrizearen heinarekin arazoa')
end

X=MAT\EMA;

```

```

ddTheta1=X(7,1);
ddTheta2=X(8,1);
ddThetaA2=X(10,1);
ddThetaP=X(9,1);
ddDist1=X(11,1);
ddDist2=X(12,1);
ddPosGx=X(13,1);
ddPosGy=X(14,1);
  
```

1.1.3. Datuen kalkulua denboran (Estatuen Espazioaren Teoria)

Hasierako egoerako datu guztiak kalkulatu eta gero, hauek denboran aurrera lortu behar dira, plataformaren portaera azaltzeko une bakoitzeko datu guztiak ezagutu ahal izateko. Honetarako, estatuen espazioaren teorian oinarritutako prozedura bat burutzen da non hasierako egoerako datuetatik abiatuta ondorengo uneetako kalkuluak burutzen dituen *ode* deituriko *Matlab*-eko komando bati esker.

ode honek, simulaturiko denboran zehazturiko une bakoitzeko distantziak, angeluak eta abiadurak emango dizkigu, baina azelerazioak, prozesu honen ostean birkalkulatu behar dira. Kalkulu hau, **Dinamika** funtzioa *for* baten bitartez landuz burutuko da, aipaturiko une bakoitzeko behar diren datuak eskuratzuz.

```

%% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %%
%% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %%
%% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %%

%% Datu ezagunen bektorea
Param =
[g; PosGx; PosGy; dPosGx; dPosGy; ThetaP; dThetaP; Theta1; dTheta1; Theta2; dTheta2; ThetaA2; dThetaA2; L; e; a; d1; d2; L0; Dens; M; Dist1; dDist1; Dist2; dDist2; I_G(3,3); cO1; cO2; cA1; cA2; Akt1; Akt2; Sakont; Dens_H2O; Fx; Fy; P; Mz; cX; cY; cP];

%% ode45 integratzailea
options = odeset('RelTol',1e-8,'AbsTol',1e-8);
tinv = Tini:dt:Tend;
q=[Theta1; Theta2; ThetaP; ThetaA2; Dist1; Dist2; PosGx; PosGy];
dq=[dTheta1; dTheta2; dThetaP; dThetaA2; dDist1; dDist2; dPosGx; dPosGy];
y0 = [q; dq];

disp('ode45 integradoreak kalkulatu emandako denbora:')
tic
[t, y]= ode45('Integrazioa_Plataforma',tinv,y0,options,Param);
Toc
  
```

INTEGRAZIOA PLATAFORMA

Ode komandoak, ***Integrazioa_Plataforma*** funtzioaz baliatuz, hasierako egoeran ***Dinamika*** funtzioaz lorturiko datuak denboran integratzen ditu, honela hurrengo uneko abiadurak, abiadura angeluarrak, distantzien eta angeluen balioak eskuratzuz. Ondoren, une berri horretako azelerazioak kalkulatu dira, funtzio honen barrenean dagoen beste ***Dinamika*** funtzio bati esker, bi pausuen bitartez une berri honetako datu guztiak ezagutzuz.

Prozesu hau, **tin**v balioaren bidez maneiatzen da, zeinaren bitartez kalkulatu beharreko une kopurua eta beraien arteko denbora tartea ezartzen den, prozesuaren errepikapenak markatuz.

Azaldu berri den *ode* komando honek, **Param** moduan izendatu den hasierako egoerako datuak gordetzen dituen bektorea behar du, bere barruko prozeduretan datu hauek erabiltzeko. Honetaz aparte, *ode* komandoaren aurretik *odeset* komandoak erabiliko diren tolerantzia erlatibo eta absolutuak definitzen dituela esan beharra dago.

```
function yp= Integrazioa_Plataforma(t,y,flags,Param)

% Parametroen balioak
g = Param(1); PosGx = Param(2); PosGy = Param(3);
dPosGx = Param(4); dPosGy = Param(5); ThetaP = Param(6);
dThetaP = Param(7); Theta1 = Param(8); dTheta1 = Param(9);
Theta2 = Param(10); dTheta2 = Param(11); ThetaA2 = Param(12);
dThetaA2 = Param(13); L = Param(14); e = Param(15);
a = Param(16);d1 = Param(17); d2 = Param(18); L0 = Param(19);
Dens = Param(20); M = Param(21); Dist1 = Param(22);
dDist1 = Param(23); Dist2 = Param(24); dDist2 = Param(25);
I_G(3,3) = Param(26); cO1 = Param(27); cO2 = Param(28);
cA1 = Param(29); cA2 = Param(30);Akt1 = Param(31);
Akt2 = Param(32); Sakont = Param(33); Dens_H2O = Param(34);
Fx = Param(35); Fy = Param(36);P = Param(37); Mz = Param(38);
cX = Param(39); cY = Param(40); cP = Param(41);

Theta1 = y(1);
Theta2 = y(2);
ThetaP = y(3);
ThetaA2 = y(4);
Dist1 = y(5);
Dist2 = y(6);
PosGx = y(7);
PosGy = y(8);

dTheta1 = y(9);
dTheta2 = y(10);
dThetaP = y(11);
dThetaA2 = y(12);
dDist1 = y(13);
dDist2 = y(14);
dPosGx = y(15);
dPosGy = y(16);

[ddTheta1,ddTheta2,ddThetaA2,ddThetaP,ddDist1,ddDist2,ddPosGx,d
dPosGy,FxT,FyT,MzT]=
Dinamika(g,PosGx,PosGy,dPosGx,dPosGy,ThetaP,dThetaP,Theta1,dThe
ta1,Theta2,dTheta2,ThetaA2,dThetaA2,L,e,a,d1,d2,L0,Dens,M,Dist1
,dDist1,Dist2,dDist2,I_G,Akt1,Akt2,cO1,cO2,cA1,cA2,Sakont,Dens_
H2O,Fx,Fy,P,Mz,cX,cY,cP);

yp=
[dTheta1;dTheta2;dThetaP;dThetaA2;dDist1;dDist2;dPosGx;dPosGy;d
dTheta1;ddTheta2;ddThetaP;ddThetaA2;ddDist1;ddDist2;ddPosGx;ddP
osGy];
```

```

disp(Dinamikaren "for"-ak kalkulatzeko emandako denbora:')
tic
for i=2:size(tinv,2)
[ddTheta1(i,1),ddTheta2(i,1),ddThetaA2(i,1),ddThetaP(i,1),ddDist1(i,1)
,ddDist2(i,1),ddPosGx(i,1),ddPosGy(i,1),FxT,FyT,MzT(i,1)]=
Dinamika(g,y(i,7),y(i,8),y(i,15),y(i,16),y(i,3),y(i,11),y(i,1),y(i,9),
y(i,2),y(i,10),y(i,4),y(i,12),L,e,a,d1,d2,L0,Dens,M,y(i,5),y(i,13),y(i
,6),y(i,14),I_G,Akt1,Akt2,cO1,cO2,cA1,cA2,Sakont,Dens_H2O,Fx,Fy,P,Mz,c
X,cY,cP);
end
toc

```

1.1.4. Simulazioa grafikoa

Modelo dinamiko honek sortzen dituen mugimendudun simulazioak programatzeko, **Simulazioa_Plataforma** deituriko funtzioa diseinatu da, zeinak une bakoitzeko plataformaren posizioa irudi aldakor batetan irudikatzen duen. Hau gauzatzeko, simulazioan erabili beharreko puntu eta lerroak definitzen dira, hasierako irudi finkoa irudikatzeke lehendabizi eta *for* baten bitartez mugimendudun bideoa osatzeko gero. *for* honen barrenean, aipaturiko **Simulazioa_Plataforma** funtzioa martxan jartzen da, honek mugimendudun simulazioa sortuz.

Honez gain, aipatu beharra da zati honetako kodigoaren hasieran agertzen diren *save* eta *load* komandoak, orain arte kalkulaturiko datuak gordetzeko eta kargatzeko direla. Honela, egoera ezberdinen datuak gordetzeko aukera dago *save* komandoarekin, eta atal honen eta grafikoak azaltzen dituen hurrengo atalaren bidez, *load* komandoaz kargaturiko datuak irudikatu daitezkeela.

```

save Emaizak_Plataforma.mat t y Param ddTheta1 ddTheta2 ddThetaP
ddThetaA2 ddDist1 ddDist2 ddPosGx ddPosGy

% % % % load Emaizak_Plataforma.mat

% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %
% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %
% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %

Simulazioaren_arranke= input('SIMULAZIOA ikusi nahi baduzu sartu 1
zenbakia jarraian: ');
if Simulazioaren_arranke== 1

% Puntuak
X01x=0;
X01y=0;
X01=[X01x,X01y];

X02x=L0;
X02y=0;
X02=[X02x,X02y];

```

```

XA1x=y(1,5)*cos(y(1,1));
XA1y=y(1,5)*sin(y(1,1));
XA1=[XA1x,XA1y];

XA2x=XA1x+L*cos(y(1,3));
XA2y=XA1y+L*sin(y(1,3));
XA2=[XA2x,XA2y];

XA3x=XA2x-e*sin(y(1,3));
XA3y=XA2y+e*cos(y(1,3));
XA3=[XA3x,XA3y];

XA4x=XA1x-e*sin(y(1,3));
XA4y=XA1y+e*cos(y(1,3));
XA4=[XA4x,XA4y];

max1 = get(0,'screensize');
figure('Position',[1 1 max1(3) max1(4)])
hold on
grid on
axis([PosGx(1,1)-L-3,PosGx(1,1)+L+3, PosGy(1,1)-L-3, PosGy(1,1)+L+3])

dib(1) =
plot([XO1(1,1),XA1(1,1)],[XO1(1,2),XA1(1,2)], 'b', 'linewidth', 2);
dib(2) = plot([XA1(1,1),XA2(1,1)],[XA1(1,2),XA2(1,2)], 'b');
dib(3) =
plot([XA2(1,1),XO2(1,1)],[XA2(1,2),XO2(1,2)], 'b', 'linewidth', 2);
dib(4) = plot(XO1(1,1),XO1(1,2), 'ro');
dib(5) = plot(XO2(1,1),XO2(1,2), 'ro');
dib(6) = plot([XA2(1,1),XA3(1,1)],[XA2(1,2),XA3(1,2)], 'b');
dib(7) = plot([XA1(1,1),XA4(1,1)],[XA1(1,2),XA4(1,2)], 'b');
dib(8) = plot([XA3(1,1),XA4(1,1)],[XA3(1,2),XA4(1,2)], 'b');

% Ur maila
dib(9)= plot([-10000,10000],[Sakont,Sakont], 'b', 'linewidth', 1);

% Plataformaren kolorea
dib(10)= fill([XA1x XA2x XA3x XA4x],[XA1y XA2y XA3y XA4y],[0.0 0.2
0.6]);

% Lurra
dib(11)= plot([-10000,10000],[0,0], 'k', 'linewidth', 2);

pause
for i=2:size(y,1)

XO1x=0;
XO1y=0;
XO1=[XO1x,XO1y];

XO2x=L0;
XO2y=0;
XO2=[XO2x,XO2y];

XA1x=y(i,5)*cos(y(i,1));
XA1y=y(i,5)*sin(y(i,1));
XA1=[XA1x,XA1y];

XA2x=XA1x+L*cos(y(i,3));

```

```

XA2y=XA1y+L*sin(y(i,3));
XA2=[XA2x,XA2y];

XA3x=XA2x-e*sin(y(i,3));
XA3y=XA2y+e*cos(y(i,3));
XA3=[XA3x,XA3y];

XA4x=XA1x-e*sin(y(i,3));
XA4y=XA1y+e*cos(y(i,3));
XA4=[XA4x,XA4y];

plot([-10000,10000],[Sakont,Sakont],'b');
plot([-10000,10000],[0,0],'k');

[Sim] =
Simulazioa_Plataforma(XO1,XA1,XA2,XO2,XA3,XA4,L0,y(i,7),y(i,8),L,e,dib
);

```

SIMULAZIOA PLATAFORMA

Funtzio honek, atalaren azalpenean esan den bezala, plataformaren mekanismoaren mugimendudun simulazio bat sortzen du. Horretarako *set* komandoaz baliatzen da, komando honek une bakoitzeko irudikatu beharreko atalen balioak egokitzen dituelarik. *set* komando honek, aldezturik definitu diren *plot* bidez irudikatutako puntu, lerro eta *fill*-ez osaturiko **dib** bektorearen balioak simulatzen ditu. Bestalde, adieraztekoa da *fill* deituriko *Matlab*-en funtzioa, plataformari kolorea emateko erabili den funtzioa dela, eta kodigoaren bukaeran agertzen den *pause*-ak, berriz, simulazioaren erreproduktzio abiadura markatzen duela.

```

function [Sim] =
Simulazioa_Plataforma(XO1,XA1,XA2,XO2,XA3,XA4,L0,PosGx,PosGy,L,
e,dib)

axis([PosGx-L-3,PosGx+L+3, PosGy-L-3, PosGy+L+3]) % Plataforma
hurbildik ikusteko

% axis([PosGx-L-3,PosGx+L+3, -2, PosGy+L+e]) % Sistema
osoa ikusteko

set(dib(1),'xdata',[XO1(1,1),XA1(1,1)],'ydata',[XO1(1,2),XA1(1,
2)],'color','b','linewidth',2);

set(dib(2),'xdata',[XA1(1,1),XA2(1,1)],'ydata',[XA1(1,2),XA2(1,
2)],'color','b');

set(dib(3),'xdata',[XA2(1,1),XO2(1,1)],'ydata',[XA2(1,2),XO2(1,
2)],'color','b','linewidth',2);

set(dib(4),'xdata',XO1(1,1),'ydata',XO1(1,2));

set(dib(5),'xdata',XO2(1,1),'ydata',XO2(1,2));

set(dib(6),'xdata',[XA2(1,1),XA3(1,1)],'ydata',[XA2(1,2),XA3(1,
2)],'color','b');

set(dib(7),'xdata',[XA1(1,1),XA4(1,1)],'ydata',[XA1(1,2),XA4(1,
2)],'color','b');

```

```

set(dib(8), 'xdata', [XA3(1,1),XA4(1,1)], 'ydata', [XA3(1,2),XA4(1,
2)], 'color', 'b');

set(dib(10), 'xdata', [XA1(1,1),XA2(1,1),XA3(1,1),XA4(1,1)], 'ydat
a', [XA1(1,2),XA2(1,2),XA3(1,2),XA4(1,2)])

Sim = X01;

pause(0.007);

end

end

```

1.1.5. Grafikoak

Main_Plataforma-ren azkeneko zatia azaltzen duen atal honetan, lorturiko datu esanguratsuenak grafikoen bidez denboraren aurrean irudikatzen dira. Horretarako, *plot* komandoez baliatzen da, honen azpi-komandoen bidez grafikoen tamaina, eskala, tituluak, azpitituluak, etab. definituz.

```

% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %
% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %
% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %

```

```

max1 = get(0, 'screensize');
% Plataformaren arientazioaren grafika0
Plat_orientazioa_graf_arranke = input('Plataformaren ORIENTAZIOAREN
grafika ikusi nahi baduzu sartu 1 zenbakia jarraian: ');
if Plat_orientazioa_graf_arranke == 1

figure('Position', [1 1 max1(3) max1(4)])

% ThetaP plataformaren angelua
pause
subplot(3,1,1);
plot(tinv, y(:,3), 'r');
grid on
xlabel('Denbora (s)');
ylabel('Angelua [rad]');
title('Plataformaren angelua denboraren aurrean');
legend('ThetaP');
% dThetaP plataformaren abiadura
pause
subplot(3,1,2);
plot(tinv, y(:,11), 'g');
grid on
xlabel('Denbora (s)');
ylabel('Abiadura [rad/seg]');
title('Plataformaren abiadura angeluarra denboraren aurrean');
legend('dThetaP');
% ddThetaP plataformaren azelerazioa

```

```

pause
subplot(3,1,3);
plot(tinv,ddThetaP(:,1),'b');
xlabel('Denbora (s)');
grid on
ylabel('Azlerazioa [rad/seg^2]');
title('Plataformaren azelerazioa angeluarra denboraren aurrean');
legend('ddThetaP');

end

% Plataformaren mugimendu bertikala
pause
Plat_bert_graf_arrankea= input('Plataformaren MUGIMENDU BERTIKALAREN
grafika ikusi nahi baduzu sartu 1 zenbakia jarraian: ');
if Plat_bert_graf_arrankea== 1

figure ('Position',[1 1 maxl(3) maxl(4)])

% Plataformaren grabitate zentruaren altuera
pause
subplot(3,1,1);
plot(tinv,y(:,8),'r');
grid on
title('Plataformaren grabitazio zentruaren altuera denboraren
aurrean');
xlabel('Denbora (s)');
ylabel('Altuera [m]');
legend('PosGy');
% Plataformaren grabitate zentruaren altueraren abiadura
pause
subplot(3,1,2);
plot(tinv,y(:,16),'g');
grid on
title('Plataformaren abiadura bertikala denboraren aurrean');
xlabel('Denbora (s)');
ylabel('Abiadura [m/seg]');
legend('dPosGy');
% Plataformaren grabitate zentruaren altueraren azelerazioa
pause
subplot(3,1,3);
plot(tinv,ddPosGy(:,1),'b');
grid on
title('Plataformaren azelerazio bertikala denboraren aurrean');
xlabel('Denbora (s)');
ylabel('Azlerazioa [m/seg^2]');
legend('ddPosGy');

end

% Plataformaren mugimendu horizontala
pause
Plat_oriz_graf_arrankea= input('Plataformaren MUGIMENDU HORIZONTALAREN
grafika ikusi nahi baduzu sartu 1 zenbakia jarraian: ');
if Plat_oriz_graf_arrankea== 1

figure ('Position',[1 1 maxl(3) maxl(4)])

% Plataformaren grabitate zentruaren posizioa abzisen ardatzan
pause

```

```

subplot(3,1,1);
plot(tinv,y(:,7),'r');
grid on
title('Plataformaren grabitazio zentruaren posizioa X ardatzan
denboraren aurrean');
xlabel('Denbora (s)');
ylabel('Posizioa [m]');
legend('PosGx');
% Plataformaren grabitate zentruaren posizioaren abiadura
pause
subplot(3,1,2);
plot(tinv,y(:,15),'g');
grid on
title('Plataformaren grabitazio zentruaren abiadura X ardatzan
denboraren aurrean');
xlabel('Denbora (s)');
ylabel('Abiadura [m/seg]');
legend('dPosGx');
% Plataformaren grabitate zentruaren posizioaren azelerazioa
pause
subplot(3,1,3);
plot(tinv,ddPosGx(:,1),'b');
grid on
title('Plataformaren grabitazio zentruaren azelerazioa X ardatzan
denboraren aurrean');
xlabel('Denbora (s)');
ylabel('Azlerazioa [m/seg^2]');
legend('ddPosGx');

end

% Plataformak jasantako momentuen batura
pause
Moment_graf_arrankea= input('Grabitate zentruaren altueraren arabera,
plataformak JASANDAKO MOMENTUEN grafikoa ikusi nahi baduzu sartu 1
zenbakia jarraian: ');
if Moment_graf_arrankea== 1

figure ('Position',[1 1 maxl(3) maxl(4)])
pause
subplot(2,1,1);
plot(tinv,y(:,8),'r');
grid on
title('Grabitate zentruaren altuera denboraren aurrean');
xlabel('Denbora (s)');
ylabel('Altuera [m]');
legend('PosPy');

pause
subplot(2,1,2);
plot(tinv,MzT(:,1),'b');
xlabel('Denbora (s)');
grid on
ylabel('Momentuen batura [Nm]');
title('Plataformak jasandako momentuen batura denboraren aurrean');
legend('MzT');

```



end

```
% Bukaera: dena isteko.  
disp('Sakatu edozein botoi dena isteko');  
pause  
close all
```


1.2. AEROSORGAILUAREN SISTEMA OSOAREN MODELO DINAMIKOA

MAIN PLATAFORMA

1.2.1. Datuen sarrera

```

close all
clear all

%%
%% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %%
%% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %%
%% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %%
%% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %%

g=9.81;
L0=40;

%% Plataformaren ezaugarriak

% Plataforma
L=25;
e=8;
a=L;
Dens_Plat=500;
M_Plat=L*e*a*Dens_Plat;
% Aerosorgailuaren Dorrea
H_Dor=50;
M_Dor=20000;
% Aerosorgailuaren Gondola
H_Gon=H_Dor+3;
M_Gon=5000;
% 1.Boia
Luz1=10;
Zab1=0;
M_B1=80000;
% 2.Boia
Luz2=10;
Zab2=L;
M_B2=80000;

% Plataformaren grabitate zentura
d1_Plat=L/2;
d2_Plat=e/2;
d3_Plat=-a/2;
% Gondolaren grabitate zentura
d1_Gon=L/2;
d2_Gon=H_Gon;
d3_Gon=-a/2;
% Dorrearen grabitate zentura
d1_Dor=L/2;
d2_Dor=H_Dor/2;
d3_Dor=-a/2;
% 1.Boiaren grabitate zentura
d1_B1=Zab1;
d2_B1=-Luz1;
d3_B1=-a/2;

```

```
% 2.Boiaren grabitate zentura
```

```
d1_B2=Zab2;
```

```
d2_B2=-Luz2;
```

```
d3_B2=-a/2;
```

```
% SISTEMA OSOAREN GRABITATE ZENTRUA (d1_G eta d2_G, A1 puntuarekiko  
grabitate zentruaren koordenatuak dira)
```

```
[M_TOT,d1_G,d2_G,d3_G] = Grabitate_Zentrua
```

```
(M_Plata,M_Dor,M_Gon,M_B1,M_B2,d1_Plata,d1_Dor,d1_Gon,d1_B1,d1_B2,d2_Pla  
ta,d2_Dor,d2_Gon,d2_B1,d2_B2,d3_Plata,d3_Dor,d3_Gon,d3_B1,d3_B2);
```

GRABITATE ZENTRUA

Funtzio honen bidez, aerosorgailuaren sistema osatzen duten osagai guztien masak eta hauen kokapena aztertuz, grabitate zentru nagusia aurkitzen du. Horretarako, ekuazioen ataleko ekuazioez baliatzen da, hauek planteatzen diren modu berean eabazteko programatuz funtzioa. Kokapen hau, 1'2'3'basean ematen da eta **A1** puntuarekiko erlatiboa da. Honez gain, mekanismo osoaren masa kalkulatu du.

```
function [M_TOT,d1_G,d2_G,d3_G] = Grabitate_Zentrua  
(M_Plata,M_Dor,M_Gon,M_B1,M_B2,d1_Plata,d1_Dor,d1_Gon,d1_B1,d1_B2,  
d2_Plata,d2_Dor,d2_Gon,d2_B1,d2_B2,d3_Plata,d3_Dor,d3_Gon,d3_B1,d3  
_B2)  
% Masen batura  
M_TOT=M_Plata+M_Dor+M_Gon+M_B1+M_B2;  
% Grabitate zentruaren koordenatuak A1-ekiko  
d1_G=(d1_Plata*M_Plata+d1_Dor*M_Dor+M_Gon*d1_Gon+d1_B1*M_B1+d1_B2*  
M_B2)/M_TOT;  
d2_G=(d2_Plata*M_Plata+d2_Dor*M_Dor+M_Gon*d2_Gon+d2_B1*M_B1+d2_B2*  
M_B2)/M_TOT;  
d3_G=(d3_Plata*M_Plata+d3_Dor*M_Dor+M_Gon*d3_Gon+d3_B1*M_B1+d3_B2*  
M_B2)/M_TOT;
```

```
% SISTEMA OSOAREN INERTZIA TENTSOREA
```

```
[I_G]=
```

```
Inertzia(d1_Plata,d2_Plata,d1_Dor,d2_Dor,d1_Gon,d2_Gon,d1_B1,d2_B1,d1_B2  
,d2_B2,d1_G,d2_G,M_Plata,M_Dor,M_Gon,M_B1,M_B2,L,e,a);
```

INERTZIA

Aurreko bertsioan egiten zen bezala, honetan ere **Inertzia** funtzioak mekanismoaren inertzia tentsorea kalkulatu du. Honekiko ezberdintasuna, bertsio honek sistemaren atal guztiak kontutan hartzen dituela da, inertzia grabitate zentru nagusiarekiko kalkulatu eta solidoen inertziendako Steinerren teorema kontutan izanik. Plataformak, bere grabitate zentruarekiko inertzia tentsorea eta Steinerrena ditu, baina besteek, aldiz, masa puntualak izanik, Steinerren matrizeak bakarrik aplikatu zaie.

```
function [I_G]=  
Inertzia(d1_Plata,d2_Plata,d1_Dor,d2_Dor,d1_Gon,d2_Gon,d1_B1,d2_B1,d  
1_B2,d2_B2,d1_G,d2_G,M_Plata,M_Dor,M_Gon,M_B1,M_B2,L,e,a)  
  
% Plataformaren Inertzia tentsorea
```

```

I_G_Plat=zeros(3);

I_G_Plat(1,1)=M_Plat*(e^2+a^2)/12 + M_Plat*(d2_G-d2_Plat)^2;
I_G_Plat(2,1)=-M_Plat*(d1_G-d1_Plat)*(d2_G-d2_Plat);
I_G_Plat(1,2)=I_G_Plat(2,1);
I_G_Plat(2,2)=M_Plat*(L^2+a^2)/12 + M_Plat*(d1_G-d1_Plat)^2;
I_G_Plat(3,3)=M_Plat*(L^2+e^2)/12 + M_Plat*((d1_G-
d1_Plat)^2+(d2_G-d2_Plat)^2);

% Dorrearen Inertzia tentsorea
I_G_Dor=zeros(3);

I_G_Dor(1,1)=M_Dor*(d2_G-d2_Dor)^2;
I_G_Dor(2,1)=-M_Dor*(d1_G-d1_Dor)*(d2_G-d2_Dor);
I_G_Dor(1,2)=I_G_Dor(2,1);
I_G_Dor(2,2)=M_Dor*(d1_G-d1_Dor)^2;
I_G_Dor(3,3)=M_Dor*((d1_G-d1_Dor)^2+(d2_G-d2_Dor)^2);

% Gondolaren Inertzia tentsorea
I_G_Gon=zeros(3);

I_G_Gon(1,1)=M_Gon*(d2_G-d2_Gon)^2;
I_G_Gon(2,1)=-M_Gon*(d1_G-d1_Gon)*(d2_G-d2_Gon);
I_G_Gon(1,2)=I_G_Gon(2,1);
I_G_Gon(2,2)=M_Gon*(d1_G-d1_Gon)^2;
I_G_Gon(3,3)=M_Gon*((d1_G-d1_Gon)^2+(d2_G-d2_Gon)^2);

% 1.Boiaren Inertzia tentsorea
I_G_B1=zeros(3);

I_G_B1(1,1)=M_B1*(d2_G-d2_B1)^2;
I_G_B1(2,1)=-M_B1*(d1_G-d1_B1)*(d2_G-d2_B1);
I_G_B1(1,2)=I_G_B1(2,1);
I_G_B1(2,2)=M_B1*(d1_G-d1_B1)^2;
I_G_B1(3,3)=M_B1*((d1_G-d1_B1)^2+(d2_G-d2_B1)^2);

% 1.Boiaren Inertzia tentsorea
I_G_B2=zeros(3);

I_G_B2(1,1)=M_B2*(d2_G-d2_B2)^2;
I_G_B2(2,1)=-M_B2*(d1_G-d1_B2)*(d2_G-d2_B2);
I_G_B2(1,2)=I_G_B2(2,1);
I_G_B2(2,2)=M_B2*(d1_G-d1_B2)^2;
I_G_B2(3,3)=M_B2*((d1_G-d1_B2)^2+(d2_G-d2_B2)^2);

% Sistema osoaren Inertzia tentsorea
I_G= I_G_Plat + I_G_Dor + I_G_Gon + I_G_B1 + I_G_B2;

```

```

% Artikulazioen marruskadurak

```

```

cO1=5;

```

```

cO2=5;

```

```

cA1=5;

```

```

cA2=5;

```

```
%% Sarrerako datuak
```

```
% Plataforma kokatzeko erabiltzen den "P" puntuaren kordenatuak A1-  
ekiko
```

```
d1_P=d1_G;
```

```
d2_P=d2_G;
```

```
% Plataformaren "P" puntuaren hasierako kordenatuak eta  
abiadura (PLATAFORMA KOKANTZEKO ERABILI)
```

```
PosPx=20;
```

```
PosPy=50;
```

```
dPosPx=0;
```

```
dPosPy=0;
```

```
% Plataformaren hasierako orientazio angelua eta abiadura angeluarra
```

```
ThetaP=0;
```

```
dThetaP=0;
```

1.2.2. Hasierako egoeren kalkulua (Dinamika eta Zinematika)

```
%% Hasierako uneko angelu, luzera eta abiaduren kalkulua
```

```
% Angeluak eta kableen luzerak
```

```
[Theta1,Theta2,ThetaA2,Dist1,Dist2]= Angeluak_eta_kableen_luzera  
(PosPx,PosPy,ThetaP,L,L0,d1_P,d2_P);
```

ANGELUAK ETA KABLEEN LUZERA

```
function [Theta1,Theta2,ThetaA2,Dist1,Dist2]=  
Angeluak_eta_kableen_luzera(PosPx,PosPy,ThetaP,L,L0,d1_P,d2_P)  
  
% (1) Angelua  
Theta1=atan2((-d1_P*sin(ThetaP)-d2_P*cos(ThetaP)+PosPy),(-  
d1_P*cos(ThetaP)+d2_P*sin(ThetaP)+PosPx));  
% (1) Kablearen luzera  
if Theta1~=pi/2  
    Dist1=(-  
d1_P*cos(ThetaP)+d2_P*sin(ThetaP)+PosPx)/cos(Theta1);  
else  
    Dist1=(-d1_P*sin(ThetaP)-  
d2_P*cos(ThetaP)+PosPy)/sin(Theta1);  
end  
% (2) Angelua  
Theta2=atan2(Dist1*sin(Theta1)+L*sin(ThetaP),Dist1*cos(Theta1)+L  
*cos(ThetaP)-L0);  
% (2) Kablearen luzera  
if Theta2~=pi/2  
    Dist2=(Dist1*cos(Theta1)+L*cos(ThetaP)-L0)/cos(Theta2);  
else  
    Dist2=(Dist1*sin(Theta1)+L*sin(ThetaP))/sin(Theta2);  
end  
% (A2) Angelua  
ThetaA2=Theta2-ThetaP;
```

```
% Abiadurak
```

```
[dDist1,dDist2,dTheta1,dTheta2,dThetaA2]=  
Abiadurak(dPosPx,dPosPy,ThetaP,dThetaP,Thetal,Theta2,L,d1_P,d2_P,Dist1  
,Dist2);
```

ABIADURAK

```
function [dDist1,dDist2,dTheta1,dTheta2,dThetaA2]=  
Abiadurak(dPosPx,dPosPy,ThetaP,dThetaP,Thetal,Theta2,L,d1_P,d2_P  
,Dist1,Dist2)
```

```
% (1) Angeluaren abiadura
```

```
dTheta1=(-  
tan(Thetal)*(d1_P*sin(ThetaP)*dThetaP+d2_P*cos(ThetaP)*dThetaP+d  
PosPx)-  
d1_P*cos(ThetaP)*dThetaP+d2_P*sin(ThetaP)*dThetaP+dPosPy)/(tan(T  
hetal)*Dist1*sin(Thetal)+Dist1*cos(Thetal));
```

```
% (1) Kablearen abiadura
```

```
if Thetal~=pi/2
```

```
dDist1=(Dist1*sin(Thetal)*dThetal+d1_P*sin(ThetaP)*dThetaP+d2_P*  
cos(ThetaP)*dThetaP+dPosPx)/cos(Thetal);
```

```
else
```

```
    dDist1=(-Dist1*cos(Thetal)*dThetal-  
d1_P*cos(ThetaP)*dThetaP+d2_P*sin(ThetaP)*dThetaP+dPosPy)/sin(Th  
etal);
```

```
end
```

```
% (2) Angeluaren abiadura
```

```
dTheta2=(dDist1*sin(Thetal)+Dist1*cos(Thetal)*dThetal+L*cos(Thet  
aP)*dThetaP-tan(Theta2)*(dDist1*cos(Thetal)-  
Dist1*sin(Thetal)*dThetal-  
L*sin(ThetaP)*dThetaP))/(tan(Theta2)*Dist2*sin(Theta2)+Dist2*cos  
(Theta2));
```

```
% (2) Kablearen abiadura
```

```
if Theta2~=pi/2
```

```
    dDist2=(dDist1*cos(Thetal)-Dist1*sin(Thetal)*dThetal-  
L*sin(ThetaP)*dThetaP+Dist2*sin(Theta2)*dTheta2)/cos(Theta2);
```

```
else
```

```
dDist2=(dDist1*sin(Thetal)+Dist1*cos(Thetal)*dThetal+L*cos(Theta  
P)*dThetaP-Dist2*cos(Theta2)*dTheta2)/sin(Theta2);
```

```
end
```

```
% (A2) Angeluaren abiadura
```

```
dThetaA2=dTheta2-dThetaP;
```

```
%% Urarekin zerikusia duten datuak
```

```
Sakont=50;
```

```
Dens_H2O=1000;
```

```
% Urarekiko marruskadura
```

```
cX_Plat=300000000;
```

```
cY_Plat=300000000;
```

```
cP_Plat=300000000;
```

```

cX_B1=30000;
cY_B1=30000;
cP_B1=30000;

cX_B2=30000;
cY_B2=30000;
cP_B2=30000;

% Olatu eta mareek sorturiko indarra
Fx=0;
Fy=0;
% Olatu eta mareek sorturiko momentuak
Mz=0;

%% Haizeak eragindako indarrak
Fx_Haizea_Gon= 0;
Fy_Haizea_Gon= 0;
Fx_Haizea_Dor= 0;
Fy_Haizea_Dor= 0;;

%% Kableak kontrolatzeko Aktuadoreak

Akt1=-50000;% Aktuadoreek kableetatik tiratzeko indar negatiboak jarri
Akt2=-50000;

%% Dinamika
[ddTheta1,ddTheta2,ddThetaA2,ddThetaP,ddDist1,ddDist2,ddPosPx,ddPosPy,
FxT,FyT,MzT]=
Dinamika(g,ThetaP,dThetaP,Theta1,dTheta1,Theta2,dTheta2,L,e,a,d1_P,d2_
P,M_TOT,Dist1,dDist1,Dist2,dDist2,I_G,Akt1,Akt2,cO1,cO2,cA1,cA2,Sakont
,Dens_H2O,Fx,Fy,Mz,d1_G,d2_G,d1_Plat,d2_Plat,d1_B1,d2_B1,d1_B2,d2_B2,d
1_Dor,d2_Dor,d1_Gon,d2_Gon,M_Plat,M_B1,M_B2,M_Dor,M_Gon,cX_B1,cY_B1,cX
_B2,cY_B2,cX_Plat,cY_Plat,cP_Plat,Fx_Haizea_Gon,Fy_Haizea_Gon,Fx_Haize
a_Dor,Fy_Haizea_Dor);

```

DINAMIKA

```

function
[ddTheta1,ddTheta2,ddThetaA2,ddThetaP,ddDist1,ddDist2,ddPosPx,dd
PosPy,FxT,FyT,MzT]=
Dinamika(g,ThetaP,dThetaP,Theta1,dTheta1,Theta2,dTheta2,L,e,a,d1
_P,d2_P,M_TOT,Dist1,dDist1,Dist2,dDist2,I_G,Akt1,Akt2,cO1,cO2,cA
1,cA2,Sakont,Dens_H2O,Fx,Fy,Mz,d1_G,d2_G,d1_Plat,d2_Plat,d1_B1,d
2_B1,d1_B2,d2_B2,d1_Dor,d2_Dor,d1_Gon,d2_Gon,M_Plat,M_B1,M_B2,M_
Dor,M_Gon,cX_B1,cY_B1,cX_B2,cY_B2,cX_Plat,cY_Plat,cP_Plat,Fx_Hai
zea_Gon,Fy_Haizea_Gon,Fx_Haizea_Dor,Fy_Haizea_Dor)

% Sistema osoaren grabitate zentruaren posizioa XYZ ardatzekiko
PosGx= Dist1*cos(Theta1)+d1_G*cos(ThetaP)-d2_G*sin(ThetaP);
PosGy= Dist1*sin(Theta1)+d1_G*sin(ThetaP)+d2_G*cos(ThetaP);
% Grabitate zentruaren abiadura XYZ ardatzekiko
dPosGx= dDist1*cos(Theta1)-Dist1*sin(Theta1)*dTheta1-
d1_G*sin(ThetaP)*dThetaP-d2_G*cos(ThetaP)*dThetaP;
dPosGy=
dDist1*sin(Theta1)+Dist1*cos(Theta1)*dTheta1+d1_G*cos(ThetaP)*dT
hetaP-d2_G*sin(ThetaP)*dThetaP;

```

```
%% Indarren definizioa
```

```
[FxT, FyT, MzT]=  
Indarrak(g, PosGx, PosGy, ThetaP, dThetaP, Theta1, dTheta1, L, e, a, Dist1,  
dDist1, Sakont, Dens_H2O, Fx, Fy, Mz, d1_Plat, d2_Plat, d1_B1, d2_B1, d1_  
B2, d2_B2, d1_Dor, d2_Dor, d1_Gon, d2_Gon, M_Plat, M_B1, M_B2, M_Dor, M_Go  
n, cX_B1, cY_B1, cX_B2, cY_B2, cX_Plat, cY_Plat, cP_Plat, Fx_Haizea_Gon,  
Fy_Haizea_Gon, Fx_Haizea_Dor, Fy_Haizea_Dor, d1_G, d2_G);
```

INDARRAK

Indarrak deituriko funtzio honetan, mekanismoari eragiten dioten kanpoko indar eta momentuak aztertzen dira, hala nola pisuak, bultzadak eta haizearen eragina lantzen direlarik. Behin sistemari eragiten dioten kanpoko indar eta momentu guztiak kalkulatu direla, X ardatean eta Y ardatzean indarren batura egiten da eta Z ardatzean, berriz, momentuena.

```
function [FxT, FyT, MzT]=  
Indarrak(g, PosGx, PosGy, ThetaP, dThetaP, Theta1, dTheta1, L, e, a, D  
ist1, dDist1, Sakont, Dens_H2O, Fx, Fy, Mz, d1_Plat, d2_Plat, d1_B1, d  
2_B1, d1_B2, d2_B2, d1_Dor, d2_Dor, d1_Gon, d2_Gon, M_Plat, M_B1, M_B  
2, M_Dor, M_Gon, cX_B1, cY_B1, cX_B2, cY_B2, cX_Plat, cY_Plat, cP_Pla  
t, Fx_Haizea_Gon, Fy_Haizea_Gon, Fx_Haizea_Dor, Fy_Haizea_Dor, d1_  
_G, d2_G)  
  
%% Grabitate zentru nagusitik beste grabitate  
zentruetarainoko distantziak  
  
XA1x= Dist1*cos(Theta1);  
XA1y= Dist1*sin(Theta1);  
dXA1x= dDist1*cos(Theta1)-Dist1*sin(Theta1)*dTheta1;  
dXA1y= dDist1*sin(Theta1)+Dist1*cos(Theta1)*dTheta1;  
  
XPlatx= XA1x+d1_Plat*cos(ThetaP)-d2_Plat*sin(ThetaP);  
XPlaty= XA1y+d1_B1*sin(ThetaP)+d2_Plat*cos(ThetaP);  
dXPlatx= dDist1*cos(Theta1)-Dist1*sin(Theta1)*dTheta1-  
d1_Plat*sin(ThetaP)*dThetaP-d2_Plat*cos(ThetaP)*dThetaP;  
dXPlaty=  
dDist1*sin(Theta1)+Dist1*cos(Theta1)*dTheta1+d1_Plat*cos(The  
taP)*dThetaP-d2_Plat*sin(ThetaP)*dThetaP;  
  
XB1x= XA1x+d1_B1*cos(ThetaP)-d2_B1*sin(ThetaP);  
XB1y= XA1y+d1_B1*sin(ThetaP)+d2_B1*cos(ThetaP);  
dXB1x= dDist1*cos(Theta1)-Dist1*sin(Theta1)*dTheta1-  
d1_B1*sin(ThetaP)*dThetaP-d2_B1*cos(ThetaP)*dThetaP;  
dXB1y=  
dDist1*sin(Theta1)+Dist1*cos(Theta1)*dTheta1+d1_B1*cos(Theta  
P)*dThetaP-d2_B1*sin(ThetaP)*dThetaP;  
  
XB2x= XA1x+d1_B2*cos(ThetaP)-d2_B2*sin(ThetaP);  
XB2y= XA1y+d1_B2*sin(ThetaP)+d2_B2*cos(ThetaP);  
dXB2x= dDist1*cos(Theta1)-Dist1*sin(Theta1)*dTheta1-  
d1_B2*sin(ThetaP)*dThetaP-d2_B2*cos(ThetaP)*dThetaP;  
dXB2y=  
dDist1*sin(Theta1)+Dist1*cos(Theta1)*dTheta1+d1_B2*cos(Theta  
P)*dThetaP-d2_B2*sin(ThetaP)*dThetaP;  
  
XDorx= XA1x+d1_Dor*cos(ThetaP)-d2_Dor*sin(ThetaP);  
XDory= XA1y+d1_Dor*sin(ThetaP)+d2_Dor*cos(ThetaP);
```

```

dXDorx= dDist1*cos(Theta1)-Dist1*sin(Theta1)*dTheta1-
d1_Dor*sin(ThetaP)*dThetaP-d2_Dor*cos(ThetaP)*dThetaP;
dXDory=
dDist1*sin(Theta1)+Dist1*cos(Theta1)*dTheta1+d1_Dor*cos(Thet
aP)*dThetaP-d2_Dor*sin(ThetaP)*dThetaP;

XGonx= XA1x+d1_Gon*cos(ThetaP)-d2_Gon*sin(ThetaP);
XGony= XA1y+d1_Gon*sin(ThetaP)+d2_Gon*cos(ThetaP);
dXGonx= dDist1*cos(Theta1)-Dist1*sin(Theta1)*dTheta1-
d1_Gon*sin(ThetaP)*dThetaP-d2_Gon*cos(ThetaP)*dThetaP;
dXGony=
dDist1*sin(Theta1)+Dist1*cos(Theta1)*dTheta1+d1_Gon*cos(Thet
aP)*dThetaP-d2_Gon*sin(ThetaP)*dThetaP;

%% Indarrak

% Pisuak
P_Plac=-M_Plac*g;
P_Gon=-M_Gon*g;
P_Dor=-M_Dor*g;
P_B1=-M_B1*g;
P_B2=-M_B2*g;
% Bultzadak
[Vh_Plac,X_Flo] =
Urperatutako_bolumena_eta_Bultz_dist_Plac(ThetaP,e,L,Sakont,
a,Theta1,Dist1,XA1y,d1_Plac,d2_Plac);

```

URPERATUTAKO BOLUMENA ETA BULTZ DIST PLAT

```

function [Vh_Plac,X_Flo] =
Urperatutako_bolumena_eta_Bultz_dist_Plac(ThetaP,e,L,Sak
ont,a,Theta1,Dist1,XA1y,d1_Plac,d2_Plac)

% A2 Puntuaren kokapena
XA2y=Dist1*sin(Theta1)+L*sin(ThetaP);
% Urperatutako altuera
h1=Sakont-XA1y;
h2=Sakont-XA2y;

%% Plataformaren posizioaren eta urperatutako zatiaren
geometriaren arabera bolumenaren kalkulua

% Gehiegizko ThetaP angeluaren errorea
if ThetaP >=pi/2 || ThetaP <=-pi/2
    disp('Plataformaren inklinazioa handiegia da!!')
    Vh_Plac=0;
    d1_Bultz_Plac=d1_Plac;
    d2_Bultz_Plac=d2_Plac;

end

% ThetaP positiboarentzako urperatutako bolumenaren
kalkuluak eta urperatutako bolumenaren flotazio
zentroaren kokapena
if ThetaP >=0 && ThetaP < pi/2
    if Sakont <= XA1y
        % urperatutako bolumena

```



```

        Vh_Plat=0;
        % urperatutako bolumenaren flotazio
zentroaren kokapena
        d1_Bultz_Plat=d1_Plat;
        d2_Bultz_Plat=d2_Plat;

        else if Sakont <= (XAly+L*sin(ThetaP)) && Sakont
<= (XAly+e*cos(ThetaP))
            % urperatutako bolumena
Vh_Plat=h1^2*a/(2*cos(ThetaP)*sin(ThetaP));
            % urperatutako bolumenaren flotazio
zentroaren kokapena
            d1_Bultz_Plat=h1/(3*sin(ThetaP));
            d2_Bultz_Plat=h1/(3*cos(ThetaP));

            else if Sakont > (XAly+L*sin(ThetaP)) &&
Sakont <= (XAly+e*cos(ThetaP))
                % urperatutako bolumena
                Vh_1bol=(h1-
L*sin(ThetaP))/cos(ThetaP)*L*a;
Vh_2bol=L*sin(ThetaP)/cos(ThetaP)*L/2*a;
                Vh_Plat=Vh_1bol+Vh_2bol;
                % urperatutako bolumenaren flotazio
zentroaren kokapena
                    d1_1bol=L/2;
                    d2_1bol=(h1-
L*sin(ThetaP))/(2*cos(ThetaP));
                    d1_2bol=L/3;
d2_2bol=L*sin(ThetaP)/(3*cos(ThetaP))+(h1-
L*sin(ThetaP))/cos(ThetaP);

d1_Bultz_Plat=(d1_1bol*Vh_1bol+d1_2bol*Vh_2bol)/Vh_Plat;
d2_Bultz_Plat=(d2_1bol*Vh_1bol+d2_2bol*Vh_2bol)/Vh_Plat;

            else if Sakont <= (XAly+L*sin(ThetaP))
&& Sakont > (XAly+e*cos(ThetaP))
                % urperatutako bolumena
                Vh_1bol=(h1-
e*cos(ThetaP))/sin(ThetaP)*e*a;
Vh_2bol=e/2*e*cos(ThetaP)/sin(ThetaP)*a;
                Vh_Plat=Vh_1bol+Vh_2bol;
                % urperatutako bolumenaren
flotazio zentroaren kokapena
                    d1_1bol=(h1-
e*cos(ThetaP))/(2*sin(ThetaP));
                    d2_1bol=e/2;
                    d1_2bol=(h1-
e*cos(ThetaP))/(sin(ThetaP))+e*cos(ThetaP)/(3*sin(ThetaP
));
                    d2_2bol=e/3;

d1_Bultz_Plat=(d1_1bol*Vh_1bol+d1_2bol*Vh_2bol)/Vh_Plat;
d2_Bultz_Plat=(d2_1bol*Vh_1bol+d2_2bol*Vh_2bol)/Vh_Plat;

```

```

                                else if Sakont >=
(XAly+L*sin(ThetaP)) && Sakont >= (XAly+e*cos(ThetaP))
&& Sakont <= (XAly+L*sin(ThetaP)+e*cos(ThetaP))
                                % urperatutako bolumena
                                Vh_1bol=(h1-
e*cos(ThetaP))*e*a/sin(ThetaP);
                                Vh_2bol=(L-(h1-
e*cos(ThetaP))/sin(ThetaP))*(h1-
L*sin(ThetaP))/cos(ThetaP)*a;
                                Vh_3bol=(L-(h1-
e*cos(ThetaP))/sin(ThetaP))*(e-(h1-
L*sin(ThetaP))/cos(ThetaP))*a/2;
Vh_Platt=Vh_1bol+Vh_2bol+Vh_3bol;
                                % urperatutako bolumenaren
flotazio zentroaren kokapena
                                d1_1bol=(h1-
e*cos(ThetaP))/(2*sin(ThetaP));
                                d2_1bol=e/2;
                                d1_2bol=(h1-
e*cos(ThetaP))/(2*sin(ThetaP))+L/2;
                                d2_2bol=(h1-
L*sin(ThetaP))/(2*cos(ThetaP));
                                d1_3bol=2/3*(h1-
e*cos(ThetaP))/(sin(ThetaP))+L/3;
                                d2_3bol=2/3*(h1-
L*sin(ThetaP))/(cos(ThetaP))+e/3;

d1_Bultz_Platt=(d1_1bol*Vh_1bol+d1_2bol*Vh_2bol+d1_3bol*V
h_3bol)/Vh_Platt;

d2_Bultz_Platt=(d2_1bol*Vh_1bol+d2_2bol*Vh_2bol+d2_3bol*V
h_3bol)/Vh_Platt;

                                else if Sakont >
(XAly+L*sin(ThetaP)+e*cos(ThetaP))
                                % urperatutako
bolumena
                                Vh_Platt=L*e*a;
                                % urperatutako
bolumenaren flotazio zentroaren kokapena

d1_Bultz_Platt=d1_Platt;

d2_Bultz_Platt=d2_Platt;

                                end
                                end
                                end
                                end
                                end
                                end
end

```

```

% ThetaP negatiboarentzako bolumenaren kalkulua
if ThetaP < 0 && ThetaP > -pi/2
    ThetaP2=-ThetaP;
    if Sakont <= XA2y
        % urperatutako bolumena
        Vh_Plat=0;
        % urperatutako bolumenaren flotazio zentroaren
kokapena
        d1_Bultz_Plat=d1_Plat;
        d2_Bultz_Plat=d2_Plat;

        else if Sakont <= (XA2y+L*sin(ThetaP2)) &&
Sakont <= (XA2y+e*cos(ThetaP2))
            % urperatutako bolumena

Vh_Plat=h2^2*a/(2*cos(ThetaP2)*sin(ThetaP2));
            % urperatutako bolumenaren flotazio
zentroaren kokapena
            d1_Bultz_Plat=L-h2/(3*sin(ThetaP2));
            d2_Bultz_Plat=h2/(3*cos(ThetaP2));

            else if Sakont > (XA2y+L*sin(ThetaP2)) &&
Sakont <= (XA2y+e*cos(ThetaP2))
                % urperatutako bolumena
                Vh_1bol=(h2-
L*sin(ThetaP2))/cos(ThetaP2)*L*a;

Vh_2bol=L*sin(ThetaP2)/cos(ThetaP2)*L/2*a;
                Vh_Plat=Vh_1bol+Vh_2bol;
                % urperatutako bolumenaren flotazio
zentroaren kokapena
                d1_1bol=L/2;
                d2_1bol=(h2-
L*sin(ThetaP2))/(2*cos(ThetaP2));
                d1_2bol=L-L/3;

d2_2bol=L*sin(ThetaP2)/(3*cos(ThetaP2))+(h2-
L*sin(ThetaP2))/cos(ThetaP2);

d1_Bultz_Plat=(d1_1bol*Vh_1bol+d1_2bol*Vh_2bol)/Vh_Plat;
d2_Bultz_Plat=(d2_1bol*Vh_1bol+d2_2bol*Vh_2bol)/Vh_Plat;

            else if Sakont <= (XA2y+L*sin(ThetaP2))
&& Sakont > (XA2y+e*cos(ThetaP2))
                % urperatutako bolumena
                Vh_1bol=(h2-
e*cos(ThetaP2))/sin(ThetaP2)*e*a;

Vh_2bol=e/2*e*cos(ThetaP2)/sin(ThetaP2)*a;
                Vh_Plat=Vh_1bol+Vh_2bol;
                % urperatutako bolumenaren
flotazio zentroaren kokapena
                d1_1bol=L-(h2-
e*cos(ThetaP2))/(2*sin(ThetaP2));
                d2_1bol=e/2;
                d1_2bol=L-((h2-
e*cos(ThetaP2))/(sin(ThetaP2))+e*cos(ThetaP2)/(3*sin(The
taP2)));

```

```

d2_2bol=e/3;

d1_Bultz_Plat=(d1_1bol*Vh_1bol+d1_2bol*Vh_2bol)/Vh_Plat;
d2_Bultz_Plat=(d2_1bol*Vh_1bol+d2_2bol*Vh_2bol)/Vh_Plat;

else if Sakont >=
(XA2y+L*sin(ThetaP2)) && Sakont >= (XA2y+e*cos(ThetaP2))
&& Sakont <= (XA2y+L*sin(ThetaP2)+e*cos(ThetaP2))
    % urperatutako bolumena
    Vh_1bol=(h2-
e*cos(ThetaP2))*e*a/sin(ThetaP2);
    Vh_2bol=(L-(h2-
e*cos(ThetaP2))/sin(ThetaP2))*(h2-
L*sin(ThetaP2))/cos(ThetaP2)*a;
    Vh_3bol=(L-(h2-
e*cos(ThetaP2))/sin(ThetaP2))*(e-(h2-
L*sin(ThetaP2))/cos(ThetaP2))*a/2;

Vh_Plat=Vh_1bol+Vh_2bol+Vh_3bol;
    % urperatutako bolumenaren
flotazio zentroaren kokapena
    d1_1bol=L-(h2-
e*cos(ThetaP2))/(2*sin(ThetaP2));
    d2_1bol=e/2;
    d1_2bol=L-(h2-
e*cos(ThetaP2))/(2*sin(ThetaP2))+L/2);
    d2_2bol=(h2-
L*sin(ThetaP2))/(2*cos(ThetaP2));
    d1_3bol=L-(2/3*(h2-
e*cos(ThetaP2))/(sin(ThetaP2))+L/3);
    d2_3bol=2/3*(h2-
L*sin(ThetaP2))/(cos(ThetaP2))+e/3;

d1_Bultz_Plat=(d1_1bol*Vh_1bol+d1_2bol*Vh_2bol+d1_3bol*V
h_3bol)/Vh_Plat;

d2_Bultz_Plat=(d2_1bol*Vh_1bol+d2_2bol*Vh_2bol+d2_3bol*V
h_3bol)/Vh_Plat;

else if Sakont >
(XA2y+L*sin(ThetaP2)+e*cos(ThetaP2))
    % urperatutako
bolumena
    Vh_Plat=L*e*a;
    % urperatutako
bolumenaren flotazio zentroaren kokapena

d1_Bultz_Plat=d1_Plat;

d2_Bultz_Plat=d2_Plat;

end
end
end
end
end

```

```

        end
    end

    % Plataformaren urperatutako bolumenaren flotazio
    zentroaren kokapena XYZ ardatzekiko
    X_Flox= Dist1*cos(Theta1)+d1_Bultz_Plata*cos(ThetaP)-
    d2_Bultz_Plata*sin(ThetaP);
    X_Floy=
    Dist1*sin(Theta1)+d1_Bultz_Plata*sin(ThetaP)+d2_Bultz_Pla
    ta*cos(ThetaP);

```

```

Bultz_Plata=Dens_H2O*g*Vh_Plata;
% % % Bultz_Plata=0;

[Bultz_B1,Bultz_B2]= Bultzadak_Boiak
(Sakont,P_Plata,P_Dor,P_Gon,P_B1,P_B2,XB1y,XB2y);

```

BULTZADAK BOIAK

Programa labur honek egiten duena, boiak uretatik ateratzean beren bultzada nulua zatea da, honela simulazioa errealistagoa bilakatuz. Honetarako, *if* komandoaz baliatzen da, boiak uretik kanpo direnean bultzadari zero balioa emanez baldintzatuz.

```

function [Bultz_B1,Bultz_B2]= Bultzadak_Boiak
(Sakont,P_Plata,P_Dor,P_Gon,P_B1,P_B2,XB1y,XB2y)

% Bultz_B1
if XB1y<Sakont
    Bultz_B1=-(P_Plata+P_Dor+P_Gon+P_B1+P_B2)/2;
else
    Bultz_B1=0;
end
% Bultz_B2
if XB2y<Sakont
    Bultz_B2=-(P_Plata+P_Dor+P_Gon+P_B1+P_B2)/2;
else
    Bultz_B2=0;
end

```

```

% % Bultz_B1=0;
% % Bultz_B2=0;

% Uretik kanpo, marruskadura indarren deuseztatzea
if XB1y>=Sakont

    cX_B1_Def=0;
    cY_B1_Def=0;
else

    cX_B1_Def=cX_B1;

```

```

        cY_B1_Def=cY_B1;
    end

    if XB2y>=Sakont

        cX_B2_Def=0;
        cY_B2_Def=0;
    else

        cX_B2_Def=cX_B2;
        cY_B2_Def=cY_B2;
    end

    if XPlaty>=Sakont

        cX_Plat_Def=0;
        cY_Plat_Def=0;
        cP_Plat_Def=0;
    else

        cX_Plat_Def=cX_Plat;
        cY_Plat_Def=cY_Plat;
        cP_Plat_Def=cP_Plat;
    end

    % Urak eragindako marruskadura indarrak
    FmX_Plat=-cX_Plat_Def*dXPlatx;
    FmY_Plat=-cY_Plat_Def*dXPlaty;

    FmX_B1=-cX_B1_Def*dXB1x;
    FmY_B1=-cY_B1_Def*dXB1y;

    FmX_B2=-cX_B2_Def*dXB2x;
    FmY_B2=-cY_B2_Def*dXB2y;

    % INDRREN BATURA
    FxT= Fx + Fx_Haizea_Gon + Fx_Haizea_Dor + FmX_Plat + FmX_B1
    + FmX_B2;
    FyT= Fy + Fy_Haizea_Gon + Fy_Haizea_Dor + P_Plat + P_Dor +
    P_Gon + P_B1 + P_B2 + Bultz_Plat + Bultz_B1 + Bultz_B2 +
    FmY_Plat + FmY_B1 + FmY_B2;

    %% Momentuak      %% Falta da plataforma urperatutko
    bolumenaren araberako bultzadaren momentua!

    % Pisuek sorturiko momentuak
    Mz_P_Plat=(XPlatx-PosGx)*P_Plat;
    Mz_P_B1=(XB1x-PosGx)*P_B1;
    Mz_P_B2=(XB2x-PosGx)*P_B2;
    Mz_P_Dor=(XDorx-PosGx)*P_Dor;
    Mz_P_Gon=(XGonx-PosGx)*P_Gon;
    % Bultzadek sorturiko momentuak
    Mz_Bultz_Plat=(X_Flox-PosGx)*Bultz_Plat;
    Mz_Bultz_B1=(XB1x-PosGx)*Bultz_B1;
    Mz_Bultz_B2=(XB2x-PosGx)*Bultz_B2;
    % Haizearen indarrak sorturiko momentuak

```

```

Mz_Haizea_Dor=(XDorx-PosGx)*Fy_Haizea_Dor - (XDory-
PosGy)*Fx_Haizea_Dor;
Mz_Haizea_Gon=(XGonx-PosGx)*Fy_Haizea_Gon - (XGony-
PosGy)*Fx_Haizea_Gon;
% Marruskadura indarrak sorturiko momentuak

Mz_Biraketa_mar_Plat=-cP_Plat_Def*dThetaP;

Mz_Fm_Plat=(XPlatx-PosGx)*FmY_Plat - (XPlaty-
PosGy)*FmX_Plat;
Mz_Fm_B1=(XB1x-PosGx)*FmY_B1 - (XB1y-PosGy)*FmX_B1;
Mz_Fm_B2=(XB2x-PosGx)*FmY_B2 - (XB2y-PosGy)*FmX_B2;

% MOMENTUEN BATURA
MzT= Mz + Mz_P_Plat + Mz_P_B1 + Mz_P_B2 + Mz_P_Dor +
Mz_P_Gon + Mz_Bultz_Plat + Mz_Bultz_B1 + Mz_Bultz_B2 +
Mz_Haizea_Dor + Mz_Haizea_Gon + Mz_Biraketa_mar_Plat +
Mz_Fm_Plat + Mz_Fm_B1 + Mz_Fm_B2;

```

```

%% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %%
%% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %%
%% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %%
%% Konstanteak

```

```

% Ezezagunen ekuazioak MAT matrizean
MAT=zeros(14);

MAT(1,2)=1;
MAT(2,1)=1;
MAT(2,3)=1;
MAT(3,3)=Dist1;
MAT(4,4)=1;
MAT(5,6)=1;
MAT(5,5)=1;
MAT(6,5)=Dist2;
MAT(7,2)=-cos(Thetal);
MAT(7,3)=sin(Thetal);
MAT(7,4)=-cos(Theta2);
MAT(7,5)=sin(Theta2);
MAT(7,11)=-M_TOT*cos(Thetal);
MAT(7,7)=M_TOT*Dist1*sin(Thetal);
MAT(7,9)=M_TOT*d1_G*sin(ThetaP)+M_TOT*d2_G*cos(ThetaP);
MAT(8,2)=-sin(Thetal);
MAT(8,3)=-cos(Thetal);
MAT(8,4)=-sin(Theta2);
MAT(8,5)=-cos(Theta2);
MAT(8,11)=-M_TOT*sin(Thetal);
MAT(8,7)=-M_TOT*Dist1*cos(Thetal);
MAT(8,9)=-M_TOT*d1_G*cos(ThetaP)+M_TOT*d2_G*sin(ThetaP);
MAT(9,2)=-sin(Thetal)*(-
d1_G*cos(ThetaP)+d2_G*sin(ThetaP))+cos(Thetal)*(-
d1_G*sin(ThetaP)-d2_G*cos(ThetaP));
MAT(9,3)=-cos(Thetal)*(-d1_G*cos(ThetaP)+d2_G*sin(ThetaP))-
sin(Thetal)*(-d1_G*sin(ThetaP)-d2_G*cos(ThetaP));

```

```

MAT(9,4)=-sin(Theta2)*((L-
d1_G)*cos(ThetaP)+d2_G*sin(ThetaP))+cos(Theta2)*((L-
d1_G)*sin(ThetaP)-d2_G*cos(ThetaP));
MAT(9,5)=-cos(Theta2)*((L-d1_G)*cos(ThetaP)+d2_G*sin(ThetaP))-
sin(Theta2)*((L-d1_G)*sin(ThetaP)-d2_G*cos(ThetaP));
MAT(9,9)=-I_G(3,3);
MAT(10,11)=cos(Theta1);
MAT(10,7)=-Dist1*sin(Theta1);
MAT(10,9)=-L*sin(ThetaP);
MAT(10,12)=-cos(Theta2);
MAT(10,8)=Dist2*sin(Theta2);
MAT(11,11)=sin(Theta1);
MAT(11,7)=Dist1*cos(Theta1);
MAT(11,9)=L*cos(ThetaP);
MAT(11,12)=-sin(Theta2);
MAT(11,8)=-Dist2*cos(Theta2);
MAT(12,8)=1;
MAT(12,9)=-1;
MAT(12,10)=-1;
MAT(13,11)=cos(Theta1);
MAT(13,7)=-Dist1*sin(Theta1);
MAT(13,9)=-d1_P*sin(ThetaP)-d2_P*cos(ThetaP);
MAT(13,13)=-1;
MAT(14,11)=sin(Theta1);
MAT(14,7)=Dist1*cos(Theta1);
MAT(14,9)=d1_P*cos(ThetaP)-d2_P*sin(ThetaP);
MAT(14,14)=-1;

% Ezezagunen ekuazioen emaitzak EMA matrizean
Ema1=-Akt1;
Ema2=0;
Ema3=cO1*dTheta1-cA1*(dThetaP-dTheta1);
Ema4=-Akt2;
Ema5=0;
Ema6=cO2*dTheta2-cA2*(dThetaP-dTheta2);
Ema7=-FxT+M_TOT*(-2*dDist1*sin(Theta1)*dTheta1-
Dist1*cos(Theta1)*dTheta1^2-
d1_G*cos(ThetaP)*dThetaP^2+d2_G*sin(ThetaP)*dThetaP^2);
Ema8=-FyT+M_TOT*(2*dDist1*cos(Theta1)*dTheta1-
Dist1*sin(Theta1)*dTheta1^2-d1_G*sin(ThetaP)*dThetaP^2-
d2_G*cos(ThetaP)*dThetaP^2);
Ema9=-MzT+cA1*(dThetaP-dTheta1)-cA2*(dTheta2-dThetaP);
Ema10=2*dDist1*sin(Theta1)*dTheta1+Dist1*cos(Theta1)*dTheta1^2+L
*cos(ThetaP)*dThetaP^2-2*dDist2*sin(Theta2)*dTheta2-
Dist2*cos(Theta2)*dTheta2^2;
Ema11=-
2*dDist1*cos(Theta1)*dTheta1+Dist1*sin(Theta1)*dTheta1^2+L*sin(T
hetaP)*dThetaP^2+2*dDist2*cos(Theta2)*dTheta2-
Dist2*sin(Theta2)*dTheta2^2;
Ema12=0;
Ema13=2*dDist1*sin(Theta1)*dTheta1+Dist1*cos(Theta1)*dTheta1^2+d
1_P*cos(ThetaP)*dThetaP^2-d2_P*sin(ThetaP)*dThetaP^2;
Ema14=-
2*dDist1*cos(Theta1)*dTheta1+Dist1*sin(Theta1)*dTheta1^2+d1_P*si
n(ThetaP)*dThetaP^2+d2_P*cos(ThetaP)*dThetaP^2;

% Emaitzen EMA bektorea
EMA=[ Ema1; Ema2; Ema3; Ema4; Ema5; Ema6; Ema7; Ema8; Ema9; Ema10; Ema11; Em
a12; Ema13; Ema14];

```



```

%% Ezezagunen emaitzak (f2_O1, f1_A1, f2_A1, f1_A2, f2_A2,
f2_O2, ddTheta1, ddTheta2, ddThetaP, ddThetaA2, ddDist1,
ddDist2, ddPosPx, ddPosPy)
if sum(MAT(:)<Inf)~=size(MAT,1)^2
    NaNkopurua = -sum(MAT(:)<Inf)+size(MAT,1)^2;
    disp([num2str(NaNkopurua), ' NaN dauzkagu'])
end
if rank(MAT)~=size(MAT,1)
    disp('Matrizearen heinarekin arazoa')
end

X=MAT\EMA;

ddTheta1=X(7,1);
ddTheta2=X(8,1);
ddThetaA2=X(10,1);
ddThetaP=X(9,1);
ddDist1=X(11,1);
ddDist2=X(12,1);
ddPosPx=X(13,1);
ddPosPy=X(14,1);

```

1.2.3. Datuen kalkulua denboran (Estatuen Espazioaren Teoria)

```

%%
%% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %%
%% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %%
%% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %%

%% Denbora
Tini = 0;
Tend = 10;
dt=0.01;

%% Datu ezagunen bektorea
Param =
[g;ThetaP;dThetaP;Theta1;dTheta1;Theta2;dTheta2;L;e;a;d1_P;d2_P;M_TOT;
Dist1;dDist1;Dist2;dDist2;I_G(3,3);Akt1;Akt2;cO1;cO2;cA1;cA2;Sakont;De
ns_H2O;Fx;Fy;Mz;d1_G;d2_G;d1_Plat;d2_Plat;d1_B1;d2_B1;d1_B2;d2_B2;d1_D
or;d2_Dor;d1_Gon;d2_Gon;M_Plat;M_B1;M_B2;M_Dor;M_Gon;cX_B1;cY_B1;cX_B2
;cY_B2;cX_Plat;cY_Plat;cP_Plat;Fx_Haizea_Gon;Fy_Haizea_Gon;Fx_Haizea_D
or;Fy_Haizea_Dor];

%% ode45 integratzailea
options = odeset('RelTol',1e-8,'AbsTol',1e-8);
tinv = Tini:dt:Tend;
q=[Theta1;Theta2;ThetaP;ThetaA2;Dist1;Dist2;PosPx;PosPy];
dq=[dTheta1;dTheta2;dThetaP;dThetaA2;dDist1;dDist2;dPosPx;dPosPy];
y0 = [q;dq];

disp('ode45 integradoreak kalkulatu emandako denbora:')
tic
[t, y]= ode45('Integrazioa_Plataforma',tinv,y0,options,Param);
toc

```

INTEGRAZIOA PLATAFORMA

```
function yp= Integrazioa_Plataforma(t,y,flags,Param)

% Parametroen balioak
g = Param(1); ThetaP = Param(2); dThetaP = Param(3); Theta1 =
Param(4); dTheta1 = Param(5); Theta2 = Param(6); dTheta2 =
Param(7); L = Param(8);
e = Param(9); a = Param(10); d1_P = Param(11); d2_P = Param(12);
M_TOT = Param(13); Dist1 = Param(14); dDist1 = Param(15); Dist2
= Param(16);
dDist2 = Param(17); I_G(3,3) = Param(18); Akt1 = Param(19); Akt2
= Param(20); cO1 = Param(21); cO2 = Param(22); cA1 = Param(23);
cA2 = Param(24); Sakont = Param(25); Dens_H2O = Param(26); Fx =
Param(27); Fy = Param(28); Mz = Param(29); d1_G = Param(30);
d2_G = Param(31); d1_Plat = Param(32); d2_Plat = Param(33);
d1_B1 = Param(34); d2_B1 = Param(35); d1_B2 = Param(36); d2_B2 =
Param(37); d1_Dor = Param(38);
d2_Dor = Param(39); d1_Gon = Param(40); d2_Gon = Param(41);
M_Plat = Param(42); M_B1 = Param(43); M_B2 = Param(44); M_Dor =
Param(45); M_Gon = Param(46); cX_B1 = Param(47); cY_B1 =
Param(48);
cX_B2 = Param(49); cY_B2 = Param(50); cX_Plat = Param(51);
cY_Plat = Param(52); cP_Plat = Param(53);
Fx_Haizea_Gon = Param(54); Fy_Haizea_Gon = Param(55);
Fx_Haizea_Dor = Param(56); Fy_Haizea_Dor = Param(57);

Theta1 = y(1);
Theta2 = y(2);
ThetaP = y(3);
ThetaA2 = y(4);
Dist1 = y(5);
Dist2 = y(6);
PosPx = y(7);
PosPy = y(8);

dTheta1 = y(9);
dTheta2 = y(10);
dThetaP = y(11);
dThetaA2 = y(12);
dDist1 = y(13);
dDist2 = y(14);
dPosPx = y(15);
dPosPy = y(16);

[ddTheta1,ddTheta2,ddThetaA2,ddThetaP,ddDist1,ddDist2,ddPosPx,dd
PosPy,FxT,FyT,MzT]=
Dinamika(g,ThetaP,dThetaP,Theta1,dTheta1,Theta2,dTheta2,L,e,a,d1
_P,d2_P,M_TOT,Dist1,dDist1,Dist2,dDist2,I_G,Akt1,Akt2,cO1,cO2,cA
1,cA2,Sakont,Dens_H2O,Fx,Fy,Mz,d1_G,d2_G,d1_Plat,d2_Plat,d1_B1,d
2_B1,d1_B2,d2_B2,d1_Dor,d2_Dor,d1_Gon,d2_Gon,M_Plat,M_B1,M_B2,M_
Dor,M_Gon,cX_B1,cY_B1,cX_B2,cY_B2,cX_Plat,cY_Plat,cP_Plat,Fx_Hai
zea_Gon,Fy_Haizea_Gon,Fx_Haizea_Dor,Fy_Haizea_Dor);
yp=
[dTheta1;dTheta2;dThetaP;dThetaA2;dDist1;dDist2;dPosPx;dPosPy;dd
Theta1;ddTheta2;ddThetaP;ddThetaA2;ddDist1;ddDist2;ddPosPx;ddPos
Py];
```

```
disp(Dinamikaren "for"-ak kalkulatzen emandako denbora:')
tic
```

```

for i=2:size(tinv,2)
[ddTheta1(i,1),ddTheta2(i,1),ddThetaA2(i,1),ddThetaP(i,1),ddDist1(i,1)
,ddDist2(i,1),ddPosPx(i,1),ddPosPy(i,1),FxT,FyT,MzT(i,1)]=
Dinamika(g,y(i,3),y(i,11),y(i,1),y(i,9),y(i,2),y(i,10),L,e,a,d1_P,d2_P
,M_TOT,y(i,5),y(i,13),y(i,6),y(i,14),I_G,Akt1,Akt2,cO1,cO2,cA1,cA2,Sak
ont,Dens_H2O,Fx,Fy,Mz,d1_G,d2_G,d1_Plat,d2_Plat,d1_B1,d2_B1,d1_B2,d2_B
2,d1_Dor,d2_Dor,d1_Gon,d2_Gon,M_Plat,M_B1,M_B2,M_Dor,M_Gon,cX_B1,cY_B1
,cX_B2,cY_B2,cX_Plat,cY_Plat,cP_Plat,Fx_Haizea_Gon,Fy_Haizea_Gon,Fx_Ha
izea_Dor,Fy_Haizea_Dor);
end
toc

```

```

%% Datuen gordeketa

```

```

save Emaitzak_Plataforma.mat t y Param ddThetal ddTheta2 ddThetaP
ddThetaA2 ddDist1 ddDist2 ddPosPx ddPosPy
%% %% load Emaitzak_Plataforma.mat

%% %% save
Emaitzak_Plataforma_Bultzadaren_Momentua_Plataforma_Bakarrik.mat t y
Param ddThetal ddTheta2 ddThetaP ddThetaA2 ddDist1 ddDist2 ddPosPx
ddPosPy
%% %% load
Emaitzak_Plataforma_Bultzadaren_Momentua_Plataforma_Bakarrik.mat

```

1.2.4. Simulazioa grafikoa

```

%%
%% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %%
%% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %%
%% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %% %%

Simulazioaren_arranke= input('Simulazioa ikusi nahi baduzu sartu 1
zenbakia jarraian: ');
if Simulazioaren_arranke== 1

% Puntuak
X01x=0;
X01y=0;
X01=[X01x,X01y];

X02x=L0;
X02y=0;
X02=[X02x,X02y];

XA1x=y(1,5)*cos(y(1,1));
XA1y=y(1,5)*sin(y(1,1));
XA1=[XA1x,XA1y];

XA2x=XA1x+L*cos(y(1,3));
XA2y=XA1y+L*sin(y(1,3));
XA2=[XA2x,XA2y];

XA3x=XA2x-e*sin(y(1,3));
XA3y=XA2y+e*cos(y(1,3));

```

```

XA3=[XA3x,XA3y];

XA4x=XA1x-e*sin(y(1,3));
XA4y=XA1y+e*cos(y(1,3));
XA4=[XA4x,XA4y];

XB1x=XA1x+d1_B1*cos(y(1,3))-d2_B1*sin(y(1,3));
XB1y=XA1y+d1_B1*sin(y(1,3))+d2_B1*cos(y(1,3));
XB1=[XB1x, XB1y];

XB2x=XA1x+d1_B2*cos(y(1,3))-d2_B2*sin(y(1,3));
XB2y=XA1y+d1_B2*sin(y(1,3))+d2_B2*cos(y(1,3));
XB2=[XB2x, XB2y];

XDorx=XA1x+d1_Dor*cos(y(1,3))-d2_Dor*sin(y(1,3));
XDory=XA1y+d1_Dor*sin(y(1,3))+d2_Dor*cos(y(1,3));
XDor=[XDorx, XDory];

XGonx=XA1x+d1_Gon*cos(y(1,3))-d2_Gon*sin(y(1,3));
XGony=XA1y+d1_Gon*sin(y(1,3))+d2_Gon*cos(y(1,3));
XGon=[XGonx, XGony];

XPx=XA1x+d1_P*cos(y(1,3))-d2_P*sin(y(1,3));
XPy=XA1y+d1_P*sin(y(1,3))+d2_P*cos(y(1,3));
XP=[XPx, XPy];

% Dorrearen barra simulatzeko abiapuntua
d1_P2=L/2;
d2_P2=e;

XP2x=XA1x+d1_P2*cos(y(1,3))-d2_P2*sin(y(1,3));
XP2y=XA1y+d1_P2*sin(y(1,3))+d2_P2*cos(y(1,3));
XP2=[XP2x, XP2y];

PosGx=XA1x+d1_G*cos(y(1,3))-d2_G*sin(y(1,3));
PosGy=XA1y+d1_G*sin(y(1,3))+d2_G*cos(y(1,3));
PosG=[PosGx, PosGy];

%Leihoaren tamaina
maxl = get(0, 'screensize');
figure('Position',[1 1 maxl(3) maxl(4)])
hold on
grid on
axis([XA1x-H_Gon-L, XA1x+H_Gon+L, XA1y-H_Gon-L, XA1y+H_Gon+L])

% Hasierako irudiko lerroak
dib(1) =
plot([XO1(1,1),XA1(1,1)],[XO1(1,2),XA1(1,2)], 'b', 'linewidth', 2);
dib(2) = plot([XA1(1,1),XA2(1,1)],[XA1(1,2),XA2(1,2)], 'b');
dib(3) =
plot([XA2(1,1),XO2(1,1)],[XA2(1,2),XO2(1,2)], 'b', 'linewidth', 2);
dib(4) = plot(XO1(1,1),XO1(1,2), 'ro');
dib(5) = plot(XO2(1,1),XO2(1,2), 'ro');
dib(6) = plot([XA2(1,1),XA3(1,1)],[XA2(1,2),XA3(1,2)], 'b');
dib(7) = plot([XA1(1,1),XA4(1,1)],[XA1(1,2),XA4(1,2)], 'b');
dib(8) = plot([XA3(1,1),XA4(1,1)],[XA3(1,2),XA4(1,2)], 'b');
dib(9) =
plot([XA1(1,1),XB1(1,1)],[XA1(1,2),XB1(1,2)], 'b', 'linewidth', 2);

```

```

dib(10) =
plot([XA2(1,1),XB2(1,1)],[XA2(1,2),XB2(1,2)], 'b', 'linewidth', 2);
dib(11) =
plot([XP2(1,1),XGon(1,1)],[XP2(1,2),XGon(1,2)], 'b', 'linewidth', 2);

% Plataformaren kolorea
dib(12)= fill([XA1x XA2x XA3x XA4x],[XA1y XA2y XA3y XA4y],[0.0 0.2
0.6]);

% Hasierako irudiko puntuak
dib(13) = plot(XB1(1,1),XB1(1,2), 'bo');
dib(14) = plot(XB2(1,1),XB2(1,2), 'bo');
dib(15) = plot(XP(1,1),XP(1,2), 'bo');
dib(16) = plot(XDor(1,1),XDor(1,2), 'bo');
dib(17) = plot(PosG(1,1),PosG(1,2), 'ro');
dib(18) = plot(XGon(1,1),XGon(1,2), 'bo');

% Ur maila
dib(19)= plot([-10000,10000],[Sakont,Sakont], 'b', 'linewidth', 1);

% Lurra
dib(20)= plot([-10000,10000],[0,0], 'k', 'linewidth', 2);

pause
for i=2:size(y,1)

XO1x=0;
XO1y=0;
XO1=[XO1x,XO1y];

XO2x=L0;
XO2y=0;
XO2=[XO2x,XO2y];

XA1x=y(i,5)*cos(y(i,1));
XA1y=y(i,5)*sin(y(i,1));
XA1=[XA1x,XA1y];

XA2x=XA1x+L*cos(y(i,3));
XA2y=XA1y+L*sin(y(i,3));
XA2=[XA2x,XA2y];

XA3x=XA2x-e*sin(y(i,3));
XA3y=XA2y+e*cos(y(i,3));
XA3=[XA3x,XA3y];

XA4x=XA1x-e*sin(y(i,3));
XA4y=XA1y+e*cos(y(i,3));
XA4=[XA4x,XA4y];

XB1x=XA1x+d1_B1*cos(y(i,3))-d2_B1*sin(y(i,3));
XB1y=XA1y+d1_B1*sin(y(i,3))+d2_B1*cos(y(i,3));
XB1=[XB1x,XB1y];

XB2x=XA1x+d1_B2*cos(y(i,3))-d2_B2*sin(y(i,3));
XB2y=XA1y+d1_B2*sin(y(i,3))+d2_B2*cos(y(i,3));
XB2=[XB2x,XB2y];

```

```
XDorx=XA1x+d1_Dor*cos(y(i,3))-d2_Dor*sin(y(i,3));
XDory=XA1y+d1_Dor*sin(y(i,3))+d2_Dor*cos(y(i,3));
XDor=[XDorx,XDory];
```

```
XGonx=XA1x+d1_Gon*cos(y(i,3))-d2_Gon*sin(y(i,3));
XGony=XA1y+d1_Gon*sin(y(i,3))+d2_Gon*cos(y(i,3));
XGon=[XGonx,XGony];
```

```
XPx=XA1x+d1_P*cos(y(i,3))-d2_P*sin(y(i,3));
XPy=XA1y+d1_P*sin(y(i,3))+d2_P*cos(y(i,3));
XP=[XPx,XPpy];
```

```
XP2x=XA1x+d1_P2*cos(y(i,3))-d2_P2*sin(y(i,3));
XP2y=XA1y+d1_P2*sin(y(i,3))+d2_P2*cos(y(i,3));
XP2=[XP2x,XP2y];
```

```
PosGx=XA1x+d1_G*cos(y(i,3))-d2_G*sin(y(i,3));
PosGy=XA1y+d1_G*sin(y(i,3))+d2_G*cos(y(i,3));
PosG=[PosGx,PosGy];
```

```
plot([-10000,10000],[Sakont,Sakont],'b');
plot([-10000,10000],[0,0],'k');
```

```
[Sim] =
Simulazioa_Plataforma(XO1,XA1,XA2,XO2,XA3,XA4,XB1,XB2,XDor,XGon,XP,Pos
G,L0,H_Gon,L,dib);
```

SIMULAZIOA PLATAFORMA

Atal honetan, **Simulazioa_Plataforma** funtzioa erabiliz mugimendudun simulazioa gauzatzen da, honen lehenengo bertsioaren azalpenean dioen bezala *set* komanaz baliatuz irudiak une bakoitzean irudikatzeko. Hemen, aurreko bertsiotik eginiko aldaketa edo aktualizaioa, sistema osatzen duten eta kapitulu honetan gehitu diren osagaien irudikatzea litzateke. Horretarako, plataforma hutsa irudikatzeko bezala, **dib** bektorean sartu dira hauen irudikapenak, eta funtzio honen bitartez, eta *for* batetik psatuz, solido berrien irudikapena lortzen da.

```
function [Sim] =
Simulazioa_Plataforma(XO1,XA1,XA2,XO2,XA3,XA4,XB1,XB2,XDor,XGon,
XP,PosG,L0,H_Gon,L,dib)

% % axis([-50+L0/2,50+L0/2, 0, 100])
axis([XA1(1,1)-H_Gon-L, XA1(1,1)+H_Gon+L, XA1(1,2)-H_Gon-
L,XA1(1,2)+H_Gon+L])

set(dib(1),'xdata',[XO1(1,1),XA1(1,1)],'ydata',[XO1(1,2),XA1(1,2)
]),'color','b','linewidth',2);
set(dib(2),'xdata',[XA1(1,1),XA2(1,1)],'ydata',[XA1(1,2),XA2(1,2)
]),'color','b');
set(dib(3),'xdata',[XA2(1,1),XO2(1,1)],'ydata',[XA2(1,2),XO2(1,2)
]),'color','b','linewidth',2);
set(dib(4),'xdata',XO1(1,1),'ydata',XO1(1,2));
set(dib(5),'xdata',XO2(1,1),'ydata',XO2(1,2));
set(dib(6),'xdata',[XA2(1,1),XA3(1,1)],'ydata',[XA2(1,2),XA3(1,2)
]),'color','b');
```

```

set(dib(7),'xdata',[XA1(1,1),XA4(1,1)],'ydata',[XA1(1,2),XA4(1,2)
],'color','b');
set(dib(8),'xdata',[XA3(1,1),XA4(1,1)],'ydata',[XA3(1,2),XA4(1,2)
],'color','b');
set(dib(9),'xdata',[XA1(1,1),XB1(1,1)],'ydata',[XA1(1,2),XB1(1,2)
],'color','b','linewidth',2);
set(dib(10),'xdata',[XA2(1,1),XB2(1,1)],'ydata',[XA2(1,2),XB2(1,2)
],'color','b','linewidth',2);
set(dib(11),'xdata',[XP2(1,1),XGon(1,1)],'ydata',[XP2(1,2),XGon(
1,2)],'color','b','linewidth',2);

set(dib(12),'xdata',[XA1(1,1),XA2(1,1),XA3(1,1),XA4(1,1)],'ydata
',[XA1(1,2),XA2(1,2),XA3(1,2),XA4(1,2)])

set(dib(13),'xdata',XB1(1,1),'ydata',XB1(1,2));
set(dib(14),'xdata',XB2(1,1),'ydata',XB2(1,2));
set(dib(15),'xdata',XP(1,1),'ydata',XP(1,2));
set(dib(16),'xdata',XDor(1,1),'ydata',XDor(1,2));
set(dib(17),'xdata',PosG(1,1),'ydata',PosG(1,2));
set(dib(18),'xdata',XGon(1,1),'ydata',XGon(1,2));

Sim = X01;

```

```

pause(0.05);
% pause(0.002);

```

```
end
```

```
end
```

1.2.5. Grafikoak

```

%%
%% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %
%% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %
%% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %

maxl = get(0,'screensize');
% Plataformaren orientazioaren grafika
Plat_orientazioa_graf_arranke= input('Plataformaren ORIENTAZIOAREN
grafika ikusi nahi baduzu, sartu 1 zenbakia jarraian: ');
if Plat_orientazioa_graf_arranke== 1

figure('Position',[1 1 maxl(3) maxl(4)])

% ThetaP plataformaren angelua
pause
subplot(3,1,1);
plot(tinv,y(:,3),'r');
grid on

```

```

xlabel('Denbora (s)');
ylabel('Angelua [rad]');
title('Plataformaren angelua denboraren aurrean');
legend('ThetaP');
% dThetaP plataformaren abiadura angeluarra
pause
subplot(3,1,2);
plot(tinv,y(:,11),'g');
grid on
xlabel('Denbora (s)');
ylabel('Abiadura [rad/seg]');
title('Plataformaren abiadura angeluarra denboraren aurrean');
legend('dThetaP');
% ddThetaP plataformaren azelerazio angeluarra
pause
subplot(3,1,3);
plot(tinv,ddThetaP(:,1),'b');
xlabel('Denbora (s)');
grid on
ylabel('Azlerazioa [rad/seg^2]');
title('Plataformaren azelerazioa angeluarra denboraren aurrean');
legend('ddThetaP');

end

% P puntuaren mugimendu bertikala
pause
P_bert_graf_arranke= input('P puntuaren MUGIMENDU BERTIKALAREN
grafika ikusi nahi baduzu, sartu 1 zenbakia jarraian: ');
if P_bert_graf_arranke== 1

figure ('Position',[1 1 maxl(3) maxl(4)])

% Plataformaren grabitate zentruaren altuera
pause
subplot(3,1,1);
plot(tinv,y(:,8),'r');
grid on
title('P puntuaren altuera denboraren aurrean');
xlabel('Denbora (s)');
ylabel('Altuera [m]');
legend('PosPy');
% P puntuaren altueraren abiadura
pause
subplot(3,1,2);
plot(tinv,y(:,16),'g');
grid on
title('P puntuaren abiadura bertikala denboraren aurrean');
xlabel('Denbora (s)');
ylabel('Abiadura [m/seg]');
legend('dPosPy');
% P puntuaren altueraren azelerazioa
pause
subplot(3,1,3);
plot(tinv,ddPosPy(:,1),'b');
grid on
title('P puntuaren azelerazio bertikala denboraren aurrean');
xlabel('Denbora (s)');
ylabel('Azlerazioa [m/seg^2]');
legend('ddPosPy');

```


end

```
% P puntuaren mugimendu horizontala
pause
P_horiz_graf_arranke= input('P puntuaren MUGIMENDU HORIZONTALAREN
grafika ikusi nahi baduzu sartu 1 zenbakia jarraian: ');
if P_horiz_graf_arranke== 1

figure ('Position',[1 1 maxl(3) maxl(4)])

% P puntuaren posizioa abzisen ardatzan
pause
subplot(3,1,1);
plot(tinv,y(:,7),'r');
grid on
title('P puntuaren posizioa X ardatzean denboraren aurrean');
xlabel('Denbora (s)');
ylabel('Posizioa [m]');
legend('PosPx');
% P puntuaren posizioaren abiadura
pause
subplot(3,1,2);
plot(tinv,y(:,15),'g');
grid on
title('Plataformaren grabitazio zentruaren abiadura X ardatzean
denboraren aurrean');
xlabel('Denbora (s)');
ylabel('Abiadura [m/seg]');
legend('dPosPx');
% Plataformaren grabitate zentruaren posizioaren azelerazioa
pause
subplot(3,1,3);
plot(tinv,ddPosPx(:,1),'b');
grid on
title('P puntuaren azelerazioa X ardatzean denboraren aurrean');
xlabel('Denbora (s)');
ylabel('Azlerazioa [m/seg^2]');
legend('ddPosPx');
```

end

```
% Plataformak jasantako momentuen batura
pause
Moment_graf_arranke= input('P puntuaren altueraren arabera,
plataformak JASANDAKO MOMENTUEN grafikoa ikusi nahi baduzu sartu 1
zenbakia jarraian: ');
if Moment_graf_arranke== 1

figure ('Position',[1 1 maxl(3) maxl(4)])
pause
subplot(2,1,1);
```

```
plot(tinv,y(:,8),'r');
grid on
title('P puntuaren altuera denboraren aurrean');
xlabel('Denbora (s)');
ylabel('Aluera [m]');
legend('PosPy');

pause
subplot(2,1,2);
plot(tinv,MzT(:,1),'b');
xlabel('Denbora (s)');
grid on
ylabel('Momentuen batura [Nm]');
title('Plataformak jasandako momentuen batura denboraren aurrean');
legend('MzT');

end

% Bukaera: dena isteko.
disp('Sakatu edozein botoi dena isteko');
pause
close all
```